



UTN

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO POR
CARBONILACIÓN DE METANOL**

**PIRRA, MARÍA LAURA
SANTUCCI, ELIANA**

**Villa María
2022**

FIRMA

PIRRA, María Laura:

SANTUCCI, Eliana:

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 agradecer a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María por abrirnos sus puertas y brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales. También, a nuestros docentes, que dedicaron su tiempo a enseñarnos y acompañarnos a lo largo de este trayecto.

Queremos extender nuestro agradecimiento a Gastón Conrero, Franco Bertoglio y Vanina Monesterolo, quienes aportaron su colaboración en este proyecto.

María Laura

Al concluir esta etapa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que estuvieron presentes para mí en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, hermanas, y familia en general, por su comprensión, paciencia y apoyo.

A mis amigos, los de toda la vida y los que me llevo de la facultad por entender, no cuestionar y acompañar.

También quiero agradecer a mis compañeros de trabajo, quienes me ayudaron y apoyaron para concluir con mi proyecto.

Y, por último, quiero agradecer a Eliana, mi amiga y compañera de tesis, no solo por el esfuerzo y dedicación hacia este trabajo, sino por la compañía y las horas de estudio compartidas durante tantos años.

Eliana

Quiero agradecer a las personas que me apoyaron y acompañaron siempre en esta etapa de mi vida. Sin ellos no hubiera sido posible alcanzar esta meta. Gracias por brindarme confianza, entenderme y estar siempre presentes.

En primer lugar, a mi familia, principalmente a mis padres. Por brindarme la posibilidad de estudiar, acompañarme, guiarme, ser mi sostén y luchar a mi lado para cumplir mis sueños.

A mis amigos, los de siempre y los que surgieron en esta etapa que concluye. Por formar parte de mi vida y hacerla más linda.

Y, por último, gracias a María Laura, mi compañera en este proyecto y amiga que me dio la facultad. Por los años de estudio y dedicación, por formar parte de esta etapa y concluirla a mi lado. No ha sido fácil, pero hemos cumplido nuestro objetivo.

RESUMEN

El presente proyecto describe un estudio para la obtención de ácido acético, desde los aspectos económicos de instalar una planta de producción en Argentina, hasta la selección y descripción del proceso más adecuado.

El ácido acético es un compuesto orgánico líquido, incoloro, con un olor acre y un sabor claramente agrio. Es un ácido de origen natural y se encuentra en la mayoría de las frutas. Puede producirse en el ámbito industrial por distintas vías, biológicas mediante la fermentación bacteriana o sintética por distintos procesos. Dependiendo de esto y de su concentración, puede tener diferentes aplicaciones. Cuando se disuelve en agua se obtiene una mezcla muy conocida, llamada vinagre, utilizada como aditivo en alimentos desde hace mucho tiempo. El vinagre es una solución acuosa de ácido acético con una concentración aproximada del 5% en peso de este mismo.

El proceso que se describe en este proyecto es la carbonilación del metanol, patentado como CATIVA por la empresa británica BP Chemicals. Este representa más de la mitad de la producción mundial.

Ante el entorno expuesto, toma sentido realizar un análisis técnico-económico para la instalación de una planta de ácido acético, considerando para este fin un horizonte de 20 años.

Palabras clave: ácido acético, carbonilación del metanol, CATIVA.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 OBJETIVOS GENERALES.....	13
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	15
2.1 PRODUCTO	16
2.1.1 ÁCIDO ACÉTICO	16
2.2 MATERIAS PRIMAS	19
2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO.....	19
2.2.2 METANOL	23
2.3 CATALIZADOR	27
2.3.1 IRIDIO.....	27
2.4 PROMOTORES Y CO-CATALIZADORES.....	29
2.4.1 YODURO DE METILO.....	29
2.4.2 ACETATO DE METILO	32
2.4.3 RUTENIO.....	34
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE MERCADO	37
3.1 INTRODUCCIÓN.....	38
3.2 COMERCIO EXTERIOR EN ARGENTINA.....	38
3.3 INDUSTRIA QUÍMICA	39
3.4 ÁCIDO ACÉTICO.....	41
3.4.1 USOS	42
3.4.2 MERCADO MUNDIAL DEL ÁCIDO ACÉTICO	44
3.4.3 MERCADO NACIONAL.....	46
3.4.4 MERCADO EN PAÍSES LIMÍTROFES	52
3.4.5 PRECIO	54
3.5 MATERIAS PRIMAS	55
3.5.1 MONÓXIDO DE CARBONO.....	55
Mercado nacional	55
Precio	57
Principales proveedores.....	58
3.5.2 METANOL	59
Mercado mundial	59

Mercado nacional	62
Precio	67
3.6 INSUMOS	68
3.6.1 CATALIZADOR Y PROMOTOR	68
Precio	68
Principales proveedores	68
3.7 FODA	69
3.8 CONCLUSIONES	70
CAPÍTULO 4: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	72
4.1 INTRODUCCIÓN	73
4.2 MACROLOCALIZACIÓN	73
4.2.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA	74
4.2.2 CERCANÍA A ZONAS DE CONSUMO	74
4.3 MICROLOCALIZACIÓN	74
4.3.1 MATERIA PRIMA NACIONAL	75
4.3.2 MATERIA PRIMA IMPORTADA	76
4.3.3 CLIENTES	77
4.3.4 DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA	77
4.3.5 COSTO DE SERVICIOS E IMPUESTOS	79
4.4 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA	80
CAPÍTULO 5: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA	86
5.1 INTRODUCCIÓN	87
5.2 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ÓPTIMA	87
5.3 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ÓPTIMA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA ..	90
5.4 CAPACIDAD ADOPTADA	92
CAPÍTULO 6: SELECCIÓN DEL PROCESO	93
6.1 INTRODUCCIÓN	94
6.2 PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO	94
6.2.1 PROCESOS FERMENTATIVOS	94
Oxidación del etanol	94
Destilación de la madera	95
6.2.2 PROCESOS DE SÍNTESIS	97
Oxidación de acetaldehído	97
Oxidación de hidrocarburos en fase líquida	98
Carbonilación del metanol	99

6.3 ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROCESO.....	103
6.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO SELECCIONADO.....	105
6.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	113
CAPÍTULO 7: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	115
7.1 INTRODUCCIÓN.....	116
7.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.....	116
7.2.1 BALANCE DE MASA DEL PROCESO GLOBAL.....	117
7.2.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA POR ETAPAS.....	119
Preparación de reactivos.....	119
Zona de reacción.....	119
Zona de purificación.....	125
Zona de tratamiento de gases.....	129
7.3 RESUMEN.....	131
CAPÍTULO 8: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS.....	132
8.1 INTRODUCCIÓN.....	133
8.2 EQUIPOS.....	133
8.2.1 TANQUES.....	134
Tanque de metanol (T-100).....	134
Tanque de agua (T-200).....	137
Tanques de ácido acético (T-400).....	138
Tanque criogénico (T-300).....	140
8.2.2 COMPRESOR (K-01).....	142
8.2.3 REACTOR (R-01).....	144
Definición del régimen de reacción.....	145
Cinética de la reacción.....	147
Elección del tipo de reactor.....	152
Cálculo de las dimensiones del reactor.....	154
Agitador.....	158
Chaqueta de enfriamiento y serpentín.....	164
Alimentación de gas.....	165
Venteo.....	168
Válvula (CV-01).....	170
8.2.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR (E-01).....	170
8.2.5 TANQUE FLASH (S-01).....	172
8.2.6 TORRE DE DESTILACIÓN (C-01).....	173

Condensador (E-02).....	175
Reboiler (E-03).....	177
8.2.7 INTERCAMBIADOR DE CALOR (E-04).....	179
8.2.8 BOMBAS (P).....	180
CAPÍTULO 9: SERVICIOS AUXILIARES.....	189
9.1 INTRODUCCIÓN.....	190
9.2 SERVICIOS AUXILIARES.....	190
9.2.1 VAPOR.....	190
9.2.2 GAS NATURAL.....	193
9.2.3 AGUA.....	194
Agua de proceso.....	194
Agua de enfriamiento.....	194
Agua de calentamiento.....	201
Agua para consumo general.....	201
9.2.4 ENERGÍA ELÉCTRICA.....	208
CAPÍTULO 10: CONTROL DE CALIDAD.....	210
10.1 INTRODUCCIÓN.....	211
10.2 CONTROL DE MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.....	211
10.2.1 METANOL.....	212
10.2.2 MONÓXIDO DE CARBONO.....	213
10.2.3 AGUA.....	213
10.3 CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	216
10.4 CONTROL DEL PRODUCTO TERMINADO.....	221
10.5 PLANILLAS DE CONTROL.....	223
CAPÍTULO 11: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS.....	228
11.1 INTRODUCCIÓN.....	229
11.2 PUNTOS DE CONTROL.....	229
11.3 LÓGICA DE LAZOS EN EL CIRCUITO DE REACCIÓN.....	230
11.4 P&D.....	231
11.5 HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS.....	232
CAPÍTULO 12: OBRAS CIVILES.....	241
12.1 INTRODUCCIÓN.....	242
12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.....	242
12.3 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA.....	243
Sección I.....	246

Sección II y III.....	246
Sección IV.....	246
Sección V.....	247
Sección VI.....	247
Sección VII.....	247
Sección VIII.....	248
Sección IX.....	248
Sección X.....	248
Secciones adicionales.....	248
CAPÍTULO 13: INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	250
13.1 INTRODUCCIÓN.....	251
13.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	251
13.2.1 TABLEROS.....	251
13.2.2 TOMACORRIENTE.....	252
13.2.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA.....	252
13.2.4 GENERADOR DE EMERGENCIA.....	253
13.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	253
13.3.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN REQUERIDO PARA CADA SECTOR.....	253
13.3.2 ADOPCIÓN DE TIPOS DE LUMINARIAS PARA ILUMINACIÓN.....	254
13.3.3 DETERMINACIÓN DE LA LUMINARIA REQUERIDA.....	256
13.4 CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	259
13.5 CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA.....	260
CAPÍTULO 14: ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL.....	261
14.1 INTRODUCCIÓN.....	262
14.2 TIPO DE ORGANIZACIÓN.....	262
14.3 DISTRIBUCIÓN JERÁRQUICA.....	262
14.4 PERSONAL NECESARIO.....	263
14.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO.....	264
14.5.1 GERENCIA.....	264
14.5.2 PRODUCCIÓN.....	265
Supervisor.....	265
Encargado de turno y producción.....	265
Operario de producción.....	265
Recepción de materia prima.....	265

Mantenimiento y calderista	265
14.5.3 CALIDAD	265
Jefe de calidad.....	265
Auxiliar de laboratorio	266
14.5.4 LOGÍSTICA	266
Jefe de logística.....	266
14.5.5 ADMINISTRACIÓN.....	266
Jefe de administración.....	266
Secretario.....	266
14.5.6 RECURSOS HUMANOS	266
Jefe de recursos humanos.....	266
Asistente de recursos humanos.....	266
14.5.7 SEGURIDAD.....	267
14.5.8 HIGIENE	267
14.6 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LOS TURNOS	267
CAPÍTULO 15: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO	269
15.1 INTRODUCCIÓN.....	270
15.2 INVERSIÓN.....	270
15.2.1 ACTIVOS FIJOS.....	270
Terreno y obras civiles.....	271
Equipos industriales, auxiliares y accesorios.....	272
Muebles y útiles	274
Resumen de activos fijos	275
15.2.2 ACTIVOS NOMINALES	276
15.2.3 CAPITAL DE TRABAJO.....	277
15.2.4 INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO	278
15.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	279
15.3.1 COSTOS VARIABLES O DIRECTOS.....	279
Materias primas e insumos	279
Servicios auxiliares.....	280
Mano de obra directa	281
Resumen de costos variables o directos	282
15.3.2 COSTOS FIJOS O INDIRECTOS	283
Mano de obra indirecta.....	283
Seguros e impuestos	284

Servicio de limpieza	284
Mantenimiento.....	284
Gastos de administración y comercialización	284
Financiación de proyecto	284
Depreciaciones y amortizaciones	286
Resumen de costos indirectos de producción	287
15.3.3 COSTO DE PRODUCCIÓN UNITARIO PARA EL ÁCIDO ACÉTICO.....	288
15.4 INGRESOS POR VENTAS	289
15.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	290
15.5.1 ESTADO DE RESULTADOS	290
15.5.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)	294
15.5.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	294
15.5.4 PERÍODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN (PRI).....	295
15.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	296
15.6.1 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE VENTA	296
15.6.2 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE MANO DE OBRA	297
15.6.3 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA.....	297
15.7 CONCLUSIONES	298
CONCLUSIÓN FINAL.....	299
ANEXO 1: PLANOS.....	301
ANEXO 2: BIBLIOGRAFÍA	302

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto se realiza con el fin de evaluar la viabilidad técnico-económica de instalar una planta productora de ácido acético en Argentina, a partir del proceso de carbonilación de metanol, el cual es el más utilizado a nivel mundial, para abastecer al mercado nacional y exportar a países limítrofes, principalmente a Brasil, el mayor consumidor de este producto.

El ácido acético es un ácido carboxílico simple que consiste en el grupo metilo vinculado al grupo carboxilo, siendo este último el que le confiere las propiedades ácidas a la molécula.

Sus aplicaciones en la industria química van muy ligadas a sus ésteres, como son el acetato de vinilo o el acetato de celulosa (base para la fabricación de nylon, rayón, celofán, entre otros).

A nivel mundial, British Petroleum Chemicals y Celanese Corporation son los mayores productores de ácido acético. Esta última y otras multinacionales están impulsando nuevos procedimientos tecnológicos para formular nuevas líneas de productos para capturar una base de mercado más amplia.

En la actualidad no existe producción de ácido acético de alta pureza en Argentina y 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 este producto en el país, considerando un horizonte de 20 años.

1.2 OBJETIVOS GENERALES

- Determinar la viabilidad técnico-económica de un proyecto de inversión para la instalación de una planta de obtención de ácido acético en Argentina.
- Aplicar los conocimientos y habilidades profesionales del ingeniero químico adquiridos a lo largo de la carrera universitaria para poder llevar a cabo este proyecto final.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de mercado, y con este definir las características de los proveedores de materias primas, de los consumidores del producto terminado, y los mercados que estos mismos integran.
- Según la demanda insatisfecha del producto, anticipar su evolución a lo largo del tiempo y tomar decisiones acertadas que tengan que ver con la capacidad a instalar y la localización de la planta.

- Evaluar la ubicación óptima de la planta de producción teniendo en cuenta la proximidad a proveedores y clientes.
- Diseñar los equipos e instalaciones industriales necesarias para llevar a cabo el proceso seleccionado, utilizando los métodos de ingeniería básica y de detalle.
- Efectuar los balances de masa y energía correspondiente del proceso, incluyendo los servicios auxiliares.
- Realizar la automatización del proceso, que garantice la seguridad y calidad del producto.
- Determinar la distribución de las instalaciones en la planta mediante la realización de planos que presenten las dimensiones, ubicaciones específicas y generales de cada una.
- Analizar mediante un estudio económico y financiero la factibilidad de llevar a cabo este proyecto.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

2.1 PRODUCTO

2.1.1 ÁCIDO ACÉTICO

El ácido acético es un ácido carboxílico simple que consiste en el grupo metilo (CH_3) vinculado al grupo carboxilo (COOH), siendo este último el que le confiere las propiedades ácidas a la molécula. También puede considerarse como el grupo acetilo (CH_3CO) vinculado a un grupo hidroxilo (OH).

Es un compuesto orgánico de dos átomos de carbono, se puede encontrar en forma de ion acetato. Otros nombres comunes de ácido acético incluyen ácido vinílico, etílico, metanocarboxílico o, según la IUPAC, ácido etanoico.

Su estructura química puede escribirse como se indica en la figura 2.1. Su fórmula química semi desarrollada es CH_3COOH . Se trata de un ácido débil, común como metabolito biológico y como sustrato de las enzimas acetiltransferasas (Raffino, 2020).

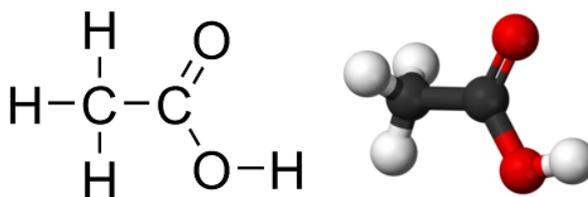


Figura 2.1: Estructura química del ácido acético

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas

El ácido acético puro es un líquido incoloro, corrosivo, de masa molar 60 g/mol y con un olor fuerte característico (a vinagre, umbral de olor: 0,08 - 0,13 ppm). Su densidad es de 1,05 g/ml. Su punto de ebullición es de 118,05°C y el de fusión de 16,6°C. Tiene un sabor ácido característico y es muy miscible en agua.

El ácido acético se designa como un compuesto orgánico volátil. Además, tiene la capacidad de absorber la humedad, por lo que se clasifica como higroscópico. Su presión de vapor es de 1,47 kPa a 20°C. El punto de inflamación 39 °C y el límite de explosividad en el rango 6,0% - 17% (Ácido Acético).

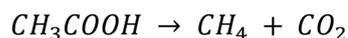
Propiedades químicas

Es soluble en agua, alcohol, éter, glicerina, acetona, benceno, y tetracloruro de carbono e insoluble en sulfuro de carbono. Buen disolvente de varios compuestos orgánicos y de algunos inorgánicos como el azufre y el fósforo.

Es un anhídrido que cristaliza a 17°C tomando un aspecto parecido al hielo, conocido como ácido acético glacial. Tiene un momento dipolar de 1.74 D.

Como ácido carboxílico, forma derivados típicos como cloruros ácidos, anhídridos, ésteres y amidas. Se puede reducir (eliminación de oxígeno o adición de hidrógeno) para dar etanol.

Cuando se calienta por encima de los 440°C, se descompone para producir dióxido de carbono y metano, según la reacción:



Puede reaccionar poderosamente con bases o ácidos, con un pKa de 4.74. En altas concentraciones también corroe el metal y degrada los plásticos y el caucho, por ende, es un material corrosivo e inflamable, lo cual hace delicado su manejo, y tóxico en ciertas concentraciones, ya que es capaz de irritar gravemente la piel, los ojos, y el tracto digestivo por ingestión (20-50 gramos o 60-70 ml de ácido concentrado puede ser mortal) o respiratorio (por inhalación). No hay estudios de carcinogenicidad. La aplicación de ácido acético a la piel de ratones estimuló la producción de hiperplasia epidérmica, lo que sugiere que pueda ser un promotor de tumor muy débil.

Su toxicidad depende del proceso de fabricación, los otros productos químicos que componen el compuesto y el grado de dilución (Raffino, 2020).

En la tabla 2.1 se resumen las propiedades y en la tabla 2.2 la toxicidad.

Tabla 2.1: Propiedades físicas y químicas del ácido acético

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas	
Apariencia	Líquido incoloro
Densidad	1049 kg/m ³
Masa molar	60 g/mol
Punto de fusión	17 °C
Punto de ebullición	118 °C
Propiedades químicas	
Acidez	4.74 pKa
Momento dipolar	1.74 D

Tabla 2.2: Peligrosidad y toxicidad del ácido acético

Fuente: Wikipedia

Peligrosidad	
SGA	
NFPA 704	
Frases H	H226, H314
Frases P	P280, P305+P351+P338, P310

Usos y aplicaciones

El ácido acético tiene numerosos usos en múltiples áreas. Comúnmente sirve como reactivo químico en laboratorios, pero también a una escala industrial, las empresas químicas, lo utilizan para sintetizar otros productos químicos.

Es un reactivo muy importante, utilizado principalmente en:

- La producción acetato de vinilo.
- Acetato de celulosa para película fotográfica.
- Acetato de polivinilo para pegamento de madera, así como fibras y telas sintéticas.
- Industria del petróleo y se usa para chapar y tratar superficies, como en automóviles.
- Es un componente de los agentes anticongelantes y deshielo.
- Se usa en agentes para el control de plagas, como los herbicidas e insecticidas.
- Se utiliza en la fabricación de artículos plásticos como botellas y otros materiales sintéticos.
- La fabricación de tintes, pigmentos y aditivos para pinturas y recubrimientos
- Disolvente limpiador y desengrasante.
- En concentraciones elevadas, en la industria farmacéutica.
- En medicina, existen usos interesantes, algunos de los cuales han perdurado durante siglos. Además, es un ingrediente de las soluciones para eliminar verrugas. También se puede encontrar en algunas gotas para los oídos, debido a que posee beneficios antimicóticos y antibacterianos.
- En la industria alimentaria, a concentraciones más bajas, se utiliza como aditivo alimentario, saborizante y conservante. Regula la acidez de los alimentos.
- En concentraciones bajas, su forma diluida prevalece en algunos aerosoles de limpieza de ventanas y otros productos de limpieza para el hogar.

- En detergentes para lavar ropa y lavaplatos también suelen llevar este ácido.

En conclusión, este ácido orgánico se puede preparar en diferentes concentraciones. En su estado puro es extremadamente corrosivo y puede ser peligroso, lo que requiere precauciones especiales de protección.

El vinagre, por el contrario, generalmente tiene una concentración de ácido acético de alrededor del cinco por ciento.

Métodos de obtención

Se obtiene por síntesis y por fermentación bacteriana, aportando esta última forma un 10% de la producción mundial. El 75% obtenido en la industria química es preparado por carbonilación del metanol, otros métodos alternativos aportan el resto.

Las frutas fermentadas producen ácido acético de forma natural como así también algunas bacterias lo excretan.

Este ácido ocupa dentro de la química orgánica un lugar preponderante, similar al que posee el ácido sulfúrico en la industria química pesada.

Se lo suele obtener mediante tres métodos distintos:

- Carbonilación del metanol ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$).
- Oxidación de acetaldehído ($2\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH}$), segundo método más importante de fabricación.
- Fermentación oxidativa ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$) o fermentación anaeróbica ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COOH}$).

2.2 MATERIAS PRIMAS

2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono es un gas utilizado como materia prima para la producción de productos químicos que van desde el ácido acético hasta los policarbonatos o los productos intermedios del poliuretano. Una mezcla variable de monóxido de carbono e hidrógeno, también conocida como gas de síntesis, se utiliza en la producción de los alcoholes y los aldehídos.

Es una materia prima económica y de gran utilidad para la industria química. Se obtiene por combustión del carbón, gas natural o hidrocarburos procedentes del petróleo.

Los sectores industriales que mayor cantidad de CO emiten a la atmósfera son:

- Industria metalurgia, en la fundición de aceros.
- Industrias de fabricación de papel.
- Plantas productoras de formaldehído.

A continuación, se muestra en la figura 2.2 su fórmula química y su estructura, se observa que existe la unión de un átomo de carbono y otro de oxígeno mediante un enlace covalente.

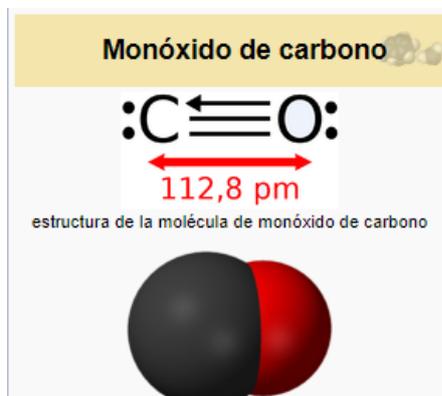


Figura 2.2: Generalidades de la molécula de CO

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas y químicas

El monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro, insípido, tóxico y muy inflamable, aunque no es irritante, por lo que su exposición puede pasar completamente desapercibida. Es menos pesado que el aire, por lo que se acumula en las zonas altas de la atmósfera.

Las siguientes tablas proporcionan información acerca de las características más importantes del monóxido de carbono. En la tabla 2.3 se muestran las propiedades físicas y en la tabla 2.4 las químicas.

Tabla 2.3: Propiedades físicas del CO

Fuente: Elaboración propia

Fórmula química	CO
Masa molecular	28 g/mol
Punto de ebullición	-191°C
Punto de fusión	-205°C
Densidad relativa (aire=1)	0.97
Temperatura de autoignición	605°C
Límite de explosividad (%v/v en el aire)	12.5-74.2

Tabla 2.4: Propiedades químicas y termoquímicas del CO

Fuente: Wikipedia

Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	0.0026 g en 100 g de agua
Termoquímica	
$\Delta_f H^\circ$ gas	-110.53 kJ/mol
ΔS° gas, 1 bar	197.66 Jmol ⁻¹ K

Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente

El CO es una sustancia que se genera fundamentalmente por la combustión incompleta de aceites, maderas y carbón, existiendo un gran riesgo de inhalación que, en pequeñas concentraciones, puede dar lugar a confusión mental, vértigo, dolor de cabeza, náuseas, debilidad y pérdida del conocimiento. Si se produce una exposición prolongada o continua, pueden verse afectados el sistema nervioso y el sistema cardiovascular, dando lugar a alteraciones neurológicas y cardíacas, esto sucede porque tiene una afinidad mucho más alta que el oxígeno por la hemoglobina de la sangre, formando un compuesto denominado carboxihemoglobina, que impide el transporte de oxígeno a las células, y por tanto el organismo no puede obtener la energía para sobrevivir.

Las mujeres embarazadas y sus bebés, los niños pequeños, las personas mayores y las que sufren de anemia, problemas del corazón o respiratorios pueden ser mucho más sensibles a esta sustancia, por lo que se debe extremar su exposición a la misma. En la Tabla 2.5 se muestran algunas de estas afecciones según la vía de contacto.

Tabla 2.5: Peligrosidad y riesgos del CO

Fuente: Wikipedia

Peligrosidad	
NFPA 704	
Temperatura de autoignición	882 K (609 °C)
Frases H	H331 , H220 , H360 , H372 , H280
Límites de explosividad	12.5% - 74.0% ²

En cuanto a su impacto en el medio ambiente, se trata de una sustancia extremadamente inflamable que reacciona vigorosamente con oxígeno, acetileno, cloro, flúor y óxidos nitrosos, pudiendo provocar humos tóxicos e incendios si existen focos de calentamiento. Es un precursor de ozono, es decir, al combinarse con otros contaminantes atmosféricos forma ozono troposférico (próximo a la superficie terrestre) que provoca quemaduras importantes en el ser humano y es dañino para la flora y fauna autóctona.

Usos y aplicaciones

Los usos del monóxido de carbono se pueden resumir en los siguientes apartados:

- Químico: En la fabricación de una variedad de químicos como ácidos, ésteres y alcoholes. El monóxido de carbono también produce y regenera catalizadores como el carbonilo de níquel.
- Minería y Metalurgia: Para la reducción de mineral y en la fabricación de carbonilos metálicos.

Puede utilizarse en todas las reacciones presentadas en la figura 2.3.

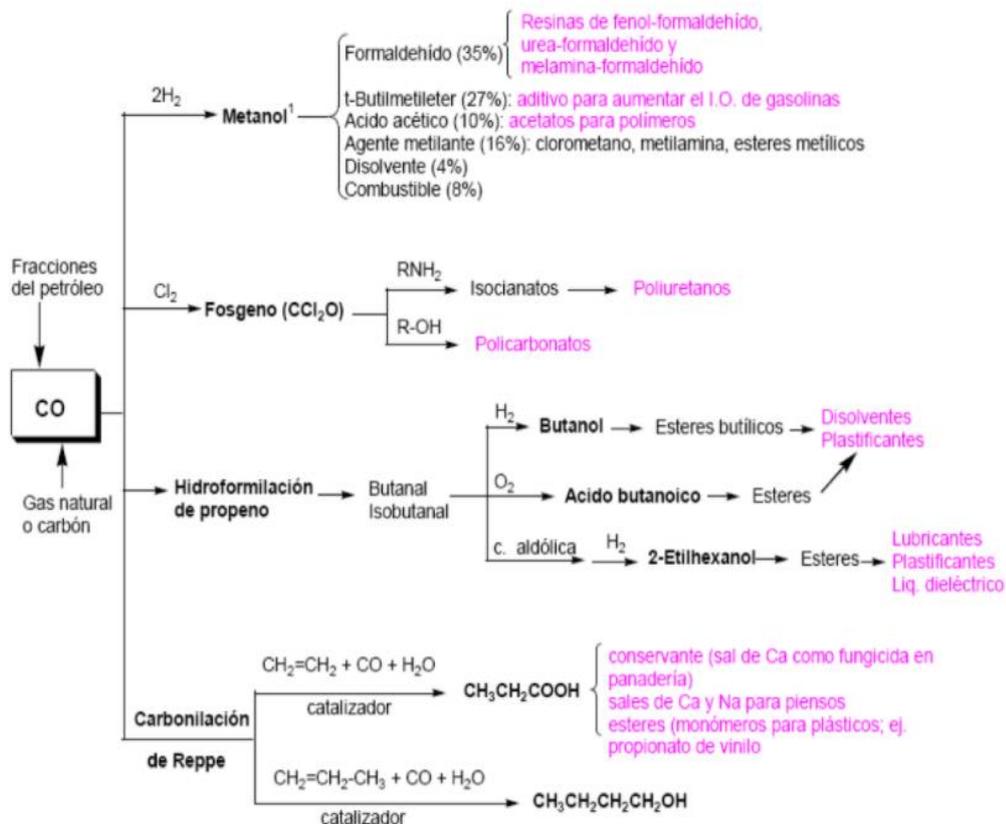


Figura 2.3: Reacciones de las que participa el monóxido de carbono

Fuente: www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-04.php

Es un compuesto industrial muy importante. En forma de gas de producción, se utiliza ampliamente como combustible en operaciones industriales. El gas también es un agente reductor eficaz. Por ejemplo, cuando el monóxido de carbono pasa sobre óxidos de hierro calientes, los óxidos se reducen a hierro metálico, mientras que el monóxido de carbono se oxida a dióxido de carbono.

Otro uso más del gas está en el proceso de Fischer-Tropsch para la fabricación de hidrocarburos y sus derivados de oxígeno a partir de una combinación de hidrógeno y monóxido de carbono. El monóxido de carbono también reacciona con ciertos metales, especialmente hierro, cobalto y níquel, para formar compuestos conocidos como carbonilos. Algunos de los carbonilos tienen propiedades físicas y químicas inusuales que los hacen útiles en la industria. El tetracarbonilo de níquel altamente tóxico, por ejemplo, se usa para producir revestimientos y polvos de níquel muy puro.

Métodos de obtención

Se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, queroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua o calefactores y los aparatos domésticos que queman combustible, como las estufas u hornallas de la cocina o los calentadores a queroseno, también pueden producirlo si no están funcionando bien. Los vehículos con el motor encendido lo expulsan. Grandes cantidades de CO se forman como subproducto durante los procesos oxidativos para la obtención de productos químicos, lo que hace necesaria la purificación de los gases residuales.

Los métodos comerciales para producir monóxido de carbono a menudo dependen de la oxidación directa del carbono en condiciones controladas. Por ejemplo, el gas de producción se fabrica soplando aire a través de coque muy caliente (carbono casi puro), el producto final consta de tres gases, monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno en una proporción de 6 a 1 a 18. El gas de agua se produce mediante un proceso similar, pasando vapor sobre coque caliente. Los productos en este caso son hidrógeno (50%), monóxido de carbono (40%), dióxido de carbono (5%) y otros gases (5%). También están disponibles otros métodos de preparación. Uno de los más utilizados consiste en la oxidación parcial de hidrocarburos obtenidos a partir del gas natural.

2.2.2 METANOL

Alcohol que contiene un átomo de carbono unido a tres átomos de hidrogeno en su estructura, además del grupo hidroxilo (-OH). Es un compuesto orgánico, cuyo nombre común es alcohol

metílico, debido a que es un radical de alquilo de sólo un átomo de carbono. Metanol es el nombre IUPAC. Antiguamente se conocía como alcohol de madera.

Su fórmula química molecular es CH_4O y su fórmula desarrollada es CH_3OH . Es el alcohol más simple de la serie homologa de los alcoholes y la configuración de sus átomos son sp_3 . En la figura 2.3 se representa su molécula.

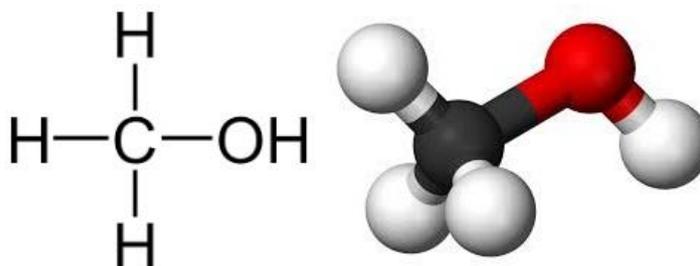


Figura 2.4: Estructura química del metanol

Fuente: Wikipedia

El metanol es considerado como un producto petroquímico básico, a partir del cual se obtienen varios productos secundarios.

Propiedades físicas y químicas

Es un líquido incoloro, transparente, volátil, con aroma y sabor semejantes a los del etanol. Es bastante inflamable y al igual que el alcohol etílico posee propiedades desinfectantes y antisépticas.

Debido a que es un alcohol primario con un solo átomo de carbono, el grupo hidroxilo le da un carácter polar a la molécula, lo que permite la formación de puentes de hidrogeno con otras sustancias polares.

El metanol y el agua tienen propiedades semejantes debido a que ambos pueden formar puente de hidrógeno.

El carácter polar del agua hace que el metanol sea totalmente miscible en ella; esto suele ocurrir con los alcoholes que tienen menos de 4 átomos de carbono (metanol, etanol, propanol).

Igualmente, el metanol es muy buen solvente de sustancias polares, pudiéndose disolver sustancias iónicas como el cloruro de sodio en cantidades apreciables.

Algunas propiedades del metanol, en condiciones normales de presión y temperatura, se listan en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Propiedades del metanol

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas	
Apariencia	Líquido incoloro
Densidad	791.8 kg/m ³
Punto de fusión	-97.16 °C
Punto de ebullición	64.7 °C
Viscosidad	0.6 mPa
Propiedades químicas	
Acidez	15.5 pKa
Solubilidad en agua	Totalmente miscible
Momento dipolar	1.69 D

De los puntos de ebullición y de fusión se deduce que el metanol es un líquido volátil a temperatura y presión atmosféricas.

De igual manera que el protón del hidroxilo del agua, el protón del hidroxilo del metanol es débilmente ácido. Se puede afirmar que la acidez del metanol es equivalente a la del agua. Una reacción característica del alcohol metílico es la formación de metóxido de sodio.

El metanol es un compuesto orgánico muy importante ya que el grupo hidroxilo se convierte con facilidad en cualquier otro grupo funcional. Así el metanol se oxida para obtener formaldehído (formol) y ácido fórmico, mientras que por su reducción se obtiene metano. Otras reacciones son igualmente importantes (Muller Carlos, 2017).

Toxicidad y peligrosidad

Es imposible diferenciarlo del alcohol etílico basándose exclusivamente en su sabor y olor. La ingestión de metanol en lugar de etanol puede ser secundario a la ingesta de bebidas alcohólicas de origen desconocido. Se absorbe rápidamente en el tracto digestivo. La concentración máxima en sangre se alcanza a los 30-60 min después del consumo. Se metaboliza en el hígado, más lentamente que el etanol, por la actividad de la deshidrogenasa, transformándolo a formaldehído y ácido fórmico. Ambos metabolitos causan acidosis metabólica grave y daños orgánicos. La acidosis que se desarrolla es incrementada por la acumulación de ácido láctico debido a una hipoxia celular secundaria. La dosis letal de metanol es de 0,5-1 ml/kg. En la siguiente tabla se muestran dichas características (Muller Carlos, 2017).

Tabla 2.7: Peligrosidad y riesgos del metanol

Fuente: Wikipedia

Peligrosidad	
Punto de inflamabilidad	12 °C
Temperatura de autoignición	385 °C
Número RTECS	PC1400000

Usos y aplicaciones

El metanol tiene infinidad de usos y aplicaciones. Se emplea como combustible, disolvente orgánico de esencias y resinas naturales, en la síntesis de colorantes y de productos metilados, así como en la fabricación de plásticos, colas y barnices.

También se utiliza como anticongelante, carburante y antidetonante en los vehículos.

El uso de metanol como combustible comenzó a tener auge durante la crisis del petróleo alrededor del año 1970, ya que representaba una alternativa viable debido a su disponibilidad, bajo costo y los beneficios medioambientales.

También se utiliza en la producción de biodiesel, combustible alternativo de combustión limpia elaborado a partir de elementos naturales y biodegradables.

En la actualidad se está utilizando cada vez más en el tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales contienen altos niveles de amoníaco. Mediante un proceso de degradación de bacterias, este amoníaco es convertido en nitrato.

Se utiliza en la manufactura del formaldehído, del ácido acético y de una variedad de productos químicos intermedios que forman la base de una gran cantidad de derivados secundarios como son los clorometanos, el metacrilato de metilo, las metilaminas y el dimetiltereftalato.

Se emplea en la producción de MTBE (metil t-butil éter), aditivo para mejorar la combustión de combustibles sin plomo, que se mezcla con gasolina para reducir la cantidad de emisiones nocivas de los vehículos de combustión.

Otros usos incluyen: cristalización, precipitación y limpieza de sales haloide alcalinas metálicas, precipitación de resinas de poliestireno y cloropreno, limpieza y secado de fracciones de carbón en polvo, limpieza de superficies metálicas, resinas de intercambio iónico, extracción de humedad y resinas de maderas y agente extractor en la industria petrolera, química y alimenticia (Muller Carlos, 2017).

Métodos de obtención

Los antiguos egipcios obtenían el metanol, mediante la pirolisis de la madera. Alrededor del año 1661 Robert Boyle, logro aislar el metanol puro, mediante la destilación de madera de boj. Más tarde en 1834, los químicos franceses Jean-Baptiste Dumas y Eugene Peligot determinaron su composición.

En 1923 los químicos alemanes Alwin Mittasch y Pier Mathias, trabajando para la empresa química BASF, desarrollaron un medio para convertir gas de síntesis (CO , CO_2 y H_2) en metanol. La patente de su síntesis fue expuesta el 12 de enero 1926. Y es hasta el día de hoy la referencia más precisa para sintetizar el metanol a partir de gas de síntesis.

Este proceso requiere un catalizador de óxido de cromo y manganeso, presiones elevadas (entre 50 y 220 atm) y temperaturas de hasta 450°C (Muller Carlos, 2017).

2.3 CATALIZADOR

2.3.1 IRIDIO

El iridio es uno de los elementos más raros y de menos abundancia en toda la corteza terrestre. Además, se conoce por ser el elemento más denso de la tabla periódica, después del osmio.

Este elemento fue descubierto en 1803 por el químico Smithson Tennant, su obtención resultó como un subproducto del platino natural, elemento con el cual tiene características en común. El iridio es un metal que suele encontrarse en la naturaleza en estado sólido bajo temperaturas y presiones normales, pero nunca en estado puro.

Debido a su coloración y propiedades, el iridio puede confundirse con otros metales.

En estado puro presenta una coloración blanca-plateada, es el metal con mayor resistencia a la corrosión.

Este elemento se obtiene como un subproducto de la fabricación de elementos como el níquel y el cobre.

Pocos países cuentan con reservas de Iridio, siendo, Sudáfrica y Rusia dos de los países con mayor producción, aunque otras naciones con producción minera de platino y níquel también lo hacen en pequeñas cantidades.

Propiedades físicas y químicas

En la tabla 2.8 se resumen algunas de las propiedades más importantes.

Su punto de ebullición se sitúa a los 4428°C , y su punto de fusión a los 2466°C , este último, al ser tan elevado, lo convierte en el metal con mejores propiedades mecánicas al estar sometido a temperaturas superiores a los 1600°C . Físicamente, es un buen conductor térmico y eléctrico. Su densidad es de 22560 kg/m^3 . Tiene un índice de dureza de 2.7 en la escala de

Mohs y posee el segundo módulo de elasticidad más elevado de todos los metales. El iridio es uno de los metales con mejor resistencia a la corrosión, siendo resistente a los ácidos y el agua regia. El agua regia es una disolución altamente corrosiva y fumante, de color amarillo, formada por la mezcla de ácido nítrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado, en una proporción de una a tres partes en volumen. Es una de las pocas mezclas capaces de disolver el oro, el platino y el resto de los metales. Fue llamada de esa forma porque puede disolver aquellos llamados metales regios, reales, o metales nobles. Es utilizada en algunos procedimientos analíticos. El agua regia no es muy estable, por lo que debe ser preparada justo antes de ser utilizada.

Tabla 2.8: Propiedades del Iridio

Fuente: Wikipedia

Información general	
Nombre, símbolo, número	Iridio, Ir, 77
Serie química	Metales de transición
Grupo, período, bloque	9,6,d
Masa atómica	192.217 u
Propiedades atómicas	
Electronegatividad	2.2 (escala de Pauling)
Radio atómico	136 pm (radio de Bohr)
Radio covalente	141±6 pm
Propiedades físicas	
Estado ordinario	Sólido
Densidad	22560 kg/m ³
Punto de fusión	2466°C
Punto de ebullición	4428°C
Entalpía de vaporización	563 kJ/mol
Entalpía de fusión	41.12 kJ/mol

Usos y aplicaciones

El iridio es utilizado en la fabricación de aeronaves, ya que se emplean aleaciones de iridio para fabricar piezas de larga duración y elevada resistencia a las temperaturas, para fabricar contactos eléctricos para bujías.

Algunas piezas de joyería utilizan iridio como material de fabricación.

En el campo de la medicina, para realizar procedimientos de braquiterapia, que es un tratamiento para el cáncer.

En la industria como catalizador para la producción de ácido nítrico y acético.

Gracias a su elevada dureza, es empleado en aleaciones junto al platino para aportar dureza y resistencia a la corrosión. Durante la fabricación de crisoles, hornos industriales y otras piezas que deben trabajar de manera óptima al estar expuestos a altas temperaturas.

Métodos de obtención

Normalmente es obtenido como subproducto de la minería de níquel, sin embargo, exploraciones mineras son destinadas a explorar sitios de impacto conocidos en busca del metal. Se han registrado aleaciones naturales con una presencia de iridio mayor al 50%.

Existen varios métodos, dependiendo del proceso de separación y la composición de la mezcla. Dos métodos muy usados son fundir con peróxido de sodio y luego disolver en agua regia, el otro consiste en disolver en una mezcla de cloro y ácido clorhídrico.

Después de que se disuelva, el iridio se separa de otros metales del grupo platino por la precipitación de $(\text{NH}_4)_2\text{IrCl}_6$ o mediante la extracción de IrCl con aminas orgánicas.

El primer método es similar al procedimiento de Tennant y Wollaston utilizado para su separación. El segundo método se puede planificar como una continua extracción líquido-líquido y por lo tanto más adecuada para la producción a escala industrial. En cualquier caso, el producto se reduce mediante el uso de hidrógeno, produciendo el metal en forma de polvo o esponja que se puede tratar con técnicas de metalurgia de polvos.

2.4 PROMOTORES Y CO-CATALIZADORES

2.4.1 YODURO DE METILO

El yoduro de metilo, también llamado yodo metano, es un líquido incoloro, denso y volátil. En términos de estructura química, se relaciona con el metano por sustitución de un átomo de hidrógeno por un átomo de yodo.

Su fórmula molecular es CH_3I , esta se muestra en la figura 2.4. Es de la familia de los haloalcanos y reacciona con los metales alcalinos y alcalinotérreos. Es utilizado en síntesis orgánica, como una fuente de grupos metilo para la metilación (introducción de un grupo metilo).

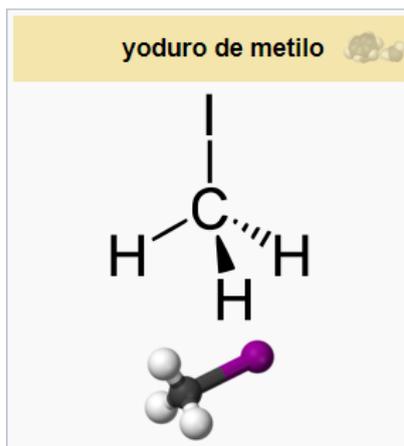


Figura 2.5: Estructura molecular del yoduro de metilo

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas y químicas

En condiciones normales de presión y temperatura es un líquido incoloro, con un olor etílico. Tiene un punto de fusión de -66°C y de ebullición de 42°C y su masa molar es de 141.93 g/mol .

A 25°C presenta una presión de vapor de 540 hPa y una densidad de $2,28\text{ g/cm}^3$.

Se descompone cuando se expone a la luz. Riesgo de explosión con fosfinas, sodio, soluciones fuerte de hidróxidos alcalinos, potasio, calcio, oxígeno y reacciona exotermicamente con agentes oxidantes fuertes, agentes reductores y cloritos.

En la tabla 2.9 se muestran algunas de estas propiedades

Tabla 2.9: Propiedades del yoduro de metilo

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas	
Apariencia	Líquido incoloro
Densidad	2280 kg/m^3
Punto de fusión	$-66\text{ }^{\circ}\text{C}$
Punto de ebullición	$42\text{ }^{\circ}\text{C}$
Índice de refracción	1.530-1.531
Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	14g/l

Toxicidad y peligrosidad

Indicaciones de peligro: tóxico en caso de ingestión o inhalación, nocivo en contacto con la piel, provoca irritación cutánea, ocular y de las vías respiratorias.

Se ha demostrado en estudios con animales que es carcinógeno. La exposición a largo plazo de las personas al yoduro de metilo por inhalación puede deprimir el sistema nervioso central (SNC), irritar los pulmones, la piel y afectar a los riñones. Se ha informado de lesiones severas, prolongadas o permanentes del sistema nervioso.

En la Figura 2.5 se muestran los pictogramas de peligro asociados.



Figura 2.6: Pictogramas de peligro del yoduro de metilo

Fuente: Wikipedia

En cuanto al medio ambiente, hay que evitar desecharlo en las aguas ya que es muy soluble y tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. En los suelos no es muy persistente ni móvil y es volátil.

Usos y aplicaciones

Algunos países, como Estados Unidos de América, Nueva Zelanda y Japón, han autorizado el uso de yoduro de metilo como insecticida para fumigación. Se utiliza comúnmente como tratamiento para el suelo antes de la plantación en una amplia variedad de cultivos, como fresas, tomates y tubérculos. Puede emplearse para controlar los hongos, las hierbas y los insectos.

Como agente metilante, dado que es un compuesto químico líquido, es más fácil de manejar que las alternativas de metilación con gas. También se utiliza para la alquilación de átomos de carbono, oxígeno, azufre, nitrógeno, y fósforo.

Métodos de obtención

Se emite de manera natural en las plantaciones de arroz (en pequeñas cantidades), también se produce en grandes cantidades, estimándose 214.000 toneladas anuales, por las algas en los ecosistemas acuáticos y, en menor cantidad en la tierra, debido a hongos terrestres y bacterias.

Industrialmente existen varios métodos de producción de yoduro de metilo con fines comerciales, como son la reacción entre yodo, metanol y fósforo rojo; entre sulfato de dimetilo, yoduro de potasio y carbonato cálcico; o reaccionando metanol con yoduro de potasio mediante catálisis ácida.

Al calentarlo, el yoduro de metilo produce dióxido de carbono, monóxido de carbono y yoduro de hidrógeno.

2.4.2 ACETATO DE METILO

El acetato de metilo también es conocido como éster metílico. Es un producto químico líquido, inflamable y tiene olor muy parecido a los quitaesmaltes para las uñas. Su fórmula es $C_3H_6O_2$ y a continuación en la figura se representa su fórmula desarrollada.

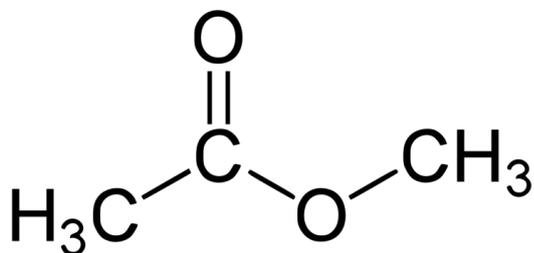


Figura 2.7: Fórmula desarrollada de acetato de metilo

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas y químicas

Sus características y propiedades son muy parecidas a los del acetato de etilo. Es utilizado en algunas reacciones químicas, extracciones y para la creación de multitud de productos. En las tablas a continuación se especifican las propiedades del compuesto de interés (Salud, 2008).

Tabla 2.10: Propiedades del acetato de metilo

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas	
Apariencia	Líquido
Densidad	932 kg/m ³
Punto de fusión	-98°C
Punto de ebullición	57 °C
Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	25g/l

Toxicidad y efectos en la salud

En cuanto a la enfermedad y/o secuelas que puede generar al inhalarse dicho compuesto se encuentran entre los más comunes, la taquicardia. Mientras que si la exposición es aguda puede provocar visión borrosa o doble, disminución del campo de visión, entre otros. A continuación, se deja detallado en una tabla la toxicidad, riesgo y peligros.

Tabla 2.11: Toxicidad y peligro del acetato de metilo

Fuente: Wikipedia

Peligrosidad	
NFPA 704	
Frases H	H225 H319 H336
Limites de explosividad	3.1%-16%

Usos y aplicaciones

El acetato de metilo es un buen disolvente, de modo tal que su uso principal es desarrollarse como tal en diferentes tipos de industrias, ya sea de pinturas, de plásticos o en perfumería, entre otras muchas. Por ejemplo:

- Se utiliza en la fabricación de plásticos, rayón o celofán.
- Se usa en laboratorios en reacciones químicas y para extracciones.
- Se usa en apicultura para el control de las larvas y huevos.
- Como disolvente en colas, barnices y pinturas industriales.
- Como disolvente en pinturas para automoción.

- Como disolvente de resinas.
- Como agente desengrasante y de limpieza de metales.
- Como solvente de la nitrocelulosa y de la acetil celulosa.
- Como solución fijadora para preservar tejidos.
- También se usa medicina y en perfumería.

2.4.3 RUTENIO

El rutenio es un elemento químico que se encuentra en la tabla periódica, cuyo número atómico es 44 y se encuentra situado en el grupo 8. Su símbolo es “Ru”.

Es un metal de transición y poco abundante, suele encontrarse en minas de platino y se emplea como catalizador en algunas aleaciones de platino.



Figura 2.8: Barra de rutenio

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas y químicas

El rutenio es un metal duro pero frágil; se puede presentar en cuatro formas cristalinas diferentes. Se disuelve en bases fundidas, y no es atacado por ácidos a temperatura ambiente, pero a altas temperaturas reacciona con halógenos y con hidróxidos. Los estados de oxidación más comunes son +2, +3 y +4.

En la tabla siguiente se indican las propiedades físicas del este metal.

Tabla 2.12: Propiedades físicas del rutenio

Fuente: Wikipedia

Propiedades físicas	
Apariencia	Sólido
Densidad	12370 kg/m ³
Punto de fusión	2334 °C
Punto de ebullición	4150 °C
Presión de vapor	1.4 Pa
Entalpía de vaporización	595 kJ/mol
Entalpía de fusión	24 kJ/mol
Varios	
Conductividad térmica	117 W/(K*m)
Estructura cristalina	Hexagonal
Calor específico	238 J/kg*K

Toxicidad y efectos en la salud

Los compuestos del rutenio se encuentran muy raramente sin embargo todos los compuestos del rutenio deben ser considerados como altamente tóxicos y como carcinógenos. Además, estos compuestos manchan mucho la piel y si se ingiere es retenido fuertemente en los huesos.

El rutenio 106 es uno de los radionucleidos implicados en las pruebas atmosféricas de armas nucleares, que empezó en 1945, con una prueba estadounidense, y terminó en 1980 con una prueba china. Está entre los radionucleidos de larga vida que han producido y continuarán produciendo aumentos de riesgo de cáncer durante las décadas y siglos venideros.

Usos y aplicaciones

- Debido a su gran efectividad para endurecer al paladio y al platino, se emplea en las aleaciones de estos metales que se usan en contactos eléctricos con una alta resistencia al desgaste.
- Se incorpora al titanio como elemento de aleación para aumentar la resistencia a la corrosión.
- Al igual que otros elementos del grupo del platino, se puede emplear como catalizador en distintos procesos. El sulfuro de hidrógeno, H₂S, se puede descomponer por la luz empleando óxido de rutenio en una suspensión acuosa de partículas de CdS. Esto

puede ser útil en la eliminación de H_2S de las refinerías de petróleo y de otros procesos industriales.

- Recientemente, se ha encontrado que algunos compuestos organometálicos de rutenio tienen actividad antitumoral.

Métodos de obtención

El rutenio se encuentra generalmente junto con otros metales del grupo del platino, en los Urales y en América, formando aleaciones. También puede encontrarse en algunos minerales que no se comercializan como la “laurita, anduoita”, entre otras.

Al formar aleaciones, estos elementos están juntos y para separarlos se utilizan una serie de procesos químicos distintos según cómo se encuentren, aprovechando las diferencias químicas existentes entre cada elemento.

Para el caso particular de que el rutenio se encuentre en minerales, luego de procesar estos minerales con agua regia, se separa el osmio y el rutenio que no son solubles en dicha mezcla. Y el rutenio, a su vez, se separa por reducción con alcohol como óxido tetravalente, que posteriormente se reduce con hidrógeno. Finalmente se purifica por destilación el tetróxido de rutenio a $100^{\circ}C$.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE MERCADO

3.1 INTRODUCCIÓN

Se procede a realizar el estudio de mercado del ácido acético, comenzando con una breve reseña del comercio exterior en Argentina, luego centralizando a la industria química, seguido por definir el mercado mundial y nacional del producto, el cual abarca tanto los distintos usos como las industrias más significativas que lo producen y comercializan, las cantidades importadas y exportadas, el consumo aparente, la demanda insatisfecha y el costo del producto. Todo este análisis permite determinar la capacidad de producción, que representa el punto de partida del proyecto.

En la segunda parte del análisis se determinan costos, disponibilidad y proveedores de las materias primas más significativas, además de los subproductos formados.

Para finalizar y a modo de conclusión, se realiza un estudio FODA.

3.2 COMERCIO EXTERIOR EN ARGENTINA

De acuerdo a datos suministrados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, Índices de precios y cantidades del comercio exterior, 2020), el comercio exterior, medido en base al intercambio comercial argentino (ICA), muestra la evolución de la balanza comercial argentina, que es la relación entre los ingresos en dólares provenientes de los productos que exporta el país al mundo y de aquellos artículos que se compran en el exterior.

En base a la fuente, en el mes de julio de 2014 la balanza comercial marcó un crecimiento del 114% con respecto al mismo mes del año anterior, producto de 68404 millones de USD de exportación y 65736 millones de USD de importación, dejando como saldo 2668 millones. En 2015 se notó una disminución del 75% correspondiéndole un saldo de -3419083, del cual, 60203 millones de USD hacen referencia a las importaciones mientras que 56783 millones de USD representan las exportaciones de dicho año.

Según los datos oficiales, en 2016, el superávit de la balanza comercial fue de 270 millones de USD, mientras que en julio de 2017 el déficit en la balanza comercial fue de 798 millones de USD, seguido por otro déficit en 2018 que representa 789 millones de USD, representando valores superiores en las importaciones sobre las exportaciones.

En julio de 2019 el intercambio comercial disminuyó 7,1% en relación a igual período del año anterior, a pesar de esto, se puede observar en la figura 3.1 que en dicho año se registró un superávit en relación a todo el 2019.

En julio de 2020 el intercambio comercial disminuyó aún más, alcanzando un déficit del 22,6%, en relación a igual período del año anterior, y alcanzó un valor de 8.330 millones de USD. Sin embargo, la balanza comercial registró un superávit de 1.476 millones de USD.

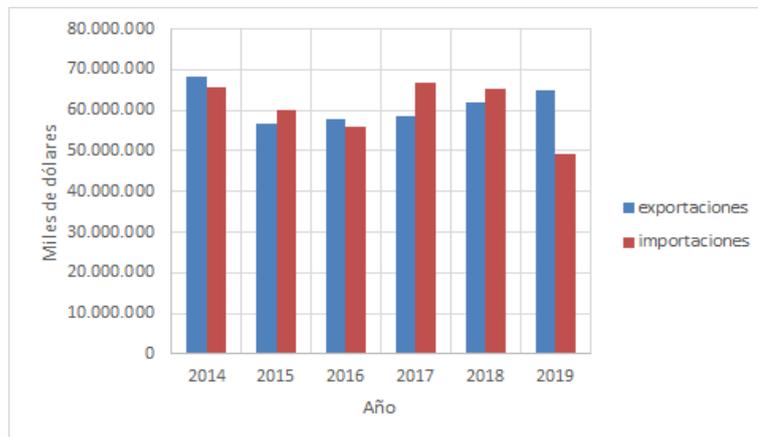


Figura 3.1: Comercio exterior en Argentina

Fuente: INDEC

3.3 INDUSTRIA QUÍMICA

Existe una amplia diversidad de industrias, debido a que presentan características económicas, comerciales y técnicas muy diferentes. El siguiente análisis se refiere particularmente a la industria química, ya que el producto de interés proviene de esta misma.

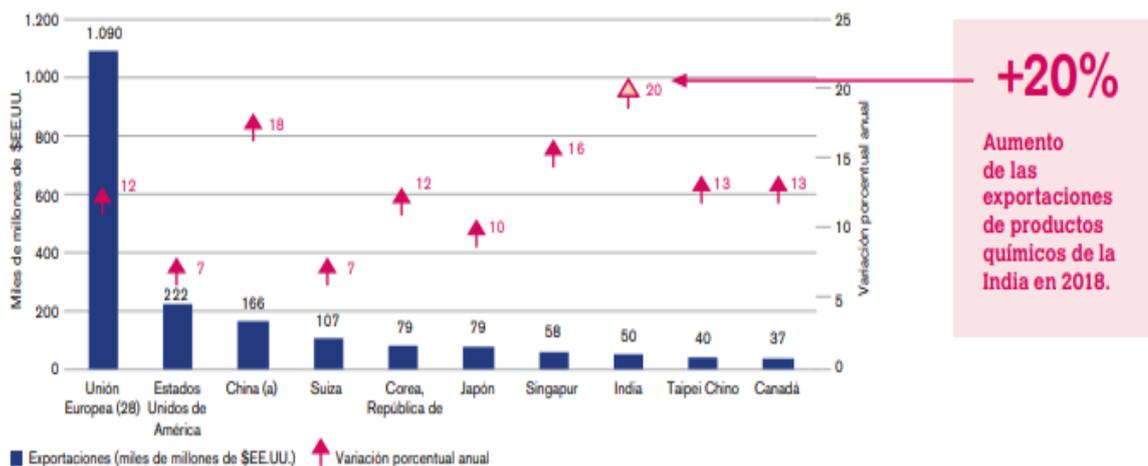
La Organización Mundial del Comercio se ocupa de las normas de alcance mundial que regulan el comercio entre los países. Su principal función es garantizar que los intercambios comerciales tengan lugar de la forma más fluida, previsible y libre posible. A continuación, se muestra un fragmento del informe que realiza anualmente dicha institución, sobre la industria química en el mundo.

“Los 10 principales exportadores de productos químicos, encabezados por la Unión Europea y los Estados Unidos, siguieron ocupando los mismos puestos de la clasificación en 2018, con excepción de la República de Corea, que superó al Japón y se situó en quinto lugar. Los 10 principales exportadores registraron un aumento de sus exportaciones, como se muestra en la figura 3.2, con tasas de crecimiento que oscilaron entre el 7% (Estados Unidos y Suiza) y el 20% (India). La India experimentó un importante incremento en sus exportaciones a China (+72%), Indonesia (+55%) y Brasil (+37%). La Unión Europea representó el 49% de las exportaciones mundiales en 2018; le siguieron los Estados Unidos (10%) y China (7%). En su

conjunto, las exportaciones de los 10 principales exportadores representaron el 87% de las exportaciones mundiales en 2018' (Organización Mundial del Comercio, 2019).

Los 10 principales exportadores de productos químicos, 2018

(Miles de millones de dólares EE.UU. y variación porcentual anual)



(a) Incluye importantes envíos realizados a través de zonas de procesamiento para la exportación.
 Fuente: Estimaciones de la OMC.

Figura 3.2: Industria química

Fuente: Boletín informativo de la OMC. Año 2019

En la tabla 3.1 se observan los principales exportadores y los valores del mercado en miles de millones de dólares en distintos años.

Tabla 3.1: Principales exportadores e importadores de productos químicos, en miles de millones de dólares y porcentajes

Fuente: Boletín informativo de la OMC. Año 2019

	Valor	Parte en las exportaciones/importaciones mundiales				Variación porcentual anual			
	2018	2000	2005	2010	2018	2010-18	2016	2017	2018
Exportadores									
Unión Europea (28)	1090	54.1	55.5	50.6	49.1	3	0	9	12
Exportaciones Extra-UE (28)	420	18.7	18.5	18.2	18.9	4	-1	8	12
Estados Unidos de América	222	13.7	10.9	11.2	10.0	2	-4	5	7
China (1)	166	2.1	3.2	5.2	7.5	8	-6	16	18
Suiza	107	3.6	4.0	4.3	4.8	5	9	4	7
Corea, República de	79	2.4	2.5	2.9	3.6	6	1	19	12
Japón	79	6.0	4.8	4.6	3.5	0	2	11	10
Singapur	58	1.6	2.4	2.3	2.6	5	-2	9	16
India	50	0.7	1.0	1.4	2.2	10	2	12	20
Taipei Chino	40	1.6	1.8	2.1	1.8	2	-5	16	13
Canadá	37	2.5	2.4	2.0	1.7	2	-7	-4	13
Total de las 10 economías anteriores	1928	88.4	88.5	86.5	86.9	-	-	-	-
Importadores									
Unión Europea (28)	919	44.1	45.6	41.7	39.3	3	0	8	13
Importaciones Extra-UE (28)	241	10.5	10.3	10.4	10.3	4	0	7	9
Estados Unidos de América	258	12.2	11.4	10.1	11.0	5	0	2	15
China (1)	222	4.9	6.7	8.5	9.5	5	-4	18	16
Japón	77	4.2	3.3	3.5	3.3	3	4	3	14
India	60	0.8	1.2	2.0	2.6	7	-8	21	16
Suiza	53	2.1	2.3	2.1	2.3	4	10	7	8
Corea, República de	53	2.2	2.1	2.3	2.3	3	-1	13	9
Canadá (2)	49	3.2	2.8	2.4	2.1	2	-4	7	6
México (1),(2)	49	2.4	2.1	1.9	2.1	5	-4	8	10
Brasil (2)	43	1.6	1.3	1.8	1.8	4	-10	10	16
Total de las 10 economías anteriores	1783	77.8	78.7	76.4	76.2	-	-	-	-

(1) Incluye importantes exportaciones e importaciones de las zonas de elaboración.
 (2) Importaciones f.o.b.

Argentina está dentro de la OMC desde enero de 1995. No forma parte de los principales exportadores de productos químicos, pero tiene una participación en el mercado internacional que la posiciona en segundo lugar en cuanto a Sudamérica, encabezada dicha región por Brasil.

3.4 ÁCIDO ACÉTICO

La producción mundial de ácido acético es de $8,3 \times 10^6$ t. Los diferentes procedimientos de obtención quedan resumidos en la figura 3.3.

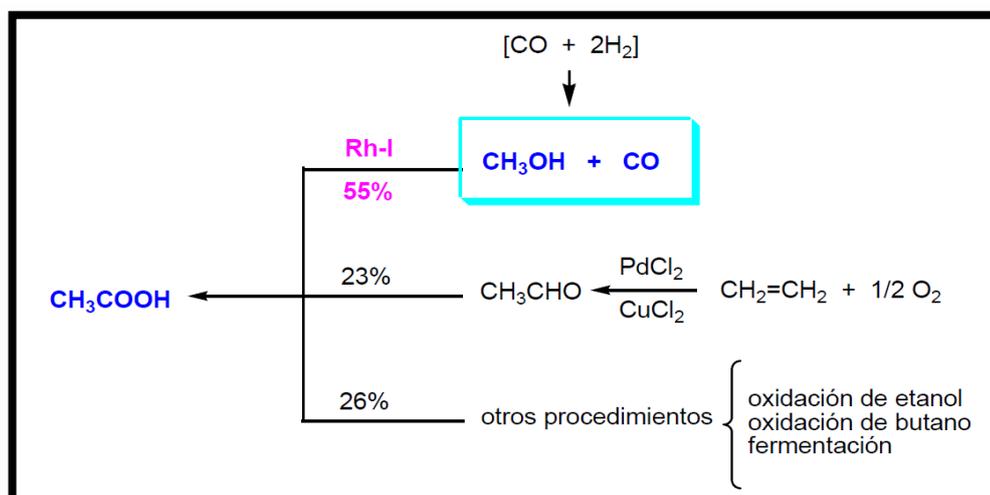


Figura 3.3: Procedimientos de obtención de ácido acético.

Fuente: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-04.php>

Entre el 55 y el 75 % del ácido acético obtenido a escala industrial es por carbonilación de metanol. El resto se produce por oxidación de etileno, oxidación de etanal (obtenido desde etileno) y en menor proporción por oxidación de butano y etanol. También se puede obtener por fermentación de residuos agrícolas.

El ácido acético se puede purificar por destilación fraccionada para tener un producto más concentrado, y así una mayor variedad comercial.

Disponibilidad comercial

El producto está disponible comercialmente en varias concentraciones:

- Ácido acético glacial (concentraciones $\geq 98\%$ en peso, siendo el agua la principal impureza).
- Ácido acético de grado reactivo (contiene generalmente 36% de ácido acético en peso).
- Soluciones acuosas comerciales (usualmente presentan 28, 56, 70, 80, 85 y 90% de ácido acético).

3.4.1 USOS

En la tabla 3.2 se resumen las principales aplicaciones del ácido acético en la industria química y qué cantidad a nivel mundial es destinada para dichos usos. Las demás aplicaciones se detallan a continuación.

Tabla 3.2: Principales usos del ácido acético

Fuente: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-04.php>

	Mundo
Acetato de vinilo	49
Anhídrido acético y derivados ¹	23
Acetato de butilo y de isopropilo	11
Disolvente ²	9
Ácido cloroacético (ClCH ₂ COOH)	3
Otros (acetatos metálicos; acetato de etilo ³)	4
Uso total (en 10⁶ Tm)	8,3

El principal uso del ácido acético es como intermediario químico en la fabricación del monómero de acetato de vinilo, y representa, aproximadamente, un medio del consumo de ácido acético.

El acetato de vinilo es utilizado para fabricar emulsiones como resinas de base para pinturas, adhesivos, revestimientos de papel y acabados textiles. Algunos copolímeros de etileno y acetato de vinilo se usan como adhesivos de termofusión y revestimientos. Un área de fuerte desarrollo del acetato de vinilo son los polímeros de etileno y alcohol vinílico, que presentan excelentes propiedades de barrera que permiten su uso en películas de envasado de alimentos flexibles, botellas de plástico y depósitos de gasolina para vehículos de motor (Gobierno de España, 2018).

El acetato de vinilo es la materia prima del alcohol polivinílico (PVOH) utilizado como componente de adhesivos y pinturas. El PVOH se utiliza también para fabricar resinas de butiral de polivinilo, la película adhesiva transparente usada para unir las capas de seguridad del vidrio.

La mayor producción es el acetato de vinilo para la preparación de poliacetato de vinilo (pinturas al agua), seguido del anhídrido acético para acetato de celulosa y aspirina, entre otros. Los acetatos de butilo e isopropilo se usan como disolventes de pinturas y resinas. Los acetatos de sodio, plomo, aluminio y cinc se utilizan como auxiliares en la industria textil y de cuero, en tintorería y medicina. Por último, el ácido cloroacético es un producto intermedio para colorantes y productos farmacéuticos y se usa para obtener el espesante carboximetilcelulosa (estabilizante de dispersiones).

El ácido acético también se utiliza como solvente en el proceso de fabricación del ácido tereftálico, que se utiliza para fabricar botellas de tereftalato de polietileno (PET) y fibra de

poliéster. A nivel mundial, el ácido tereftálico representa, aproximadamente, el 17% del consumo humano de ácido acético (Gobierno de España, 2018).

Los ésteres de acetato representan en la actualidad un 17% de la producción de ácido acético y son utilizados como disolventes en una amplia variedad de pinturas, tintas y otros revestimientos, además de usarse en muchos procesos químicos como por ejemplo agente acidulante en la industria alimenticia.

El ácido acético se utiliza además como aditivo para alimentos y piensos, como conservante de encurtidos, como coagulante del látex natural, y en el teñido y la impresión textil.

Las soluciones diluidas (0,25%-5%) se utilizan para tratar infecciones de varios tipos de microorganismos y para eliminar la cal, así como también para insecticidas y germicidas (Gobierno de España, 2018).

3.4.2 MERCADO MUNDIAL DEL ÁCIDO ACÉTICO

En cuanto al tamaño del mercado mundial de ácido acético se valoró en USD 8,92 mil millones en 2019 y se espera que avance a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 5.2% de 2020 a 2027. Se destaca que hay un aumento apreciable en la demanda del producto “monómero de acetato de vinilo”, más conocido como VAM, en todo el mundo, y se prevé que siga siendo un factor determinante clave para el crecimiento del mercado. Dicho producto consume la mayor parte del ácido acético producido, ya que tiene varios usos, entre los que se destacan las formulaciones de pintura y revestimiento. El crecimiento en el mercado del VAM en millones de dólares se observa en la figura 3.4 (MarketResearch)

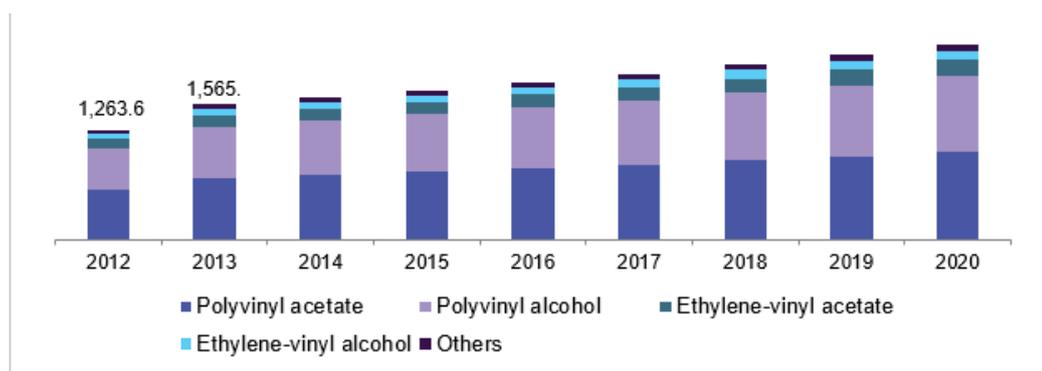


Figura 3.4: Crecimiento en el mercado del VAM en Norteamérica, en millones de dólares

Fuente: Market Research

A nivel mundial, British Petroleum Chemicals¹ y Celanese Corporation² son los mayores productores de ácido acético. Esta última y otras multinacionales están impulsando nuevos procedimientos tecnológicos para formular nuevas líneas de productos para capturar una base de mercado más amplia.

Internacionalmente Asia Pacífico dominó el mercado y representó el 62.0% de los ingresos globales en 2019. Esto se atribuye a la creciente penetración de formuladores de polímeros en la región. El ácido acético es una sustancia clave que se utiliza en una variedad de industrias en China, Japón e India. Este es particularmente el caso de TPA (ley de Autoridad de Promoción Comercial), ya que China ha estado agregando una importante capacidad de producción de poliéster para satisfacer la demanda en rápido crecimiento asociada con su participación en la OMC, y también está invirtiendo aguas arriba en nueva capacidad de TPA. Además, los ésteres de acetato (solventes oxigenados) están creciendo en China a medida que se promulgan reducciones en solventes clorados e hidrocarburos. En otras regiones del mundo, el crecimiento de la demanda ha sido mucho más moderado, variando de plano a ligeramente positivo para las regiones no asiáticas. En la figura 3.5 se observan los principales demandantes mundiales de ácido acético en el último año (mmsa - Global insight, 2020).

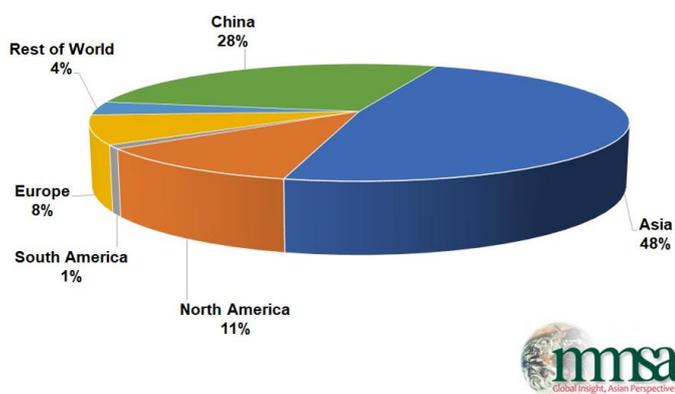


Figura 3.5: Principales demandantes de ácido acético en 2019

Fuente: <https://www.methanolmsa.com/acetic-acid/>

En la región de Asia Pacífico, los precios de los plásticos y polímeros se mantuvieron estables, a pesar de la leve tensión comercial entre China y los EE. UU. Con más industrias en

¹ sede en Londres, Reino Unido

² sede en Irving, Texas, Estados Unidos

crecimiento en países como China, Japón e India, la demanda de plásticos y productos plásticos aumentó.

La región europea reflejó un progreso significativo en la industria de alimentos y bebidas en 2018, con una generación de facturación de USD 1,194 mil millones. Es reconocida como la industria manufacturera más grande de la Unión Europea y emplea a más de 4.57 millones de personas. Los crecientes requisitos de alimentos envasados en países como Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido llevaron a un aumento significativo de la demanda de ácido acético en la región. Además, la creciente industria alimentaria también generó una gran demanda de envases que se prevé que impulsará la demanda de ácido acético.

El mercado norteamericano está impulsado por la creciente demanda de etanol en una variedad de industrias. Más del 90% de la sustancia, en los EE. UU. está formulada a partir de grano de maíz para garantizar un balance energético positivo. Además, el sector automotriz de EE. UU. reflejó una inclinación hacia el uso de gas que, normalmente, es una mezcla de 15% de gasolina y 85% de etanol. Es probable que esto aumente el consumo de ácido acético en la producción de etanol en el país.

Para finalizar con dicho análisis se menciona la presencia de varios actores claves que se centran constantemente en mejorar sus ofertas de productos para atender a un espacio de mercado más amplio. Celanese Corporation y British Petroleum son los dos mayores fabricantes de la sustancia química en todo el mundo. Empresas como Eastman Chemical Company y LyondellBasell son innovadoras clave que trabajan constantemente para mejorar su proceso de producción para obtener una mayor rentabilidad en un período de tiempo menor. Un alto nivel de competencia en el mercado garantiza un desarrollo y una calidad de productos competitivos, junto con precios y colocación de productos. Algunos de los jugadores destacados en el mercado del ácido acético incluyen además de los mencionados: Fertilizantes y químicos Gujarat Narmada Valley, Helm AG, Pentoky Organ, Productos químicos Dow, Indian Oil Corporation (MarketResearch).

3.4.3 MERCADO NACIONAL

El ácido acético se comercializa bajo el código arancelario 29152100, según la Nomenclatura Común del Mercosur.

Con la información tomada de los boletines anuales del Instituto Petroquímico Argentino (IPA), del MERCOSUR y del INDEC, se presentan, en el siguiente análisis, datos históricos y

actuales del mercado nacional del ácido acético, con información sobre producción nacional, importación, exportación y consumo aparente, entre otras cosas.

En la tabla 3.3 se muestran datos de mercado argentino entre los años 2001 y 2010 con el fin de hacer un análisis fundamentado y comparativo con la actualidad, que se presenta posteriormente.

Tabla 3.3: Mercado nacional del ácido acético.

Fuente: Boletín IPA 2010

ACIDO ACETICO						
NCM: 2915.21.00						
AÑO	PRODUCCION (t)	IMPORTACION (t)	EXPORTACION (t)	CONSUMO APARENTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (US\$/t)	
					IMPORTACION (CIF)	EXPORTACION (FOB)
2001	7.700	13.885	905	20.680	409	547
2002	12.300	10.852	735	22.417	399	531
2003	13.050	11.035	559	23.526	454	575
2004	13.010	11.124	981	23.153	446	628
2005	13.200	17.044	1.135	29.109	653	772
2006	13.900	23.601	833	36.668	678	843
2007	14.906	20.649	442	35.113	771	928
2008	13.496	17.794	426	30.864	895	1.031
2009	14.150	14.838	114	28.874	678	876
2010	13.823	20.171	45	33.949	641	1.180

PRODUCTOR	LOCALIZACION	CAPACIDAD INSTALADA (t/a al 31/12/10)	PROCESO	MATERIAS PRIMAS
ATANOR S.C.A.	Río Tercero (Córdoba)	4.800	Atanor	Etanol
	Baradero (Bs. As.)	10.800	Rhone-Poulenc	Etanol

ESTRUCTURA DEL MERCADO LOCAL EN 2010 (porcentual)	
Industria química	31
Industria textil	24
Industria alimenticia	21
Industria farmacéutica	15
Cueros	6
Colorantes	3

Se observa que, en aquel entonces, Atanor era la única industria productora de ácido acético, en dos de sus plantas, una ubicada en Baradero (Bs.As.) con una capacidad instalada de 10.800 t/año y otra en Río Tercero con 4.800 t/año. En ese momento, la mayor cantidad del producto se consumía en el país. Particularmente, esta empresa, utilizaba el ácido acético que producía como materia prima para hacer acetato de i-butilo, acetato de n-butilo, acetato de etilo, agroquímicos y anhídrido acético, según datos tomados del mismo informe en 2010. También se presenta el mercado local del acético en ese momento, donde la industria química encabeza la lista con un 31%, seguida por la industria textil y farmacéutica. En la figura 3.6 se observa el consumo aparente en el período de tiempo que se analiza. Aquí se presenta una curva con pendiente positiva.

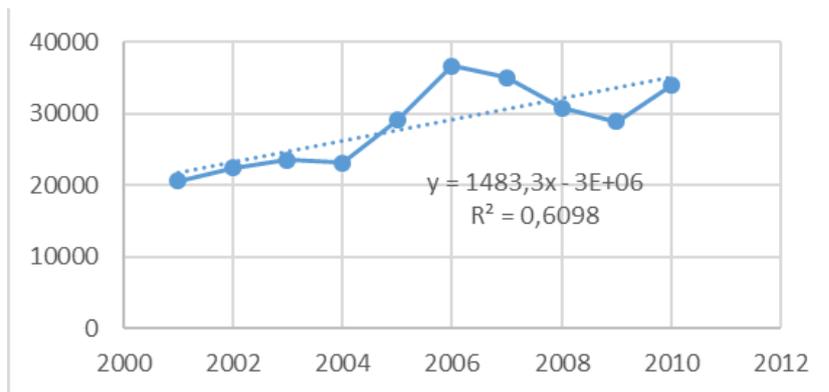


Figura 3.6: Consumo aparente en toneladas desde 2001 hasta 2010.

Fuente: Elaboración propia

Si se analizan los años siguientes, se tiene la información que se presenta en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Mercado nacional del ácido acético.

Fuente: Boletín IPA 2020

ÁCIDO ACÉTICO						
NCM: 2915.21.00						
AÑO	PRODUCCIÓN (t)	IMPORTACIÓN (t)	EXPORTACIÓN (t)	CONSUMO APARENTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (US\$/t)	
					IMPORTACIÓN (CIF)	EXPORTACIÓN (FOB)
2011	444	25.672	6	26.110	671	2.379
2012	—	20.835	2	20.833	687	—
2013	1.116	22.750	1	23.865	709	—
2014	—	23.727	1	23.726	756	—
2015	—	21.457	1	21.456	733	—
2016	—	16.335	1	16.334	574	—
2017	—	8.428	35	8.393	588	—
2018	—	6.650	27	6.623	821	—
2019	—	6.981	198	6.783	718	—
2020	—	6.542	294	6.248	639	—

PRODUCTOR	LOCALIZACION	CAPACIDAD INSTALADA (t/a al 31/12/20)	PROCESO	MATERIAS PRIMAS
ATANOR S.C.A.	Río Tercero (Córdoba)	3.600 ⁽¹⁾	Atanor	Etanol
	Baradero (Bs. As.)	12.000 ⁽²⁾	Rhone-Poulenc	Etanol

ESTRUCTURA DEL MERCADO LOCAL EN 2020 (porcentual)	
Industria química	80
Industria textil	8
Industria alimenticia	8
Varios	4

Observaciones: (1) Planta actualmente inactiva.

(2) ATANOR S.C.A. cerró la planta en febrero de 2017.

Como se observa, desde el año 2010 en adelante, Atanor dejó de producir acético en Argentina. Por tal motivo, disminuyó a cero la producción nacional y las exportaciones. Todo el ácido acético consumido de aquí en adelante es importado.

Atanor, al ser el único productor en el país de acetato de i-butilo, acetato de n-butilo, acetato de etilo y anhídrido acético, para los que se usa ácido acético como materia prima, constituye la mayor importación de este, ya que siguieron produciendo estos químicos en la planta ubicada en Baradero.

En la figura 3.7 se observa la curva de consumo aparente en el período de tiempo que se analiza.

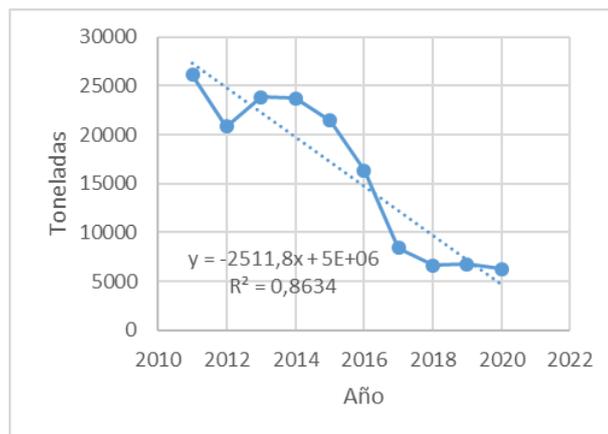


Figura 3.7: Consumo aparente en toneladas desde 2011 hasta 2020.

Fuente: Elaboración propia

El consumo de ácido acético en el país, desde 2010 en adelante, baja notablemente. La curva presenta una pendiente negativa, a diferencia del período anterior, y el mayor incremento se presenta después del año 2016. Este hecho se debe al cierre en 2017 de la planta de Atanor ubicada en Baradero, productora de los químicos antes mencionados y principal importador de acético en el país en ese momento.

Por lo tanto, actualmente no existen industrias productoras de ácido acético de altas concentraciones en Argentina para su uso como reactivo, aunque hay varias que se dedican a importarlo. Entre las importadoras, fraccionadoras y distribuidoras de ácido acético en Argentina se encuentran:

Atanor de Albaugh: Albaugh LLC es una de las compañías productoras y comercializadoras de productos para la protección de cultivos más importantes de los EEUU, con presencia en diversos países del mundo, como Canadá, Brasil, México, Argentina y países de Europa.

Life Chem S.A (Buenos Aires) es una compañía proveedora de equipamiento integral de laboratorio industrial. Proveen ácido acético glaciar para su uso en laboratorio.

Central Química S.A (Buenos Aires): Su actividad es muy versátil, venta de materias primas para la industria, laboratorios y fabricación de productos químicos de alta calidad.

Pramol (Buenos Aires), Serquim (Buenos Aires), Alper Química (Parque Industrial La Matanza y San Andrés, Provincia de Buenos Aires), Uniquim (San Fernando, Buenos Aires), Biopack ubicada en Buenos Aires, Cicarelli, Sintorgan y Alpha Química son otras de las empresas que se dedican a esta actividad.

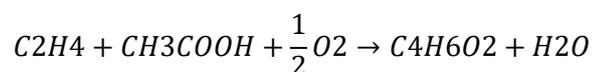
El acetato de vinilo, que constituye la principal aplicación de ácido acético a nivel mundial, nunca se produjo en Argentina, todo este producto era importado y lo es actualmente, como muestra la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Mercado nacional del acetato de vinilo, principal aplicación del ácido acético.

Fuente: Boletín IPA 2019

ACETATO DE VINILO							
NCM: 2915.32.00							
AÑO	PRODUCCION (t)	IMPORTACION (t)	EXPORTACION (t)	CONSUMO APARENTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (US\$/t)		
					IMPORTACION (CIF)		EXPORTACION (FOB)
2009	—	8.393	645	7.748	869		889
2010	—	10.531	256	10.275	800		999
2011	—	9.582	190	9.382	1.041		1.169
2012	—	9.621	243	9.378	953		1.189
2013	—	11.097	81	11.016	919		1.040
2014	—	9.491	—	9.491	1.199		—
2015	—	10.738	55	10.683	1.123		1.210
2016	—	8.569	—	8.569	960		—
2017	—	10.543	—	10.543	905		—
2018	—	7.082	84	6.998	1.205		—

Como se observa en la tabla anterior, el consumo aparente presenta cifras significativas. Este producto se sintetiza a partir del ácido acético, según la reacción:



Con un rendimiento del 99% respecto del ácido acético y un 94% respecto del etileno.

Con los valores presentados se puede observar que es una buena alternativa para el consumo de cantidades industriales de ácido acético, por lo que se considera la opción de instalar en un futuro una fábrica de acetato de vinilo en las proximidades de la planta que se diseña en este proyecto.

Análisis de los aranceles de importación del ácido acético

Para finalizar el análisis, se considera la variación del monto CIF desde el año 2011 hasta el 2021. Los datos fueron suministrados por el INDEC.

Tabla 3.6: Valores CIF de importaciones en dólares por tonelada desde 2011 a 2021

Fuente: INDEC

Año	CIF
2011	671
2012	686
2013	709
2014	756
2015	732
2016	573
2017	587
2018	820
2019	718
2020	639
2021	959

En la figura 3.8 se muestra cómo varía el precio del producto en el tiempo. Se puede observar un aumento en los últimos años, alcanzando su precio máximo en 2021, lo cual arroja un panorama alentador para el 2022.

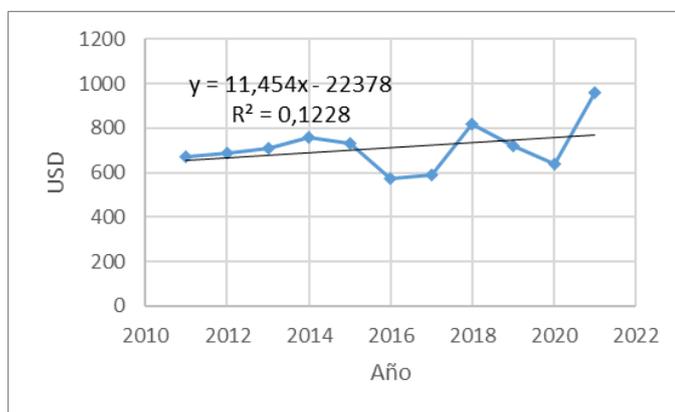


Figura 3.8: Variación del precio del ácido acético entre los años 2011 y 2021

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 MERCADO EN PAÍSES LIMÍTROFES

Como el consumo en Argentina no alcanza valores elevados, se considera la opción de ampliar el mercado con la posibilidad de exportar a países limítrofes, es por esto que el siguiente análisis se refiere al mercado de ácido acético en países cercanos.

Dentro de los países que integran el MERCOSUR, actualmente Brasil encabeza el consumo de ácido acético importado, y le sigue Argentina con una participación mucho menor que representa el 6.5%. Esto se muestra en la figura 3.9, junto con los principales países de origen de las importaciones. Estos son: Estados Unidos con el 87%, Corea del Sur con el 7% y China con el resto (MERCOSUR, 2020).



Figura 3.9: Importaciones de ácido acético en los países del MERCOSUR. Año 2020

Fuente: Estadísticas Mercosur

Como se observa en el gráfico anterior, es necesario considerar a Brasil como una alternativa para exportar, ya que es un potencial consumidor del producto. El resto de los países no tienen una participación significativa, por lo que no se tienen en cuenta para el análisis.

En la siguiente tabla se presentan datos de importaciones y exportaciones de Brasil en los últimos diez años, tomados de Scavage, y además se presenta el cálculo de la demanda insatisfecha en dicho país.

Tabla 3.7: Importaciones, exportaciones y demanda insatisfecha en toneladas de ácido acético en Brasil.

Fuente: Scavage

Año	Importación	Exportación	Demanda insatisfecha
2011	125039	314	124724
2012	126022	119	125902
2013	135314	9	135305
2014	137374	0	137373
2015	135201	0	135201
2016	136158	12	136145
2017	136923	32	136891
2018	132393	64	132329
2019	144186	64	144122
2020	146753	72	146681

En el grafico siguiente se muestra la curva representativa de estos valores, con la línea de tendencia y el valor de la regresión.

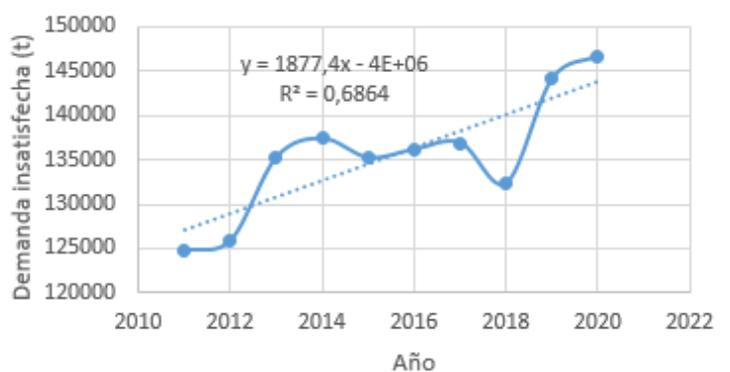


Figura 3.10: Mercado de ácido acético en Brasil

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los aranceles de importación

Para finalizar el análisis, se considera la variación del precio FOB en Brasil desde el año 2011 hasta el 2021. Los datos son tomados de Scavage.

Tabla 3.8: Valores FOB de importaciones en dólares por tonelada desde 2011 a 2020

Fuente: Elaboración propia

Año	Precio (USD/t)
2011	449
2012	420
2013	453
2014	503
2015	457
2016	381
2017	411
2018	461
2019	427
2020	388
2021	584

En la figura 3.11 se representan gráficamente estos valores, y se observa como decrece lentamente la curva en el tiempo.



Figura 3.11: Variación del precio FOB en Brasil en USD/t

Fuente: Elaboración propia

3.4.5 PRECIO

En conclusión, todo el análisis anterior sirve para determinar los impuestos que se pagan por la importación y exportación. Dado que el precio de venta del producto queda fijado por la propia industria y está limitado por la competencia, se investiga el mismo en los mercados más fuertes.

La producción de ácido acético estadounidense se reinicia lentamente después de la crisis por covid, pero las cantidades disponibles para exportar a Europa siguen siendo bajas. Esto se debe a las bajas tasas de producción causadas por problemas en la adquisición de materias primas como el metanol y los trabajos de reparación en curso. Los precios del ácido acético en el mercado estadounidense se observaron en 1450 USD/t FOB Texas y 1476 USD/t

FOB Louisiana. Con la demanda que parece estar recuperándose en el mercado interno de EE. UU., se observa esta tendencia de precios.

En cuanto a Europa, el precio del ácido acético aumenta en octubre y noviembre y desciende en diciembre. Los precios de Alemania en octubre y noviembre se observaron en 1805 USD/t y 1845 USD/t. Debido a un déficit de suministro global, los precios del ácido acético han subido a máximos de varios meses y varios años en toda Europa. Los fabricantes de artículos de caucho y plástico también están sintiendo la presión, ya que las materias primas escasean. En diciembre, la demanda disuadida y la oferta suficiente dieron como resultado una caída del precio a 1824 USD/t³.

3.5 MATERIAS PRIMAS

3.5.1 MONÓXIDO DE CARBONO

Mercado nacional

Los óxidos de carbono, el cianuro de hidrógeno, los ácidos fulmínico, isociánico, tiociánico y demás ácidos cianogénicos simples o complejos se encuentran en la partida 28.11 del código arancelario. No se cuenta con un código específico para el monóxido de carbono, ya que este se encuentra dentro de un grupo, este es 2811.29.90.900G: “Los demás. Los demás. Los demás ácidos inorgánicos y los demás compuestos oxigenados inorgánicos de los elementos no metálicos. Productos químicos inorgánicos; compuestos inorgánicos u orgánicos de metal precioso, de elementos radiactivos, de metales de las tierras raras o de isótopos” (Scavage, Scavage, 2020).

Ninguna industria produce CO en Argentina, por lo que no existe producción nacional de este gas, y por lo tanto las exportaciones son nulas. Todo el gas es importado. Según datos tomados de Scavage, se detallan, en la tabla 3.9, las toneladas importadas y exportadas desde 2011 hasta 2020.

A partir de esta información se calcula el consumo bruto a nivel nacional (CNA) como:

$$CNA = Producción nacional + Importaciones - Exportaciones$$

³ <https://www.chemanalyst.com/Pricing-data/acetic-acid-9#:~:text=The%20prices%20of%20Acetic%20Acid,and%20%241476%2Fton%20FOB%20Louisiana>

Tabla 3.9: Comercio exterior del monóxido de carbono y consumo nacional en toneladas.

Fuente: Scavage

Año	Importación	Exportación	CNA
2011	38	0	38
2012	47	0	47
2013	38	0	38
2014	24	0	24
2015	74	1.9	72
2016	40	0	40
2017	28	0	28
2018	57	0	57
2019	9	0	9
2020	10	0	10

En la figura 3.12 se muestra la curva correspondiente del CNA, que, como se observa en a tabla anterior, es aproximadamente igual a las importaciones.



Figura 3.12: Consumo nacional de CO en toneladas desde 2011 hasta 2020

Fuente: Elaboración propia

Los lugares de procedencia de las importaciones se muestran en la figura 3.13

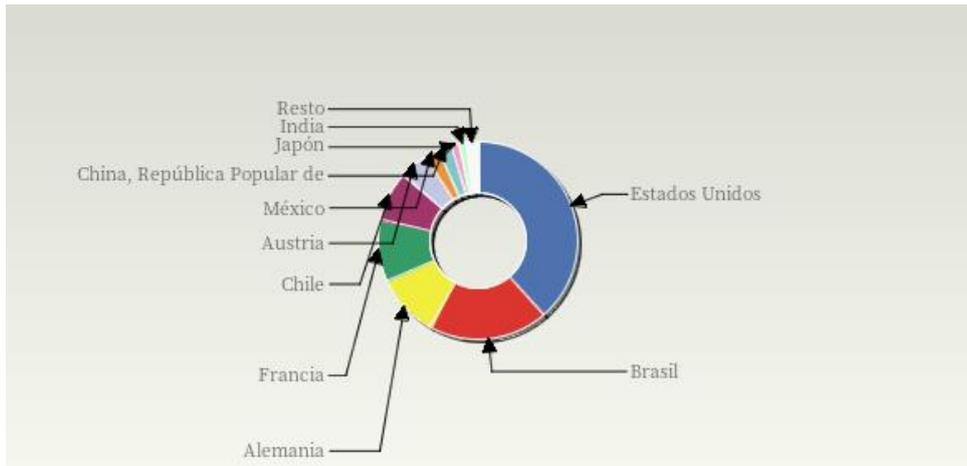


Figura 3.13: Lugares de origen de las importaciones de CO

Fuente: Scavage

Precio

Para realizar un seguimiento de cómo ha ido variando el precio del gas se divide al monto CIF por las toneladas importadas. Este resultado se muestra en la tabla 3.10 y en la figura 3.14 su representación gráfica

Tabla 3.10: Precio del CO desde 2011 hasta 2020 en USD/t

Fuente: Scavage

Año	CIF	Precio
2011	44522	1142
2012	50069	1060
2013	42986	1112
2014	27303	1117
2015	83599	1124
2016	44469	1095
2017	31485	1088
2018	68115	1178
2019	10500,	1109
2020	11676	1068

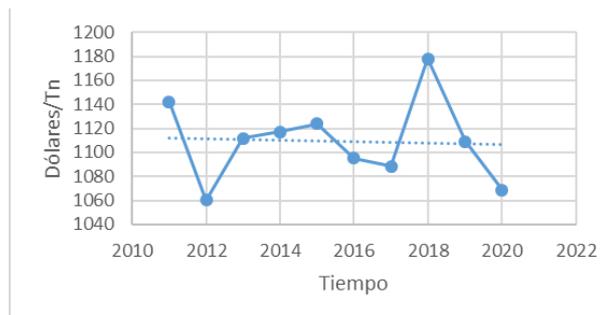


Figura 3.14: Variación del precio del CO entre 2011 y 2020

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que, cuando las importaciones o exportaciones representan pequeños volúmenes, los valores CIF o FOB no son representativos del precio real, por lo que estos datos son solo una estimación de cómo ha variado el precio en el tiempo, pero no necesariamente representan la realidad. Además de esto, se debe recordar que el código arancelario que se analiza no es específico del monóxido de carbono, sino que incluye a otros compuestos.

En Argentina, se puede conseguir en empresas que importan este producto y lo venden, como por ejemplo Linde Argentina, ubicada en Buenos Aires. En esta empresa el precio del producto en diciembre de 2020 es de 96 USD/m³, lo que es igual a 84.2 USD/t. A esto se le suma el flete y los impuestos.

Principales proveedores

Carburos Metálicos, Air Products (España): es una compañía española líder en el sector de gases industriales y medicinales que produce, distribuye y vende gases para múltiples sectores, así como materiales y equipos destinados a las aplicaciones de estos gases.

Actualmente, Carburos Metálicos cuenta con un equipo de más de 600 profesionales en España, una capacidad diaria de producción de más de 1.200 toneladas de gas licuado (mtpd), 12 plantas de producción y 14 plantas de envasado.

Desde 1995, Carburos Metálicos pertenece al grupo estadounidense Air Products.

Air Products (Estados Unidos): es una de las compañías de gases industriales líderes a nivel mundial. Su negocio principal de gases proporciona gases atmosféricos y procesados, así como todo el equipo necesario para otros sectores productivos, entre los que se incluyen refinerías y petroquímica, metalurgia, componentes electrónicos o alimentación y bebidas. Air

Products también es el proveedor líder mundial de helio, equipos y tecnología de gas natural licuado.

Praxair México (México): Praxair México opera como una compañía global con eficiencia local y capacidades de clase mundial, estableciendo sistemas de producción, distribución y seguridad que revolucionan la industria. Actualmente diseña, construye y pone en marcha plantas de separación de aire a nivel continental.

Grupo Infra (Naucalpan, Estado de México. México): formado por un conglomerado de más de 30 compañías y más de 4 000 empleados en sociedad, desde 1980, con Air Products and Chemicals, uno de los más importantes fabricantes de gases industriales en el mundo. Venden gases y líquidos criogénicos, se especializan en la producción y distribución de gases, desde el suministro de cilindros, hasta la construcción y operación de plantas productoras en sitio.

Air Liquide (Estados Unidos) cuenta con sede en 78 países. En Argentina se encuentra ubicada en Buenos Aires.

3.5.2 METANOL

Mercado mundial

El metanol es una de las sustancias para síntesis más baratas y que en mayor cantidad se obtienen. La producción mundial de metanol es de aproximadamente 40×10^6 t, de las cuales, el 90% es utilizado por la industria química y el resto para obtener energía.

Así, el metanol puede ser materia prima para diversas síntesis, combustible, componente para gasolinas y base para la obtención de proteínas, los usos se detallan en la tabla 3.11.

Tabla 3.11: Usos del metanol en el mundo

Fuente: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-04.php>

	Mundo
Formaldehído	35
ter butil metil éter ¹	27
Ácido acético	10
Halometanos ²	7
Terftalato de dimetilo ²	2
Metilaminas ²	4
Metacrilato de metilo ²	3
Disolventes	4
Otros ³	8
Uso total (en 10⁶ Tm)	40

El metanol es considerado uno de los principales productos petroquímicos realizados a nivel mundial. Su producción se lleva a cabo en Asia, América del Norte y del Sur, Europa, África y Oriente Medio (mmsa - Global insight, 2020). En las figuras 3.15 y 3.16 se observa la oferta y la demanda mundial del mismo en 2019.

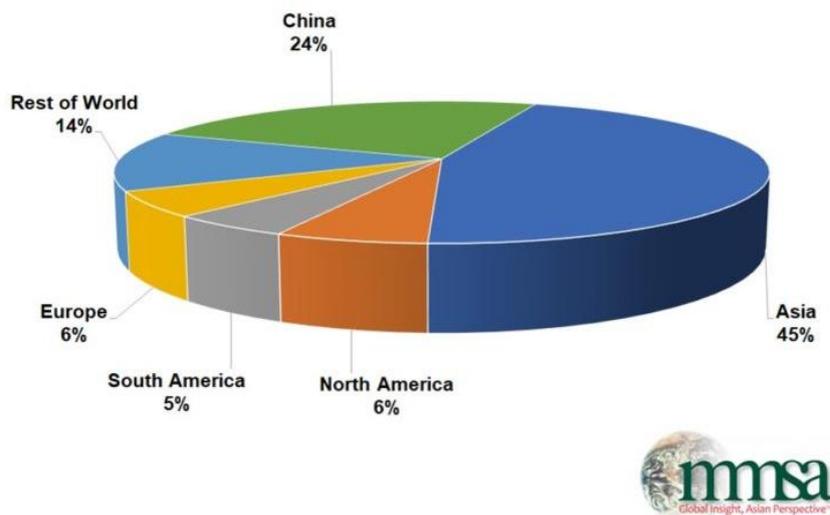


Figura 3.15: Principales oferentes de metanol a nivel mundial en 2019

Fuente: <https://www.methanolmsa.com>

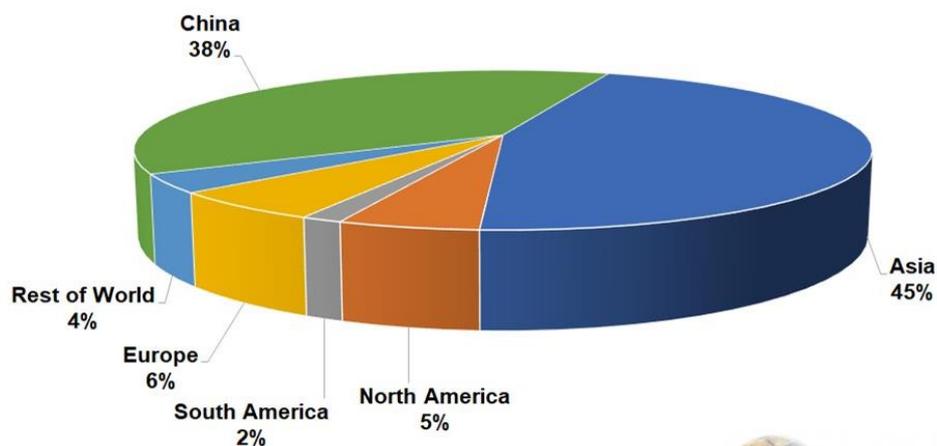


Figura 3.16: Principales demandantes de metanol a nivel mundial en 2019

Fuente: <https://www.methanolmsa.com>

Las plantas de metanol en todo el mundo poseen una capacidad de producción total de más de 75 millones de toneladas métricas. Japón es el principal productor y consumidor de metanol mundial, si se realiza un análisis de las últimas 6 décadas desde 1950 este país sintetiza en promedio, el 31% del metanol en el mundo, seguido muy lejos, por China y México, asimismo, tomando en cuenta el consumo mundial, representan el 26% seguido por China y Taiwán (Bicego, Chiapero, & Molinengo, 2018). Las principales empresas productoras de metanol son:

Chimsca: construida en 2003 en China, es la empresa con mayor capacidad.

Methanex: ubicada en Cabo Negro, el corazón del sector productor de gas y petróleo de Chile. Sus cuatro plantas de metanol tienen una capacidad anual combinada de 3,8 millones de toneladas. La estratégica ubicación del complejo permite que Methanex embarque metanol en buques hacia todos sus mercados principales que son en Asia, América del Sur y del Norte, Europa y Sudáfrica.

Mitsubishi Gas Chemical: Es uno de los mayores productores de metanol en el mundo. Opera dos empresas conjuntas en Arabia Saudita y Venezuela. Comercializa metanol a partir de estos lugares a nivel mundial. La nueva capacidad en ambos lugares y una nueva ubicación (Brunei) aumentó la posición en el mercado mundial de metanol Mitsubishi Gas Chemical (MGC).

Si bien Latinoamérica se encuentra muy lejos de los mercados líderes de metanol, la industria regional de los biocombustibles podría elevar sensiblemente la demanda de este en el futuro.

La producción de metanol en Sudamérica, empresas y países donde estas se ubican, se detalla en la tabla 3.12, así como las toneladas producidas en 2017.

Tabla 3.12: Producción de metanol en Sudamérica

Fuente: www.methanolmsa.com

COMPañIA	LOCALIZACIÓN	2017 (-000- TONELADAS METRICAS)
Argentina		
YPF S.A.	Neuquén	456
Arauco Argentina S.A.	San Martin. SF	50
Total Argentina		506
Brasil		
Metanor	Camacari,BA.	91
Posint Quimica	Rio de Janeiro	200
Total Brasil		291
Chile		
Methanex Corporation	Pta. Arenas. TF	1010
Methanex Corporation	Pta. Arenas. TF	840
Total Chile		1850
Trinidad y Tobago		
Atlas Metanol		1750
MHTL-CMC(M2)	Point Lisas	550
Methanol Holdings Trinidad Ltd.(MHTL)-M5	Point Lisas	1900
MHTL-M4	Point Lisas	550
Methanex Titan	Point Lisas	850
MHTL-Trinidad y Tobago Methanol Company(M1)	Point Lisas	460
MHTL-Trinidad y Tobago Methanol Company(M3)	Point Lisas	550
Total Trinidad y Tobago		6610
Venezuela		
Metor	Jose,Anz	730
Metor	Jose,Anz	850

Mercado nacional

Como se observa en la tabla anterior, en Argentina existen dos empresas productoras del alcohol a partir del reformado de gas natural. Dentro de los valores de producción nacional, según lo informado por IPA, el 71% de la producción de este se destina a la industria del biodiesel y el 19% como materia prima en la industria química (IPA , 2019).

Las aplicaciones químicas en las que participa y las empresas argentinas que lo usan se detallan en la tabla 3.13, según la información suministrada por el anuario IPA 2019.

Tabla 3.13: Usos del metanol como materia prima para la industria química nacional

Fuente: IPA

Producto	Industria
Formaldehido	ATANOR (cerró en 2017) RESINAS CONCORDIA S.R.L ARAUCO Argentina S.A.
Metilato de Sodio	EVONIK METILATOS S.A.
MTBE	YPF CARBOCLOR S.A.
Urea-Formol	ATANOR (cerró en 2017) RESINAS CONCORDIA S.R.L ARAUCO Argentina S.A.
Éteres glicólicos	DOCU Química Argentina S.A.

Las empresas productoras en Argentina son: YPF S.A. con una capacidad de 411.000 t/año y Arauco Argentina S.A con 50.000 t/año.

El metanol se comercializa con el código arancelario: 2905.11.00.000V según la NCM “Metanol (alcohol metílico). Monoalcoholes saturados. Alcoholes acíclicos y sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados. Productos químicos orgánicos” (Scavage, Scavage, 2020), a partir de este se obtienen las estadísticas que completan el análisis de mercado.

En la tabla 3.14 se muestran datos del anuario IPA 2019 de producción nacional, importaciones, exportaciones y consumo aparente del metanol, así como el valor del comercio exterior, entre los años 2009 a 2018 y el mercado local del mismo.

Tabla 3.14: Datos estadísticos del mercado nacional del metanol

Fuente: Boletín IPA 2019

METANOL						
NCM: 2905.11.00						
AÑO	PRODUCCION (t)	IMPORTACION (t)	EXPORTACION (t)	CONSUMO APARENTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (U\$S/t)	
					IMPORTACION (CIF)	EXPORTACION (FOB)
2009	319.482	81	79.602	239.961	—	109
2010	408.085	35.033	79.279	363.839	357	198
2011	400.602	30.554	37.381	393.775	471	284
2012	411.419	10.094	42.697	378.816	501	335
2013	365.358	7.403	42.438	330.323	698	411
2014	402.622	9.869	78.667	333.824	556	431
2015	425.043	93	152.713	272.423	—	295
2016	389.031	31.249	7.695	412.585	294	324
2017	350.990	74.743	5.826	419.907	338	426
2018	472.337	9.962	99.012	383.287	444	410

PRODUCTOR	LOCALIZACION	CAPACIDAD INSTALADA (t/a al 31/12/18)	PROCESO	MATERIAS PRIMAS
YPF S.A.	P. Huincul (Neuquén)	411.000	Lurgi	Gas Natural
ARAUCO ARGENTINA S.A. - División Química	Pto. Gral. San Martín (Sta. Fe)	50.000	Lurgi	Gas Natural

ESTRUCTURA DEL MERCADO LOCAL EN 2018 (porcentual)	
Biodiesel	71
Industrial (formaldehído, colas ureicas, etc.)	19
MTBE	7
Varios (solvente y otros)	3

A partir del INDEC se sabe que en 2019 la producción alcanzó las 456.430 t (INDEC, Estadísticas de productos industriales, 2020). En la figura 3.17 se observa la producción nacional desde 2013 hasta 2019.

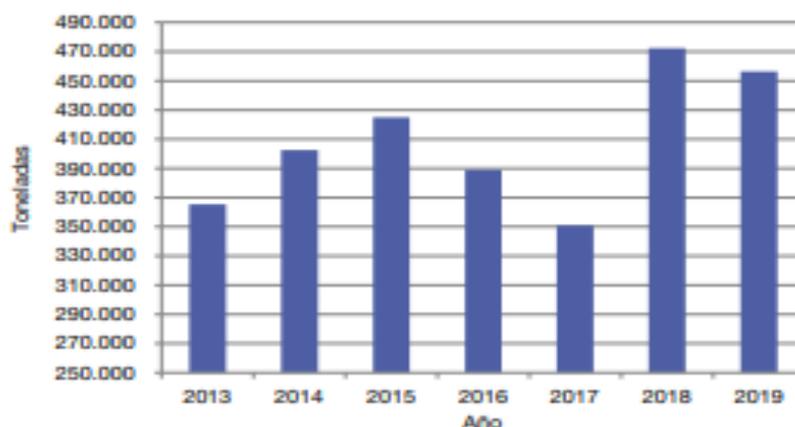


Figura 3.17: Toneladas de metanol producidas en Argentina

Fuente: INDEC

Se calcula la disponibilidad, a partir de los datos de la tabla 3.12, como:

$$\text{Disponibilidad} = \text{Producción nacional} - \text{Consumo aparente}$$

En la tabla 3.15 se ven estos resultados, y en la figura 3.18 su representación gráfica

Tabla 3.15: Disponibilidad de metanol desde 2009 hasta 2018 en Argentina

Fuente: Elaboración propia

Año	Disponibilidad
2009	79521
2010	44246
2011	6827
2012	32603
2013	35035
2014	68798
2015	152620
2016	-23554
2017	-68917
2018	89050



Figura 3.18: Disponibilidad de metanol

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura, en los años 2016 y 2017 no hay disponibilidad de metanol en el país. En esos años, la producción bajó, como muestra la gráfica 3.15, y luego volvió a subir. Otro valor que afecta al análisis es el 2015, donde el consumo aparente es mucho más bajo que el resto de los años, estos valores fueron afectados por el cambio de gobierno que se produjo en 2015, además YPF que es la empresa que mayoritariamente produce metanol en Argentina, justifica esta baja en la producción expresando que con una suba del dólar superior al 400% en cuatro años fue imposible trasladar el alza del tipo de cambio a los precios de los combustibles.

En base a esto, se opta suavizar la curva, haciendo una corrección de los datos en esos años, para poder obtener una buena regresión, que se utiliza luego, para estimar la disponibilidad futura.

En la figura 3.19 se muestra la curva suavizada. Se parte del año 2011 ya que los datos del 2009 y 2010 son muy viejos y afectan a la regresión.

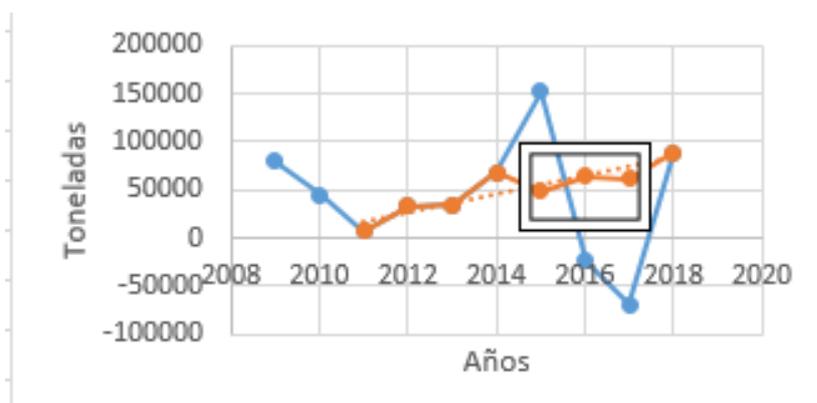


Figura 3.19: Curva suavizada de la disponibilidad de metanol.

Fuente: Elaboración propia

A partir de la ecuación de la curva suavizada, con un 80% de confianza, se calcula la disponibilidad futura de metanol como materia prima. En la tabla 3.16 se muestran los resultados en toneladas.

Tabla 3.16: Estimación de la disponibilidad futura del metanol

Fuente: Elaboración propia

Año	Disponibilidad
2019	93597
2020	103008
2021	112418
2022	121828
2023	131239
2024	140649
2025	150060
2026	159470
2027	168880
2028	178291
2029	187701
2030	197112

Precio

Según los datos proporcionados por el informe de IPA de la tabla 3.14, se muestra en el siguiente gráfico la variación del precio en el tiempo, evaluada como el valor FOB de exportaciones por las toneladas exportadas en cada año

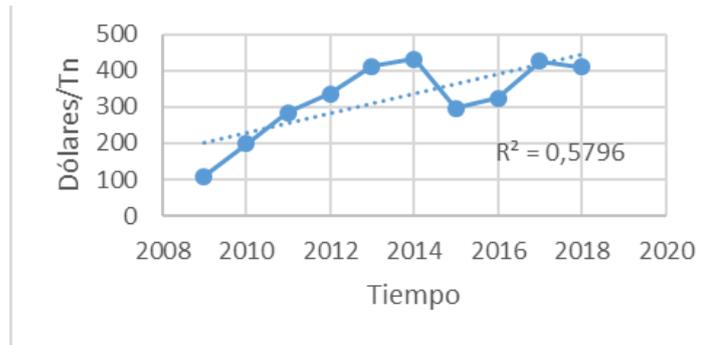


Figura 3.20: Precio del metanol entre 2009 y 2018

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, la curva presenta una regresión deficiente, por lo que se suaviza para poder realizar una estimación futura del precio del metanol con un mayor grado de confianza. En la figura 3.21 se muestra esta corrección. Se toma como punto de partida el año 2011 ya que el 2009 y 2010 son datos muy viejos.

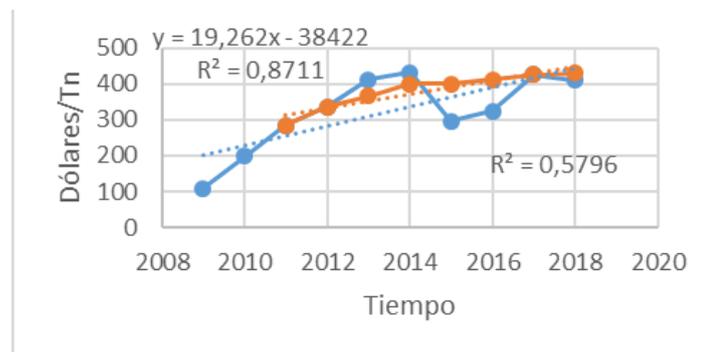


Figura 3.21: Curva FOB corregida entre 2011 a 2018

Fuente: Elaboración propia

Con una confianza del 87.11% se estima el precio futuro del metanol hasta el año 2030. En la tabla 3.17 se presenta dicho análisis.

Tabla 3.17: Estimación del precio futuro del metanol en Argentina, en USD/t

Fuente: Elaboración propia

Año	Precio
2019	468
2020	487
2021	506
2022	525
2023	545
2024	564
2025	583
2026	602
2027	622
2028	641
2029	660
2030	679

3.6 INSUMOS

3.6.1 CATALIZADOR Y PROMOTOR

Precio

Tanto el catalizador como el promotor se presentan en forma de polvo de elevada pureza. El precio del iridio al 99% es de 100 USD/kg⁴ y el rutenio al 99% es de 50 USD/kg⁵. En la siguiente tabla se detalla esta información en USD/t.

Tabla 3.18: Precio del catalizador y promotor

Fuente: Elaboración propia

Compuesto	Precio (USD/t)
Iridio	100000
Rutenio	50000

Principales proveedores

Johnson Matthey: Comenzaron en Londres en 1817 y actualmente tienen una presencia global con operaciones significativas en más de 30 países. Fabrican sales de metal de iridio

⁴ https://spanish.alibaba.com/product-detail/iridium-iii-chloride-hydrate-as-catalyst-ircl3-14996-61-3-1600269173411.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.191a285br5Kyqh

⁵ https://spanish.alibaba.com/product-detail/ruo2-ruthenium-dioxide-with-high-purity-cas-12036-10-1-ruthenium-oxide-1600246497311.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.6cd21070TbMJQq

y polvos finos para su uso como catalizadores y recubrimientos en una amplia gama de industrias.

Changsha Santechmaterialsco. LTD: Establecido desde 2009 en la provincia de Hunan, y Departamento de ventas en la ciudad de Changha. Especializada en la fabricación de metales raros (Bi, Te, in, Ga, Ge, GN, etc.) y metales preciosos (Ir, Ru, Os) en formas de polvo, lingote, óxido. Se suministran en todo el mundo, especialmente América, Australia, Corea, Japón, Argentina, Europa.

3.7 FODA

Fortalezas

- Argentina posee una trayectoria reconocida de país exportador de productos agroindustriales y goza de un prestigio internacional consolidado durante décadas que lo distingue del resto de los países productores por la extraordinaria calidad y sanidad de sus productos.
- Actualmente, las empresas exportadoras, poseen en la zona todos los servicios necesarios para realizar la operación de comercio exterior.
- El producto tiene múltiples usos y aplicaciones industriales, tanto como reactivo químico, en alimentos, como desinfectante, etc.
- Las principales materias primas, metanol y monóxido de carbono, son económicas.
- El metanol se produce en grandes cantidades en Argentina, y las estadísticas son positivas en cuanto a su disponibilidad. No es necesario importarlo.
- Se puede obtener un producto con una variedad de concentraciones que amplía el rango de usos.
- Actualmente todo el ácido acético en Argentina es importado. No existe producción nacional.
- Cubrir la demanda insatisfecha en el país también significa aumentar el mercado interno.

Oportunidades

- Brasil es un importante consumidor de acético y actualmente importa el producto desde Norteamérica y Asia.
- El mercado mundial del ácido acético crece.
- La demanda mundial del acetato de vinilo aumenta constantemente, y el ácido acético es una materia prima fundamental para la fabricación de este.

- El producto, al tener una gran aplicación, permite conquistar nuevos mercados internacionales.

Debilidades

- El nivel de producción está sujeto a factores que pueden afectar la obtención del producto, como por ejemplo la utilización de materias primas importadas.
- Las barreras arancelarias que pueda imponer el gobierno y modifiquen los márgenes de costos, afectando la utilidad del proceso.
- Inestabilidad económica del país, inflación.
- El mercado nacional es reducido, ya que para las principales aplicaciones que tiene el ácido acético, como materia prima para la producción industrial de otros químicos, no es posible comercializarlo en el país ya que ninguna de las industrias argentinas se encuentra actualmente fabricando los mismos.

Amenazas

- A nivel mundial, Sudamérica, es uno de los menores demandantes.
- Competencia mundial.
- Está sujeto a que los grandes competidores determinen el valor del producto.
- En 2017 el catalizador estuvo en déficit por el aumento de la demanda mundial del mismo.
- El catalizador y el monóxido de carbono, dos materias primas importantes, están sujetos a políticas de importación.

3.8 CONCLUSIONES

A partir de la información presentada en este capítulo es posible concluir en los siguientes puntos:

- Si bien las materias primas son económicas, hay que considerar el costo de transporte de aquellas que es necesario importar ya que no se disponen en el país.
- Por más que no haya producción nacional y que todo el producto se importe, el mercado argentino de acético no es suficientemente favorable para instalar una planta en el país, ya que la demanda insatisfecha es baja. Por fortuna, Brasil es un potencial consumidor del producto y esto permite que el proyecto sea rentable si se amplía el mercado considerando la posibilidad de exportar a este país.
- El acetato de vinilo, que constituye la principal aplicación industrial del ácido acético como materia prima, no se produce en el país. Se considera la posibilidad de instalar en un futuro una planta de producción de este ya que actualmente este se importa en

su totalidad. De este modo crece la demanda de ácido acético ya que se utilizan grandes cantidades de este en la reacción correspondiente a la producción del monómero.

CAPÍTULO 4: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

4.1 INTRODUCCIÓN

La determinación de la ubicación de la planta constituye un factor clave para el éxito de esta. El objetivo es lograr que el costo de producción y distribución sean mínimos, de modo tal que el proyecto sea beneficiado y resulte rentable.

En la determinación del espacio físico intervienen numerosos factores, entre ellos, hay algunos que tienen mayor importancia, y son los que tienen más influencia en la toma de decisiones. Estos criterios ayudan a determinar las ventajas y desventajas de las opciones que se proponen.

El análisis se realiza en dos partes. Se comienza por un estudio de macrolocalización, donde se determinan las zonas posibles, que luego, en la segunda parte del estudio, microlocalización, las opciones disponibles son evaluadas para determinar cuál es la más adecuada.

Un método útil, usado en el estudio de microlocalización, que sirve para evaluar y comparar las diferentes opciones, es el llamado método de puntuaciones ponderadas. A partir de este, se determina el sitio más adecuado.

Este método consiste en puntuar los diferentes aspectos considerados en base a apreciaciones personales, en una escala de 1 a 10. A su vez, estos aspectos constituyen, según su importancia en el análisis, un determinado porcentaje relacionado con el efecto que causan en la localización de la planta y que también se determina por consideraciones personales, con el criterio único de que el proyecto sea favorecido. Una vez determinados los puntajes de cada aspecto en cada opción, se suman todos los valores y el sitio que obtenga más puntaje, será el adecuado.

Para finalizar el estudio, una vez elegida la zona donde se localiza la planta, se selecciona la localización específica y se detalla esta misma.

4.2 MACROLOCALIZACIÓN

Consiste en la selección de la región o zona más adecuada, por lo que aquí sólo se determinan las mejores opciones de ubicación a evaluar.

El ácido acético está pensado para comercializar dentro del territorio argentino y, en mayor cantidad, para exportar a Brasil. Dentro de los factores de mayor importancia en la determinación de la localización de la planta, se encuentran:

1. Disponibilidad de materia prima.
2. Cercanía a zonas de consumo.

4.2.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

El metanol es la única materia prima nacional que se tiene. Este compuesto es producido por dos empresas en Argentina: Arauco, ubicada en Puerto General San Martín, Santa Fe, con una producción anual de 50.000 toneladas, e YPF, en Plaza Huincul, Neuquén, con una producción mucho mayor, que supera las 400.000 toneladas al año. Esta última empresa se encarga de distribuir el producto a La Plata, Mendoza y Santa Fe para su exportación.

Ubicando la planta de ácido acético en las cercanías de algunas de las industrias productoras de metanol, se facilita el transporte y se reducen los costos del mismo, ya que éste depende de las distancias y de las cantidades transportadas.

El resto de las materias primas, monóxido de carbono y catalizador, son importadas. Debido a esto, también es necesario considerar tener un puerto mercantil cerca, que se dedique a la comercialización de gases y catalizadores para la industria química.

4.2.2 CERCANÍA A ZONAS DE CONSUMO

El proyecto está definido principalmente para satisfacer la demanda insatisfecha en Brasil, donde el consumo de ácido acético es mayor. Debido a esto, para exportar el producto es necesario contar con un puerto mercantil cerca que permita realizar dichas actividades.

De la producción total, un pequeño porcentaje se destina al comercio nacional. En Argentina, según las estadísticas, de la totalidad del acético importado en la actualidad, que ronda en las 7.000 toneladas anuales, aproximadamente, un 80 % se destina a la industria química, un 8 % a la textil y un 8% a la alimenticia. El resto forma parte de la industria farmacéutica y análisis de laboratorio.

Los clientes se localizan principalmente en la zona céntrica del país, entre las ciudades más importantes están Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe donde se encuentran fábricas textiles, de la industria del cuero, de plásticos, de la industria alimenticia y farmacéuticas.

En base a lo expuesto en este apartado, las opciones que se consideran como posibles zonas destinadas a ubicar la planta de ácido acético son Neuquén y Santa Fe. Estos lugares seleccionados, son evaluados y puntuados en la sección siguiente.

4.3 MICROLOCALIZACIÓN

Consiste en la determinación de la mejor opción para localizar la planta. La selección específica del sitio o terreno que se encuentra en la región elegida se evalúa en el apartado siguiente.

A continuación, se detallan los aspectos considerados y su respectiva importancia en el proyecto.

En la siguiente tabla se muestra el método de ponderación, utilizado para el análisis. Se detallan los aspectos evaluados y su respectiva importancia en la determinación de la ubicación de la planta.

Cabe aclarar que no se considera como un factor a evaluar la competencia, ya que, como se menciona en el capítulo anterior, no existe producción nacional de ácido acético.

Tabla 4.1: Método de puntuaciones ponderadas

Fuente: Elaboración propia

Factores	Ponderación (%)	Neuquén	Santa Fe
Materia prima nacional	30	10	7
Materia prima importada	30	0	10
Clientes	20	3	7
Disponibilidad y costo de mano de obra	10	5	7
Impuestos y servicios	10	5	5
TOTAL	100	4,6	8,6

4.3.1 MATERIA PRIMA NACIONAL

Este factor es uno de los más importantes a la hora de decidir dónde ubicar la planta, es por tal motivo que conlleva una ponderación de 30%. Como se menciona anteriormente, el metanol, se produce en YPF (Neuquén) y Arauco (Santa Fe). La capacidad de producción de YPF es mucho mayor, además de que es una empresa reconocida y con más años de experiencia, debido a esto se puede observar que se asigna la máxima puntuación a diferencia de Santa Fe.

Debido a que la capacidad definida del proyecto es de 23000 toneladas al año, ambas empresas pueden cubrir la demanda, aunque YPF con un margen superior. Esta última produce metanol en la zona Sur del país y transporta el mismo desde la planta de Plaza Huincul hasta Ensenada (La Plata – provincia de Bs As), donde se exporta el producto a través del Puerto de La Plata, al Puerto General San Martín (Santa Fe) y a Luján de Cuyo (Mendoza).

Logística Diesel S.A. resultó elegida como adjudicataria de la licitación de transporte de Metanol y Etanol. Se encarga de movilizar productos químicos y afines a la refinación de naftas para YPF S.A.

Este servicio es realizado con un total de 40 unidades propias y complementadas con flota contratada. El recorrido llevado a cabo por el metanol es el indicado en la figura 4.1

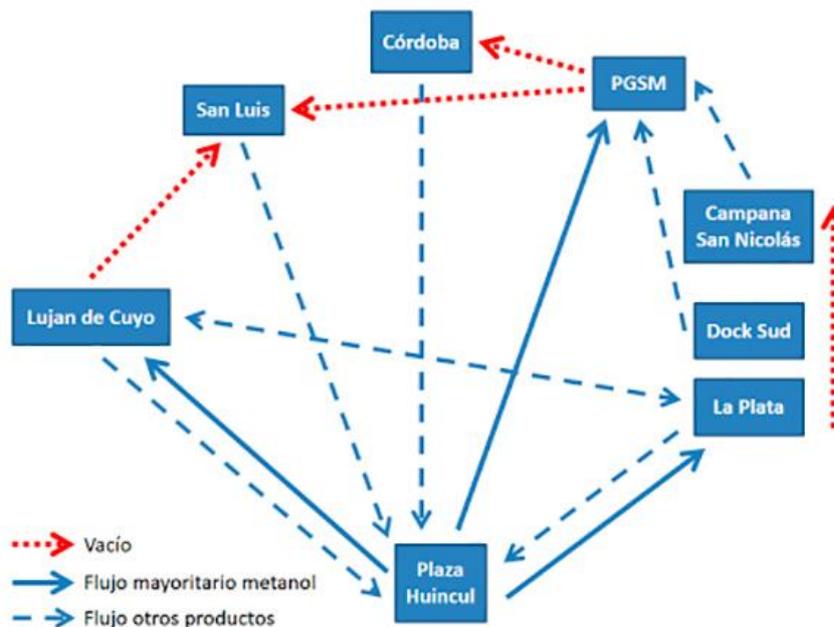


Figura 4.1: Transporte del metanol de YPF.

Fuente: grupoguazzaronigreco.com/servicio-transporte-metanol

4.3.2 MATERIA PRIMA IMPORTADA

Aquí se considera al monóxido de carbono y al catalizador, factor tan importante como el anterior, ya que están en juego las materias primas necesarias para el proceso, es por esto que se asigna la misma ponderación, resaltando la importancia de contar con un puerto en las cercanías de la planta.

En Santa Fe⁶ se localizan varios puertos dedicados a actividades mercantiles de productos químicos, pero esto no se cumple en Neuquén, ya que allí existen puertos que se dedican a otras actividades, motivo por el cual se centra la atención en la provincia de Santa Fe.

Entre los puertos ubicados en esta zona se encuentran, el puerto de Santa Fe Capital, General San Martín, Rosario, Reconquista y, por último, el de Villa Constitución. El primero de ellos presenta ciertas ventajas ya que se sitúa en el corazón de la Hidrovía Paraguay - Paraná (km. 584 del Río Paraná), siendo, aguas arriba, el último puerto de ultramar apto para operaciones

⁶ <https://grupoguazzaronigreco.com/servicio-transporte-metanol/>

con buques oceánicos. Su ubicación estratégica lo convierte en el eslabón adecuado para unir los nodos de transportes (terrestre-fluvial-oceánico), permitiendo el desarrollo de operaciones de cabotaje nacional e internacional y marítimas internacionales, para cargas unitizadas, containerizadas, graneles, general, etc., desde y hacia su Hinterland integrado por las Regiones Centro, NOA y NEA de la República Argentina. Asimismo, su posición privilegiada lo perfila geográficamente como el centro obligado de transferencias de cargas desde y hacia los países situados en la Hidrovía, convirtiéndonos en factor preponderante para la salida natural de las producciones para la exportación y puerta de entrada para la importación de sus insumos, resolviendo integralmente el complejo sistema de transporte en el país y en el Mercosur.

Debido a lo expresado anteriormente, es que lo corresponde la máxima puntuación a Santa Fe y el mínimo a Neuquén, ya que este no cuenta con puertos que se dediquen a transportar el producto de interés.

4.3.3 CLIENTES

El tercer punto por considerar es el consumo, el cual representa el 20% de la ponderación debido a que simboliza el comercio de dicho producto. El consumo más significativo está en Brasil, debido a esto es necesario tener un puerto cerca para exportar el producto, es por esto por lo que Santa Fe obtiene una puntuación mayor que Neuquén. Además, para la venta dentro del país, el consumo se localiza en la región céntrica, por lo que también se considera este aspecto.

4.3.4 DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA

Este factor conlleva una ponderación del 10%, no porque sea menos importante que los demás, sino porque en casi todas las regiones del país existe una tasa de desempleo. Se comienza analizando a Santa Fe y luego a Neuquén.

El nivel de desocupación en Santa Fe y región es del 20,3%, siete puntos más que el promedio a nivel nacional que fue de 13,1%, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2019). Cerca del gran Santa Fe, aunque por detrás, se ubica la región del Gran Rosario (cuarto a nivel nacional) con un nivel de desocupación del 17,9%. A continuación, se detallan las regiones más pobladas de Santa Fe.

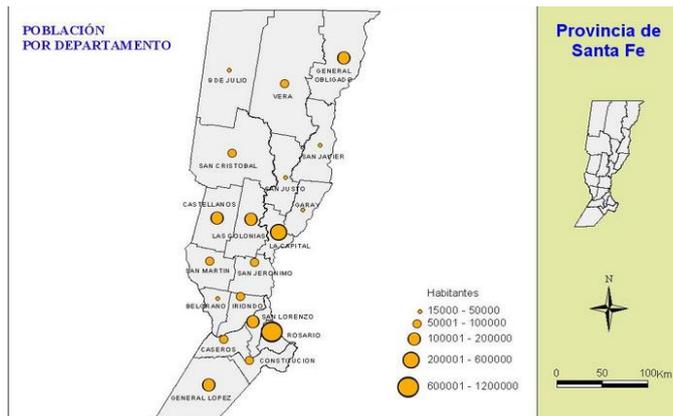


Figura 4.4: Población de Santa Fe.

Fuente: <https://www.santafe.gov.ar/index>

En esta imagen, se observan el departamento San Lorenzo y el departamento Rosario, los cuales en conjunto llevan el nombre de Gran Rosario, están en la zona más poblada de Santa Fe (Santa Fe Provincia, 2015). Si se analiza el nivel de desempleo en esta región, para dejar asentada la justificación sobre la disponibilidad de mano de obra, se tiene la Figura 4.5 donde se indican los niveles de desempleo del Gran Rosario, Gran Santa Fe y San Nicolás-Villa Constitución.

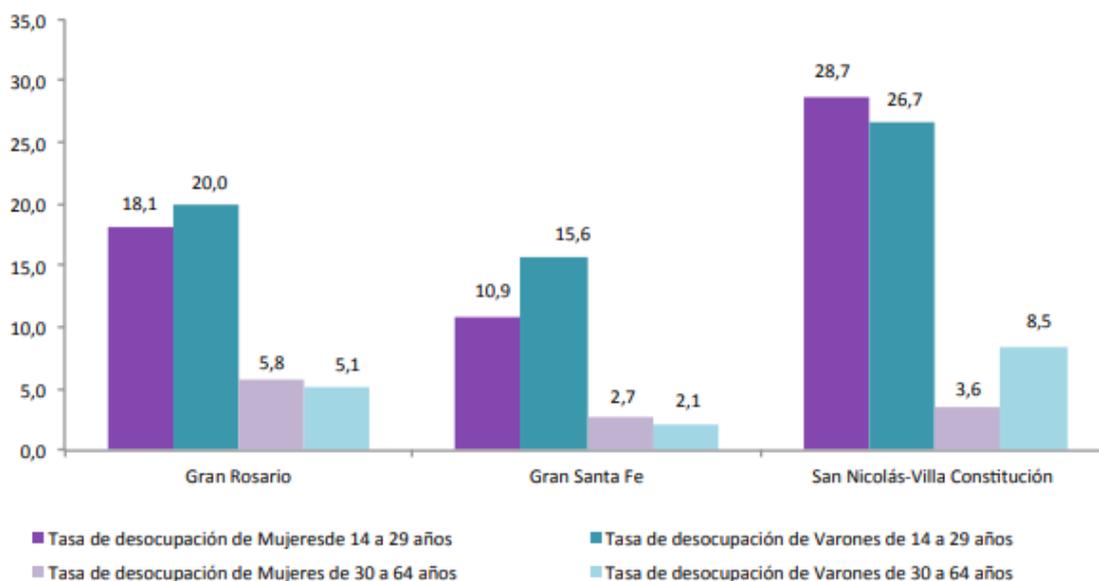


Figura 4.5: Nivel de desempleo en el Gran Rosario.

Fuente: www.santafe.gov.ar/index

En cuanto a Neuquén, la tasa de desempleo de esta provincia en el último trimestre de 2019 es 3,2% más baja que la nacional, según datos difundidos por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2019). El promedio del país dio un registro de 8,9% para desocupación y el de Neuquén-Plottier 5,7% y la subocupación del 8,2%.

Comparativamente con el dato global de la Patagonia, Neuquén también registra una desocupación inferior, ya que la tasa de la región es de 6,6%, con los índices de desempleo más altos en Trelew-Rawson (10,9%) y Ushuaia-Río Grande (9,5%). (Vaconfirma, 2020)

Si se segmenta a la población por sexo y edad, los datos arrojados por el instituto oficial mostraron que la tasa más alta de desocupación la tienen las mujeres de entre 14 y 29 años, ya que el 18,9% de esta población no logra conseguir empleo. (Vaconfirma, 2020)

Es decir que, en cuanto a niveles de desempleo, Santa Fe presenta un mayor número de desocupados que Neuquén, motivo por el cual Santa Fe cuenta con un puntaje más alto que Neuquén.

4.3.5 COSTO DE SERVICIOS E IMPUESTOS

Por último, se consideran los impuestos y servicios, donde se asigna un 10% de ponderación ya que todas las provincias cuentan con éstos para regular la actividad de las industrias. Así, en Santa Fe rige la Ley N° 11.525 de Parques y Áreas Industriales y la Ley N.º 8.478 de Promoción Industrial de la Provincia de Santa Fe. Estas otorgan a las empresas que se radiquen en Parques Industriales importantes beneficios y exenciones impositivas de hasta el 100% de los impuestos provinciales, por un período de hasta 10 años:

- Impuesto sobre los Ingresos Brutos.
- Impuesto Inmobiliario.
- Patente Automotor.
- Impuesto de Sellos.
- Aporte patronal ley 5110.
- Tasas retributivas de servicios (constitución, ampliación de capitales y modificaciones de sociedades (Normativa de Parques Industriales de la Provincia).

Neuquén cuenta con la Ley N° 378-1974 – Promoción Industrial y la Ley Nacional 27.264, que fue reglamentada por la dirección provincial de Rentas. Además, presenta una ley para las pequeñas y medianas empresas a las cuales se le otorgan beneficios impositivos, todo esto queda asentado mediante la Ley 3.175 (SAIJ, 2019). Entre otras opciones el Gobierno de la Provincia de Neuquén presenta:

- Crédito Fiscal para Inversiones. El Estado devuelve el 10% de la inversión en bienes de capital, reduciendo el pago de Ingresos Brutos hasta un tope de un millón de pesos por empresa durante 10 meses.
Esta línea es para inversiones mayores a 5 millones de pesos que deberán acreditarse mediante facturas de obras y/o compra de bienes de capital de proveedores de Neuquén
- Aportes No Reintegrables (ANR) del Programa Nacional de Parques Industriales. Cada aporte será de hasta un máximo de \$60 millones por parque para obras intramuros, y en paralelo se prevé el otorgamiento de créditos a tasa subsidiada a empresas radicadas en los parques industriales registrados en el Registro Nacional de Parques Industriales (RENPI).
Como ambas provincias cuentan con impuestos, leyes y servicios para las industrias se asigna el mismo puntaje en la tabla de ponderaciones.

En base a lo expuesto en este apartado, después de analizar todos los puntos presentados anteriormente, se llega a la conclusión mediante el uso del método de las puntuaciones ponderadas, que Santa Fe es la mejor opción para localizar la planta.

4.4 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA

Entre las distintas alternativas para el emplazamiento de la fábrica se tienen zonas, áreas y parques industriales.

Un parque industrial es la mejor alternativa ya que cuenta con todas las condiciones y políticas necesarias para instalar una industria. En la actualidad, Argentina tiene 371 parques industriales a lo largo de su territorio. La mayor concentración es en la zona central del país, principalmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba respectivamente.

Entre los beneficios de localizar la planta en un parque industrial se encuentran las ventajas propias de los agrupamientos industriales, como la infraestructura, la complementariedad productiva, la posibilidad de desarrollar economías de red que promuevan una mayor capacidad de innovación, absorción y difusión de nuevas tecnologías, al mismo tiempo, generan economías de escala que facilitan la creación y acceso a políticas públicas, desarrollan mercados intermedios de producción y servicios y cuentan con mejores condiciones de seguridad.

Como se menciona anteriormente⁷, es necesario y más beneficioso, tener un puerto cerca. Por tal motivo, dentro de Santa Fe se centra la atención en los parques industriales que se

⁷ <https://www.on24.com.ar/negocios/cuantos-parques-areas-industriales-santa-fe/>

encuentran cerca al Puerto General San Martín. Entre ellos se destacan: Parque Industrial San Lorenzo, Parque Industrial de Cañada de Gómez, Área Industrial Carcarañá, Área Industrial Oficial del Desarrollo de Roldán. En la figura 4.2 se presenta un mapa santafesino con todas las regiones y zonas industriales presentes en dicha provincia.

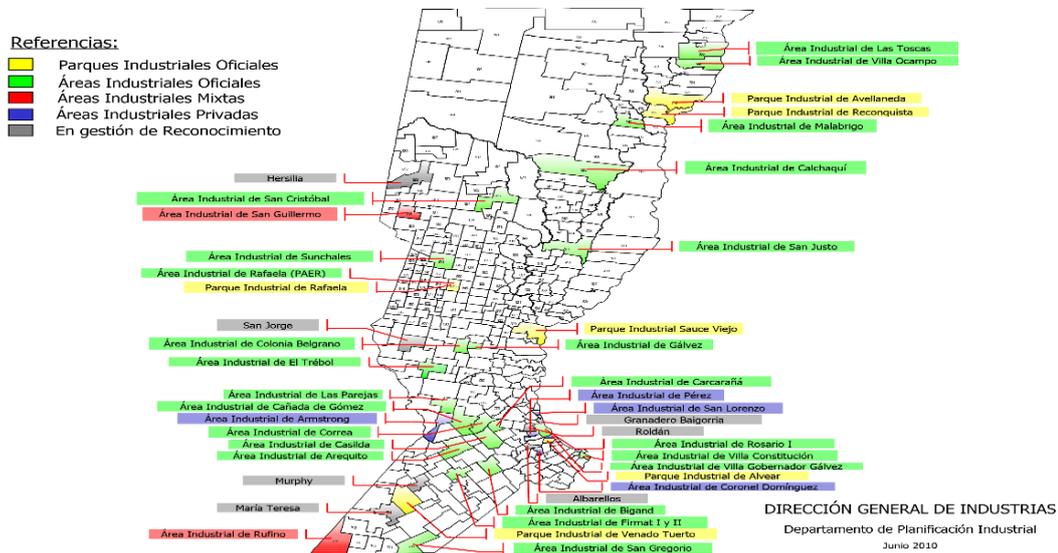


Figura 4.2: Mapa de Santa Fe.

Fuente: www.santafe.gob.ar/index

En esta imagen se observa que cada área se representa mediante un color, dependiendo la clasificación a la que pertenece de acuerdo a lo indicado en el margen izquierdo superior de la figura. Como se menciona anteriormente solo se consideran aquellos parques que se encuentren en la cercanía del puerto. La figura 4.3 es una ampliación de la imagen anterior que muestra los parques cerca del puerto.

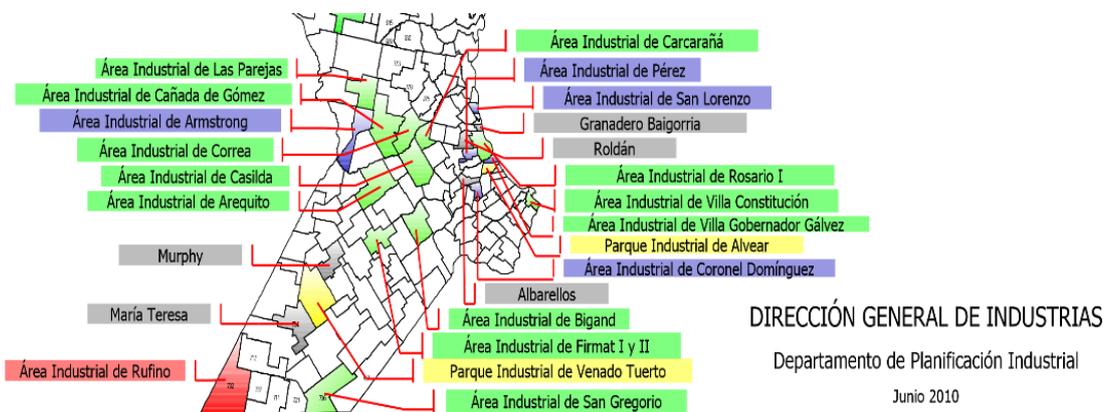


Figura 4.3: Parques industriales de interés en Santa Fe.

Fuente: <https://www.santafe.gob.ar/index>

De los cuatro parques seleccionados, el primero a descartar es el Parque Industrial de Cañada de Gómez, ya que es el que más alejado del puerto se encuentra, de modo tal que hay que invertir más en transporte. Además, no cuenta con espacio suficiente para la instalación de nuevas industrias.

El segundo que se aparta es el Área Industrial de Roldán, porque aún está en desarrollo y no cuenta con suficiente energía eléctrica para todas las industrias ni con la infraestructura y espacio suficiente.

Por último, Área Industrial Carcarañá, si bien cuenta con la infraestructura y los servicios básicos necesarios, aún no han podido duplicar su espacio para la incorporación de nuevas industrias, de modo tal que también se descarta (La capital, 20).

Debido a lo expresado recientemente, el sitio seleccionado es el Parque Industrial San Lorenzo. Dicho parque no solo cuenta con el espacio y los servicios necesarios, sino que además es una zona muy poblada, lo cual facilita el acceso a la mano de obra.

Debido a lo expresado anteriormente, el parque industrial San Lorenzo, es el parque ideal para la localización de la planta. Seguidamente, se enumeran las características más relevantes del mismo, que ayudaron a tomar esta decisión.

Este parque 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 Mitre (hoy Nuevo Central Argentino) y el Arroyo San Lorenzo, dentro un área denominada "Zona de Promoción Industrial" (Ord. N° 2111/98). Comprendido dentro del Área Metropolitana del Gran Rosario, el Parque fue proyectado en base a las normas urbanísticas locales y provinciales, contribuyendo con la planificación territorial de la ciudad y la región, favoreciendo el desarrollo industrial de forma sustentable y en armonía con sus habitantes y el medio ambiente.

Cuenta con 200 parcelas de 1.250 a 20.000 m² para la radicación de las instalaciones industriales. En la Figura 4.6 se representa la ubicación de este parque.

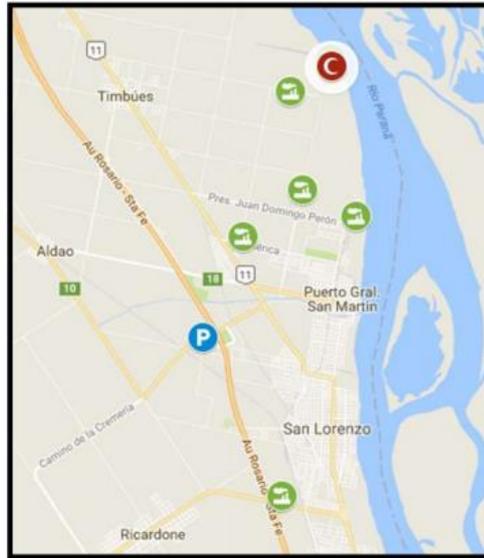


Figura 4.6: Ubicación del parque San Lorenzo.

Fuente: <http://www.pisanlorenzo.com/page/participantes>

A diferencia de los demás parques mencionados, éste cuenta con todos los servicios esenciales, entre ellos:

- 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.

Además, cuenta con servicios complementarios como lo son:

- Depósito común.
- Centro de emergencias médicas y primeros auxilios.
- Desvío ferroviario.
- Playa de maniobras para actividades logísticas multimodales.
- Guardería.

Cuenta con seguridad:

- Doble cerco perimetral.

- Seguridad privada las 24 horas.
- Sistema integrado de monitoreo.
- Sistema de control de ingresos y egresos.

Además, las empresas que se instalan en el parque acceden a:

- Tarifas Preferenciales de Servicios.
- Reducción de los costos por generación de economías de aglomeración, a partir de la compra conjunta de insumos y materias primas, las relaciones de compraventa entre las firmas, y la posibilidad de radicación próxima de proveedores y subcontratistas, logrando ahorro en transporte y logística.
- Posibilidad de modernización tecnológica, edilicia y logística.
- Relaciones espontáneas o planificadas entre las empresas, promovidas por el consorcio de administración.
- Cooperación entre las empresas en diversas facetas, desde el intercambio y la producción conjunta de conocimientos tecnológicos, hasta la contratación de servicios.

El parque industrial San Lorenzo cuenta con una organización excepcional dividida en tres regiones: centro logístico, centro tecnológico y centro industrial, como se muestra en la figura 4.7



Figura 4.7: Distribución del Parque.

Fuente: <http://www.pisanlorenzo.com/page/participantes>

La planta de ácido acético se ubica dentro del centro industrial, por lo que se selecciona un terreno que se encuentra en esta área. En la Figura 4.8 se muestran todos los lotes desocupados que se encuentran a disposición para la ubicación de la planta, marcados en blanco.



Figura 4.8: Terrenos disponibles.

Fuente: <http://www.pisanlorenzo.com/page/participantes>

CAPÍTULO 5: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA

5.1 INTRODUCCIÓN

A partir de los resultados obtenidos en el estudio de mercado realizado en un capítulo anterior, es posible determinar el tamaño del proyecto.

Para el análisis que se presenta, se estima la capacidad productiva óptima de la planta, teniendo en cuenta la dimensión del mercado a cubrir como variable más importante, sin dejar de lado las consideraciones hechas en el capítulo donde se realiza dicho estudio.

Existen otros factores que influyen en la determinación de la capacidad, como son: la disponibilidad de materias primas, la tecnología, el financiamiento y la organización de la empresa, entre los más importantes.

Como el proyecto se diseña con una visión a largo plazo, debe adecuarse a las expectativas de crecimiento de la demanda.

5.2 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ÓPTIMA

En el período de tiempo que se analiza, no existe producción de acético en Argentina. Todo el producto consumido se importa. Como se menciona en el capítulo 3, Atanor era el principal consumidor ya que en la planta ubicada en Baradero se realizaban los productos industriales que usan acético como materia prima (acetato de i-butilo, acetato de n-butilo, acetato de etilo y anhídrido acético). Con el cierre de esta planta el consumo decae notablemente, y por tal motivo, los datos históricos no sirven para determinar la capacidad de producción, ya que, en este caso particular, no representan la realidad actual y desvían la curva de consumo aparente.

Para llevar a cabo este estudio, se analiza el mercado argentino después del cierre de la empresa mencionada, ubicada en Baradero. El año en que esto sucede, 2017, marca un antes y un después en el mercado local del ácido acético. En la tabla 5.1 se presentan las importaciones y exportaciones del producto, desde 2018 en adelante, según datos proporcionados por el INDEC y la demanda insatisfecha, calculada como la diferencia entre las cantidades importadas y exportadas.

Cabe aclarar que la información presentada en esta tabla corresponde a las industrias que actualmente consumen el producto en el país, donde se incluye la industria alimenticia, textil, farmacéutica y otros usos que no implican el acético como materia prima para la producción industrial.

Tabla 5.1: Importaciones y exportaciones en t/año

Fuente: INDEC

Año	Importaciones	Exportaciones	Demanda insatisfecha
2018	6649	212	6437
2019	6981	197	6783
2020	6992	0	6992

Se calcula la demanda insatisfecha, teniendo en cuenta la información presentada en la tabla anterior y se grafican los resultados.

La figura 5.1 muestra esta misma, en la que se observa una curva con pendiente positiva.

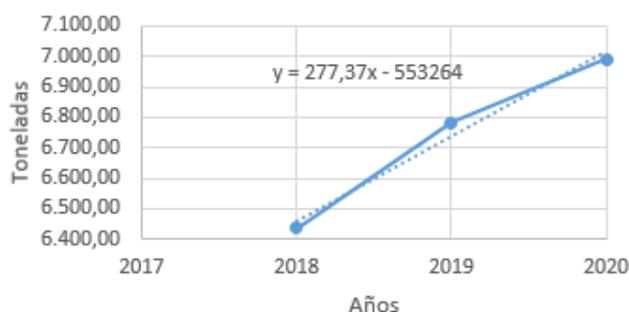


Figura 5.1: Demanda insatisfecha de ácido acético en Argentina

Fuente: Elaboración propia

Como el consumo del producto en Argentina es bajo, por lo que se considera la opción de ampliar el mercado incluyendo a Brasil, ya que es un potencial consumidor de acético y el principal en Sudamérica. En este, se presentan en la tabla 3.7 los valores correspondientes a la demanda insatisfecha en dicho país. El siguiente análisis corresponde al cálculo de la demanda insatisfecha y una proyección a futuro de la misma en el mercado argentino y brasileño. Es por esto que para obtener la tabla 5.2 se sumaron los valores de la tabla 3.7 y 5.1 en el periodo de tiempo correspondiente.

Tabla 5.2: Demanda insatisfecha en el mercado argentino y brasileño en t/año

Fuente: Elaboración propia

Año	Demanda insatisfecha (t/año)
2011	124724
2012	125902
2013	135305
2014	137373
2015	135201
2016	136145
2017	136891
2018	138766
2019	150906
2020	153676

En el gráfico siguiente se representan estos valores, con la línea de tendencia que más se ajusta a los datos, la ecuación correspondiente y el valor de la regresión que indica un 82% de confianza.

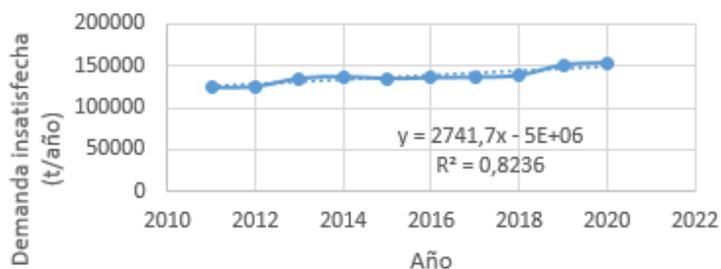


Figura 5.2: Demanda insatisfecha del mercado argentino y brasileño desde 2011 hasta 2020

Fuente: Elaboración propia

La demanda futura proyectada es quizás el factor condicionante más importante al momento de definir la capacidad. Basando el análisis en estos últimos años se calcula la demanda futura del producto, y se presenta en la tabla 5.3. Esta fue determinada con la ecuación de la recta representada en la figura anterior y un nivel de confianza del 82%.

$$\text{demanda insatisfecha futura} = 2741.7 * (\text{año}) - 5000000$$

Ecuación 5.1

Tabla 5.3: Demanda insatisfecha futura estimada en t/año

Fuente: Elaboración propia

Año	Demanda futura (t/año)
2021	156985
2022	159537
2023	162089
2024	164640
2025	167192
2026	169744
2027	172295
2028	174847
2029	177399
2030	179951

La gráfica correspondiente se presenta a continuación. A partir de estos datos se calcula la tasa de crecimiento anual, que tiene un valor de 1.6%.

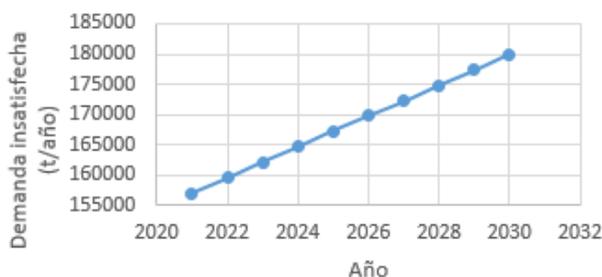


Figura 5.3: Estimación de la demanda insatisfecha futura.

Fuente: Elaboración propia

5.3 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ÓPTIMA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA

Para determinar la capacidad óptima de producción se utiliza un método aproximado, el cual es un elemento más de ayuda para la toma de la decisión final en cuanto al tamaño del proyecto. Para poder aplicarlo se deben conocer o estimar los siguientes parámetros:

- D_0 : magnitud de la demanda actual que satisface el proyecto (153674 t/año).
- r : tasa de crecimiento de la demanda que satisface el proyecto (0.016).

- N: vida útil de la maquinaria y equipos (10 años).
- α : factor de escala (0.6).

La demanda actual y la tasa de crecimiento anual se definieron en el apartado anterior en base a la información obtenida en el estudio de mercado.

La vida útil de maquinarias y equipos se toma convencionalmente con un valor de 10 años. Este tiempo coincide con los años de análisis del proyecto.

El factor de escala⁸ se obtiene de una lista publicada por la Organización de las Naciones, para las industrias químicas, petroquímicas y automovilísticas.

Se comienza por estimar el periodo óptimo “n”, al que corresponde el tamaño óptimo del proyecto, utilizando la ecuación 5.2 (Sapag Chain & Sapag Chain, 1991).

$$\frac{1}{R^2} = 1 - 2 * \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} * ((R - 1)/(R + 1))^{N-n} \right]$$

Ecuación 5.2

En donde ‘R’ es el desarrollo porcentual de la demanda, que se calcula en función de la tasa de crecimiento promedio estimada de la demanda ‘r’, a partir de la ecuación 5.3 (Sapag Chain & Sapag Chain, 1991).

$$R = r + 1$$

Ecuación 5.3

Una vez encontrados estos valores, se utiliza la ecuación 5.4 para calcular el tamaño óptimo aconsejable ‘D_n’ (Sapag Chain & Sapag Chain, 1991).

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

Ecuación 5.4

Se obtiene así la producción óptima aconsejable, con un valor de 177904.6 t/año. Esto señala que se debe preparar la planta para satisfacer esa demanda, la cual permitiría mantener al mínimo los costos totales en el periodo de tiempo que se analiza. Cabe destacar que este método solo analiza el mercado y no tiene en cuenta el resto de los factores limitantes.

⁸ NACIONES UNIDAS, *Industrialización y productividad*. Boletín N°20, abril de 1974.

5.4 CAPACIDAD ADOPTADA

Según los cálculos realizados en el apartado anterior, la demanda insatisfecha actual es de 153674 t/año y la producción óptima estimada de 177904.6 t/año.

Como la información más representativa de la realidad con la que se cuenta en Argentina corresponde al análisis hecho entre los años 2018 a 2020, y todos los cálculos se hicieron en base a esos años, no se puede determinar con total seguridad una capacidad que cubra toda la demanda futura en el país, ya que el periodo de tiempo analizado es muy corto. Por fortuna, el consumo en Brasil permite ampliar el mercado a cubrir.

En base a esto, se define la capacidad de producción con un valor de 23900 t/año. En conclusión, con el proyecto que se propone no se pretende cubrir la totalidad de la demanda insatisfecha, sino un 15%, con el fin de tener un margen de seguridad.

CAPÍTULO 6: SELECCIÓN DEL PROCESO

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se determina el proceso para llevar a cabo el proyecto de producción de ácido acético. Para comenzar se describen todas las vías posibles de obtención, luego se elige y justifica el proceso adoptado y para finalizar se detallan todas sus etapas, así como también su diagrama de flujo.

6.2 PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO

El ácido acético puede obtenerse de forma biológica, mediante fermentación bacteriana, o de forma sintética.

Al remontarse a su historia se observa que el primer método de obtención fue la fermentación de la madera y de sustratos alcohólicos. Este último actualmente se utiliza para producir vinagre. La compañía británica Celanese diseñó, en el año 1925, una planta piloto para la carbonilación del metanol. En 1952, esta misma compañía inició la producción de ácido acético a partir de la oxidación de butano en fase líquida.

Al comenzar el siglo XX, la tecnología dominante era la oxidación del acetaldehído. La carbonilación del metanol se puso en marcha en el año 1963 por la compañía alemana BASF. Esta introdujo el uso del Cobalto como catalizador. En 1970, la compañía norteamericana Monsanto, modifica el proceso, utilizando un sistema de catalizadores basado en el Rodio. Finalmente, la compañía BP en 1990, introduce el procedimiento Cativa con el uso del catalizador Iridio, este método resultó ser más eficiente y menos agresivo al ambiente que el proceso Monsanto. Es por esto por lo que actualmente la patente de proceso Cativa sigue en vigencia y es el elegido mundialmente para la obtención de ácido acético.

A continuación, se describe cada proceso, junto con su diagrama de flujo.

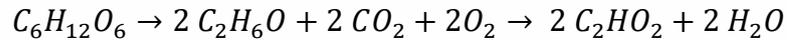
6.2.1 PROCESOS FERMENTATIVOS

Oxidación del etanol

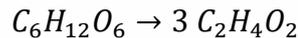
Tradicionalmente, el ácido acético obtenido de forma biológica se destina a la industria alimenticia. El proceso se puede llevar a cabo de forma aeróbica o anaeróbica.

La vía aeróbica está compuesta de dos pasos. En primer lugar, se produce etanol a partir de glucosa, operación que se lleva a cabo a temperaturas que rondan los 30°C y en la que se utilizan microorganismos anaeróbicos como *Saccharomyces cerevisiae*. El rendimiento es

aproximadamente del 90%. El segundo paso es la oxidación del etanol utilizando la bacteria aeróbica *Acetobacter acetii* a 27-37°C con un rendimiento de aproximadamente 85%.



Por otro lado, en el proceso anaeróbico se utilizan especies de bacterias acetogénicas, las cuales son capaces de convertir la glucosa casi estequiométricamente en ácido acético.



Comparando ambas vías se encuentra que en el proceso aeróbico sólo se produce ácido acético, lo cual es una ventaja, mientras que en el proceso anaeróbico se obtienen cantidades significativas de ácidos propiónico y butírico. Además, la fermentación aeróbica es un proceso más rápido y con ella se obtiene ácido acético de mayor concentración (hasta 11%). Esto hace que, para la obtención de vinagre, se utilice exclusivamente la vía aeróbica. Sin embargo, se está investigando el proceso anaeróbico dadas sus ventajas económicas. El coste de los equipos es más bajo, la operación es relativamente simple y se eliminan los costes de aireación. Con un rendimiento del 85%, la vía anaeróbica ofrece una reducción del 60% en materia prima frente a la vía aeróbica.

Los caldos de fermentación están formados mayoritariamente por agua, con una pequeña cantidad de ácido acético (generalmente igual o inferior al 5%). Esto hace que sea necesario diseñar procesos de recuperación del ácido de las disoluciones acuosas formadas. Los costos de esta operación son elevados.

Destilación de la madera

La destilación seca de la madera es uno de los primeros procesos de la tecnología química. El comienzo de la aplicación industrial se refiere al siglo XIX, en ese entonces solo se utilizaba la madera de las variedades foliáceas y el producto principal era el ácido acético.

Las operaciones por realizar incluyen la preparación de las materias primas, para esto se reducen de tamaño y se secan, esta es la fase más larga e intensiva en energía ya que se parte de una humedad del 45% hasta llegar al 15%. Luego se realiza la pirólisis en hornos especiales, se refrigera el carbón y se estabiliza para prevenir la autoinflamación, por último, se condensan los vapores de los productos volátiles.

Para realizar el proceso, en la actualidad, se utiliza madera de las variedades foliáceas, como el abedul, y raramente de las variedades coníferas. Durante la pirólisis de la madera del abedul

(humedad del 10-15%) se obtiene el 24-25% del carbón vegetal, el 50-55% de los productos líquidos (denominados “Zizhka”) y el 22-23% de los gaseosos.

Durante el almacenaje y tratamiento de la “Zizhka” se sedimenta el alquitrán de árbol (7-10%) y al mismo tiempo ocurren numerosas transformaciones de sus componentes. La “zizhka” sedimentada tiene la densidad de 1,025-1,050 g/cm³ y contiene el 6-9% en masa de ácido acético y sus homólogos, el 2,5-4,5% de metanol, el 5-6% de las combinaciones de diferentes clases (aldehídos, cetonas, éster, etc.), el 4,5-14% del alquitrán soluble de árbol y el 67-81% del agua. El ácido acético se extrae de la “zizhka” por extracción con éter isopropílico o acetato de etilo y por destilación azeotrópica directa (extracción con aceite de madera que proviene del alquitrán de la madera) y posteriormente una destilación al vacío.

Los productos gaseosos (gases no condensables) incluyen dióxido (45-55% en volumen) y óxido (28-32%) del carbono, hidrógeno (1-2%), metano (8-21%) y otros hidrocarburos (1,5-3,0%). La composición de los gases no condensables depende de la temperatura final de la pirolisis, la velocidad y el modo del calentamiento (con la circulación interior o exterior del agente de transmisión de calor, habitualmente de los gases de hornillo recibidos a la quema del combustible y de los gases no condensables); el calor de su combustión se varía de 3,05 hasta 15,2 MJ/m³.

Los factores enumerados, así como variedad, calidad y humedad de la madera determinan rendimiento de sus productos de pirolisis. Con la subida de la temperatura crece el rendimiento del alquitrán de árbol y de los gases no condensables, pero baja el rendimiento del carbón vegetal, del ácido acético y de los productos de alcohol; el carbón se forma con un porcentaje más alto del carbono. El rendimiento medio de los productos básicos de pirolisis de la madera se compone, calculando por la madera seca, de ácido acético (5-7%), alquitrán de árbol (10-14%), carbón vegetal, calculando por el carbono no volátil (23-24%).

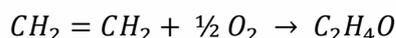
El principio de la pirolisis se basa en las reacciones de radical libre de la destrucción térmica de la hemicelulosa, celulosa y lignina, que pasan a 200-260, 240-350 y 250-400°C respectivamente. Este es un proceso exotérmico, como resultado del cual se desprende una gran cantidad de calor (1150 kJ/kg).

Desde el punto de vista económico, los métodos biotecnológicos no tienen comparación con los sintéticos, sin embargo, presentan algunas ventajas en otros aspectos, como por ejemplo que la materia prima puede obtenerse de fuentes renovables, y que se puede obtener un amplio rango de productos. Además, siempre está la posibilidad de utilizar la ingeniería genética para mejorar los bioprocesos (Eco Friendly Technology, 2018).

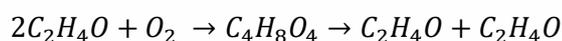
6.2.2 PROCESOS DE SÍNTESIS

Oxidación de acetaldehído

El primero de los métodos de obtención se basa en la oxidación de acetaldehído (etanal), este se obtiene por oxidación catalítica de tipo homogénea del etileno, encontrándose en presencia de cloruros de cobre y paladio:



La oxidación de acetaldehído con aire u oxígeno para obtener ácido acético tiene lugar mediante la formación de ácido peracético como intermedio de reacción (radical libre).



En los procesos discontinuos, se utiliza una disolución de acetaldehído que contiene 0,5% de acetato de manganeso como catalizador. La temperatura está entre 55 y 80°C y la presión entre 75 y 85 psig. La concentración de oxígeno en el gas de salida se mantiene por debajo del 10% por motivos de seguridad. El acetaldehído residual se recupera mediante destilación y el ácido acético se purifica hasta el 99% también mediante destilación. El rendimiento está entre el 85 y el 95%.

Hoy en día la oxidación se lleva a cabo con oxígeno y de forma continua. Un ejemplo es el proceso Hoechst que opera entre 50 y 70°C en torres de acero inoxidable con ácido acético como disolvente. El calor de reacción es eliminado haciendo circular la mezcla de oxidación por un sistema de refrigeración. Un control adecuado de la temperatura permite limitar la descomposición del ácido acético en ácido fórmico, CO₂, y pequeñas cantidades de CO y H₂O. La selectividad alcanza valores entre el 95 y el 97%. La Figura 6.1 muestra el diseño del proceso.

El mayor peligro de este proceso se encuentra en el arranque del reactor continuo. Una cuidadosa regulación automática del calor de reacción, la concentración de catalizador y la concentración de oxígeno en el gas de salida, elimina la mayor parte del peligro.

El ácido acético obtenido contiene aún impurezas, como el acetato de etilo o algunos peróxidos muy oxidantes que también se forman durante la reacción. Estas impurezas primero son tratadas químicamente con sales y hexano. Posteriormente se le realiza al producto otra destilación para purificarlo y se extrae de la columna de destilación por una extracción lateral.

La cantidad de agua es un parámetro muy importante en este proceso, ya que tiene una importancia muy relevante en la capacidad de corrosión del ácido acético. (Martinez, 2018)

Durante muchos años la oxidación de acetaldehído fue la principal vía de obtención de ácido acético, pero motivos económicos impulsaron la búsqueda de procesos alternativos.

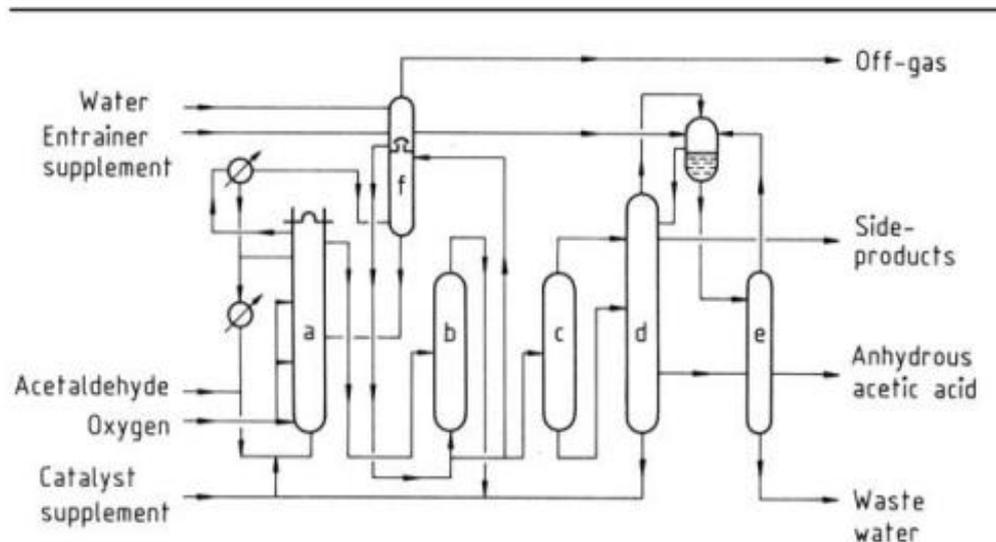


Figura 6.1: Oxidación del acetaldehído a ácido acético

Fuente: http://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf

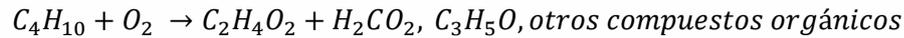
Oxidación de hidrocarburos en fase líquida

La oxidación de hidrocarburos parafínicos y olefínicos se ha llevado a cabo bajo gran variedad de condiciones térmicas, enzimáticas y electroquímicas, entre otras, resultando en la producción de ácido acético en cantidades que varían entre apenas detectable y comercialmente aceptable. El objetivo no es solo producir ácido acético sino hacerlo de forma económicamente atractiva.

Hidrocarburos C4-C8 son los más favorables para la producción de ácido acético. De todas las olefinas y parafinas, es el butano el que ha recibido más atención.

Este compuesto procede de la destilación fraccionada de petróleo. Es una reacción de oxidación en fase líquida bastante compleja con la formación de diversos productos, pero en buenas condiciones, y con la presencia de un catalizador de acetato de cobalto, es factible obtener altos rendimientos. Dicho procedimiento se usa aún hoy en algunas compañías.

Se opera a 175°C y 54 bar con acetato de cobalto como catalizador. La separación de la mezcla de ácidos acético, fórmico, propiónico, acrílico y butírico, entre otras sustancias, se lleva a cabo mediante una combinación de extracción, destilación y destilación extractiva.



Dadas las ventajas económicas de la carbonilación del metanol, este proceso se utiliza poco hoy en día. Se muestra en la Figura 6.2 (Levoso, 2016).

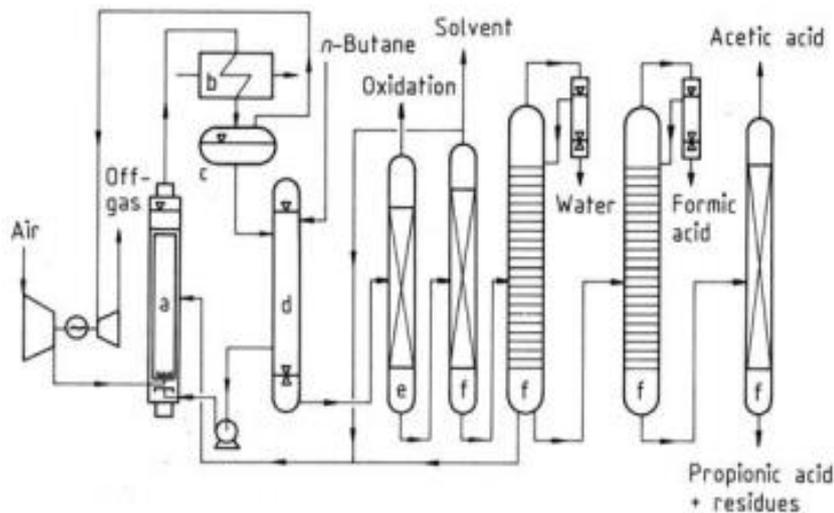


Figura 6.2: Oxidación del n-butano en fase líquida

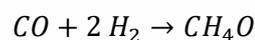
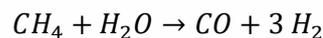
Fuente: http://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf

Carbonilación del metanol

En 1913 se descubre que el metanol, principal producto de reacción del gas de síntesis, puede ser carbonilado para producir ácido acético, pero es en 1920 cuando este método se hace económicamente viable, dada la posibilidad de obtener metanol en cantidades comerciales. Esta vía se ha convertido en la forma más aceptada de obtener el ácido y representa gran parte de la producción en los últimos años. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Ya sea el metanol como el monóxido de carbono se consiguen partiendo del metano del gas natural:



La última reacción exige tener altas presiones y la presencia de un catalizador de tipo heterogéneo (Levoso, 2016).

La primera planta comercial de carbonilación de metanol es puesta en funcionamiento por BASF hacia 1960, utilizando yoduro de cobalto como catalizador. En este proceso, el metanol (solo o mezclado con dimetiléter y una pequeña cantidad de agua) reacciona con monóxido de carbono en presencia de yoduro de cobalto II, en fase líquida, a 250°C y 680 bar. La selectividad es de 90% (basada en CH₃OH) y 70% (basada en CO), en la Figura 5.3 se muestra el diagrama de flujo.

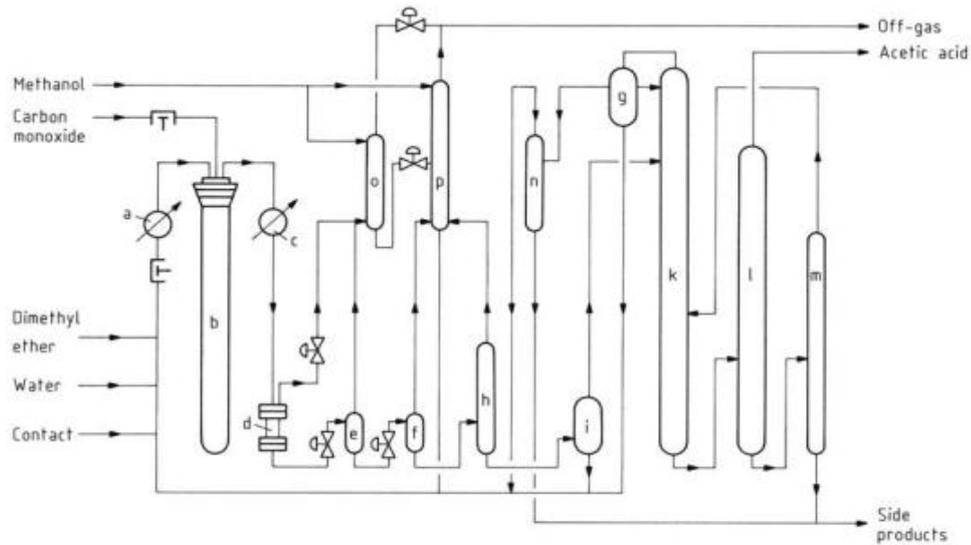


Figura 6.3: Proceso BASF

Fuente: http://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf

Unos años más tarde, Monsanto descubre que el uso de rodio combinado con yodo como catalizador permite utilizar condiciones de operación menos extremas obteniendo mayor selectividad.

En el proceso industrial, el metanol y el monóxido de carbono reaccionan de forma continua, en fase líquida, a 150-200°C y bajo presiones de hasta 30 bar. De esta manera la selectividad a ácido acético llega al 99% (basada en CH₃OH) y supera el 90% (basada en CO). En una unidad comercial de proceso se incluye la producción y regeneración del catalizador.

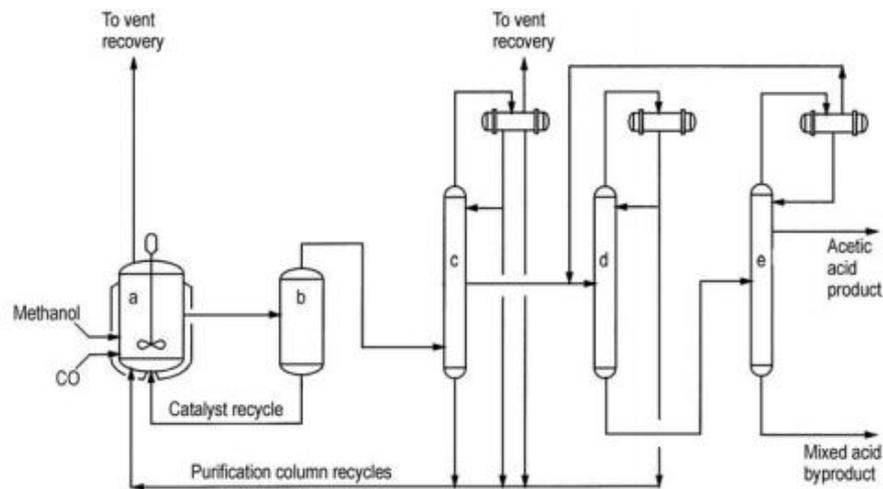


Figura 6.4: Proceso Monsanto

Fuente: http://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf

En 1996 se anuncia un nuevo proceso para la carbonilación del metanol basado en el uso de un catalizador de iridio denominado Cativa. Este proceso ofrece mejoras tecnológicas, además de un ahorro de costos.

La tecnología, que es similar al proceso de Monsanto, es desarrollada por BP Chemicals y está bajo licencia de BP Plc. Los procesos de Cativa y Monsanto son lo suficientemente similares como para que puedan utilizar la misma planta química. Los estudios iniciales de Monsanto demuestran que el iridio es menos activo que el rodio para la carbonilación del metanol. Sin embargo, investigaciones posteriores muestran que el catalizador de iridio puede ser promovido por el rutenio, y esta combinación conduce a un catalizador que es superior a los sistemas basados en rodio. El cambio de rodio a iridio también permite el uso de menos agua en la mezcla de reacción. Este cambio reduce el número de columnas de secado necesarias, disminuye la formación de subproductos, como el ácido propiónico, y suprime la reacción de cambio de gas de agua (EUROPEAN PATENT APPLICATION, 2001).

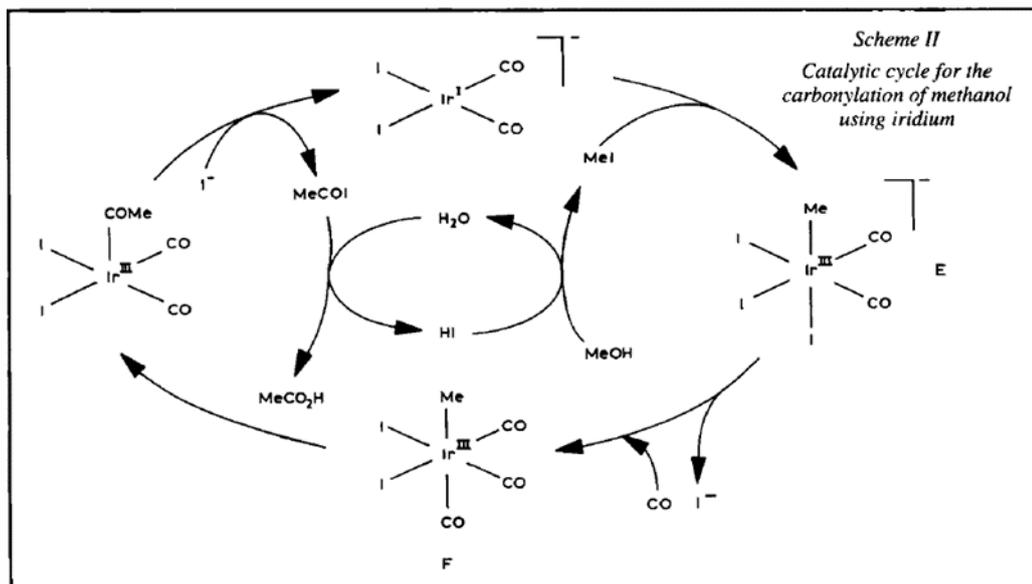


Figura 6.5: Mecanismo de la carbonilación de metanol catalizada mediante iridio.

El rutenio actúa transportando los iones yoduro

Fuente: Wiley -VCH

En el ciclo catalítico participan el CO, el MeI (yoduro de metilo), el acetato de metilo, el iridio y el rutenio. El rutenio no aparece representado, actúa disminuyendo la concentración de iones yoduro en el medio y la formación de yoduro de metilo, favoreciendo la reacción 4-5 frente a la 2-14-6, más lenta, y disminuyendo la formación de los complejos inactivos 8 y 9, aumentando así la velocidad de reacción. El paso limitante es la inserción del grupo metilo en el complejo de iridio 1 para dar lugar al intermedio 3 (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).

La calidad del ácido acético obtenido mediante el proceso Cativa es excepcional. La cantidad de impurezas orgánicas de yoduro es muy baja, mientras que esto supone un problema en procesos basados en catalizadores de rodio. La cantidad de ácido propiónico producido en el proceso Cativa es inferior a la formada en procesos con rodio, lo que significa menos consumo de energía a la hora de purificar el producto. En la Figura siguiente se muestra el diagrama de flujo del proceso (EUROPEAN PATENT APPLICATION, 2001).

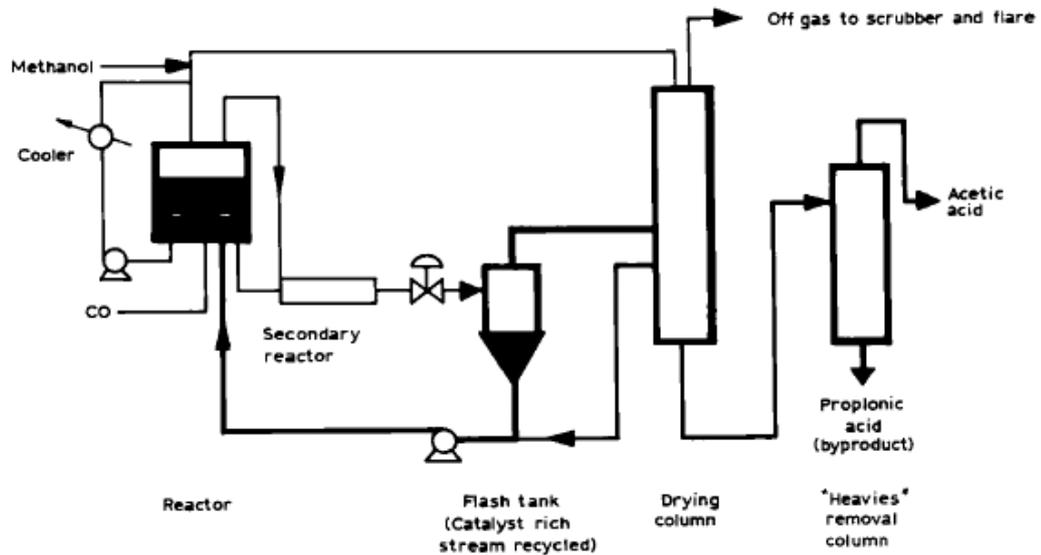


Figura 6.6: Proceso Cativa

Fuente: European Patent

Se puede ver que, en la mayoría de los procesos industriales, se produce una solución de ácido acético que posteriormente hay que purificar. Para ello, se utiliza como proceso más común la destilación directa siempre que sea la opción económicamente más rentable, y esta situación se da cuando la concentración de ácido acético es relativamente alta. Existen otros métodos de separación más idóneos en otras circunstancias, como puede ser el caso que se tenga ácido acético diluido, en donde no se opta por la destilación directa debido a que se requieren un gran número de etapas y una elevada relación de reflujo en la torre para alcanzar la separación necesaria, en estos casos se utiliza la destilación azeotrópica o la extracción con disolventes (Martinez, 2018).

6.3 ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROCESO

Como se menciona anteriormente, los métodos fermentativos solo se utilizan para obtener el producto que se destina a la industria alimenticia, en la cual no son necesarias etapas de concentración, las cuales elevan significativamente los costos de fabricación.

Estos procesos no son económicamente viables en comparación con los sintéticos, aunque, como se detalla más arriba, presentan otras ventajas como el uso de materias primas renovables, menor impacto al medio ambiente y condiciones de operación satisfactorios.

Dentro de los métodos sintéticos, el principal inconveniente de los dos primeros radica en que generan subproductos, por consiguiente, la conversión global disminuye y la separación se hace más compleja.

La combinación catalítica de metanol y monóxido de carbono es hoy en día el procedimiento más utilizado en la producción de ácido acético a nivel mundial. Este método ha sufrido modificaciones en el tiempo, con el fin de mejorar el rendimiento y las condiciones de operación, de modo que actualmente presenta tres variantes: proceso BASF, Monsanto y Cativa. En la siguiente tabla se comparan sus condiciones de operación.

Tabla 6.1: Condiciones de operación para los distintos procedimientos de obtención de acético mediante carbonilación de metanol.

Fuente: <https://www.recercat.cat/bitstream>

Proceso	Origen	Cronología	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Catalizador	Selectividad (%)
BASF	Alemania	1960	250	680	cobalto	90
Monsanto	USA	1966	150-200	30-60	Rodio	99
Cativa	U.K	1996	190-198	28	Iridio	99

Se observa que el proceso BASF (el más antiguo de ellos) es poco viable económicamente debido a las elevadas presiones y temperaturas de trabajo. Estas condiciones generan un gasto adicional en equipos (inversión inicial) así como un mayor costo de operación (más gasto energético). Descartada esta opción, los procesos restantes presentan unas condiciones de operación similares y una selectividad idéntica (ALVAREDO, 2007).

Para discernir cuál de los dos métodos sería el adecuado se analiza el catalizador. El rodio, del proceso Monsanto, es irritante y produce humos tóxicos a temperatura elevada, además de tener un costo más elevado. Por otro lado, el proceso Cativa, al ser la última modificación de los métodos de carbonilación de metanol, es el más eficiente, donde el catalizador iridio no es tóxico y gracias a este proceso se alarga su vida útil, siendo económicamente más viable.

Otros aspectos que se analizan son:

Concentración de agua presente durante el proceso. El proceso Cativa, gracias a la utilización del iridio, reduce la concentración de agua. Esto influye en los costos asociados a la purificación y permite obtener una mayor velocidad de reacción.

Pureza del producto final. El ácido acético producido mediante Cativa es excepcionalmente puro. La formación de ácido propiónico es inferior a 400 ppm, mientras que en el más clásico proceso de Monsanto la concentración de esta sustancia es alrededor de 1600 ppm.

Presión y temperatura de operación. Como se argumenta anteriormente, las condiciones de operación son similares. Aun así, la presión en el proceso Cativa es menor (la diferencia puede llegar a ser de hasta 30 bar). No obstante, las temperaturas de trabajo son iguales.

Cativa tiene un rango de operación satisfactorio mucho mayor. El proceso Monsanto está sujeto a limitaciones importantes en las condiciones de operación, especialmente la composición del medio y la presión parcial de CO, porque el catalizador Rodio puede precipitar perdiéndose en el downstream (es menos soluble) (ALVAREDO, 2007).

Los requisitos de vapor y agua de refrigeración se reducen en un 30 por ciento en comparación con el sistema de rodio, por ejemplo, se usa vapor para calentar las columnas de destilación y hay un 30% de ahorro de vapor con respecto al proceso de Monsanto. La insensibilidad comparativa del sistema a la presión parcial de CO permite el funcionamiento con tasas de ventilación del reactor más bajas que en el sistema de rodio.

Todavía se produce alguna conversión de CO en CO₂, pero a una tasa mucho menor. La utilización de CO aumenta de aproximadamente 85% a más de 94%. En general, el proceso Cativa libera aproximadamente un 30% menos de CO₂ por tonelada de producto que el proceso de rodio.

Todos estos aspectos considerados concluyen en un menor impacto ambiental por el proceso a base de iridio que por el de rodio.

En conclusión, el proceso adoptado para la producción de ácido acético se lleva a cabo mediante el proceso Cativa, debido a las ventajas que presenta sobre el proceso Monsanto.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO SELECCIONADO

El proceso productivo consta de las siguientes etapas:

- Preparación de reactivos.
- Reacción química.
- Separación y purificación.
- Preparación del producto final.
- Recuperación de reactivos y tratamiento de emisiones.

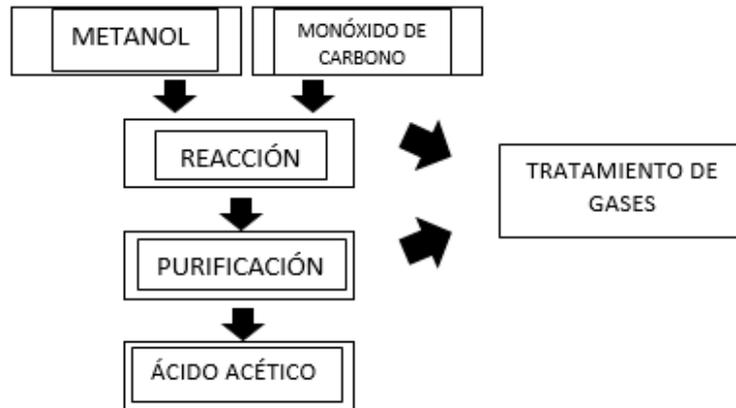


Figura 6.7: Diagrama de bloques del proceso Cativa

Fuente: Elaboración propia

Entrada de reactivos

Las materias primas principales son el metanol y el monóxido de carbono. Ambos están libres de cualquier impureza.

El monóxido de carbono se almacena licuado en tanques criogénicos a unas condiciones de -158°C y 15 bar. El metanol se encuentra en tanques atmosféricos a 25°C .

El metanol se suministra en la cantidad estequiométrica. Puede ingresar por alguno de los caminos que se proponen a continuación, en base al diseño de la planta de producción y los equipos que se elijan para llevar a cabo el proceso:

- Ingresar puro al reactor, impulsado por una bomba en la cual se aumente la presión hasta la de operación o mezclarse con la corriente de recirculación, para ingresar al reactor, también a la presión de operación. Esta corriente se compone del destilado que sale de la torre y de la corriente líquida procedente del separador flash, con los componentes más volátiles y el catalizador (Jones, 2000).
- Ingresar a una torre de absorción como líquido de lavado de los gases que salen del reactor, separando las sustancias orgánicas volátiles solubles de la fracción incondensable, y posterior retorno al sistema reactor, mezclándose previamente con la corriente de producto líquida proveniente del separador flash que contiene al catalizador (Ortiz, 2007).

El monóxido de carbono se encuentra licuado en los tanques de almacenamiento. Desde allí se libera sufriendo una expansión y enfriamiento, cambiando de fase al estado gaseoso, luego pasa por un compresor que lo envía a la zona de reacción a 28 bar. Este se suministra con un 10% de exceso respecto al estequiométrico.

El agua destinada para la reacción se encuentra almacenada en tanques a temperatura ambiente, y se bombea al reactor a la presión de operación de manera continua.

La sal de iridio junto con el promotor, se agregan al reactor de manera discontinua, y recirculan una vez que el reactor alcanza el estado estacionario. Al estar finamente divididos, se puede suponer que forman parte de la fase líquida.

El ácido yodhídrico, es un nucleófilo que proporciona los iones yoduro para comenzar el ciclo catalítico, se agrega también de manera discontinua, y se regenera al completarse la reacción, como se muestra en el apartado siguiente.

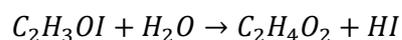
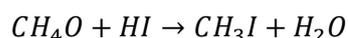
Reacción química

La reacción principal del proceso es la carbonilación del metanol, catalizada por la presencia de metales del grupo nueve, en presencia de iones yoduro. Esta tiene una selectividad del 99% respecto al metanol.



Como se menciona anteriormente, el mecanismo por el cual esta ocurre no es sencillo, sino que conlleva un ciclo catalítico, en el que se tienen especies iónicas intermedias formando complejos con el catalizador. Esto se puede representar por el ciclo que se muestra en la figura 6.5 y, de manera más general, por las reacciones que se describen a continuación:

El proceso involucra al yoduro de metilo como intermediario, el cual se forma mediante una reacción de sustitución.



La patente Cativa utiliza iridio como catalizador. Las velocidades de reacción son mayores operando a bajas concentraciones de yoduro, por lo que es necesario añadir un promotor que ayude a disminuirla. Los promotores de este sistema se encuentran dentro de dos grupos:

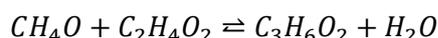
- Complejos de yoduro simple de zinc, cadmio, mercurio, galium (óxido de galio) e indio.
- Complejos de yoduro de carbonilo de tungsteno, renio, rutenio y osmio.

Se demuestra experimentalmente que el rutenio es el mejor promotor, por lo que es el elegido para este proyecto (Jones, 2000).

Además de la reacción principal, ocurren reacciones secundarias, algunas de las cuales forman productos deseados y otras, indeseados. Estos se describen a continuación:

Acetato de metilo

Además de ser producto, el acético también actúa como el principal disolvente. Por lo tanto, el metanol es esterificado en gran parte en acetato de metilo en las condiciones de proceso y este último forma parte del medio óptimo de reacción encontrándose en equilibrio químico con el ácido acético, mediante la reacción



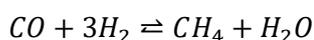
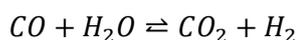
Yoduro de metilo

Se forma a partir del metanol y los iones yodo, como se describe al principio de este apartado. Actúa como co-catalizador. El CH_3OH debe convertirse en CH_3I ; de lo contrario, este insertaría CO en el enlace $O - H$ (para dar formiato de metilo) y no en el enlace $C - O$ (para dar ácido acético). Una parte de este se regenera para dar nuevamente el ácido yodhídrico, pero también hay una cantidad extra recirculando en el estado estacionario que forma parte del medio óptimo de reacción.

Gases de salida

Se considera que son eliminados en su totalidad en el reactor dirigiéndose hacia la zona de tratamiento de gases, antes de ser eliminados al ambiente.

Se forman mediante las siguientes reacciones de equilibrio:



En la primera de ellas reacciona el 1% del monóxido de entrada y en la segunda se consume todo el hidrogeno formado en la reacción anterior, por lo que es el reactivo limitante.

En las condiciones de operación estas reacciones se encuentran desplazadas hacia los productos con valores elevados de K_c .

Ácido propiónico

Mediante el proceso Cativa se forman menos de 400 ppm. Este proviene de reactivos iónicos intermedios producidos en el ciclo catalítico de la reacción principal, formados en cantidades insignificantes, de modo tal que no se tienen en cuenta las reacciones que lo producen.

Según estudios realizados, que se muestran en el capítulo ocho de este trabajo, el medio óptimo de reacción debe tener la siguiente composición para que las velocidades de reacción sean elevadas.

Tabla 6.2: Composición óptima dentro del reactor

Fuente: Elaboración propia

Componente	Concentración (%p/p)
Acetato de metilo	25.5
Yoduro de metilo	8.2
Agua	5.7
Ácido acético	60.6

Cuando la concentración del monóxido de carbono se encuentra por encima de una presión parcial de 10 bar, ésta se hace independiente de la velocidad.

El catalizador es soluble hasta 2000 ppm, por encima de esta concentración precipita. Se demuestra que la relación catalizador-promotor debe ser de 1:2 para que las velocidades de reacción sean máximas, por lo que el rutenio tiene una concentración de 4000 ppm (Jones, 2000).

El proceso se lleva a cabo en estado estacionario mediante la alimentación continua de metanol, monóxido de carbono, agua y material reciclado (proveniente de mezclar la salida líquida del flash, que contiene al catalizador, junto con el destilado de la torre) a un reactor de carbonilación mientras que al mismo tiempo se extrae continuamente una corriente que contiene el ácido acético.

Según la bibliografía consultada, las condiciones de operación óptimas del reactor son 190°C y 28 bar. La reacción es fuertemente exotérmica, ($H = -1,23 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$). Una vez en estado estacionario, la temperatura óptima se auto sostiene, fundamentalmente gracias a la baja temperatura de entrada de las corrientes de alimentación, aunque además puede ser necesario instalar algún dispositivo de refrigeración en el reactor (Jones, 2000).

El sistema propuesto por el proceso Cativa no requiere un agitador tradicional para remover el contenido del reactor. La eliminación de esto conduce a mayores ahorros de costos operativos y de mantenimiento en comparación con el proceso Monsanto. La mezcla se efectúa mediante el efecto de chorro proporcionado por el circuito de enfriamiento del reactor para mantener la mezcla isotérmica, en el que el material sale de la base de este y pasa por un enfriador antes de regresar a la parte superior. Un reactor secundario después del reactor

principal y antes del tanque flash aumenta aún más la utilización de CO al proporcionar un tiempo de residencia adicional en condiciones de flujo de pistón para que el CO residual reaccione y forme ácido acético. En la figura 6.8 se representa dicho sistema (I & EC RESEARCH, 2017).

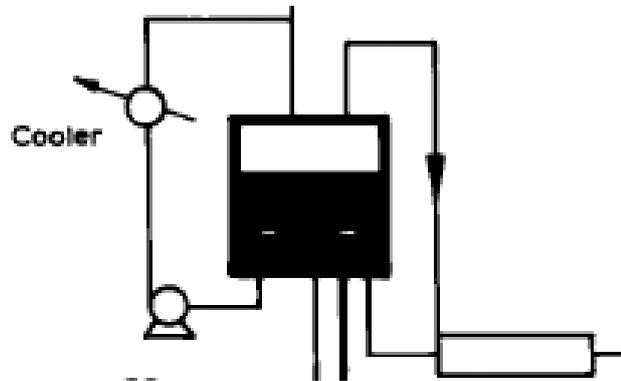


Figura 6.8: Reactor de chorro con sistema de enfriamiento.
Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/141870308.pdf>

En la práctica existen diversas maneras de poner en contacto las fases. Si se considera el sólido, éste puede estar en forma de lecho fijo o mantenerse en suspensión (slurry). Los reactores tipo slurry son tanques agitados, lechos fluidizados, lechos móviles o columnas de borboteo. De igual manera existen varias alternativas para los fluidos (gas y líquido): el flujo del gas a través del líquido confinado en el reactor, o el flujo de ambos fluidos. Dependiendo de si la resistencia a la transferencia de materia se halla en el gas o en el líquido se utiliza el gas como fase dispersa y el líquido como fase continua o viceversa. El líquido puede dispersarse en forma de gotas, columna de lluvia, o en forma de riachuelos (CUNILL., 2013). Otras alternativas para el proceso que se considera, se detallan a continuación:

- Tanque agitado: son útiles para manejar líquidos viscosos y suspensiones. Se usa preferentemente para reacciones exotérmicas, ya que la agitación facilita la transferencia de calor. La agitación también es favorable cuando es necesario mantener en suspensión un catalizador finamente dividido, este tipo de reactores se utiliza en el proceso Monsanto, como muestra la figura 6.9 y se denominan slurry. Es muy usado en la industria ya sea en continuo o en discontinuo y en general muestran facilidad para variar el tiempo de residencia del líquido, para eliminar o suministrar calor y para variar la agitación. También permite alcanzar elevadas áreas interfaciales y valores de k_L , sin embargo, una excesiva agitación origina burbujas pequeñas que disminuyen este último.

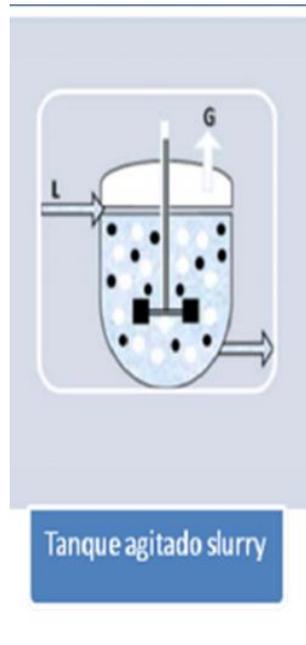


Figura 6.9: Reactor de lechada. Flujo mezcla completa

Fuente: <http://diposit.ub.edu/dspace>

- Reactor de lecho fijo: son columnas de construcción simple y versátil, ya que fácilmente se pueden adaptar cambiando el relleno. Eligiéndolo de manera adecuada, ofrece la posibilidad de soportar la corrosión, así como evitar inundaciones. Este tipo de reactor tiene malas propiedades de transferencia de calor y puede traer problemas al catalizador. En caso de utilizarse debería estar acompañado de un sistema de enfriamiento entre etapas, un sistema de refrigeración interno, o inyección de alimentación fría, pero aun así no es conveniente por los daños ocasionados al reactor, ya que si trabaja con partículas sólidas pequeñas se puede tapar. Por lo tanto, las columnas de relleno no son adecuadas cuando el gas o el líquido llevan impurezas sólidas en suspensión, si la velocidad de flujo a utilizar es demasiado baja y no se moja bien el relleno, o cuando hay que dar o eliminar calor (CUNILL., 2013).

Al estudiar las condiciones de operación y las fases presentes en el reactor, se elige el tanque agitado que se utiliza en el proceso Monsanto. No solo por sus características, sino que, además, a fines prácticos es más fácil de analizar.

Separación y purificación

El reactor presenta dos salidas, un venteo para eliminar por la parte superior del equipo los gases indeseables, y otra lateral para la corriente líquida de proceso que contiene al producto y al medio óptimo de reacción. Esta última pasa por una válvula que se encarga de generar que los más volátiles junto con parte del producto pasen a la fase vapor, separándose del

líquido en un tanque flash, mientras que los menos volátiles que disuelven al catalizador, recirculan al reactor.

El diseño propuesto por el proceso Cativa contiene una torre de lavado para los volátiles que salen del flash, utilizando el metanol de ingreso al proceso que arrastra los componentes del medio de reacción que son solubles en él. Esta corriente se mezcla con la corriente líquida rica en catalizador que sale por el fondo del flash y retorna al reactor. Por otra parte, en la cabeza de la torre de lavado, se separan los gases del proceso que no son solubles en el metanol y no pudieron ser eliminados en el venteo del reactor, e ingresan a un sistema de tratamiento. Además, el producto junto con algo de agua, que son los componentes más pesados, pasa a una torre de destilación para ser separados y obtener acético con un alto grado de pureza (Jones, 2000).

En otro trabajo consultado se utilizan dos torres de destilación de platos, de 20 y 10 etapas respectivamente, una primera en donde ingresa el vapor procedente del flash, se separan los volátiles de la fase líquida rica en ácido acético, alcanzándose una pureza del 91% en la corriente de colas. El destilado de esta torre se mezcla con el fondo del flash y retorna al reactor, mientras que en la segunda torre ingresa el ácido acético a purificar, obteniéndose una mayor pureza en la corriente de colas (Alvaredo, Fernandez, Montalbán, Gomez, & Montera, 2007).

Para el diseño de la etapa de purificación se escoge una torre de destilación rellena, ya que permite trabajar con condiciones de operación no tan extremas y abaratar costos, también se generan menos pérdidas en cuanto al proceso global.

Tratamiento de gases

Como se menciona anteriormente, del reactor se elimina por la parte superior una corriente de productos ligeros, que se forman mediante reacciones secundarias dentro del reactor. Estos deben ser tratados ya que algunos son tóxicos. La corriente consta de monóxido de carbono sin reaccionar, dióxido de carbono y metano.

El dióxido de carbono puede ser eliminado directamente sin previo tratamiento. El monóxido y el metano se combustonan para dar dióxido de carbono y agua y así poder ser liberados a la atmósfera. Se mencionan a continuación tres equipos en los que se pueden tratar el monóxido y el metano:

- Caldera
- Reactor

En ambas propuestas, la corriente de gases se quema con aire en exceso para que la combustión se complete. Sin embargo, estos equipos presentan distintas condiciones de operación y diseño, las cuales se tienen en cuenta para definir el proceso.

El reactor se descarta ya que, como las reacciones de combustión del monóxido y del metano tienen condiciones de operación distintas, deben utilizarse dos equipos, uno para cada reacción. Por lo tanto, el costo de inversión y energía es mayor.

La caldera requiere un tratamiento previo de los gases de salida del reactor, donde se ajuste la presión y la temperatura, ya que el material de construcción de esta debe soportar estas condiciones. Sin embargo, se pueden dar ambas reacciones en el mismo equipo, eligiendo las condiciones adecuadas.

6.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

En la zona de almacenamiento se dispone de tanques de metanol, agua, monóxido de carbono y ácido acético. El metanol y el agua, que se encuentran a 25 °C y 1 bar, se bombean al reactor aumentando su presión hasta 28 bar. El monóxido de carbono se encuentra licuado en tanques criogénicos a -158°C y 15 bar. Al liberarse de estos, pasa al estado gaseoso sufriendo un cambio de presión y como consecuencia, de temperatura. Un compresor lo envía al reactor a 28 bar aumentando su temperatura hasta -7.5°C. El reactor es un tanque agitado que cuenta con un dispersor para la entrada de gas, y boquillas para la entrada y salida de las corrientes líquidas, además una salida por la parte superior para los gases. Este opera de manera continua e isotérmica a 28 bar y 190 °C. Como la reacción es muy exotérmica, para mantener las condiciones de operación es necesario eliminar una cantidad apreciable de calor, esto se realiza mediante una chaqueta de enfriamiento y un serpentín interno. El agua necesaria para esta transferencia de calor proviene de una torre de enfriamiento a 30 °C y sale a 40°C. Además, se carga el reactor con el catalizador, el promotor y el co-catalizador de manera discontinua. Una vez alcanzado el estado estacionario se llega a la composición óptima del medio de reacción que se describe en la tabla 6.2. Este consta de acetato de metilo, yoduro de metilo, ácido acético, agua y, además, el metanol que no reacciona forma parte de esta corriente. Como es un reactor de flujo mezclado, la composición dentro del mismo es igual a la de salida. Esta corriente líquida, que emerge del reactor a 190 °C y 28 bar, se dirige a una válvula donde se genera una fracción de vapor de 0.48 como consecuencia de la reducción de presión a 1 bar y 97 °C. Para obtener mayor cantidad de producto en la fase vapor se instala un intercambiador de calor a continuación que aumenta la fracción de vapor hasta 0.8 y, como consecuencia, la temperatura a 102 °C, utilizando el vapor proveniente de la caldera para este fin. A este equipo le sigue un tanque que se encarga de separar la fracción

líquida, que contiene al catalizador, del vapor que contiene la mayoría del producto. Por la parte superior del tanque sale la corriente más volátil e ingresa a una columna empacada que opera a 1 bar, donde se purifica y se obtiene el producto líquido por la corriente de colas a 115°C con una pureza del 98%, el cual pasa por un intercambiador de calor para reducir su temperatura a 25°C y así poder ser almacenado. El destilado se compone de acetato de metilo, yoduro de metilo, metanol y restos de acético y agua a 55°C. Esta corriente se mezcla mediante una cañería en T con la corriente líquida que sale por el fondo del flash a 102 °C y recircula al reactor con el fin de recuperar el catalizador y el medio óptimo de reacción. La mezcla, que se encuentra a 67°C y 1 bar, pasa por una bomba que aumenta la presión hasta la de operación y consecuentemente su temperatura a 75°C, de esta manera ingresa al reactor por una boquilla. Por lo tanto, el acetato de metilo, yoduro de metilo, catalizador, promotor y metanol se encuentran recirculando constantemente en el estado estacionario y no salen del proceso. Puede ser necesario reponer el sistema del catalizador cada tanto, en caso de que haya pérdidas.

Los gases que se generan en reacciones secundarias, con el monóxido de carbono sobrante, son tratados en una caldera con el fin de no contaminar el medio ambiente y aprovechar la energía de la combustión, para generar el vapor que necesita el reboiler de la torre y el intercambiador de calor. Al salir por el venteo del reactor, pasan por una válvula que les reduce la presión a 1.2 bar para ingresar a este equipo y, como consecuencia, su temperatura se reduce a 135°C. Como estos no son suficientes para generar la cantidad necesaria de vapor, se agrega gas natural para poder cubrir las condiciones de calentamiento del proceso. Este equipo opera a 1 bar, aunque el vapor se genera con agua que ingresa como líquido saturado a 3 bar y 132°C, saliendo a 133.5°C, con el fin de que la diferencia de temperatura sea suficiente para calentar la corriente del fondo de la columna. Además, es alimentada con aire a 25°C y 1.2 bar, con el 20% de exceso, para asegurar que se complete la reacción de combustión de los gases. La salida de este equipo se compone de CO₂, vapor de agua y el nitrógeno y oxígeno sobrantes a 180°C y 1 bar.

Todo el análisis realizado en este apartado es simulado en el software CHEMCAD y se describe con más detalle en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 7: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

7.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los balances de materia y energía del proceso global de producción de ácido acético, así como también de cada uno de los equipos involucrados.

En el análisis que se presenta a continuación, se toma como base de cálculo la capacidad del proyecto, determinada en el capítulo 5. Se detallan las corrientes involucradas, tanto en cantidad como en composición y los requerimientos energéticos de las mismas. Además, en cada equipo se describen las condiciones de operación, los rendimientos y las consideraciones adoptadas.

El objetivo de este estudio es sentar las bases necesarias para realizar el dimensionamiento y la adopción de equipos en el proceso de carbonilación del metanol.

7.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

Como se menciona anteriormente, se toma como punto de partida la capacidad productiva del proyecto. Los cálculos se realizan en dimensión horaria, por lo que es necesario definir los días de actividad de la planta.

Se toman 340 días de trabajo al año, considerando que 15 días están destinados a paradas por mantenimiento y 10 días a detenciones imprevistas. Además, se tiene en cuenta una pérdida global del proceso de 2% aproximadamente. En la tabla 7.1 se muestra la producción de ácido acético del proyecto en distintas unidades.

Tabla 7.1: Producción de ácido acético

Fuente: Elaboración propia

Producción anual	23900 t/año
Producción mensual	2078.4 t/mes
Producción diaria	70.3 t/día
Producción horaria	2929.6 kg/h
Producción horaria con pérdidas	2871 kg/h

A fines prácticos, para realizar los cálculos, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La planta trabaja en estado estacionario, es decir, no hay acumulación de materia en las etapas.
- La pérdida global del proceso es de 2%, la cual ya fue calculada y adicionada en la tabla anterior.

7.2.1 BALANCE DE MASA DEL PROCESO GLOBAL

El diagrama de flujo completo se presenta en la figura 7.1. Este es elaborado en el software CHEMCAD. En la imagen se observan todas las corrientes que intervienen en el proceso, y en rojo se destaca el reciclo.

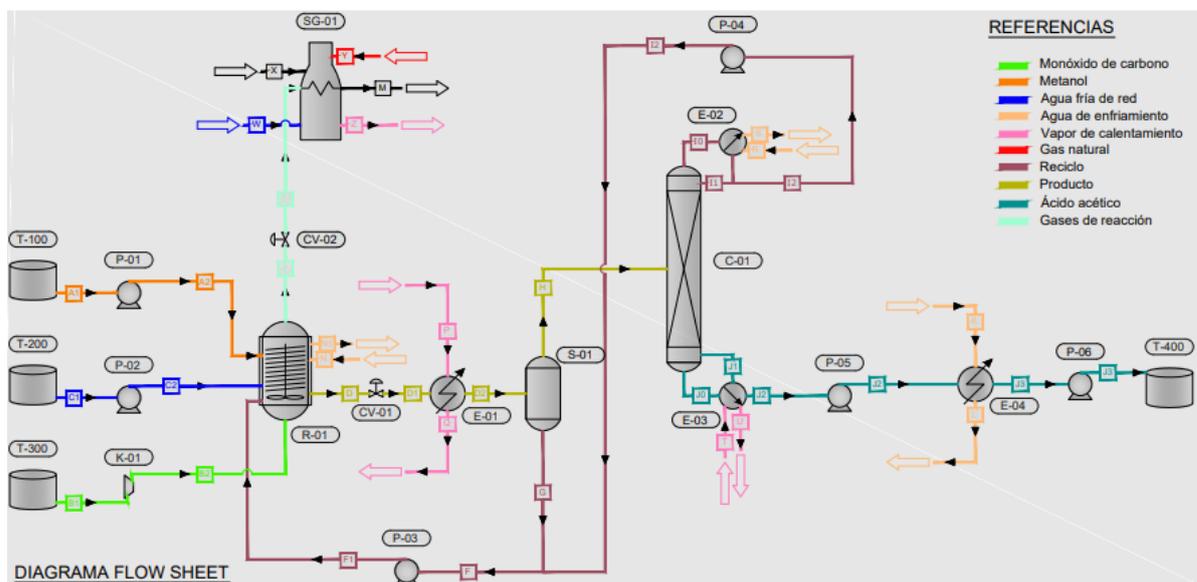


Figura 7.1: Esquema representativo del proceso global

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7.2 se especifican todas las corrientes entrantes y salientes del proceso global. Para esto se realiza una caja negra, mostrada en la figura 7.2

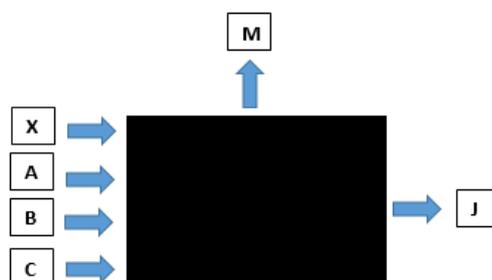


Figura 7.2: Caja negra del proceso global

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.2: Balance global del proceso
 Fuente: Elaboración propia

BALANCE GLOBAL DEL PROCESO
$A + B + C + X = M + J$

Los equipos involucrados en el proceso se detallan en la tabla 7.3

Tabla 7.3: Equipos
 Fuente: Elaboración propia

Denominación	Equipo
Preparación de reactivos	
T-100	Tanque de almacenamiento
P-01	Bomba
T-200	Tanque de almacenamiento
P-02	Bomba
T-300	Tanque criogénico
K-01	Compresor
Zona de reacción	
R-01	Reactor químico
CV-01	Válvula
E-01	Intercambiador de calor
S-01	Separador flash
P-03	Bomba
Zona de purificación	
C-01	Torre de destilación
E-02	Condensador
E-03	Rehervidor
P-04	Bomba
P-05	Bomba
E-04	Intercambiador de calor
P-06	Bomba
T-400	Tanque de almacenamiento
Tratamiento de gases	
P-07	Bomba
SG-01	Caldera

7.2.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA POR ETAPAS

Preparación de reactivos

COMPRESOR (K-01)

Este equipo se utiliza para transportar el monóxido de carbono que se encuentra almacenado en el tanque criogénico a -158°C y 15 bar. Al salir del mismo este se expande hasta la presión atmosférica y a causa de esto se enfría, alcanzando una temperatura de -191°C , luego pasa por este equipo que le proporciona la presión adecuada para ingresar a la zona de reacción, a la vez que aumenta su temperatura. En la tabla 7.4 se muestra el balance de energía y las propiedades termodinámicas de las corrientes que intervienen en esta operación.

Tabla 7.4: Balance de energía en el compresor

Fuente: Elaboración propia

Propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo: K-01							
Descripción del equipo: Compresor							
Corriente	Estado	Caudal [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Cp [kJ/kmol*K]	Temperatura [°C]	Presión [bar]
B1	Vapor	1444.1	Monóxido de carbono	100	29.1	-191	1
B2	Vapor	1444.1	Monóxido de carbono	100	29.1	-7.5	28

Zona de reacción

En la figura 7.3 se representa el reactor químico involucrado en el proceso, en el cual se lleva a cabo la reacción de carbonilación de metanol para la formación de ácido acético. Se muestran también las corrientes entrantes y salientes. La corriente de producto (D) pasa por una válvula donde se reduce la presión para obtener una mezcla líquido-vapor que posteriormente se prepara en un intercambiador de calor para dirigirse hacia un separador flash, permitiendo obtener una corriente de vapor (H) y otra de líquido (G). Ésta última se encamina hacia una conexión en T donde se une con la corriente proveniente del destilado de la torre (I) para dar como resultado el reciclo (F), a fin de devolver al sistema reactor todo el catalizador y promotor que puede haber sido arrastrado con el producto, y, además, obtener el medio óptimo para que se favorezca la reacción química principal. Del reactor también emerge una corriente gaseosa (E) que contiene los productos de las reacciones químicas secundarias que ocurren simultáneamente y el monóxido de carbono no reaccionado. Esta corriente se dirige a la zona de tratamiento de emisiones.

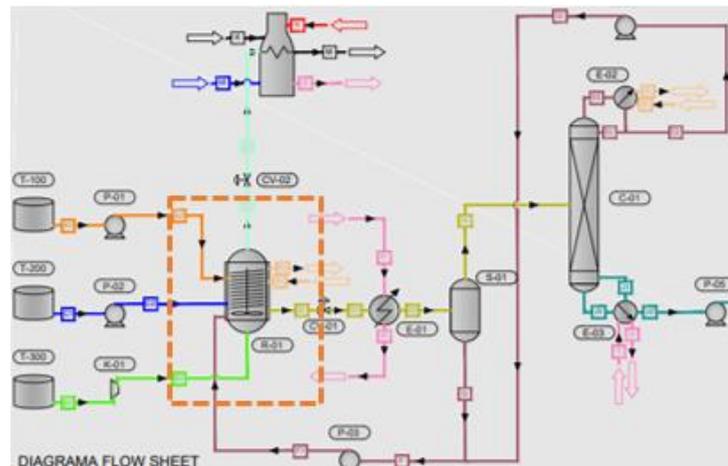


Figura 7.3: Esquema representativo de la reacción de carbonilación de metanol
 Fuente: Elaboración propia

En las tablas a continuación, se indican los balances generales y por componentes de masa y energía para el reactor, intercambiador de calor, separador flash y conexión en T.

REACTOR QUÍMICO (R-01)

Tabla 7.5: Balance de masa general en el reactor químico
 Fuente: Elaboración propia

BALANCE GLOBAL EN EL REACTOR (R-01)
$A+B+C+F1= D+E$

Consideraciones:

- El reactor funciona de manera isotérmica a 190° C y 28 bar de presión.
- Se carga antes de comenzar a operar con iridio, rutenio y ácido yodhídrico.
- El monóxido de carbono se suministra en un 10% de exceso para acelerar la reacción.
- La carbonilación de metanol no se da por un mecanismo sencillo, sino que conlleva un ciclo catalítico, en el que se tienen especies iónicas intermedias formando complejos con el catalizador.
- El acetato de metilo y yoduro de metilo son promotores que surgen de las reacciones secundarias en el ciclo catalítico, los cuales son agentes necesarios y claves para el avance de la reacción.

Tabla 7.6: Balance de masa y energía por componentes en el reactor químico

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo R-01							
Descripción del equipo: Reactor							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/kmolK]	T [°C]
A	Líquido	1501.8	Metanol	100	1501.8	81.4	26.3
B	Gas	1444.1	Monóxido de Carbono	100	1444.1	29.1	-7.5
C	Líquido	62	Agua	100	62	75.4	25.6
D	Líquido	6460.1	Acetato de metilo	25.5	1647.1	167.5	190
			Yoduro de metilo	8.2	529.2		
			Agua	5.7	369		
			Ácido acético	60.4	3899.5		
			Metanol	0.2	15.2		
E	Gas	136.9	Monóxido de carbono	83.1	113.8	30.1	135
			Metano	1.8	2.5		
			Dióxido de Carbono	15	20.6		
F1	Líquido	3589	Acetato de metilo	45.9	1647.1	123.7	75
			Yoduro de Metilo	14.7	529.2		
			Agua	8.71	312.7		
			Ácido Acético	30.2	1084.9		
			Metanol	0.4	15.2		
N	Líquido	197546	Agua	100	197546	75.4	30
N1	Líquido	197546	Agua	100	197546	75.4	40
Calor de reacción: $-121.25 \cdot 10^3$ [kJ/mol]							
Calor del reactor: $-826.5 \cdot 10^6$ [kJ/h]							

INTERCAMBIADOR DE CALOR (E-01)

Al salir del reactor, la corriente líquida se dirige hacia una válvula, la cual reduce la presión y la temperatura, generando una pequeña porción de vapor en dicha corriente. Luego pasa por un intercambiador de calor. Este último equipo acondiciona la corriente líquido- vapor que sale de la válvula con el fin de proporcionar mediante un reciclo el medio óptimo de reacción y devolver en la misma el catalizador que pueda haber sido arrastrado. Además, las condiciones de operación se eligen para que se obtenga el porcentaje adecuado de ácido acético en la corriente de vapor que pasa a la zona de purificación y así alcanzar la capacidad definida del proyecto.

Consideraciones:

- La temperatura de salida de la corriente es la adoptada para la operación del separador flash. Estas condiciones son calculadas en el software CHEMCAD.

Tabla 7.7: Balance de energía en el intercambiador de calor

Fuente: Elaboración propia

Propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes						
Equipo: E-01						
Descripción del equipo: Intercambiador de calor						
Corriente	Estado	Caudal [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Cp [kJ/kmolK]	Temperatura [°C]
D1	Líquido -Vapor	6460.1	Acetato de metilo	25.5	103.3	97.6
			Yoduro de metilo	8.2		
			Agua	5.7		
			Ácido acético	60.4		
			Metanol	0.2		
D2	Líquido -Vapor	6460.1	Acetato de metilo	25.5	104.5	102.2
			Yoduro de metilo	8.2		
			Agua	5.7		
			Ácido acético	60.4		
			Metanol	0.2		
P	Vapor	501	Agua	100	34.3	133.5
Q	Líquido	501	Agua	100	76.9	132
Presión de operación: 1 bar						
Calor intercambiado: $1.1 \cdot 10^6$ [kJ/h]						

SEPARADOR FLASH (S-01)

Este equipo tiene como único propósito devolver al reactor el catalizador que se encuentra disuelto en la fase líquida. Esta etapa se encarga de separar el producto en dos corrientes, una de líquido, que forma parte del reciclo, y otra de vapor, que contiene al producto que ingresa a la zona de purificación para obtener la capacidad deseada.

Tabla 7.8: Balance general en el separador flash

Fuente: Elaboración propia

BALANCE GENERAL PARA EL SEPRADOR FLASH (S-01)
D= G+ H

Consideraciones:

- El separador trabaja a 102.2° C y 1 bar de presión. Las condiciones de operación son determinadas por la corriente que ingresa a dicho equipo. El único fin de este es recircular la mayor cantidad de catalizador posible y la cantidad exacta de producto para lograr el medio de reacción óptimo.

Tabla 7.9: Balance de masa y energía por componentes en el separador flash

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo S-01							
Descripción de equipo: Separador Flash							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/kmolK]	T [°C]
D2	Líquido -vapor	6460.1	Acetato de metilo	25.5	1647.2	104.6	102.2
			Yoduro de metilo	8.2	529.2		
			Agua	5.7	369		
			Ácido acético	60.4	3899.5		
			Metanol	0.2	15.2		
G	Líquido	1252.1	Acetato de metilo	8.9	111.6	136.8	102.2
			Yoduro de metilo	2.6	32.9		
			Agua	4.5	55.9		
			Ácido acético	83.9	1050.6		
			Metanol	0.01	1.2		

H	Vapor	5208	Acetato de metilo	29.5	1535.6	72.3	102.2
			Yoduro de metilo	9.5	496.3		
			Agua	6	313.2		
			Ácido acético	54.7	2849		
			Metanol	0.3	13.9		
Presión de operación: 1 bar							

CONEXIÓN EN T

Conecta el producto líquido que se libera por la parte inferior del flash junto con la corriente de destilado proveniente de la torre. Ambas dan por resultado el reciclo que retorna al proceso con el medio óptimo de reacción.

*Tabla 7.10: Balance general en el separador flash
 Fuente: Elaboración propia*

BALANCE GENERAL PARA CONEXIÓN EN T
F= G+ I2

*Tabla 7.11: Balance de masa y energía por componentes en la conexión en T
 Fuente: Elaboración propia*

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Descripción: conexión en T							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [J/molK]	T [°C]
G	Líquido	1252.1	Acetato de metilo	8.9	111.6	136.8	102.2
			Yoduro de metilo	2.6	32.9		
			Agua	4.5	55.9		
			Ácido acético	83.9	1050.6		
			Metanol	0.01	1.2		
I2	Líquido	2336.9	Acetato de metilo	65.7	1535.6	116.9	55.7
			Yoduro de metilo	21.2	496.3		
			Agua	11	256.8		
			Ácido acético	1.5	34.3		
			Metanol	0.6	13.9		

F	Líquido	3589	Acetato de metilo	45.9	1647.1	121.7	67.4
			Yoduro de Metilo	14.7	529.2		
			Agua	8.71	312.7		
			Ácido Acético	30.2	1084.9		
			Metanol	0.4	15.2		

Zona de purificación

TORRE DE DESTILACIÓN (C-01)

En la imagen se observa la torre de destilación que forma parte del proceso. Ésta cuenta con una única corriente de alimentación (H) y con dos corrientes de salida (I y J). La corriente de los ligeros, que contiene el medio óptimo de reacción, se elimina por la parte superior y retorna al proceso ingresando a la conexión en T, la cual se simula en CHEMCAD como un mixer. Mientras que la corriente J, que contiene el producto, se dirige a los tanques de almacenamiento de producto.

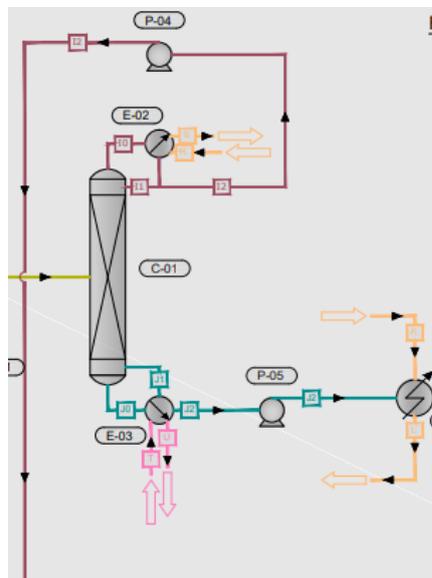


Figura 7.4: Torre de destilación para concentrar el producto

Fuente: Elaboración propia

En las tablas a continuación se indican los balances generales y por componentes de masa y energía respectivamente.

Tabla 7.12: Balance general para la primera torre
 Fuente: Elaboración propia

BALANCE GLOBAL PARA LA TORRE DE DESTILACIÓN (C-01)
H=I2+J2

Consideraciones:

- Esta torre opera a 1 bar de presión.
- Por la corriente de cabeza se obtiene el acetato de metilo y el yoduro de metilo que recirculan al reactor y restos de agua y ácido acético.
- El balance de energía es realizado en el software CHEMCAD.

Tabla 7.13: Balance de masa y energía por componentes en la primera torre de destilación
 Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo: C-01							
Descripción del equipo: Torre de destilación							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/kmol K]	T [°C]
H	Vapor	5208	Acetato de metilo	29.5	1535.6	72.3	102.2
			Yoduro de metilo	9.5	496.3		
			Agua	6	313.2		
			Ácido acético	54.7	2849		
			Metanol	0.3	13.9		
I2	Líquido	2336.9	Acetato de metilo	65.7	1535.6	116.9	55.7
			Yoduro de metilo	21.2	496.3		
			Agua	11	256.8		
			Ácido acético	1.5	34.3		
			Metanol	0.6	13.9		
J2	Líquido	2871.1	Ácido Acético	98	2814.7	145.7	114.8
			Agua	2	56.4		
Presión de operación: 1 bar							

CONDENSADOR (E-02)

Tabla 7.14: Balance de masa y energía por componentes del condensador de la torre de destilación

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo: E-02							
Descripción del equipo: Condensador de la torre							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/kmol K]	T [°C]
I ₀	Vapor	7011	Acetato de metilo	65.7	4601.8	116	76.3
			Yoduro de metilo	21.3	1494.5		
			Agua	11	770		
			Ácido acético	1.5	103		
			Metanol	0.6	41.7		
I ₁	Líquido	4674.1	Acetato de metilo	65.7	3070.9	116.9	55.7
			Yoduro de metilo	21.3	995.6		
			Agua	11	514.2		
			Ácido acético	1.5	70.1		
			Metanol	0.6	23.3		
I ₂	Líquido	2336.9	Acetato de metilo	65.7	1535.6	116.9	55.7
			Yoduro de metilo	21.3	496.3		
			Agua	11	256.8		
			Ácido acético	1.5	34.3		
			Metanol	0.6	13.9		
R	Líquido	50994	Agua	100	50994	75.4	30
S	Líquido	50994	Agua	100	50994	75.4	40
Presión de operación: 1 bar							
Calor del condensador: $-4.26 \cdot 10^6$ [kJ/h]							

REHERVIDOR (E-03)

Tabla 7.15: Balance de masa y energía por componentes del rehervidor de la torre de destilación

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo: E-03							
Descripción del equipo: Rehervidor de la torre							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/kmol K]	T [°C]
J ₀	Líquido	6178	Ácido Acético	98	5996.2	145.7	113.8
			Agua	2	181.8		
J ₁	Líquido/vapor	3306.9	Ácido Acético	98	3240.8	145.7	114.8
			Agua	2	66.1		
J ₂	Líquido/vapor	2871.1	Ácido Acético	98	2814.7	145.7	114.8
			Agua	2	56.4		
T	Vapor	723.7	Agua	100	723.7	37	133.5
U	Vapor	723.7	Agua	100	723.7	37.2	132
Presión de operación: 1 bar							
Calor del rehervidor: 1.56*10 ⁶ [kJ/h]							

INTERCAMBIADOR DE CALOR (E-04)

Dicho equipo se utiliza para enfriar el producto, luego de que sale del proceso de purificación.

De modo tal que se almacene a la temperatura adecuada.

Tabla 7.16: Balance general para el intercambiador de calor

Fuente: Elaboración propia

BALANCE GLOBAL PARA EL INTERCAMBIADOR (E-04)
J ₂ + K= J ₃ + L

Tabla 7.17: Balance de masa y energía por componentes del intercambiador

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo: E-04							
Descripción del equipo: Intercambiador de la torre							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/kmol K]	T [°C]
J ₂	Líquido	2871.1	Ácido Acético	98	2814.7	145.7	114.8

			Agua	2	56.4		
J ₃	Líquido	2871.1	Ácido Acético	98	2814.7	120.8	25
			Agua	2	56.4		
K	Líquido	14214.7	Agua	100	14214.7	75.4	30
L	Líquido	14214.7	Agua	100	14214.7	75.4	40
Presión de operación: 1 bar							
Calor del intercambiador: $5.9 \cdot 10^5$ [kJ/h]							

Zona de tratamiento de gases

CALDERA (SG-01)

En la figura 7.6 se representa la caldera utilizada para el tratamiento de los gases que se liberan de las reacciones químicas secundarias. A este sistema ingresa la corriente gaseosa proveniente del reactor principal (E), una alimentación de aire en exceso (X), gas natural y agua a presión. Mientras que la salida está constituida por el producto de las reacciones de combustión que se llevan a cabo en este equipo (M) formada por agua y dióxido de carbono, además de generarse vapor saturado que sirve como medio calefactor en el proceso. De este modo, los gases eliminados del proceso global generan menos contaminación ambiental, y a la vez contribuyen a la eficiencia energética del proceso.

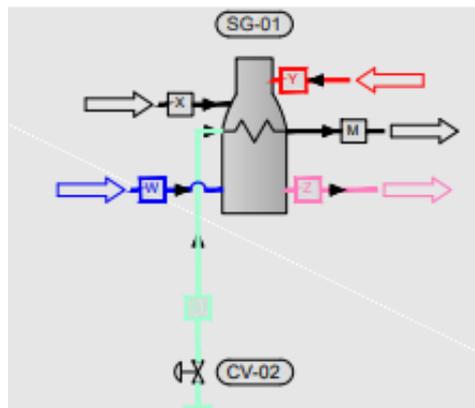


Figura 7.5: Sistema de tratamiento de gases
 Fuente: Elaboración propia

En la tabla a continuación se presenta el balance global para el equipo y el balance para cada componente.

Tabla 7.18: Balance global para la caldera.
 Fuente: Elaboración propia

BALANCE GLOBAL PARA CALDERA (SG-01)
$E1 + X + W + Y = M + Z$

Consideraciones:

- Se utiliza aire en un 20% en exceso para que la conversión sea completa.
- Se llevan a cabo las reacciones descriptas a continuación:

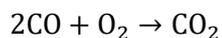
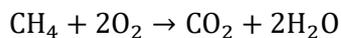


Tabla 7.19: Balance de masa y energía por componentes en la caldera

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia y propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes							
Equipo: SG-01							
Descripción del equipo: Caldera							
Corriente	Estado	Caudal másico [kg/h]	Sustancia	Composición [%]	Caudal másico por componentes [kg/h]	Cp [kJ/k molK]	T [°C]
E1	Gas	136.9	Monóxido de carbono	83,1	113.8	31	134.9
			Metano	1,8	2.5		
			Dióxido de Carbono	15,1	20.6		
X	Gas	1044.2	Oxígeno	21	243.6	29.1	25
			Nitrógeno	79	800.6		
M	Gas	723.4	Agua	6.4	78	32.9	180
			Dióxido de Carbono	24.3	294.6		
			Nitrógeno	66	800.6		
			Oxígeno	3.3	40.2		
W	Líquido	1237.7	Agua	100	1237.7	76.9	132
Z	Vapor	1237.7	Vapor de agua	100	1237.7	34.3	133.5
Y	Gas	32.2	Gas natural	100	32.2	35.6	25
Calor del reactor: $-2.9 \cdot 10^7$ [kJ/h]							

7.3 RESUMEN

A continuación, se presenta a modo de resumen una tabla donde se resume el balance de masa global, unificando las entradas y salidas en base a tonelada de producto.

Tabla 7.20: Resumen del balance de masa
Fuente: Elaboración propia

ENTRADA	kg/h	t/h	t/año	t/t de producto
Metanol	1501.8	1.5	12254.7	0.5
Monóxido de carbono	1444.1	1.4	11783.8	0.5
Agua de reacción	62	0.062	505.9	2*10 ⁻²
Agua de enfriamiento	262754.5	262.7	2144076.7	91.5
Gas natural	32.2	0.03	262.7	1*10 ⁻²
Vapor saturado	1237.7	1.2	10099.6	0.4
Aire	1044.2	1	8520.7	0.3
TOTAL	268076.5			
SALIDA	kg/h	t/h	t/año	t/t de producto
Producto	2871	2.8	23427.4	1
Dióxido de carbono	294.63	0.3	2404.2	0.1
Agua	77.96	0.07	636.1	2*10 ⁻²
Nitrógeno	800.6	0.8	6532.9	3*10 ⁻²
Oxígeno	40.16	0.04	327.7	1*10 ⁻²
Agua de enfriamiento	262754.5	262.7	2144076.7	91.5
Vapor saturado	1237.7	1.2	10099.6	0.4
TOTAL	268076.5			

CAPÍTULO 8: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

8.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se desarrollan los cálculos para el diseño de los equipos necesarios para la instalación de la planta de ácido acético mediante el proceso CATIVA de carbonilación de metanol. Los mismos son realizados en base a los resultados obtenidos en el balance de masa y energía, realizado anteriormente. Algunos equipos son adoptados, ya que se encuentran disponibles en el mercado y se adaptan a los requerimientos del proceso. En este caso se muestran las características más importantes de los mismos.

8.2 EQUIPOS

En la tabla a continuación, se presenta un listado de todos los equipos del proceso y su identificación. Luego, se describe cada uno por separado y se dan sus características de diseño o adopción.

Tabla 8.1: Equipos del proceso y especificación

Fuente: Elaboración propia

Denominación	Equipo	Especificación
Preparación de reactivos		
T-100	Tanque de almacenamiento	Adopción
P-01	Bomba	Adopción
T-200	Tanque de almacenamiento	Adopción
P-02	Bomba	Adopción
T-300	Tanque criogénico	Adopción
K-01	Compresor	Adopción
Zona de reacción		
R-01	Reactor químico	Diseño
CV-01	Válvula	Adopción
E-01	Intercambiador de calor	Diseño
S-01	Separador flash	Diseño
P-03	Bomba	Adopción
Zona de purificación		
C-01	Torre de destilación	Diseño
E-02	Condensador	Diseño
E-03	Rehervidor	Diseño
P-04	Bomba	Adopción
P-05	Bomba	Adopción

E-04	Intercambiador de calor	Diseño
P-06	Bomba	Adopción
T-400	Tanque de almacenamiento	Diseño
Tratamiento de gases		
P-07	Bomba	Adopción
SG-01	Caldera	Adopción

8.2.1 TANQUES

A continuación, se adoptan los tanques de almacenamiento de materia prima y se diseña el de producto. Todos estos recipientes contienen alarmas de bajo y alto nivel. Se utilizan las ecuaciones mostradas a continuación, tomadas de la bibliografía (SALES, 1972).

Volumen del tanque

$$V_{\text{tanque}} = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

Espesor del tanque

$$t = (\rho * (H_{liq} - 0.3) * D) / (2 * \sigma_{adm} * e) + C$$

Donde

ρ = densidad del líquido (kg/m³).

σ_{adm} = tensión admisible (bar). Según el material se obtiene el valor de la tabla 2.3 de la bibliografía mencionada, en unidades de presión y según la temperatura de trabajo se multiplica ese valor por un factor obtenido de la tabla 2.2.

e = eficiencia de la junta. Se obtiene de la tabla 2.1

C = tolerancia a la corrosión (m). Si existe corrosión se toma un valor de 1 a 1.5 mm.

Sin embargo, por factores mecánicos de elaboración, transporte, etc.; el espesor mínimo debe ser de 3/16 plg (4.76 mm) si el diámetro es menor a 15 m o ¼ plg (6.35 mm) si el diámetro es mayor a 15 m.

Tanque de metanol (T-100)

Para un almacenamiento seguro, el metanol se debe colocar en recipientes totalmente cerrados, diseñados para evitar ignición o contacto humano. Los tanques deben estar sobre

tierra, a un metro de altura, con ventilación, tener controles para la emisión de vapores y contar con diques alrededor, para evitar derrames.

Los revestimientos de cobre (o aleaciones de cobre), cinc (incluyendo acero galvanizado), o aluminio, no son apropiados para el almacenamiento. El metanol puede atacar estos materiales gradualmente. A pesar de que se pueden usar plásticos para almacenamiento a corto plazo, generalmente no se recomiendan a largo plazo, debido a los efectos de deterioración y su consecuente riesgo de contaminación. Los tanques de almacenamiento de construcción soldada generalmente dan un resultado satisfactorio. Éstos deben de ser diseñados y construidos de acuerdo con buenas prácticas de ingeniería aptos para el material almacenado en ellos.

Se recomienda, para el almacenamiento y embalaje, materiales de acero al carbono con uniones soldadas o tambores metálicos (METHANEX, 17).

En este proceso, se utilizan tanques de acero al carbono, debido a su resistencia a la corrosión, los cuales se proveen por la empresa Bertotto y Boglione⁹.

Para calcular la capacidad de tanques requerida, se consideran 4 días a la semana sin recibir materia prima, es decir dos días del fin de semana y dos más por si hay algún feriado largo.

Se planea recibir tres camiones por día, de 40 m³ cada uno. Con esto se llega a cubrir la cantidad de materia prima semanal, que son 320 m³/semana, con un margen de seguridad.

Para el almacenamiento se considera el gasto de materia prima por día y se tiene en cuenta alguna parada imprevista por seguridad.

Tabla 8.2: Adopción de los tanques de metanol

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES DE TANQUE DE METANOL (T-100)	
Caudal másico (kg/h)	1502
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1.9
Densidad (kg/m ³)	790
Tiempo de residencia (h)	96

⁹https://bertottoboglione.com/en/?gclid=Cj0KCQiAweaNBhDEARIsAJ5hwbcLLs7Tpw0dWI6xdmVj8wuMA-6bFBYm1TZCaReaHxYjWg78HAtfCnlaApxcEALw_wcB

DATOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical de simple pared
Material de construcción	Acero al carbono
Volumen de líquido (m ³)	36
Volumen adoptado (m ³)	45
Factor de seguridad (%)	20
Volumen del tanque (m ³)	44
Relación de esbeltez	1.5
Altura (m)	5
Diámetro (m)	3.3
Espesor (m)	4.8*10 ⁻³
Presión de diseño (bar)	1.1
Presión de trabajo (bar)	1
Temperatura de diseño (°C)	45
Temperatura de trabajo (°C)	25
Tapa	Semiesférica
Número de tanques	5

Características técnicas:

- Construido íntegramente con virolas de acero al carbono, ensamblado Off Setter y soldadura externa por proceso SAW.
- Provisto de cabezales pestañeados planos, conexiones roscadas BSP de 4"; 2"; 1"; y 1/2"; para carga, succión, venteo, telemedición, drenaje e indicador de nivel.
- Tubos internos para la conexión de carga. Tubo de nivel aforado con regla graduada. Tubo de venteo.
- Cáncamos de izaje. Boca de hombre con un diámetro de 435mm y abulonada.
- Patas de apoyo, placa de identificación y tapones provisorios para el transporte.
- Terminación superficial exterior con proceso de granallado metálico, aplicación de fondo epoxi y terminación con esmalte poliuretano (blanco).
- Prueba de estanqueidad neumática a 0.38kg/cm². Fabricado bajo normas de calidad ISO 9001/2008.

Tanque de agua (T-200)

Para el almacenamiento del agua de reacción se adoptan tanques de la empresa MAYPER. Se toma un tiempo de residencia pequeño debido a que son alimentados con agua de red y el parque industrial donde está ubicada la planta cuenta con este servicio.

Se escogen tanques de polietileno de cuatro capas, que son la opción más duradera, ya que las capas extra de polietileno aumentan la resistencia¹⁰.

Tabla 8.3: Adopción de los tanques de agua

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES DE TANQUE DE AGUA (T-200)	
Caudal másico (kg/h)	62
Caudal volumétrico (m ³ /h)	6.3*10 ⁻²
Densidad (kg/m ³)	997
Tiempo de residencia (h)	48

DATOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	
Fabricante	Mayper
Tipo de tanque	Vertical de cuatro capas
Material de construcción	Polietileno
Volumen de líquido (m ³)	3
Factor de seguridad (%)	25
Volumen del tanque (m ³)	4
Volumen adoptado (m ³)	4
Relación de esbeltez	1.3
Altura (m)	2.3
Diámetro (m)	1.7
Espesor (m)	4.8*10 ⁻³
Presión de diseño (bar)	1.1
Presión de trabajo (bar)	1
Temperatura de diseño (°C)	45
Temperatura de trabajo (°C)	25
Tapa	Slide-Lock

¹⁰ <https://www.mayper.com.ar/domiciliaria/tanques-polietileno/tanque-de-polietileno-cuatricapa>

Número de tanques	1
-------------------	---

Características técnicas:

- Construidos con polietileno de media densidad de alto peso molecular, mejorado con aditivos anti UV, pigmentos y antioxidantes.
- Totalmente atóxicos, inertes y anticorrosivos.
- Construidos en una sola pieza sin soldaduras o puntos de unión reforzados.
- Con tapa Slide-Lock que asegura un cierre hermético, evitando la entrada de agentes contaminantes y la voladura de la misma.

En la figura siguiente se muestra un dibujo del diseño de estos tanques.

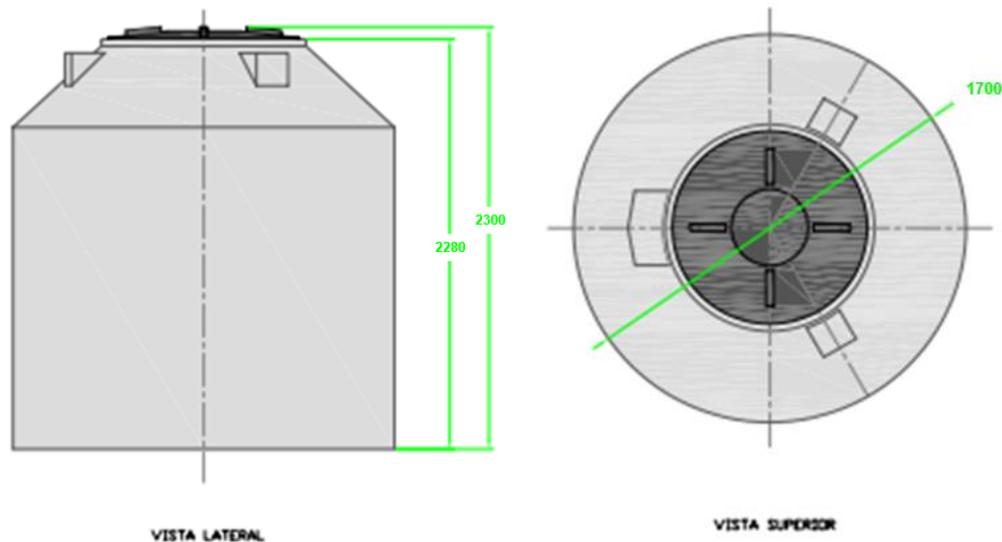


Figura 8.1: Vista lateral y frontal de los tanques de agua

Fuente: Empresa Mayper

Tanques de ácido acético (T-400)

El ácido acético concentrado es corrosivo. Debe almacenarse a temperaturas entre 15 y 25 °C, en recipientes bien cerrados, ventilado, alejado de fuentes de ignición y calor. Se puede almacenar en contenedores de polietileno o acero inoxidable. Los tanques se diseñan de acero inoxidable AISI 316¹¹.

Para considerar el tiempo de residencia, se tiene en cuenta que la mayoría del producto se exporta, por lo que se considera que se transporta en camiones de 40 m³, que se despachan

¹¹ http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/inorganica/CALIDADJS/Reactivos/Acido_acetico.pdf

tres días a la semana, por lo que, como máximo, se almacenan en las instalaciones por 4 días.

Se calcula el espesor mínimo que deben tener los tanques, de acuerdo a la bibliografía informada anteriormente. Se obtiene un valor de $2.3 \cdot 10^{-3}$ m, pero por cuestiones mecánicas, como el diámetro es menor a 15 m, se toma un valor de $4.8 \cdot 10^{-3}$ m.

Tabla 8.4: Diseño de los tanques de ácido acético

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES DE TANQUE DE ÁCIDO ACÉTICO (T-400)	
Caudal másico (kg/h)	2871.1
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2.9
Densidad (kg/m ³)	1041.1
Tiempo de residencia (h)	96

DATOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	
Tipo de tanque	Atmosférico vertical de simple pared
Material de construcción	AISI 316
Volumen de líquido (m ³)	56
Factor de seguridad (%)	10
Volumen del tanque (m ³)	62
Relación de esbeltez	1.5
Altura (m)	5.3
Diámetro (m)	3.5
Espesor (m)	$4.8 \cdot 10^{-3}$
Tensión del acero (bar)	456
Eficacia de la junta	0.85
Presión de diseño (bar)	1.1
Presión de trabajo (bar)	1
Temperatura de diseño (°C)	45
Temperatura de trabajo (°C)	25
Tapa	Semiesférica
Número de tanques	5

Tanque criogénico (T-300)

El monóxido de carbono, debido a sus características físicas y químicas, puede almacenarse como un gas licuado en tanques criogénicos. Estos son tanques que trabajan a presión elevada y temperaturas extremas. Esto implica que las características de diseño de este tipo de tanques sean especiales.

Este tanque consta de dos recipientes, uno externo y otro interno, entre ambos se encuentra un material aislante, generalmente perlita expandida, y se hace vacío para evitar la transmisión de calor entre el exterior y el interior. El uso de perlita para el aislamiento criogénico o de baja temperatura es apto debido a que presenta una baja conductividad térmica a través de un amplio rango de densidades. Además de sus excelentes propiedades térmicas, el aislamiento con perlita es relativamente bajo en costo y su instalación y manejo son sumamente fáciles (Jimenez, 2012).

Todos los sistemas de almacenamiento criogénico constan, aparte del tanque descrito anteriormente, con válvulas de alivio y discos estallantes, para dejar escapar el gas si hay un aumento excesivo de presión a causa de algún imprevisto. El recipiente interior debe estar protegido por dos válvulas de seguridad, colocadas en la fase gas y en comunicación permanente con el interior del recipiente. Una de estas válvulas puede sustituirse por un disco de rotura, excepto en depósitos que contengan gases inflamables. La salida de estos elementos debe estar dirigida de forma que no dañe los elementos estructurales del depósito o a las personas o cosas que puedan estar próximas, ni debe crear condiciones peligrosas ambientales.

Estos tanques se adoptan de la empresa SICA¹², ubicada en Santa Fe. Para seleccionar la cantidad de tanques se tiene en cuenta que esta materia prima es importada, por lo que se supone que se recibe con menos frecuencia que las otras, las cuales se pueden disponer con mayor facilidad.

Como se transporta en buques de 500 m³ de capacidad, de acuerdo con los requerimientos del proceso, se puede recibir un pedido cada 9 días¹³.

Tabla 8.5: Adopción de los tanques de monóxido de carbono

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES DE TANQUE CRIOGÉNICO (T-300)	
Caudal másico (kg/h)	1444

¹² <https://www.sica.com.ar/index.php?act=Pages.showProducto&id=3>

¹³ <https://www.dsv.com/es-es/nuestras-soluciones/modos-de-transporte/transporte-maritimo>

Caudal volumétrico (m ³ /h)	2.4
Densidad (kg/m ³)	602.3
Tiempo de residencia (h)	216

DATOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	
Fabricante	SICA
Tipo de tanque	Criogénico
Material de construcción	Interior: acero inoxidable Exterior: acero al carbono
Aislamiento	Vacío+perlita
Volumen de líquido (m ³)	74
Factor de seguridad (%)	10
Volumen del tanque (m ³)	81.5
Volumen adoptado (m ³)	82
Relación de esbeltez	3.5
Altura (m)	12.3
Diámetro (m)	3.5
Peso (kg)	20.5
Presión de diseño (bar)	16.5
Presión de trabajo (bar)	15
Temperatura de diseño (°C)	+50 a -196
Temperatura de trabajo (°C)	-158
Número de tanques	7

Características técnicas

- Recipiente interior: acero inoxidable para temperaturas criogénicas con un diseño optimizado para el peso ligero.
- Cubierta exterior: de acero al carbono con asas y apoyos, combinando el levantado del sistema terminal diseñado para un transporte seguro, fácil elevación y montaje de bajo coste.
- Un sistema probado de aislamiento con vacío perlita de alta calidad, garantiza un rendimiento de vacío a largo plazo.
- Tuberías de acero inoxidable para la fiabilidad y durabilidad; diseño ergonómico, diseño con el diagrama de flujo y medidores del nivel máximo.

- Válvulas de acero inoxidable, configuración modular y bronce con conexiones soldadas (otras válvulas tales como seguridad incendios y / o atornilladas en las conexiones son opcionales).
- Control de presión: un regulador multifuncional de fácil ajuste sirve como regulador de presión, economizador y válvula de retención. Una tubería de aluminio aleteado de acumulación de presión es estándar. Otros tipos de PBU, incluyendo alta capacidad PBU o acero inoxidable el núcleo del vaporizador son opcionales.
- Instrumentación: manómetro de alta calidad e indicador de nivel por diferencial de presión, transmisor y otra unidad de telemetría.
- Seguridad: los tanques están equipados con válvulas de alivio duales con una variedad de opciones, incluyendo válvulas de seguridad adicionales y / o discos de ruptura. Fácilmente accesibles. Las salidas de las válvulas de alivio de seguridad están dirigidas lejos del área de funcionamiento.
- Opciones de bomba: tanque con termosifón con conexión de bomba disponible como una opción.
- Acabado exterior: granallado con arena grado 2,5 y eliminación del óxido, la pintura con protección duradera a la corrosión, de epoxi-poliuretano blanca RAL 9016 (Cubillos, 2008).

8.2.2 COMPRESOR (K-01)

A continuación, se presenta el cálculo para determinar la potencia de este equipo y así poder adoptarlo.

Como consecuencia de la variación de densidad en el flujo compresible, resulta inadecuada la forma integrada de la ecuación de Bernoulli, sin embargo, se puede escribir dicha ecuación de forma diferencial y relacionar con ella el trabajo del árbol con la diferencia de presión. En soplantes y compresores, las energías mecánicas potenciales y cinética no varían sensiblemente y puede prescindirse de los términos de carga estática y de velocidad. Además, se supone que no existe fricción en el compresor, $\eta=1$ y $h_f=0$ (Smith, 1981). Por lo tanto, se tiene que:

$$dw_{pr} = \frac{dp}{\rho}$$

Integrando esta ecuación entre la presión de succión P_1 y la presión de descarga P_2 se obtiene el trabajo de compresión, para un gas ideal sin fricción:

$$W_{pr} = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\rho}$$

Para poder usar esta ecuación ha de calcularse la integral, pero para ello, se requiere conocer el camino termodinámico que sigue el fluido en el aparato desde la succión hasta la descarga. El procedimiento es el mismo, independientemente del tipo de compresor (alternativo, rotatorio de desplazamiento positivo, o centrífugo). El camino termodinámico, puede ser adiabático (compresión isentrópica), isotérmico o politrópico. Dado que la mayoría de los compresores operan a lo largo de una trayectoria politrópica que se aproxima al adiabático, los cálculos del compresor se basan generalmente en la curva adiabática. (Perry, 1997). Integrando la ecuación, se calcula el trabajo y luego la potencia adiabática, que está dada por:

$$K_{wad} = 2,78 * 10^{-4} * \frac{k}{k-1} * Q_1 * p_1 \left(\frac{p_2^{\frac{k-1}{k}}}{p_1} - 1 \right) = 52.7 \text{ kw}$$

Donde

K_{wad} = potencia del compresor

Q_1 = Velocidad de flujo de gas de entrada = 338.6 m³/h

p_1 = presión absoluta de entrada del gas = 100 kPa

p_2 = presión absoluta de descarga del gas = 2800 kPa

k = 1.4. Relación de calor específico a presión constante con el de volumen constante. Para aire y gases diatómicos se tiene un valor de k = 1,39 a 1,41.

Para la selección de este equipo se recurre a la empresa ATLAS COPCO¹⁴, los cuales cuentan con una amplia variedad de gases y mezclas de estos.

Fabrican tres tipos de compresores: de pistón, centrífugos y de tornillo exentos de aceite. Para procesos industriales de transporte de una amplia gama de gases se recomiendan los de pistón, por lo que se selecciona un compresor de gas de pistón exento de aceite de las series HX/HN.

Los compresores de gas HN y HX incluyen la manipulación de gases como aire, nitrógeno, CO/CO₂, metano, hidrógeno y argón.

¹⁴ <https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/products/gas-compressors>

La tecnología sin aceite satisface las estrictas normas ISO estándar de Clase 0. Esto no solo es importante cuando el gas entra en contacto con los productos consumibles finales, también elimina los efectos adversos que el aceite puede tener en los procesos y equipos.

Permiten aumentar la productividad de manera ininterrumpida, ya que pueden trabajar de forma eficiente y rentable en condiciones difíciles con un mantenimiento mínimo y unos prolongados intervalos de revisión y producen menos vibraciones.

El pistón de baja velocidad y las temperaturas entre etapas bajas también preservan las piezas internas de las máquinas, de acuerdo con las directrices API 618.

Se selecciona el modelo 3 EHN4 GT de esta línea.

Características técnicas:

- Gases con los que puede trabajar: CO, CO₂, H₂, CH₄ y N₂.
- 3 etapas de compresión, horizontal, libre de aceite.
- Clasificación zona 2 – Grupo II BT3.
- Capacidad: hasta 1000 m³/h.
- Presión de admisión: 1 a 1.35 bar(a) / 15 a 20 psia.
- Presión de salida: 29.5 bar(a) / 428 psia.

8.2.3 REACTOR (R-01)

La reacción de carbonilación del metanol para la obtención de ácido acético es llevada a cabo en un reactor continuo tanque agitado multifásico, alimentado con una corriente líquida de metanol puro y una corriente gaseosa de monóxido de carbono por el fondo, también puro, que son los reactivos de esta reacción. Este equipo también es alimentado con agua de manera continua, para mantener cierta concentración dentro del reactor, con el fin de que la velocidad sea máxima, según estudios realizados. El medio de reacción es agitado por un dispositivo mecánico y por el gas burbujeante.

Además, se carga el reactor, de manera discontinua, con el catalizador, el promotor y el co-catalizador, con el fin de aumentar la velocidad de reacción y favorecer la carbonilación para la obtención del producto deseado. El catalizador y el promotor son sales que se encuentran finamente divididas y en concentración baja para evitar la precipitación, por lo que al estar completamente disueltos se supone que forman parte de la fase líquida, por lo que el sistema se considera bifásico (líquido-gas).

La acción corrosiva del ácido yodhídrico (co-catalizador) sobre el acero al carbono, hace necesario el uso de equipos de aceros inoxidable especiales (Haynes, 2004).

La temperatura y presión en el medio de reacción deben ser controladas para prevenir la formación de productos indeseables y mantener las condiciones isotérmicas e isobáricas óptimas de la misma (190°C y 28 bar).

Como la reacción es muy exotérmica, el calor de reacción es removido por la vaporización de parte de los compuestos que se forman in situ en el medio de reacción (metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono no reaccionante), por la entrada de reactivos fríos, reflujo al reactor, por una chaqueta de enfriamiento y un serpentín interno.

El rendimiento de la reacción es del 99% respecto al metanol. Para que la velocidad de reacción sea favorecida, es necesario mantener cierta composición dentro del equipo, según se detalla más adelante. Algunos de los compuestos que forman el medio óptimo de reacción se forman in situ mediante reacciones secundarias. También, se forman productos indeseados que son removidos.

Definición del régimen de reacción

Los procesos catalíticos que tienen lugar en una fase, líquida o gaseosa, uniforme, se clasifican como catálisis homogénea. Los catalizadores homogéneos son generalmente compuestos químicos bien definidos o complejos de coordinación que, junto con los reactivos, son dispersados molecularmente en el medio de reacción. Ejemplos de catalizadores homogéneos incluyen ácidos minerales y compuestos de metales de transición (por ejemplo, complejos de rodio carbonilo en oxo síntesis). La catálisis heterogénea tiene lugar entre varias fases. Generalmente el catalizador es un sólido soportado y los reactivos son gases o líquidos.

Debido a su alto grado de dispersión, los catalizadores homogéneos exhiben una mayor actividad por unidad de masa de metal que los catalizadores heterogéneos. La alta movilidad de la mezcla de reacción da como resultado más colisiones con moléculas de sustrato. Los reactivos pueden acercarse al centro catalíticamente activo desde cualquier dirección, y una reacción en un centro activo no bloquea los centros vecinos. Esto permite el uso de concentraciones de catalizador más bajas y condiciones de reacción más suaves.

La característica más destacada de los catalizadores de metales de transición homogéneos son altas selectividades que se pueden lograr. Las reacciones catalizadas homogéneamente están controladas principalmente por la cinética y menos por el transporte de material, porque la difusión de los reactivos al catalizador puede ocurrir más fácilmente.

Además, la mezcla intensiva dentro del reactor ayuda a una rápida transferencia de la fase gas a la líquida, y de la líquida a la superficie del catalizador.

La catálisis homogénea realizable industrialmente se limita a temperaturas por debajo de 200°C. En este rango de temperatura, los catalizadores homogéneos se pueden estabilizar fácilmente.

La principal desventaja de los catalizadores homogéneos es la dificultad de separar el catalizador del producto. Los catalizadores heterogéneos se eliminan automáticamente en el proceso, o se pueden separar mediante métodos simples como filtración o centrifugación.

Entre los procesos industriales de catálisis homogénea más destacados se encuentra la carbonilación del metanol (Hagen, 2006).

La reacción de carbonilación del metanol se lleva a cabo como una catálisis homogénea con el catalizador disuelto en la fase líquida, aunque también hay estudios que demuestran que se puede realizar como una catálisis heterogénea con el catalizador sobre un soporte.

Desde que el proceso de BASF se propuso, se intentaron preparar catalizadores sólidos que fueran eficientes para la carbonilación de metanol soportados en óxidos metálicos, pero eran menos activos, selectivos o estables que sus contrapartes usadas en procesos homogéneos. Uno de los principales problemas era que el metal no se anclaba de manera suficientemente estable sobre el soporte, por lo que normalmente lixiviaba en condiciones de reacción.

Chiyoda y UOP desarrollaron el proceso Acetica, en el que se emplean complejos de Rh soportados en polivinilpiridina como catalizador para producir ácido acético a partir de la carbonilación de metanol. Se ha reportado que el catalizador es estable a relativamente altas presiones y temperaturas, al tiempo que permite obtener rendimientos similares a los reportados para sus contrapartes de procesos homogéneos. En la figura siguiente se muestra una línea de tiempo que resume los distintos procesos.



Figura 8.2: Modificaciones del proceso de producción de ácido acético por carbonilación del metanol en el tiempo

Fuente: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912021000100004&lng=es&nrm=iso&tIng=es

En el proceso que se desarrolla, como lo describe la patente Cativa, el catalizador se encuentra finamente dividido y solubilizado en el líquido, por lo que forma parte del medio continuo. Por tal motivo, al ser una catálisis homogénea con flujo mezclado y con reactivos puros se puede concluir que la etapa dominante de la velocidad está regida por la reacción química, ya que las difusiones no son importantes en tal caso (Gonzalez, 2021).

Cinética de la reacción

Estudios cinéticos.

Como se menciona en capítulos anteriores, si bien, la reacción química de carbonilación de metanol parece sencilla, la misma sucede por un ciclo catalítico complejo, lo cual hace que la cinética no sea dependiente de los reactivos, sino que hay varios factores que influyen en la velocidad de reacción y son tenidos en cuenta a la hora de diseñar el proceso y sobre todo el equipo donde esta ocurre, ya que las condiciones influyen directamente sobre el rendimiento del proceso. A continuación, se mencionan estos factores (Jones, 2000), (Bausill, 2007).

- Efecto de la concentración de yoduro de metilo: La velocidad de reacción aumenta con la concentración de yoduro de metilo hasta el 6-8% másico, valor a partir del cual no se aprecian cambios. Por lo tanto, la concentración óptima de este componente en el medio es del 8%.

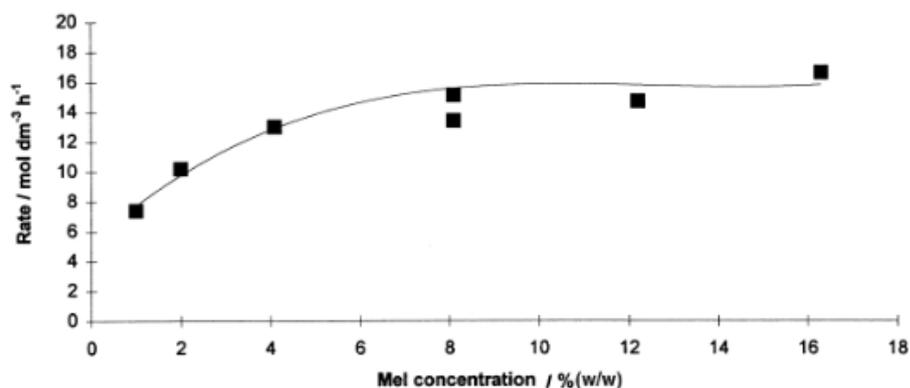


Figura 8.3: Efecto de la concentración del co-catalizador en la velocidad de reacción.

Fuente: <https://docplayer.es/59482587-Planta-de-produccion-de-acido-acetico.html>

- Efecto de la concentración de acetato de metilo: La velocidad de reacción, muestra una fuerte dependencia con este compuesto, ya que aumenta linealmente hasta un valor cercano al 20% en masa, por lo tanto, debe ser lo más alta posible para maximizar la velocidad de reacción.

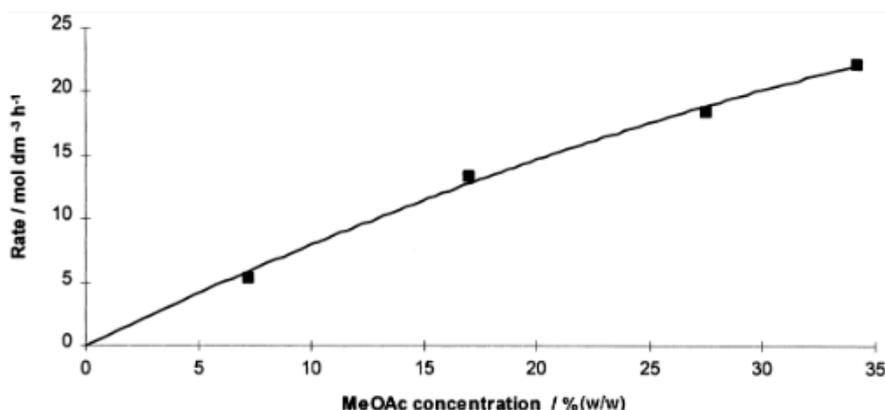


Figura 8.4: Efecto de la concentración de acetato de metilo en la velocidad de reacción.

Fuente: <https://docplayer.es/59482587-Planta-de-produccion-de-acido-acetico.html>

- Efecto de la concentración del catalizador: la velocidad de reacción es de primer orden con respecto a este. El efecto se reduce en altas concentraciones de catalizador, por lo que es aproximadamente proporcional a su concentración hasta un valor del 0,2% en masa, a partir del cual la mejora obtenida por aumento de concentración va disminuyendo. Además, a cierta concentración deja de ser soluble.

- Efecto de la concentración del promotor: el rutenio funciona como promotor activando el catalizador (iridio), eliminando parte de los iones yoduro del medio que tienden a formar complejos inactivos con él. Cuanto mayor sea la concentración de rutenio, menor concentración de iones yoduro están presentes y mayor será la velocidad de reacción, hasta un límite. Se observa que la mejora obtenida sólo es importante hasta una relación molar de aproximadamente 2-3:1 (moles de rutenio por mol de iridio) y que a partir de una relación molar 5:1 la mejora obtenida es nula. Es decir, que la presencia de dicho promotor conduce a un sustancial aumento de la proporción de "aniones activos", y una disminución en los "inactivos". Se cree que la promoción se produce a través de interacción directa del promotor y las especies de iridio, por lo que la velocidad de reacción depende de la pérdida de yoduro o más fácilmente de las concentraciones de catalizador.

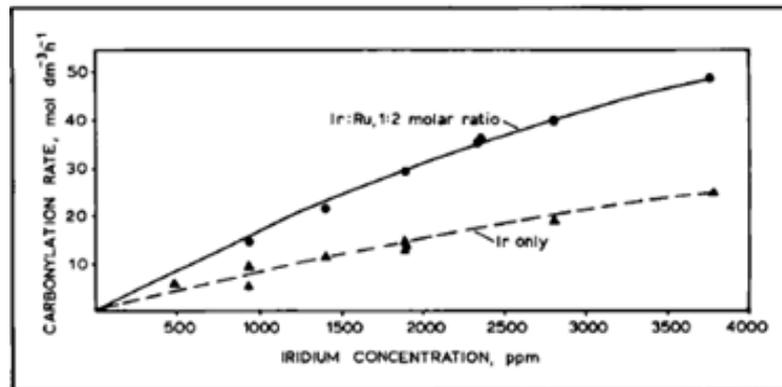


Figura 8.5: Efecto de la concentración del promotor en la velocidad de reacción.

Fuente: file:///C:/Users/Usuario/Desktop/facultaad/TESIS/Captivaprocespmr-v44-i3-094-105.pdf

- Efecto de la concentración de agua: Se observa que existe una concentración de agua óptima para la reacción de alrededor del 5% en masa, independientemente del sistema catalizador/promotor utilizado.

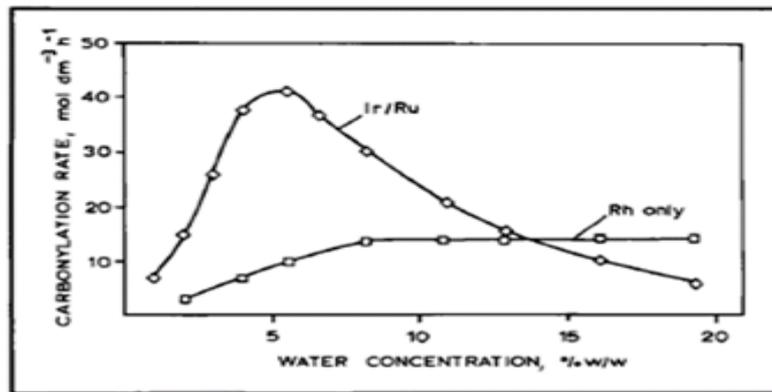


Figura 8.6: Efecto de la concentración de agua en la velocidad de reacción.

Fuente: file:///C:/Users/Usuario/Desktop/facultaad/TESIS/Captivaprocespmr-v44-i3-094-105.pdf

- Efecto de la concentración de metanol: El metanol y el acetato de metilo se encuentran en equilibrio químico, por lo que el efecto de la concentración del primero viene recogido por el efecto de la concentración de acetato de metilo en equilibrio.
- Presión parcial del CO: la velocidad aumenta al aumentar la presión parcial de CO. A medida que la presión parcial de CO cae por debajo de 8 bar, disminuye más rápidamente.

Selección de las condiciones de operación.

En base a lo expuesto anteriormente, el medio de reacción óptimo contiene el producto y una serie de componentes que se sintetizan in situ en la planta y otros que se deben adquirir. Para que el rendimiento del proceso sea máximo, es imprescindible que la composición del medio se mantenga en condiciones óptimas en todo el momento, por lo que se debe evitar, la reacción entre sus componentes (minimizada por el equilibrio químico) y su pérdida en el producto final o en las emisiones gaseosas.

Las condiciones de operación del proceso se seleccionan en base a los estudios cinéticos. Como el reactor es de mezcla completa, la composición del medio de reacción dentro del mismo es la misma que la composición de la corriente de salida.

- Acetato de metilo: 25.5%, dado que a mayores concentraciones se pierde la linealidad de la relación velocidad/concentración, lo que puede indicar un aumento de formación de subproductos.
- Yoduro de metilo: 8.2% por qué concentraciones mayores no causan un incremento de la velocidad de reacción.

- Agua: 5.7%, la concentración a la que la velocidad de reacción es máxima
- Iridio: 2000 ppm; a mayores concentraciones este deja de ser soluble.
- Rutenio: 4000 ppm, tomando una relación Ir/Ru 1:2. Tanto el rutenio como el iridio son compuestos costosos.

Las composiciones seleccionadas suman, aproximadamente, el 40% en peso, el resto está compuesto por ácido acético y representa el 60% de la corriente. Estas condiciones son simuladas en el software CHEMCAD y se comprueba que se alcanza el estado estacionario. Los valores de la composición óptima del medio se resumen en la tabla 6.2 en el capítulo seis. La reacción se lleva a cabo a 28 bar para maximizar la selectividad del catalizador a 190°C.

En estas condiciones se obtienen como subproductos dióxido de carbono e hidrógeno, procedentes de la reacción entre el monóxido de carbono y el agua presente en el medio de reacción, y metano, formado con el hidrógeno y una parte del monóxido que no reacciona. De igual modo, queda monóxido sin reaccionar que se elimina junto con estos gases.

Ecuación cinética.

En base a lo expuesto anteriormente, y según la bibliografía, la velocidad de reacción se puede expresar como:

$$r = \frac{[Ir] * [CO]}{[I^-]}$$

La dependencia inversa de la concentración de yoduro iónico sugiere que se debe operar con bajas concentraciones de este, por lo que para bajarla se utiliza el promotor. La velocidad de reacción se puede expresar también teniendo en cuenta los equilibrios orgánicos, de la siguiente manera:

$$r = [Ir] * [AcMe] * [CO]$$

El monóxido de carbono se elimina de esta ecuación ya que a la concentración que se utiliza, la velocidad es independiente de este, como se describe en el apartado anterior (Jones, 2000).

La proporcionalidad se completa con la constante cinética, la cual depende de la temperatura. Esta se obtiene a partir de la ecuación de Eyring (Haynes et al 2004 y Paulik y Roth, 1968).

$$k = \frac{k_B * T}{h} * e^{\frac{\Delta S}{R}} * e^{\frac{\Delta H}{R * T}} = 1.1 M^{-1} s^{-1}$$

Donde:

Según los parámetros publicados por Haynes et.al para las condiciones de trabajo, se tiene:

$$\Delta H = 96000 \text{ J/mol}$$

$$\Delta S = -40 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$k_B: \text{cte. de Boltzmann} = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$h: \text{cte. de Planck} = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$T: \text{temperatura} = 463 \text{ K}$$

$$R: \text{cte. de los gases ideales} = 8.3 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

Como la mezcla en el reactor es completa, la composición dentro mismo es igual a la de la corriente de salida. Los porcentajes en peso de esta corriente se detallan en el apartado anterior y la densidad de esta corriente es de 812 g/l. Con estos valores, se obtienen las siguientes concentraciones:

$$[Ir] = 1 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$[Ac \text{ Met}] = 2.7 \text{ M}$$

Por lo tanto, la velocidad en las condiciones de reacción es:

$$r = [Ir] * [AcMe] = 3.2 * 10^{-2} \frac{M}{s}$$

Elección del tipo de reactor

Considerando las reacciones gas-líquido, la selección del tipo de aparato se basa principalmente en el régimen cinético en que se encuadra la reacción en cuestión. Es decir, el primer paso a tener en cuenta es saber cuán rápida o lenta es la reacción comparada con la velocidad de absorción puramente física, ya que ello determina qué tipo de modelo cinético hay que utilizar, y a la vez el tipo de contactor más favorable.

En el reactor coexisten tres fases: gaseosa, líquida y sólida, por lo tanto, se debe considerar una interface que separe a los reactivos y al catalizador. La reacción ocurre en fase líquida, por lo que se debería pensar en un flujo neto de monóxido de carbono en la fase gaseosa

hacia la interface y el seno del líquido donde se encuentra el metanol, de igual manera se podría esperar un flujo neto de metanol, desde el seno de líquido hacia la interface.

Bajo estas condiciones, se desprecian los fenómenos de transporte de materia ya que los reactivos se encuentran puros, y, además, como se detalla anteriormente, en una catálisis homogénea, estos fenómenos no son importantes comparados con la cinética de la reacción.

En la selección del reactor hay que considerar además del régimen cinético, los modelos de flujo de cada fase y cómo contactan estas fases.

En general, para las columnas de relleno y platos se suele adoptar tanto para el gas como el líquido flujo en pistón. En las columnas de burbujeo se asume flujo en pistón para el gas y mezcla perfecta para el líquido. En tanques agitados se suele admitir tanto para el gas como para el líquido flujo en mezcla perfecta. Este último tipo de flujo presenta varias ventajas por sobre los otros, como son mejores transferencias de masa y de calor, lo que lleva a uniformidad en la temperatura y mejoras en la remoción del calor, ya que es una reacción muy exotérmica, también ayuda a dispersar y mantener solubilizado el catalizador. Además, es el tipo de reactor que se utiliza en el proceso Cativa y presenta una mayor simplicidad en los cálculos. La desventaja, es que con respecto al flujo pistón, el volumen de este es mayor, pero como la reacción es intermedia en velocidad (caso E en la tabla 8.1), esto no es un problema, ya que el tamaño depende principalmente de la velocidad de reacción. A continuación, se demuestra esta afirmación realizando el cálculo para una reacción gas-líquido (Iborra, 2013).

Tabla 8.6: Características de las reacciones gas-líquido

Fuente: Operaciones básicas de Ingeniería Química

Caso	Tipo de Reacción	a (m^2/m^3)	ϵ_i	Tipo de reactor
A	Instantánea	alta	bajo	Torre de relleno
B	Instantánea superficial	alta	Baja	Torre de relleno
C	Rápida de 2º orden	alta	Baja	Torre de relleno
D	Rápida de pseudo-1º orden	alta	baja	Torre de relleno
E	Intermedia, 2º orden	alta	alta	Tanque agitado
F	Intermedia, pseudo-1º orden	alta	alta	Tanque agitado
G	Lenta, Pseudo-1º orden	baja	alta	Torre de burbujeo
H	Muy lenta	baja	alta	Torre de burbujeo

Reactor tanque agitado.

La suposición más importante en la utilización de un reactor tipo tanque agitado es que las fases circulan en mezcla perfecta. La principal función del agitador es provocar un rápido

movimiento circulatorio en el líquido logrando así que esta suposición sea razonable. Si la velocidad de circulación del líquido es lo suficientemente intensa, las burbujas de gas son arrastradas con el líquido y recirculadas al fondo del tanque, donde se encuentra el agitador.

En los agitadores se forman “cavidades” de gas detrás de las palas del agitador. Las burbujas de gas fresco que entra al tanque a través del dispersor y las burbujas recirculadas se juntan en estas cavidades donde son re dispersadas hacia los vórtices altamente turbulentos generados en las palas del agitador. Cuando las burbujas de gas ascienden por el agitador algunas de ellas se salen del líquido hacia el volumen de gas que queda en la parte superior del tanque, saliendo al mismo posteriormente. La suposición de que el fluido se encuentre en mezcla perfecta implica que la corriente de salida del tanque tiene la misma composición que el fluido retenido en el interior de este.

Material de construcción

El proceso requiere equipos construidos con materiales resistentes a la corrosión como aceros al carbono especiales o Hastelloy, sobre todo para el reactor, que es donde se regenera constantemente el HI. Por sí mismo, este no es corrosivo, pero en presencia de agua forma un ácido muy fuerte ($pK_a = -9,5$).

En un trabajo consultado se usan accesorios de acero inoxidable 316SS y una mezcla de aceros inoxidables 316SS y 316Ti. El uso de 316Ti es para tratar de reducir los problemas de corrosión, pero se prueba que aun así es inevitable. (Hanning, 2012)

En este proyecto se usa como material de construcción acero A/SA 285 Gr.C. ASTM A285 es una especificación para placas de acero al carbono de recipientes a presión, de resistencias a la tracción bajas e intermedias. Son aceros resistentes al calor y se caracterizan por una buena soldabilidad. Se utilizan sobre todo para la fabricación de calderas, recipientes a presión y tuberías de transporte de líquidos calientes. Asimismo, ofrecen buenas propiedades en altas y bajas temperaturas. Según la bibliografía consultada, este tiene una tensión admisible de 945 bar, la cual es similar al material Hastelloy (Gelsonluz, 2020).

Para recipientes a presión se utilizan extremos con formas convexas, elípticas o semiesféricas (SALES, 1972).

Cálculo de las dimensiones del reactor

El diseño es un proceso iterativo, ya que las variables están interrelacionadas y las ecuaciones no son explícitas en dichas variables. Para calcular el volumen es necesario conocer el área interfacial y el coeficiente de transferencia en la película líquida, y para ello se requiere calcular

el hold up o retención de gas, la velocidad de agitación, el diámetro del reactor y el del agitador de manera iterativa. Para iniciar el cálculo se realiza una estimación del volumen del reactor en base a la producción planteada.

Datos:

Metanol

$$\mu_L = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$\rho_L = 788.3 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_L = 2.2 \cdot 10^{-2} \text{ kg/s}^2$$

$$D_L = 2.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$$

Monóxido de Carbono

$$\rho_G = 35.8 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_v = 40.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$r = 115.2 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{h}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Como primera aproximación, se estima el volumen del reactor como si no hubiera hold up, es decir, igual al volumen del líquido. Se considera una relación de esbeltez de 1.5. Se toma este valor para que no se genere un régimen de flujo pistón. Con esto se obtiene:

$$V_L = 0.4 \text{ m}^3$$

$$D = 0.9 \text{ m}$$

$$H = 1.4 \text{ m}$$

$$D_a = D/3 = 0.3 \text{ m}$$

Así para agitar un líquido puro en un tanque con un diámetro menor a 1m la mínima velocidad de agitación necesaria es

$$No = \frac{7 \cdot 10^{-2} \cdot D \cdot \sqrt{(g \cdot D)}}{D_a^2} = 2 \text{ rps}$$

Westerterp demostró que para velocidades de agitación menores a N_0 el agitador no tiene efecto y el sistema se comporta como una columna de borboteo. Sin embargo, la velocidad de agitación escogida es de 2.5 rps. El diámetro de burbuja es:

$$db = \sqrt{\frac{0.41 * \sigma L}{(\rho L - \rho G) * g}} = 1.1 * 10^{-3} m$$

Retención o hold up del gas para una velocidad lineal de paso igual a $1.5 * 10^{-2}$ m/s. Este valor es calculado partiendo el caudal de gas por el área de paso en el difusor.

$$\varepsilon g = 0.31 * \left(\frac{1.5 * 10^{-2}}{\sqrt{\frac{\sigma L * g}{\rho L}}} \right)^{\frac{2}{3}} + 0.45 * \frac{(N - N_0) * Da^2}{D * \sqrt{g * D}} = 0.4$$

El coeficiente de transferencia de materia en la fase líquida, cuando el diámetro de burbuja es menor a 2.5 mm

$$Kl = 0.3 * \sqrt[3]{\frac{\mu L * 9}{\rho L}} * Sc^{-\frac{2}{3}} = 1.4 * 10^{-2} m/h$$

Donde Sc es el número de Schmidt

El área interfacial, considerando el hold up y esferas rígidas es:

$$a = \frac{6 * \varepsilon g}{db} = 2345.4 m$$

$$Av = \frac{a}{1 - \varepsilon g} = 4114.8$$

$$\beta = \left(1 - Av * \frac{DL}{Kl} \right) * (1 - \varepsilon g) = 1.8 * 10^{-2}$$

El coeficiente de transferencia en la burbuja de gas es siempre considerablemente mayor que en el líquido ($k_{AG} \gg k_{AL}$). La difusividad en la fase gas es varios órdenes de magnitud mayor que la difusividad en líquidos. De ello resulta que la resistencia a la transferencia de materia en la película gaseosa es significativa sólo en el caso de reacciones muy rápidas.

Una vez estimados los parámetros deben plantearse y resolverse los correspondientes balances de materia, global y para un componente en ambas fases, obteniéndose como resultado el volumen del reactor, siendo este $V=2.1 \text{ m}^3$.

Una vez obtenida esta primera aproximación del volumen, se repite el cálculo partiendo de este mismo y se comprueba que dicho valor no cambia, por lo que es el volumen necesario para la reacción (Iborra, 2013).

Sin embargo, por consideraciones de transferencia de calor y para tener un margen de seguridad, se opta por llevar el volumen a 4 m^3 , ya que de todos modos sigue siendo un tamaño aceptable en dimensiones en relación con el resto de los equipos de la planta.

Con la reacción de esbeltez adoptada ($H/D = 1.5$) se calcula el diámetro y la altura del mismo.

Para recipientes a presión, se calcula el espesor del equipo (SALES, 1972).

$$t = (Pdiseño * D) / (2 * \sigma adm * e - Pdiseño) + C$$

donde

$$Pd = Pop + 0,1 * Pop$$

Pd = Presión de diseño

Pop = Presión de operación

En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos en el diseño del reactor

Tabla 8.7: Diseño del reactor

Fuente: Elaboración propia

Datos de diseño y especificaciones	
Volumen (m^3)	4
Relación de esbeltez	1.5
Altura (m)	2.25
Diámetro (m)	1.5
Espesor (m)	$3 \cdot 10^{-2}$
Tensión al acero (bar)	945
Eficacia de la juntas	0.8
Material de construcción	A285
Presión de trabajo (bar)	28

Presión de diseño (bar)	30.8
Temperatura de trabajo (°C)	190
Temperatura de diseño (°C)	210
Tapa	Semiesférica
Fondo	Curvo
Número de tanques	1

Agitador

La agitación se refiere a forzar a un fluido por medios mecánicos para adquirir cierto movimiento dentro del recipiente. Implica que dos fases se distribuyen al azar entre sí. Existen distintos tipos de agitadores, pero en este caso particular, se utiliza un agitador de turbina de seis aspas con disco, debido a las características que presenta. Entre ellas se encuentra que, la función principal es disparar un gas en un líquido. El gas puede hacerse penetrar por debajo del propulsor de la turbina en su eje, de esta manera, las paletas dispersan el gas en muchas burbujas finas. Además, al haber sólidos, este tipo de agitador los levanta y los mantiene en la zona de reacción, evitando que se depositen en el fondo (Geankoplis, 1998).

La potencia suministrada al líquido se calcula con el número de potencia, el cual surge de la combinación del número de Froude y el número de Reynolds. Pero cuando el número de Reynolds supera los 10000, es decir, se presenta un flujo turbulento, la función potencia es independiente de dicho número y la viscosidad deja de ser un factor importante. Las variaciones del número de Froude tampoco influyen. Y en este intervalo el flujo es completamente turbulento dependiendo la potencia de una constante (K_t), la cual depende del tipo de agitador seleccionado y de la presencia de placas deflectoras.

En la tabla siguiente se muestran las proporciones geométricas de un agitador de turbina, centrado con seis palas planas y cuatro placas deflectoras (Smith, 1981).

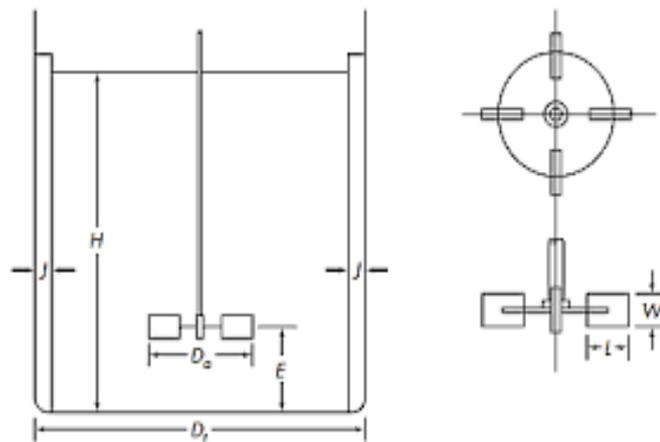


Figura 8.7: Dimensiones características del tanque agitado.

Fuente: (Smith, 1981)

Tabla 8.8: Dimensiones del agitador

Fuente: Elaboración propia

Dimensión	Proporción	Metros
Altura del tanque (H)	H/Dt=1.5	2.2
Diámetro del tanque (Dt)		1.5
Diámetro del agitador (Da)	S1=Dt/Da=3	0.5
Distancia del rodete al fondo del tanque (E)	S2=E/Da=1	0.5
Ancho de palas (L)	S3=L/Da=2.5*10 ⁻¹	1.2*10 ⁻¹
Longitud de palas (W)	S4= W/Da=2.5*10 ⁻¹	1.2*10 ⁻¹
Ancho de deflectores (J)	S5=J/Dt=0.1	1.5*10 ⁻¹

A continuación, se presenta el cálculo de la potencia necesaria por el agitador.

$$NRe = \frac{n * Da * \rho}{\mu} = 1.2 * 10^6$$

Donde:

$n=150 \text{ rpm} = 2.5 \text{ rps}$

$\rho= 330 \text{ kg/m}^3$

$\mu= 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \cdot \text{m}$

Con este valor de Reynolds se tiene un flujo turbulento. Para una turbina de 6 palas planas $kT=6.3$

$$P = (kT * n^3 * Da^5 * \rho) / (gc) = 103 \text{ kgf} * \text{m} / \text{s} = 1.3 \text{ HP}$$

Adopción del motor para el agitador.

Para la adopción del motor se recurre a la empresa Casa Fenk, que comercializa los motores marca BRANIK, que cuentan con potencias desde los 0.5 HP hasta los 150 HP.

Sus características principales son:

- 100% blindados
- Normalizados
- Protección IP 54 y 55
- Aislamiento Clase "F"

Para tener un margen de seguridad, se adopta un motor con una potencia de 2 HP trifásico de 1500 rpm, el cual presenta cuatro polos, 50 Hz y 380 V (FENK, 2021).

Tabla 8.9: Selección del motor para el agitador

Fuente: Fenx

Velocidad 1500 RPM (4 POLOS), 50 HZ, 380V

HP	CUERPO	CÓDIGO B3	CÓDIGO B5	TIPO
0.5	71	107.33	109.19	SGA71-4
0.75	80	107.43	109.20	SGA 801-4
1	80	107.46	109.21	SGA 802-4
1.5	90	107.49	109.22	SGA 90S-4
2	90	107.60	109.23	SGA 90L-4
3	100	107.08	109.24	SGA 100L1-4
4	100	107.09	109.25	SGA 100L2-4
5.5	112	107.10	109.26	SGA 112M-4
7.5	132	107.11	109.27	SGA 132S-4
10	132	107.12	109.28	SGA 132M-4
15	160	109.75	109.30	SGA 160M-4
20	160	109.77	109.32	SGA 160L-4
25	180	109.78	109.33	SGA180M-4
30	180	109.79	109.34	SGA 180L-4
40	200	109.81	109.36	SGA 200L-4
50	225	109.82	109.37	SGA 225S-4
60	225	109.83	109.38	SGA 225M-4
75	250	109.84	109.39	SGA 250M-4
100	280	109.85	109.40	SGA 280S-4
125	280	109.86	109.41	SGA 280M-4
150	315	109.76	109.31	SGA 315S-4
180	315			SGA 315M-4
220	315			SGA 315L1-4
250	315			SGA 315L2-4
270	315			SGA 315L-4
300	355			SGA 355M1-4
340	355			SGA 355M2-4
380	355			SGA 355L1-4
430	355			SGA 355L2-4

Adopción del reductor.

Debido a que solo se necesitan 150 rpm, y se cuenta con un motor de 1500 rpm, es necesario adoptar un motorreductor, cuya relación de reducción es 1:10. Para éste, se recurre a la empresa “ALFA Transmisiones Industriales”, se elige el modelo de la línea NMRV-63, cuyas dimensiones y características se detallan a continuación (ALFA).

Tabla 8.10: Selección del motorreductor

Fuente: Alfa

Tabla de Potencia											
Relación Nominal	RPM de salida	I	n2(rpm)	Velocidad de entrada n1=1500 rpm							
				NMRV-25	NMRV-30	NMRV-40	NMRV-50	NMRV-63	NMRV-75	NMRV-90	NMRV-110
7.5	200	Hp	0.12	0.25	0.5	1	2	4	5.5	10	12.5
		M2	0.14	0.90	2	3.17	6.80	12.51	17.67	32.20	40.28
		η	0.85	0.85	0.89	0.89	0.87	0.87	0.90	0.90	0.90
10	150	Hp	0.12	0.3	0.75	1	2	4	5.5	10	12.5
		M2	0.5	1.17	3.05	4.11	9.02	16.80	23.27	42.47	53.11
		η	0.85	0.82	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89
15	100	Hp	0.12	0.25	0.5	1	2	3	4	7.5	10
		M2	0.73	1.37	2.84	5.88	11.84	17.78	24.56	46.19	62.3
		η	0.85	0.77	0.79	0.82	0.83	0.83	0.86	0.86	0.87
20	75	Hp	0.12	0.25	0.5	1	2	3	4	7.5	10
		M2	0.85	1.74	3.69	7.51	15.40	23.38	31.94	60.90	81.16
		η	0.82	0.73	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.85
25	60	Hp	0.12	0.25	0.34	0.75	1	1.75	3	5.5	10
		M2	1.15	2.02	2.95	6.67	9.24	16.33	29.30	55.15	100.26
		η	0.80	0.68	0.73	0.74	0.77	0.78	0.82	0.84	0.84
30	50	Hp	0.12	0.16	0.34	0.75	1	1.5	3	5.5	7.5
		M2	1.26	1.46	3.43	7.66	10.17	16.23	33.02	62.17	85.94
		η	0.80	0.64	0.70	0.71	0.71	0.76	0.77	0.79	0.8
40	37.5	Hp		0.16	0.34	0.5	1	1.5	2	4	5.5
		M2		1.80	4.19	6.24	13.35	20.62	28.56	58.89	81.93
		η		0.59	0.65	0.65	0.70	0.72	0.75	0.77	0.78
50	30	Hp		0.12	0.25	0.5	0.75	1	2	3	5.5
		M2		1.54	3.70	6.91	11.74	16.42	34.44	52.50	97.16
		η		0.54	0.62	0.58	0.66	0.69	0.72	0.73	0.74
...	...	Hp		0.12	0.16	0.34	0.75	1	1.5	3	4

Dimensiones Generales

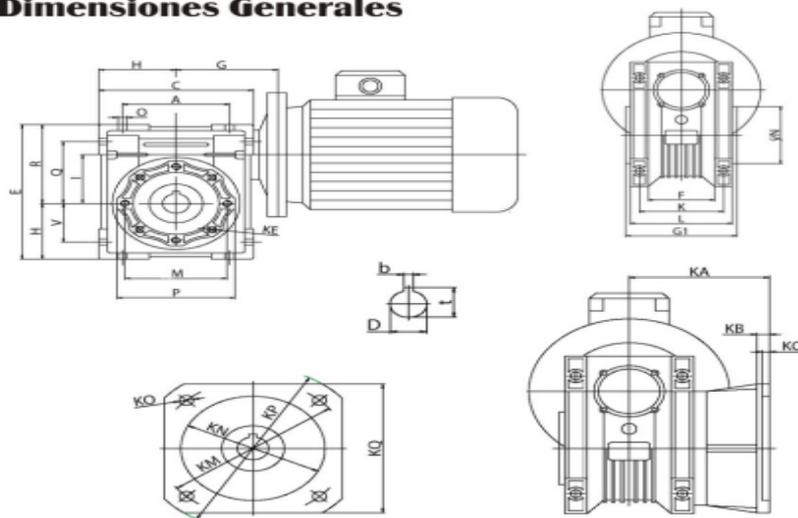


Figura 8.8: Dimensiones del motorreductor

Fuente: Alfa

Tabla 8.11: Dimensiones del motorreductor

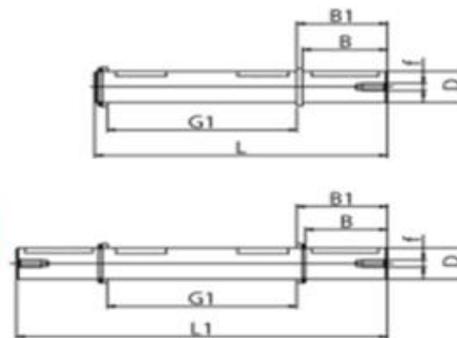
Fuente: Alfa

Tamaño	A	C	D(H7)	E	F	G	G1	H	I	L	M	N(h8)	O	P	Q
25	45	70	11	83	22	45	42	35	35.5	37	45	45	6.5	45	35
30	54	80	14	97	32	55	63	40	30	56	65	55	6.5	75	44
40	70	100	18	121.5	43	70	78	50	40	71	75	60	6.5	87	55
50	80	120	25	144	49	80	92	60	50	85	85	70	8.5	100	64
63	100	144	25	174	67	95	112	72	63	103	95	80	8.5	110	80
75	120	172	28	205	72	112.5	120	86	75	112	115	95	11	140	93
90	140	208	35	238	74	129.5	140	103	90	130	130	110	13	160	102
110	170	252.5	42	295	-	160	155	127.5	110	144	165	130	14	200	125
130	200	292.5	45	335	-	180	170	147.5	130	155	215	180	16	250	140

Tamaño	R	V	K	KA	KB	KC	KE	KM	KN	KO	KP	KQ	b	t	Peso Kg
25	48	22.5	35	45	6	3	M6x11(4)	65	40	5	75	70	4	13	0.9
30	57	27	44	54.5	6	4	M6x11(4)	68	50	6.5(4)	80	70	5	16.3	1.2
40	71.5	35	60	67	7	4	M8x8(4)	87	60	9(4)	110	95	6	20.8	2.3
50	84	40	70	90	8	5	M8x10(4)	90	70	11(4)	125	110	8	28.3	3.5
63	102	50	85	82	10	6	M8x14(8)	150	115	11(4)	180	142	8	28.3	6.2
75	119	60	90	111	13	6	M8x14(8)	165	130	14(4)	200	170	8	31.3	9
90	135	70	100	111	13	6	M10x18(8)	175	152	14(4)	210	200	10	38.3	13
110	167.5	85	115	131	15	6	M10x18(8)	230	170	14(8)	280	260	12	45.3	35
130	187.5	100	120	140	15	6	M12x21(8)	255	180	16(8)	320	290	14	48.8	48

Ejes de Salida
ES - simple /ED - doble

Tamaño	D(h6)	B	B1	L	L1	G1	f
25	11	23	25.5	81	101	50	-
30	14	30	32.5	102	128	63	M6
40	18	40	43	128	164	78	M6
50	25	50	53.5	153	190	92	M10
63	25	50	53.5	173	219	112	M10
75	28	60	63.5	192	247	120	M10
90	35	80	84.5	234	309	140	M12
110	42	80	84.5	249	324	155	M16
130	45	80	85	265	340	170	M16



Todas las dimensiones mostradas en las tablas anteriores son expresadas en milímetros.

Características técnicas

- Caja de aluminio inyectado con amplia capacidad de disipación del calor
- Corona de bronce fosforoso al níquel
- Sin fin cementado con flanco de hélices rectificado
- 4 rodamientos ampliamente dimensionados
- Sellado: con retenes de doble labio y anillos o´ring en todas las tapas
- Lubricación de por vida provista con aceite sintético
- Múltiples posibilidades de fijación
- Montaje directo sobre motores normalizados con bridas B14 y B5

Chaqueta de enfriamiento y serpentín

De la Tabla 8 del (Kern, 1999), se selecciona el valor de U para un intercambiador que opera con solución orgánica como fluido caliente y agua como fluido frío. Dicho valor es de 732 kcal/h*m²*°C.

Una vez seleccionado este valor, se procede a calcular la temperatura media logarítmica, con el fin de obtener el área necesaria para el intercambio de calor.

$$MLDT = \frac{(T1 - t2) - (T2 - t1)}{\ln \frac{(T1 - t2)}{(T2 - t1)}} = 155^{\circ}C$$

Donde:

T1=190°C

T2=190°C

t1=30°C

t2=40°C

Tabla 8.12: Valores para el cálculo del área necesaria para el intercambio de calor

Fuente: Elaboración propia

Variable	Valor
U (kcal/hm ² *°C)	732
MLDT (°C)	155
Q (kcal/h)	-1,9*10 ⁶

$$A = \frac{Q}{U * MLDT} = 17.4 m^2$$

Sin embargo, el área con la que se cuenta es igual al 70% de la mitad del área total del reactor, debido a que se coloca una media camisa, dejando fuera un 30% de altura, para asegurarse que todo el líquido contenido en el recipiente este en contacto con el serpentín y el intercambio de calor se desarrolle de manera adecuada.

$$A_{camisa} = \left(\frac{2 * \pi * r * h + \frac{\pi}{4} * d^2}{2} \right) * 0.7 = 4.5 m^2$$

Al comparar el área necesaria con el área disponible, se observa que esta última no es suficiente, por lo que para el área restante se utiliza un serpentín (Company, 2000).

$$A_{falta} = A - A_{camisa} = 12.9 \text{ m}^2$$

Una vez definida el área del serpentín, se procede a calcular el largo del mismo, el diámetro y la altura, además del número de vueltas que debe tener.

Largo del serpentín

$$L_s = \frac{A_{falta}}{\pi * d} = 82 \text{ m}$$

d= diámetro externo del tubo del serpentín = $5 * 10^{-2}$ m

Diámetro del serpentín dentro del reactor: se toma el 90% del diámetro del equipo.

$$D_s = 0.9 * D_t = 1.3 \text{ m}$$

Dt= diámetro del reactor

Número de vueltas del serpentín

$$N = \frac{A_{falta}}{D_s * \pi} = 19$$

Altura del serpentín

$$H_s = N * p + d = 1.5 \text{ m}$$

Donde:

$$P = \text{paso} = 1.5 * d = 7.5 * 10^{-2} \text{ m}$$

Alimentación de gas

La inyección de gases puede realizarse por el fondo del reactor, por un lado, o bien mediante una lanza sumergida en el líquido. En el caso de inyección por el fondo o, por un lado, se realiza a través de toberas o bien de tapones porosos.

En los reactores agitados el diseño del difusor y el mecanismo de formación de las burbujas son de menor importancia en comparación con los efectos del rodete. Como resultado de un continuo proceso de rotura y dispersión de las burbujas por el rodete y la coalescencia debida a la colisión de las mismas, su tamaño en los reactores agitados es muy diferente al formado inicialmente en el difusor, donde las burbujas generalmente son del mismo tamaño. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la coalescencia de las burbujas pequeñas para formar

otras de mayor tamaño es un proceso no deseado ya que reduce el área interfacial y el contenido de gas.

En cuanto a los difusores que se utilizan normalmente, se pueden mencionar tres tipos:

- Porosos: Los difusores porosos de vidrio, cerámica o metal sinterizado se utilizan en aplicaciones a pequeña escala, ya que el gas que puede atravesarlos es limitado debido a la gran resistencia al flujo que ofrece este tipo de difusores
- De boquilla: Los difusores de boquilla se utilizan en muchos biorreactores agitados tanto a escala de laboratorio como a escala de producción. Estos consisten en una única tubería abierta o semiabierta que proporciona una corriente de burbujas.
- De orificio: también conocidos como tuberías perforadas. Están constituidos por pequeños agujeros realizados en la tubería, la cual se coloca dentro de un anillo o atravesada en la base del reactor. En este difusor, los agujeros deben ser lo suficientemente grandes como para minimizar los taponamientos¹⁵.

De los mencionados anteriormente, se escoge el tipo de difusor de orificios o difusor por tubos tipo radial ya que es el que genera menos pérdida de carga. En la figura siguiente, se muestra este (Company, 2000).

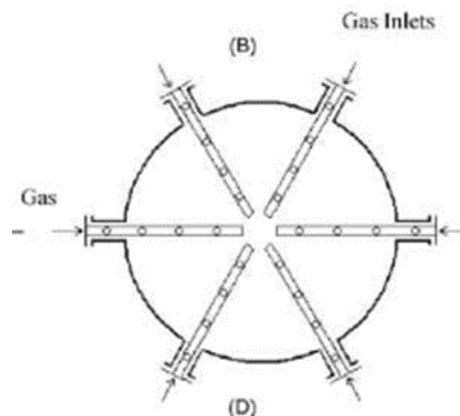


Figura 8.9: Difusor de tubos

Fuente: Manual de cálculo

A continuación, se expresan los cálculos realizados, para obtener el número de orificios y el número de tubos necesarios.

¹⁵ http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GuionNo6_17167.pdf

En primer lugar, se calcula el diámetro de agujero inicial o crítico para hacerse una idea del tamaño requerido en el difusor.

$$d_{oc} = 2.3 * \left(\frac{\sigma}{\rho g * g} \right)^{0.5} * \left(\frac{\rho g}{\rho l - \rho g} \right)^{0.62} = 2.7 * 10^{-3} \text{ m}$$

Donde:

σ = tensión superficial = $2.2 * 10^{-2} \text{ kg/s}^2$

ρg = densidad del gas = 35.8 kg/m^3

ρl = densidad del líquido = 788.3 kg/m^3

g = gravedad = 9.8 m/s^2

Se elige un diámetro de agujero por debajo de este diámetro crítico, en concreto $2 * 10^{-3} \text{ m}$, el cual queda dentro del rango normalizado. Esta elección permite tener mayor número de agujeros y así se puede dividir el caudal de gas abarcando toda la sección de columna.

Al hacer el diseño del difusor hay que determinar la velocidad del gas a través de los agujeros y asegurarse de que esta será mayor que la crítica. En caso de que esto no se cumpla se producirá el efecto llamado “*weeping*”. Este fenómeno ocurre cuando la energía cinética del gas a través de los agujeros no es suficiente para aguantar el peso del líquido de la columna, entonces el líquido entra en los tubos del difusor.

Se presenta la fórmula para calcular la velocidad crítica del fluido gas a través de los agujeros del difusor radial (Company, 2000).

$$v_{crit} = 1.25 * \sqrt{\left(\frac{(\rho l - \rho g) * g * d_o}{\rho g} \right) * 0.44 * \left(\frac{L}{d_o} \right)^{-0.12} * \left(\frac{\Delta x}{d_o} \right)^{-0.45} * \left(\frac{Ht}{d_o} \right)^{0.67}} = 2.6 \text{ m/s}$$

Donde:

d_o =diámetro del agujero del difusor = $2 * 10^{-3} \text{ m}$

L =longitud del tubo del difusor = 0.7 m (elegido restándole 0.05 m al radio del equipo, para que se asemeje a la configuración típica del difusor tipo radial)

$\Delta x/d_o$ =relación Pitch/Diámetro de agujero= 5 (es un valor típico de diseño para no subir excesivamente la caída de presión)

Ht= altura total del líquido en el reactor = 1.8 m

La velocidad del gas en los agujeros normalmente está en un rango de 20 a 80 m/s, Chemical reactors o Trambouze. Se toma una velocidad mayor a la crítica y dentro del rango admisible, con un valor de 40m/s se calcula el número de agujeros del difusor.

$$natot = \frac{\frac{Qg}{\frac{\pi}{4} * do^2}}{Vga} = 90$$

Donde:

Qg= caudal del gas= $1.1 \cdot 10^{-2}$ m³/s

Vg= velocidad del gas en los agujeros = 40 m/s

natot= número total de agujeros

Para determinar el diámetro del tubo y el número de tubos que necesita el difusor se calcula cuantos se necesitan para dividir el caudal de gas con la velocidad adoptada.

$$nttot = \frac{\frac{Qg}{\frac{\pi}{4} * dt^2}}{Vgt} = 3$$

Donde:

nttot= número total de tubos

dt= diámetro interior del tubo = $1.2 \cdot 10^{-2}$ m

En conclusión, se necesitan tres tubos para dividir los noventa orificios, quedando treinta en cada tubo.

Venteo

Se utilizan dos válvulas modulantes en serie para liberar los gases que se encuentran dentro del reactor a 28 bar, reduciendo su presión a 10 bar en la primera y a 1.2 en la segunda.

El hecho de utilizar dos válvulas en serie se asocia a que el cambio de presión es muy brusco y una sola válvula no soportaría la pérdida de carga que esto conlleva.

Estas válvulas son electrónicas y se encuentran automatizadas con un sistema de PLC para mantener la presión dentro del reactor en el rango de operación.

Además de las válvulas electrónicas, se coloca una válvula mecánica de alivio de presión con el fin de tener una mayor seguridad por si ocurre algún imprevisto. Esta es una válvula on-off que se utiliza antes de que se alcance la presión de diseño mecánico del reactor. En tal caso, estos gases son enviados a los cuatro vientos para evitar la contaminación.

Un sistema de alivio de presión de emergencia es un dispositivo, disco o válvula, que se utiliza para la protección contra la sobrepresión en reactores, depósitos de almacenamiento, columnas, calderas, secadores y otros equipos de proceso.

Especialmente en el caso de los reactores químicos, es esencial tener en cuenta la reacción ya que si es muy exotérmica puede tener una liberación de energía térmica muy significativa, aumentando la temperatura de la masa de reacción por encima de la capacidad de enfriamiento y, por lo tanto, causando sobrepresión. Dependiendo de las condiciones de la reacción, el flujo que necesita liberarse puede ser gas, vapor o líquido. En la imagen a continuación, se muestra el funcionamiento (DEKRA, 2020).



Figura 8.10: Funcionamiento del sistema de venteo del reactor químico

Fuente: www.dekra.es/media/

A continuación de este, se coloca una antorcha donde se queman los gases cuando la caldera no está en funcionamiento, para evitar que contaminen la atmósfera.

Más allá de las especificaciones detalladas anteriormente, para definir qué tipo y cantidad de válvulas se utilizan, es una interacción con el proveedor de la caldera.

Válvula (CV-01)

Este instrumento se utiliza para reducir la presión de la corriente líquida de producto y generar vapor, con el fin de que la fase líquida restante que contiene al catalizador retorne al sistema de reacción. Se usa el mismo sistema que para el venteo de los gases, ya que el cambio de presión es el mismo, solo que se utilizan válvulas modulantes para líquidos.

8.2.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR (E-01)

Este intercambiador de calor se usa para generar más vapor en la corriente que ingresa al flash, utilizando una parte del vapor generado en la caldera para este fin. En la tabla siguiente se describe el diseño de este.

Tabla 8.13: Diseño del intercambiador de calor (E-01)

Fuente: Elaboración propia

Información general del intercambiador de calor (E-01)			
Por la coraza		Por los tubos	
Fluido	Agua	Fluido	Proceso
Caudal (kg/h)	501	Caudal (kg/h)	6460
Temperatura de entrada (°C)	133.5	Temperatura de entrada (°C)	97.6
Temperatura de salida (°C)	132	Temperatura de salida (°C)	102.2

Especificaciones	
Área requerida (m ²)	6.5
Área efectiva (m ²)	8.4
Área por la coraza (m ²)	8.4
Exceso (%)	29.7
U calculado (kcal/m ² *h*°C)	1206.7
U servicio (kcal/m ² *h*°C)	930.4
LMTD calculado (°C)	33.4
LMTD factor de corrección	1
LMTD corregido (°C)	33.4

Información de la coraza	
Velocidad de flujo cruzado (m/s)	14.9
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	0.1
Diámetro externo de la coraza (m)	$2.3 \cdot 10^{-1}$
Diámetro interno de la coraza (m)	$2 \cdot 10^{-1}$
Diámetro interno del cabezal de entrada (m)	$5.2 \cdot 10^{-2}$
Diámetro interno del cabezal de salida (m)	$2.7 \cdot 10^{-2}$
Tipo de norma TEMA	AEL
Información de los tubos	
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	0.2
Velocidad (m/s)	54
Número de tubos	47
Longitud (m)	3
Diámetro externo (m)	$1.9 \cdot 10^{-2}$
Diámetro interno (m)	$1.6 \cdot 10^{-2}$
Espesor de la pared del tubo (m)	$3 \cdot 10^{-3}$
Arreglo	Triangular
Paso de los tubos (m)	$2.4 \cdot 10^{-2}$
Número de pasos	1
Información de los baffles	
Número de baffles	15
Tipo de baffles	Segmento único
Espacio interior (m)	$5.3 \cdot 10^{-2}$
Espacio central (m)	$5.3 \cdot 10^{-2}$
Espacio exterior (m)	$5.3 \cdot 10^{-2}$
Superposición (m)	$3.8 \cdot 10^{-2}$
Dirección de corte	Vertical
Espesor del baffle (m)	$2 \cdot 10^{-3}$

8.2.5 TANQUE FLASH (S-01)

Para el dimensionamiento del tanque flash se utiliza la ecuación de Souders-Brown, aplicable para recipientes de separación líquido-vapor, donde se calcula la velocidad máxima permitida para el vapor dentro del recipiente en función de las densidades del líquido y vapor en las condiciones de operación y de un factor k dependiente de la presión de operación del equipo, que al ser menor de 7 bar, toma un valor de 0,107 m/s, debido a que el equipo cuenta con una malla en la parte superior para evitar el arrastre de líquidos. (Memoria de cálculo, 2017)

$$V_{max} = k * \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l}} = 385.2 \text{ m/h}$$

Donde:

ρ_l = densidad del líquido = 956.2 kg/m³

ρ_g = densidad del gas = 2.4 kg/m³

k = factor dependiente de la presión = 1.07*10⁻¹ m/s

El área de la sección del tanque se obtiene como cociente del caudal volumétrico de vapor entre V_{max}.

$$A = \frac{Q_{vg}}{V_{max}} = 5.7 \text{ m}^2$$

Q_{vg} = caudal volumétrico del gas = 2206.7 m³/h

A continuación, se calcula el diámetro del recipiente a partir del área

$$d = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} = 2.7 \text{ m}$$

Se emplea una relación de esbeltez de 3, por lo que la altura resulta:

$$h = \left(\frac{h}{d}\right) * d = 8.1 \text{ m}$$

Donde:

h/d = relación de esbeltez = 3

d = diámetro = 2.7 m

Según la recomendación del método de Souders-Brown, la entrada de la alimentación debe ser colocada inmediatamente superior al nivel del líquido que forma el sello hidráulico, para permitir un tiempo de residencia adecuado para el líquido. El espesor del tanque se toma de la bibliografía para diámetros menores a 15 m (SALES, 1972).

Tabla 8.14: Diseño del tanque flash (S-01)

Fuente: Elaboración propia

Datos de diseño y especificaciones del tanque flash (S-01)	
Material de construcción	AISI 316
Volumen del tanque (m ³)	46.4
Relación de esbeltez	3
Altura (m)	8.1
Diámetro (m)	2.7
Espesor (m)	4.8*10 ⁻³
Tensión al acero (bar)	456
Eficacia de la juntas	0.85
Presión de trabajo (bar)	1
Presión de diseño (bar)	1.1
Temperatura de trabajo (°C)	102.2
Temperatura de diseño (°C)	122.2
Tapa	Cóncavo
Fondo	Cóncavo
Número de tanques	1

8.2.6 TORRE DE DESTILACIÓN (C-01)

Existe una gran variedad de tipos de columnas de destilación en función de las distintas separaciones para las que son diseñadas. Por tanto, se pueden clasificar de muchas maneras; según la corriente de salida, según el tipo de alimentación y la más importante según el tipo de contacto. Esta última clasificación hace que se dividan en columna de platos y columnas de relleno. En este caso se utiliza una columna de relleno, la cual ocupa menos espacio.

Esta columna tiene en su interior un relleno que permite un buen contacto entre la fase gas y la fase líquida. Los elementos que lo componen pueden ser de diferentes tipos, escogidos según las características requeridas por la operación de destilación: aleatorios o estructurados. Los rellenos aleatorios suelen utilizarse en sistemas con bajo caudal de líquido y de gas ya que evitan la formación de espuma; y también debido a su baja pérdida de carga

(3-4 mbar por etapa teórica equivalente), es posible su uso en sistemas a vacío, aunque no son los más recomendables. Los rellenos ordenados presentan una baja pérdida de carga (1,5-2 mbar por etapa teórica equivalente) y una alta eficiencia, lo que los hace ser los más utilizados en sistemas a vacío y en otros no espumosos con bajo contenido en sólidos.

Para que el equipo usado en este proceso sea lo más compacto posible, es necesario crear la máxima superficie de transferencia de masa en el menor espacio posible. El relleno escogido, de la empresa Durapak¹⁶, garantiza grandes magnitudes de flujo a una baja caída de presión, al mismo tiempo que ofrece enormes áreas de transferencia de masa para una separación eficiente. Fabricado en vidrio de borosilicato 3.3. Sus áreas de aplicación principales son los productos químicos corrosivos tales como el ácido sulfúrico, el ácido nítrico y otros ácidos minerales, es decir, allí donde fracasan tanto el material metálico como el plástico. El relleno consta de placas onduladas situadas alternadamente, dotadas de canales a un ángulo de 45° con el fin de aumentar la turbulencia. Los paquetes de relleno se fabrican exclusivamente de borosilicato 3.3, es decir, las placas son sinterizadas sin emplearse ningún material adhesivo, de modo que solo vidrio de borosilicato 3.3 está en contacto con la sustancia procesada. Su superficie lisa, inerte y de fácil limpieza es extremadamente conveniente. A continuación, se resumen las características técnicas del relleno escogido:

- Para diámetros de columna: de DN100 hasta DN2400 y superiores.
- Altura máx. de relleno por bandeja de soporte: 5 m con 25 capas de 200 mm cada una.
- Material: vidrio de borosilicato 3.3, PTFE/FEP/tántalo.
- Superficie específica: 300 m²/m³.
- Densidad: 400 kg/m³.
- Área libre: 80 %.
- Pendiente: 45°.
- Tipo de superficie: pulida a fuego, no porosa, no adhesiva, lisa.
- Temperatura máx. de choque: 120°K.
- Coeficiente térmico de expansión lineal: aprox. 3,25 x 10⁻⁶/K.

A continuación, se especifican los valores del diseño de la columna, realizados en el software CHEMCAD.

¹⁶ <https://www.dedietrich.com/es/servicios/repuestos/componentes/componentes-de-vidrio-qvfr/relleno-estructurado-durapakr>

Tabla 8.15: Diseño de la torre de destilación (C-01)

Fuente: Elaboración propia

Diseño de la torre (C-01)	
Tipo de contacto	Empaquetada
Número de etapas teóricas	30
Etapas de alimentación	13
Altura de la torre (m)	25.6
Diámetro de la torre (m)	1.7
Espesor (m)	$3 \cdot 10^{-3}$
Asignación por corrosión (m)	$7.9 \cdot 10^{-4}$
Eficacia (%)	85
Presión de operación (bar)	0.9
Presión de diseño (bar)	1
Presión drop (bar)	$3 \cdot 10^{-3}$
Relación de reflujo	2
HEPT(m)	0.9
Porcentaje de inundación (%)	9
Factor de empaque (m^3 / m)	$8.5 \cdot 10^{-2}$
Tipo de relleno	Estructurado
Material de relleno	Vidrio de borosilicato 3.3

Condensador (E-02)

El condensador es un intercambiador de calor en la torre de destilación, que permite extraer energía del vapor que sale por la cabeza de la columna para condensarlo y así producir un líquido, el cual es introducido nuevamente en la misma como reflujo y la otra parte se extrae como producto destilado.

Tabla 8.16: Diseño del condensador de la torre (E-02)

Fuente: Elaboración propia

Información general del intercambiador de calor (E-02)			
Por la coraza		Por los tubos	
Fluido	Proceso	Fluido	Agua
Caudal (kg/h)	7011	Caudal (kg/h)	50994

Temperatura de entrada (°C)	76.6	Temperatura de entrada (°C)	30
Temperatura de salida (°C)	55.8	Temperatura de salida (°C)	40

Especificaciones	
Área requerida (m ²)	41.7
Área efectiva (m ²)	42
Área por la coraza	42
Exceso (%)	1
U calculado (kcal/m ² *h* °C)	787.4
U servicio (kcal/m ² *h* °C)	781.8
LMTD calculado (°C)	31
LMTD factor de corrección	1
LMTD corregido (°C)	31

Información de la coraza	
Velocidad de flujo cruzado (m/s)	11.4
Caída de presión permitida	0.3
Caída de presión calculada	0.2
Diámetro interno de la coraza (m)	33.7*10 ⁻²
Diámetro externo de la coraza (m)	36.1*10 ⁻²
Diámetro interno del cabezal de entrada (m)	20.3*10 ⁻²
Diámetro interno del cabezal de salida (m)	5.3*10 ⁻²
Tipo de norma TEMA	AEL
Información de los tubos	
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	0.1
Velocidad (m/s)	1
Número de tubos	146
Longitud (m)	4.9
Diámetro externo (m)	1.9*10 ⁻²

Diámetro interno (m)	$1.6 \cdot 10^{-2}$
Espesor de la pared del tubo (m)	$3 \cdot 10^{-3}$
Arreglo	Triangular
Paso de los tubos (m)	$2.4 \cdot 10^{-2}$
Número de pasos	1
Información de los baffles	
Numero de baffles	9
Tipo de baffles	Segmento único
Espacio interior (m)	$48.1 \cdot 10^{-2}$
Espacio central (m)	$48.1 \cdot 10^{-2}$
Espacio exterior (m)	$48.1 \cdot 10^{-2}$
Superposición (m)	$3.8 \cdot 10^{-2}$
Dirección de corte	Horizontal
Espesor del baffle (m)	$3 \cdot 10^{-3}$

Reboiler (E-03)

El rehervidor es un intercambiador de calor en la torre de destilación que permite aportar la energía necesaria para separar los componentes de la corriente de colas, creando una fase vapor a partir del líquido de entrada. Para este fin, se utiliza como fluido de intercambio de calor el vapor proveniente de la caldera del proceso.

Tabla 8.17: Diseño del rehervidor de la torre (E-03)

Fuente: Elaboración propia

Información general del intercambiador de calor (E-03)			
Por la coraza		Por los tubos	
Fluido	Proceso	Fluido	Agua
Caudal (kg/h)	6178	Caudal (kg/h)	723.7
Temperatura de entrada (°C)	113.9	Temperatura de entrada (°C)	133.5
Temperatura de salida (°C)	114.9	Temperatura de salida (°C)	131.1

Especificaciones	
Área requerida (m ²)	25.5
Área efectiva (m ²)	33.3

Área por la coraza (m ²)	33.3
Exceso (%)	30
U calculado (kcal/m ² *h* °C)	840.8
U servicio (kcal/m ² *h* °C)	644.5
LMTD calculado (°C)	17.5
LMTD factor de corrección	1
LMTD corregido (°C)	17.5

Información de la coraza	
Velocidad de flujo cruzado	0
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	3*10 ⁻²
Diámetro interno de la coraza (m)	64.6 *10 ⁻²
Diámetro externo de la coraza (m)	67.1 *10 ⁻²
Diámetro interno del cabezal de entrada (m)	3.5*10 ⁻²
Diámetro interno del cabezal de salida (m)	15.4*10 ⁻²
Tipo de norma TEMA	AKL
Información de los tubos	
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	0.1
Velocidad (m/s)	0.8
Número de tubos	198
Longitud (m)	4.9
Diámetro externo (m)	1.1*10 ⁻²
Diámetro interno (m)	8*10 ⁻³
Espesor de la pared del tubo (m)	3*10 ⁻³
Arreglo	Triangular
Paso de los tubos (m)	2.4*10 ⁻²
Número de pasos	2

8.2.7 INTERCAMBIADOR DE CALOR (E-04)

El producto pasa por un intercambiador antes de ser almacenado con el fin de reducir su temperatura hasta una aceptable para la operación siguiente. A continuación, se detalla el diseño de este equipo.

Tabla 8.18: Diseño del intercambiador de calor (E-04)

Fuente: Elaboración propia

Información general del intercambiador de calor (E-04)			
Por la coraza		Por los tubos	
Fluido	Agua	Fluido	Proceso
Caudal (kg/h)	14214.7	Caudal (kg/h)	2871.1
Temperatura de entrada (°C)	30	Temperatura de entrada (°C)	114.9
Temperatura de salida (°C)	40	Temperatura de salida (°C)	25

Especificaciones	
Área requerida (m ²)	11.9
Área efectiva (m ²)	12.2
Área por la coraza (m ²)	12.2
Exceso %	2.2
U calculado (kcal/m ² *h*°C)	480
U servicio (kcal/m ² *h*°C)	470
LMTD calculado (°C)	24.7
LMTD factor de corrección	1
LMTD corregido (°C)	24.7

Información de la coraza	
Velocidad de flujo cruzado (m/s)	$3.3 \cdot 10^{-1}$
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	0.2
Diámetro externo de la coraza (m)	$33 \cdot 10^{-2}$
Diámetro interno de la coraza (m)	$30.5 \cdot 10^{-2}$

Diámetro interno del cabezal de entrada (m)	$7.8 \cdot 10^{-2}$
Diámetro interno del cabezal de salida (m)	$9 \cdot 10^{-2}$
Tipo de norma TEMA	AEL
Información de los tubos	
Caída de presión permitida (bar)	0.3
Caída de presión calculada (bar)	0.1
Velocidad (m/s)	0.5
Número de tubos	87
Longitud (m)	3.6
Diámetro externo (m)	$1.3 \cdot 10^{-2}$
Diámetro interno (m)	$9 \cdot 10^{-3}$
Espesor de la pared del tubo (m)	$4 \cdot 10^{-3}$
Arreglo	Triangular
Paso de los tubos (m)	$2.4 \cdot 10^{-2}$
Número de pasos	4
Información de los baffles	
Número de baffles	32
Tipo de baffles	Segmento único
Espacio interior (m)	$10.6 \cdot 10^{-2}$
Espacio central (m)	$10.6 \cdot 10^{-2}$
Espacio exterior (m)	$10.6 \cdot 10^{-2}$
Superposición (m)	$3.8 \cdot 10^{-2}$
Dirección de corte	Horizontal
Espesor del baffle (m)	$3 \cdot 10^{-3}$

8.2.8 BOMBAS (P)

El requisito básico de una bomba es que sea capaz de impulsar una cantidad determinada de un fluido específico bajo determinadas condiciones de trabajo, las magnitudes principales que intervienen al momento de la selección son su capacidad y altura de elevación. Para cada una de las conexiones entre equipos se debe adoptar una bomba con características específicas y diseñar el sistema de transporte de las corrientes principales del proceso. En todos los casos se trata de fluidos newtonianos y todo el sistema está regulado por un PLC. En la tabla siguiente se detallan las bombas necesarias para el proceso.

Tabla 8.19: Listado de bombas del proceso

Fuente: Elaboración propia

Equipos P- Bombas				
Código	Corriente	Fluido	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)
P-01	A	Metanol	1.9	25
P-02	C	Agua	6*10 ⁻²	25
P-03	F	Reciclo	42.3	67.4
P-04	I	Destilado	2.3	55.7
P-05	J ₁	Producto	3	114.9
P-06	J ₂	Producto	2.8	25

A continuación, se presenta la secuencia de cálculo que se define para dimensionar la potencia de cada bomba; se utiliza la metodología detallada en (Warring, 1977) y (Ocon & Tojo, 1986). Para realizar estos cálculos se utiliza el software MATHCAD.

1. Velocidad (m/s)

$$V = \frac{Qv}{A}$$

Donde

Qv= caudal (m³/h)

A= área (m²)

2. Tipo de flujo

$$NRe = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Donde

ρ= densidad (kg/m³)

μ= viscosidad (kg/ms)

D= diámetro (m)

3. Coeficiente de fricción (f):

- Para régimen laminar:

$$f = \frac{64}{NRe}$$

- Para régimen turbulento:

Se determina mediante los diagramas de Moody con la rugosidad relativa (e/d) y NRe .
Figura 1.4 (Ocon & Tojo, 1986).

La rugosidad relativa se obtiene de la Figura 1.3 (Ocon & Tojo, 1986) para el material de la cañería.

4. Longitud equivalente (L_e): se obtiene de la figura 1.2 (Ocon & Tojo, 1986).
5. Pérdida de carga

$$h_f = \frac{f * L_t * V^2}{D * 2 * g}$$

Donde

L_t : longitud total que incluye la de la cañería más la longitud equivalente (m)

$g=9.81 \text{ m/s}^2$

6. Trabajo desarrollado por la bomba

$$W = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta z * g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 * gc} + h_f$$

7. Potencia

$$P = \frac{W * Qv * \rho}{n * 75}$$

En las tablas a continuación se detallan las características de cada bomba correspondientes al proceso y se adoptan en la empresa AGP Bombas¹⁷.

La bomba P-01 se encarga de transportar el metanol desde el tanque de almacenamiento hacia el reactor, aumentando su presión hasta la de operación. Se adopta una bomba de la serie MS, las cuales tienen las siguientes características:

- Caudal: Desde $0 \text{ m}^3/\text{h}$ hasta $84 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura máxima de bombeo: Hasta 250 m.c.a (metros de columna de agua).
- Presión máxima de trabajo: 30 bar.
- Características del fluido a bombear: Aptas para líquidos limpios, neutros, mecánica y químicamente compatibles con los materiales de la bomba.

¹⁷ <http://www.agpbombas.com/catalogo.pdf>

Tabla 8.20: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-01	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	1501.8	
Velocidad (m/s)	0.4	0.9
Diámetro (m)	$4.2 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	789.6	
Viscosidad (kg/s m)	$5.2 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$3.2 \cdot 10^4$	$4.9 \cdot 10^4$
Coefficiente fricción f	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo 90°	Codos de 90°x 4
Longitud equivalente (m)	18	20
Longitud total (m)	20	90
Pérdida de carga hf (m)	$1.5 \cdot 10^{-1}$	7.4
Diferencia de presión (m)	353.3	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.7	
Altura teórica (m)	275	
Potencia calculada (HP)	2.8	
Potencia adoptada (HP)	20	
Cantidad de bombas	2	
Modelo de bombas	MSHA-8/15	

La bomba P-02 se encarga de transportar el agua de reacción del tanque de almacenamiento hacia el reactor, aumentando su presión hasta la de operación. Se adopta una bomba de la serie MS.

Tabla 8.21: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-02	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	62	
Velocidad (m/s)	0.2	0.2
Diámetro (m)	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	996.7	
Viscosidad (kg/s m)	$9 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$3.3 \cdot 10^3$	$1.3 \cdot 10^4$
Coefficiente fricción f	$4.2 \cdot 10^{-2}$	$3.2 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo 90°	Codos de 90°x 3
Longitud equivalente (m)	6.5	9.5
Longitud total (m)	8.5	78.5
Pérdida de carga hf (m)	$1.6 \cdot 10^{-1}$	17.9
Diferencia de presión (m)	280	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.35	
Altura teórica (m)	230	
Potencia calculada (HP)	0.2	
Potencia adoptada (HP)	20	
Cantidad de bombas	2	
Modelo de bombas	MSHA-8/15	

La bomba P-03 se encarga de transportar el reciclo hacia el reactor, aumentando su presión hasta la presión de operación. Se adopta una bomba de la serie MS.

Tabla 8.22: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-03	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	3589	

Velocidad (m/s)	$3.5 \cdot 10^{-1}$	1.1
Diámetro (m)	$6 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	995	
Viscosidad (kg/s m)	$3.6 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$8.3 \cdot 10^4$	$1.4 \cdot 10^5$
Coefficiente fricción f	$2.3 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Conexión en T	Válvula
	Codo 90°	Codo de 90°
Longitud equivalente (m)	9.1	19.8
Longitud total (m)	12.1	42.8
Pérdida de carga hf (m)	$5.9 \cdot 10^{-2}$	3.8
Diferencia de presión (m)	280.3	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.75	
Altura teórica (m)	160	
Potencia calculada (HP)	5	
Potencia adoptada (HP)	50	
Cantidad de bombas	2	
Modelo de bombas	MSHD-5/37	

La bomba P-04 se encarga de transportar el destilado hacia la conexión en T para mezclarlo con la salida líquida del tanque flash y así recircularlo al reactor. Se adopta una bomba centrífuga multicelular vertical, de la serie XV, la cual cuenta con las siguientes características:

- Adecuadas para trabajar con líquidos de uso químico-industrial.
- Todos los componentes en contacto con el líquido en AISI 304 (DIN/EN 1.4301) o AISI 316 (DIN/EN 1.4401).
- Cojinete superior sobredimensionado.
- Cierre mecánico Carburo de silicio/Carbón/ EPDM.
- Motor de alta eficiencia IE2 (trifásicos)
- Temperatura del líquido: de -15 °C a + 120 °C.

Tabla 8.23: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-04	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	2337	
Velocidad (m/s)	$4.5 \cdot 10^{-1}$	1.1
Diámetro (m)	$4.2 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	1028	
Viscosidad (kg/s m)	$3.5 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$7.4 \cdot 10^4$	$1.2 \cdot 10^5$
Coefficiente fricción f	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	-	Codo de 90°x 2
Longitud equivalente (m)	0	3
Longitud total (m)	1	33.5
Pérdida de carga hf (m)	$1 \cdot 10^{-2}$	4
Diferencia de presión (m)	2	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.35	
Altura teórica (m)	6	
Potencia calculada (HP)	$1.5 \cdot 10^{-1}$	
Potencia adoptada (HP)	0.5	
Cantidad de bombas	1	
Modelo de bombas	XV 3/2	

La bomba P-05 se encarga de transportar el residuo de la torre, que contiene al producto, hacia el intercambiador de calor para reducir su temperatura. Se adopta una bomba de la serie XV.

Tabla 8.24: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-05	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	2871	

Velocidad (m/s)	$4.6 \cdot 10^{-1}$	1.5
Diámetro (m)	$4.8 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	943	
Viscosidad (kg/s m)	$3.9 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$5.8 \cdot 10^4$	$1.3 \cdot 10^5$
Coeficiente fricción f	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$2.5 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	-	-
Longitud equivalente (m)	0	0
Longitud total (m)	1	1
Pérdida de carga hf (m)	$5.8 \cdot 10^{-3}$	0.2
Diferencia de presión (m)	2.2	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.35	
Altura teórica (m)	2.6	
Potencia calculada (HP)	$7.7 \cdot 10^{-2}$	
Potencia adoptada (HP)	0.5	
Cantidad de bombas	1	
Modelo de bombas	XV 3/2	

La bomba P-06 se encarga de transportar el producto desde el intercambiador hasta la zona de almacenamiento. Se adopta una bomba de la serie XV.

Tabla 8.25: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-06	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	2871	
Velocidad (m/s)	$4.6 \cdot 10^{-1}$	1.5
Diámetro (m)	$4.8 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	943	
Viscosidad (kg/s m)	$3.9 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$5.8 \cdot 10^4$	$1.3 \cdot 10^5$

Coeficiente fricción f	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$2.5 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo de 90°	Codos de 90° x3
Longitud equivalente (m)	18	19.5
Longitud total (m)	20	67
Pérdida de carga hf (m)	$1.2 \cdot 10^{-1}$	12.7
Diferencia de presión (m)	2.2	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.35	
Altura teórica (m)	15.2	
Potencia calculada (HP)	0.5	
Potencia adoptada (HP)	0.75	
Cantidad de bombas	2	
Modelo de bombas	XV 3/3	

CAPÍTULO 9: SERVICIOS AUXILIARES

9.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se determinan los servicios auxiliares que se requieren en el proceso de producción de ácido acético. Además, se dimensionan y adoptan los equipos necesarios por estos mismos y se especifica el sistema de distribución de cada uno de ellos en los equipos que los utilizan. Teniendo en cuenta que la planta se ubica dentro del parque industrial San Lorenzo, los servicios poseen una bajada de este mismo.

9.2 SERVICIOS AUXILIARES

9.2.1 VAPOR

Este servicio es requerido para el calentamiento de la corriente que emerge del reactor mediante un intercambiador de calor y para el rehedidor de la torre de destilación.

El agua necesaria para generar este vapor debe estar libre de impurezas, como sales de Ca^{2+} y Mg^{2+} , ya que las mismas se incrustan en el equipo y pueden causar problemas, afectando a su funcionamiento en la transmisión de calor y un consecuente aumento en el uso de combustible. También puede producir corrosión, por la presencia de gases disueltos. Por lo tanto, se cuenta con un sistema de tratamiento de aguas. Es imprescindible contar este sistema de intercambio iónico, que permita retener cationes o aniones del agua reemplazándolos por otros que no producen incrustaciones. Este equipo se adopta en la sección siguiente.

En la tabla a continuación, se muestra la presión y caudal de vapor requerido en los equipos.

Tabla 9.1: Requerimientos de vapor

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Caudal (kg/h)	Presión (bar)
E-01	501	3
E-03	723.7	3
TOTAL	1224.7	

Para generar este servicio es necesario contar con una caldera. Este equipo se describe a continuación.

Adopción de la caldera

La selección de la caldera depende de la presión de funcionamiento (kg/cm^2) y de la capacidad de vapor (kg/h). Si se conocen los requisitos de presión o temperatura y kilovatios nominales

o kg/h de vapor, es posible determinar cuál es la caldera adecuada (Caldera industriales eficientes).

Se escoge una caldera con un factor de servicio de 2, con el fin de sobredimensionarla, para que funcione de manera intermitente 12 horas al día, en vez de 24. La cantidad de vapor producida va a ser la misma, requerida por el proceso, pero el tiempo en que se genere va a ser menor, para así darle un descanso al equipo y evitar que se rompa con mayor facilidad. Mientras esta no se encuentre en funcionamiento, los gases emergentes del reactor son quemados en una antorcha, como se menciona anteriormente.

Según los requerimientos del proceso, la producción de vapor es de 1.2 t/h y 76.6 BHP, como se toma un factor de servicio del doble, se escoge una caldera capaz de producir 2.4 t/h.

Se recurre a la empresa “Fontanet”, fabricantes de calderas industriales. La presión estándar de trabajo de estas es de 8 kg/cm² y la de diseño de 9 kg/cm².

Características principales

- Diseñadas para quemar combustibles líquidos pesados o livianos y/o gaseosos.
- Hogar dimensionado para una combustión completa con baja carga térmica. Su ubicación central, muy por debajo de los tubos superiores, garantiza una mejor circulación del agua en el interior, con respecto a las calderas de hogar lateral elevado. Además, un margen de seguridad generoso entre el hogar y el nivel de agua, que pudiera ser crítico en una condición de bajo nivel en las del hogar lateral, permite una operación más segura.
- Fondo húmedo con cámara de retorno de gases totalmente refrigerada sin parte refractaria.
- Bocas de inspección y limpieza, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables, dejan accesible todas las superficies en contacto con agua, vapor y gases de combustión.
- Construcción tipo paquete, con todos los equipos auxiliares incorporados, sistema que permite un rápido montaje y puesta en marcha luego de realizar las conexiones de agua, combustible, vapor y electricidad¹⁸.

¹⁸ <https://www.calderasfontanet.com/es>

Tabla 9.2: Adopción de la caldera del proceso

Fuente: Fontanet

MODELO:	Caldera HC - HF
TIPO:	Humotubular de tres pasos fondo húmedo
QUEMADOR:	Marca: Fontanet, Saacke o similar
HOGAR:	Corrugado o Liso (s/modelo)
CAPACIDAD TÉRMICA:	Desde: 42 BHP (351.000 Kcal/h) Hasta: 1280 BHP (10.800.000 Kcal/h)
CONSTRUCCIÓN:	Tipo paquete (equipos auxiliares incorporados)
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:	Según códigos europeos y americanos

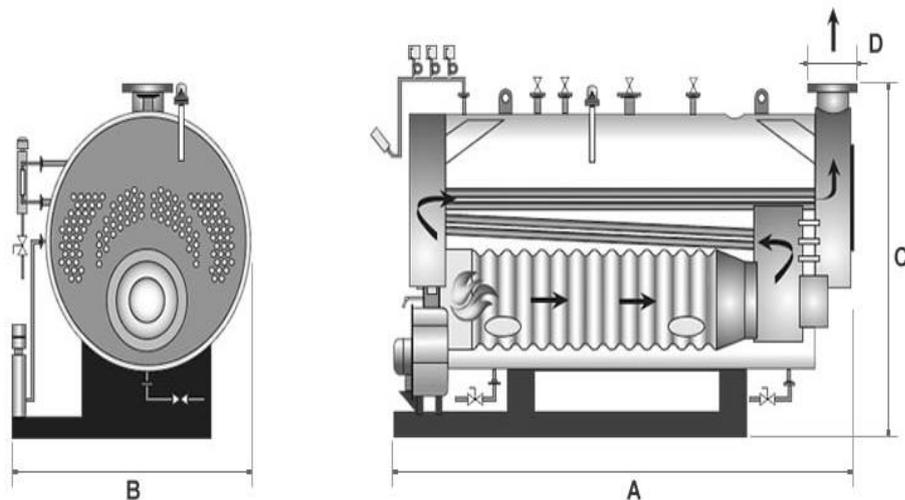


Figura 9.1: Dimensiones de la caldera del proceso

Fuente: <https://www.calderasfontanet.com/es>

Tabla 9.3: Selección de la caldera adoptada

Fuente: <https://www.calderasfontanet.com/es>

Modelo HC - HF	Producción vapor (Tn/h)		Capacidad térmica (BHP)		A	B	C	D
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Largo total (mm)	Ancho total (mm)	Alto total (mm)	Diámetro chimenea (mm)
8	0.65	1	42	64	3500	2300	2000	400
12	1.1	1.4	71	90	3750	2500	2150	400
16	1.5	1.8	96	115	4650	2700	2300	400
20	1.9	2.2	121	141	5050	2700	2400	450
24	2.3	2.7	147	173	5150	2950	2450	500
32	2.8	3.6	179	230	5450	3050	2650	550
40	3.7	4.4	237	281	5550	3100	2850	600
50	4.5	5.6	288	358	5650	3250	2950	650
62	5.7	6.8	365	435	6250	3600	3100	650
74	6.9	8.0	441	512	6650	3650	3300	700
86	8.1	9.1	518	582	7150	3750	3400	750
98	9.2	10.4	588	665	7500	4100	3550	800
110	10.5	11.7	672	748	7550	4200	3650	800

9.2.2 GAS NATURAL

El gas natural en el parque industrial es distribuido por la empresa Litoral Gas S.A. El consumo de la planta es lo que determina la categoría y por ende la tarifa que hay que abonar por dicho servicio.

En este proceso se necesita gas natural para el calentamiento del agua en la caldera y para uso general en el sector de oficinas, laboratorio, suministro de agua caliente en baños, cocina, etc. El gas natural consumido por la caldera se calcula como la energía necesaria para llevar la corriente de ingreso a las condiciones requeridas, parte de esta energía proviene de una integración con el tratamiento de gases emergentes del proceso, los cuales ayudan a minimizar el gasto energético y evitar la contaminación.

La energía necesaria para producir 1224.7 kg/h de vapor es 644012 kcal/h. Teniendo en cuenta que las combustiones de los gases del proceso aportan 288152 kcal/h, considerando el poder calorífico superior del gas natural y su eficiencia, se calcula el caudal necesario del mismo.

$$Q = \frac{Q}{PCS * \eta} = 45 \frac{m^3}{h}$$

Donde:

Q= 355860 kcal/h

PCS= 9300 kcal/m³

η = 0.85

A este consumo se le adiciona un 10% para consumo general, lo que hace un total de 49.5 m³/h.

9.2.3 AGUA

El parque industrial San Lorenzo cuenta con suministro de agua mediante una red de distribución, llevada a cabo por la empresa Aguas Santafesinas S.A., la cual aplica las tarifas correspondientes al tipo de planta y consumo. La misma se provee a la industria mediante perforaciones. El agua de pozo es extraída desde una profundidad de 100 m.

El agua necesaria para los requerimientos operativos que se detallan a continuación proviene de un sector propio de servicios auxiliares en la planta. El servicio de agua se clasifica, según su funcionalidad en:

Agua de proceso

La producción de ácido acético por carbonilación del metanol mediante el proceso CATIVA exige que dentro del reactor exista un 5% en peso de agua para mantener la velocidad de reacción alta, por lo que debe suministrarse de manera continua con los reactivos, para poder llevar a cabo la reacción. Para mantener el estado estacionario es necesario suministrar 62 kg/h a temperatura ambiente al sistema de reacción. Esta, al igual que el agua de la caldera, requiere un tratamiento para eliminar las impurezas y evitar incrustaciones y corrosión en el equipo. En el capítulo anterior se adoptan los tanques para cubrir esta demanda, que se ubican con los reactivos del proceso.

Agua de enfriamiento

La misma atraviesa los equipos que requieren este servicio, detallados en la tabla siguiente, y luego es enviada a la torre de enfriamiento, la cual se emplea para ponerla en contacto con

el aire, a fin de enfriarla y poder reutilizarla en el proceso. Las corrientes ingresan a la torre de enfriamiento a 40 °C y se retiran con 30 °C¹⁹.

Tabla 9.4: Requerimientos de agua de enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Caudal (kg/h)
Camisa	51182.4
Serpentín	146363.4
Condensador de la torre	50994
Intercambiador del producto	14214.7
TOTAL	262754.5

Teniendo en cuenta lo anterior, se calcula el calor a eliminar en el equipo de enfriamiento

$$Q = m * cp * (Tf - T_0) = 2627545 \text{ kcal/h}$$

Donde

$$m = 262754.5 \text{ kg/h}$$

$$cp = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$Tf = 40^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 30^\circ\text{C}$$

Se considera una pérdida del 1%, por lo que el total del agua necesaria es 265382 kg/h.

Para reponer el agua de enfriamiento perdida, que son 2627.5 kg/h y, además, tener disponible agua para consumo general, considerando un tiempo de residencia de 24 horas, se colocan dos tanques de almacenamiento de 35 m³ en la sección de torres de enfriamiento.

Características del tanque adoptado²⁰:

- Tanque aéreo, cilíndrico vertical, con capacidad de 35 m³
- Diámetro: 3 m.
- Alto total: 5.1 m.
- Fabricado íntegramente en polietileno virgen de alta densidad por proceso de roto moldeo.

¹⁹ http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf

²⁰ <https://www.agrofy.com.ar/tanque-35-000-litros-plastico-linea-pesada-argenplast.html>

- Protector UV para uso a la intemperie.
- Provisto de boca pasa hombre de un diámetro de 400mm con tapa roto-moldeada roscada de polietileno, un venteo y dos salidas.

Adopción de la torre de enfriamiento

Para la adopción de este equipo se recurre a la empresa BOLDROCCHI, fabricantes de torres de enfriamiento, y se escogen tres torres de la serie MEP, modelo 84, las cuales cubren la capacidad necesaria para el proceso²¹.

Criterio de selección:

Las torres de refrigeración estándar se seleccionan para funcionar dentro de los siguientes límites de uso:

- Altura de instalación hasta 500 m sobre el nivel del mar.
- Temperatura mínima externa -20°C.
- Temperatura máxima agua a refrigerar 55°C.
- El agua para refrigerar no debe tener materiales en suspensión y ser de buena calidad, sin sólidos ni otros materiales en suspensión susceptibles de incrustación ni debe ser corrosiva.
- La potencia indicada se refiere a las siguientes condiciones: entrada 40°C, salida 30°C, temperatura de bulbo húmedo 24°C.

²¹ <https://www.btetorri.com/es/download.php>

Tabla 9.5: Adopción de la torre de enfriamiento

Fuente: Boldrocchi

Modèle	Puissance unitaire et n°moteurs ventilateurs		Puissance dissipée ⁽¹⁾		Poids kg dispositif "CV"		Poids kg dispositif "SV"		Poids kg dispositif "US"	
Modelo	Potencia unitaria y n° motores		Potencia disipada ⁽¹⁾		Peso Kg disposición "CV"		Peso Kg disposición "SV"		Peso Kg disposición "US"	
MEP	kW	Numero	kcal/h	kW	A vide		A vide		A vide	
					En vacio	En service	En vacio	En service	En vacio	En service
		Número			En vacio	En funcion.	En vacio	En funcion.	En vacio	En funcion.
3	0,25	1	64.248	75	234	377	-	-	-	-
4	0,25	1	64.248	75	243	387	-	-	-	-
6	0,55	1	127.860	149	377	653	-	-	-	-
9	0,75	1	138.038	161	381	656	-	-	-	-
12	1,1	1	146.308	170	373	658	-	-	-	-
17	1,5	1	274.804	320	982	1.630	817	981	641	770
24	2,2	1	320.604	373	993	1.641	828	994	652	783
28	3	1	344.777	401	1.015	1.663	852	1.023	676	812
37	3	1	401.392	467	1.204	2.176	1.022	1.227	797	957
44	4	1	482.815	561	1.219	2.192	1.039	1.247	813	976
55	4	1	725.177	843	1.501	2.958	1.285	1.542	1.027	1.233
65	5,5	1	788.789	917	1.536	2.994	1.322	1.587	1.063	1.276
84	5,5	1	985.986	1.146	1.790	3.734	1.576	1.892	1.257	1.509
93	7,5	1	1.049.598	1.220	1.812	3.756	1.598	1.918	1.279	1.535
105	7,5	1	1.214.989	1.413	2.095	4.525	1.820	2.184	1.473	1.768
110	11	1	1.310.407	1.524	2.151	4.581	1.876	2.252	1.529	1.834
108	7,5	1	1.284.962	1.494	2.292	4.884	1.982	2.379	1.601	1.922
116	11	1	1.424.909	1.657	2.348	4.940	2.038	2.446	1.657	1.989
119	7,5	1	1.443.992	1.679	2.373	5.208	2.049	2.459	1.669	2.003
127	11	1	1.513.966	1.760	2.428	5.263	2.104	2.525	1.724	2.069
125	11	1	1.475.798	1.716	2.528	5.444	2.171	2.606	1.764	2.117
133	15	1	1.545.772	1.797	2.627	5.543	2.270	2.724	1.833	2.201
148	11	1	1.692.079	1.968	2.772	6.012	2.431	2.918	2.046	2.456
151	11	1	1.730.246	2.012	2.934	6.341	2.572	3.071	2.137	2.604
159	15	1	1.812.942	2.108	3.025	6.436	2.667	3.166	2.232	2.699
168	15	1	1.997.417	2.323	3.220	7.108	2.714	3.257	2.263	2.716
177	18,5	1	2.118.280	2.463	3.249	7.166	2.743	3.292	2.292	2.751
181	15	1	2.347.283	2.729	3.622	7.996	3.043	3.644	2.546	3.056
195	18,5	1	2.658.982	3.092	3.833	8.212	3.351	3.893	2.761	3.312
183	7,5	2	2.429.978	2.826	3.953	8.813	3.547	4.257	2.920	3.504
221	11	2	2.620.814	3.047	4.063	8.923	3.661	4.394	3.012	3.615
216	7,5	2	2.569.925	2.988	4.168	9.352	3.771	4.526	3.140	3.768
232	11	2	2.849.818	3.314	4.388	9.572	3.881	4.658	3.251	3.903

Las dimensiones del equipo se muestran a continuación:

Tabla 9.6: Dimensiones de la torre de enfriamiento completa

Fuente: Boldrocchi

modele modelo	Longeur Longitud A	Largeur Ancho B	Hauteur Altura C
3	680	680	2.500
4	680	680	2.500
6	1.280	680	2.500
9	1.280	680	2.500
12	1.280	680	2.500
17	1.280	1.280	4.100
24	1.280	1.280	4.100
28	1.280	1.280	4.100
37	1.880	1.280	4.100
44	1.880	1.280	4.100
55	1.880	1.880	4.100
65	1.880	1.880	4.100
84	2.480	1.880	4.100
93	2.480	1.880	4.100
105	3.080	1.880	4.100
110	3.080	1.880	4.100
108	2.480	2.480	4.100
116	2.480	2.480	4.100
119	3.080	2.180	4.100
127	3.080	2.180	4.100
125	3.680	1.880	4.100
133	3.680	1.880	4.100
148	3.080	2.480	4.100
151	3.680	2.180	4.100
159	3.680	2.180	4.100
168	3.680	2.480	4.100
177	3.680	2.480	4.100
181	3.680	2.780	4.250
195	3.680	3.080	4.250
183	6.160	1.880	4.100
221	6.160	1.880	4.100
216	4.960	2480	4.100
232	4.960	2.480	4.100
239	6.160	2.180	4.100
255	6.160	2.180	4.100

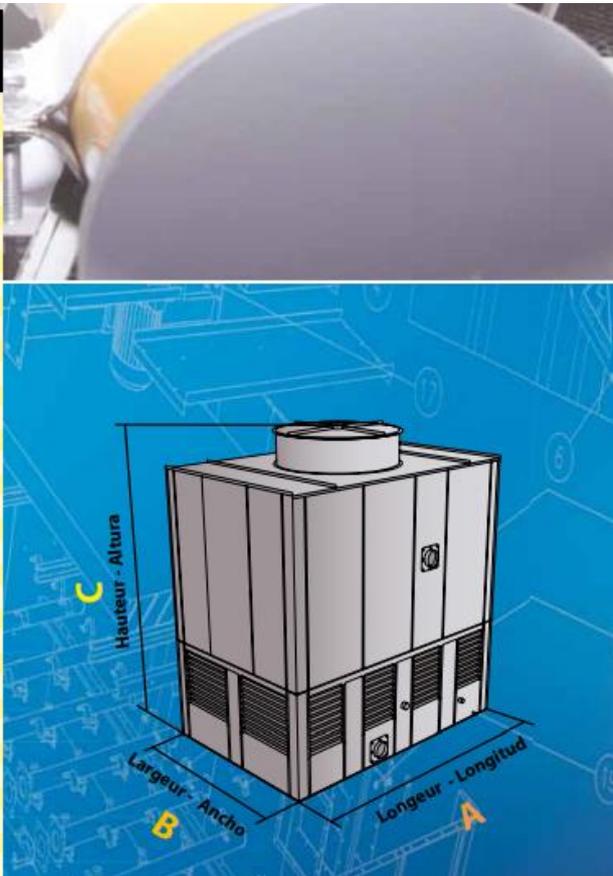
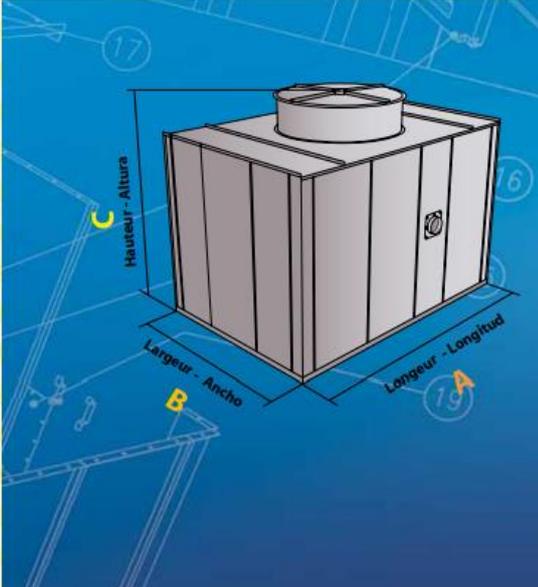


Tabla 9.7: Dimensiones de la torre de enfriamiento sin balsa

Fuente: Boldrocchi

modèle modelo	Longeur Longitud A	Largeur Ancho B	Hauteur Altura C
17	1.280	1.280	2.750
24	1.280	1.280	2.750
28	1.280	1.280	2.750
37	1.880	1.280	2.750
44	1.880	1.280	2.750
55	1.880	1.880	2.750
65	1.880	1.880	2.750
84	2.480	1.880	2.750
93	2.480	1.880	2.750
105	3.080	1.880	2.750
110	3.080	1.880	2.750
108	2.480	2.480	2.750
116	2.480	2.480	2.750
119	3.080	2.180	2.750
127	3.080	2.180	2.750
125	2.680	1.880	2.750
133	3.680	1.880	2.750
148	3.080	2.480	2.750
151	3.680	2.180	2.750
159	3.680	2.180	2.750
168	3.680	2.480	2.750
177	3.680	2.480	2.750
181	3.680	2.780	2.900
195	3.680	3.080	2.900
183	6.160	1.880	2.750
221	6.160	1.880	2.750
216	4.960	2.480	2.750
232	4.960	2.480	2.750
239	6.160	2.180	2.750
255	6.160	2.180	2.750
250	7.360	1.880	2.750
266	7.360	1.880	2.750
295	6.160	2.480	2.750
303	7.360	2.180	2.750
319	7.360	2.180	2.750



Características:

- Cubierta con paneles autoportantes de chapa galvanizada de acero al carbono, oportunamente moldeados para permitir el acoplamiento mediante tornillos, tuercas y arandelas galvanizadas, con la interposición de la junta selladora. Se prevé una compuerta de perfecta hermeticidad que permite la inspección dentro del equipo.
- Ventiladores axiales posicionados en aspiración, constituidos por un tambor de contención de chapa galvanizada de acero al carbono y rotor con palas orientables con bloqueo y perfil aerodinámico, directamente soldada en el árbol de un motor eléctrico asíncrono, trifásico de ventilación externa, serie EN 60034-1 (IEC 34-1), aislamiento clase F, protección IP 55, en toda la gama El motor eléctrico se soporta por una viga soporte de gran solidez en acero al carbono galvanizado después de la elaboración.
- Rejillas de protección de la descarga de los ventiladores realizadas de malla metálica de alta resistencia en un marco de acero al carbono.

- La instalación eléctrica viene preparada de fábrica, asegurando su perfecta estanqueidad, con su caja de conexiones estanca ubicada en la parte externa del ventilador, en posición de fácil acceso, fuera del flujo de aire húmedo.
- Separadores de gotas de PVC o de polipropileno de diseño particular apto para soportar cambios bruscos de dirección del flujo de aire y favorecer la liberación de las pequeñas gotas en suspensión.
- Sistema de distribución del agua del tipo sin boquillas pulverizadoras, constituido por un colector principal de tubo de acero al carbono galvanizado después de la elaboración, por colectores secundarios de PVC y por distribuidores inatascables de acero inoxidable AISI 304 que, sin necesidad de mantenimiento y con pérdidas de carga reducidas, aseguran una carga uniforme de agua en toda la superficie de intercambio. Los colectores secundarios están conectados al colector principal por medio de abrazaderas desmontables.
- Superficie de intercambio de elevada eficiencia compuesta por secciones superpuestas; cada sección está constituida por láminas de PVC o de polipropileno, onduladas y unidas por ondas alternas, para garantizar un mayor contacto entre los fluidos. La superficie de intercambio es apta para funcionar con agua limpia que tenga una temperatura no superior a 55°C.
- Balsa de recogida de agua fabricada mediante paneles autoportantes de chapa galvanizada de acero al carbono, reforzadas con moldeados especiales y ensambladas por medio de bulones con interposición de junta selladora. Después del montaje de la balsa, las uniones entre los paneles se vuelven a sellar internamente con sellador líquido para asegurar la perfecta hermeticidad. También forman parte de la balsa las secciones de entrada de aire protegidas por rejillas moldeadas, de chapa galvanizada de acero al carbono, que cumplen también una función eficaz de protección contra el viento. La balsa está compuesta por: - conexión de salida de agua, para soldar, con filtro de agua anticavitante - conexión de reabastecimiento, roscada, con válvula de flotador - conexión de rebosadero para soldar - Vaciado de fondo para soldar.
- Protección externa e interna de la cubierta y de todos los detalles de chapa galvanizada, realizada mediante pintura en polvo de poliéster al horno, efectuada antes del montaje. La pintura en polvo protege de manera adecuada incluso las partes de la lámina protegidas por el zinc, eliminado durante la elaboración (cortes y punzonados). Color RAL 7001.

Agua de calentamiento

Se detalla anteriormente el agua necesaria para generar vapor en la caldera. Se considera una pérdida en el proceso del 1% que se repone en cada ciclo con los tratamientos necesarios para evitar problemas en el equipo, por lo que se debe contar con 1237.8 kg/h.

Agua para consumo general

Se estima un consumo de 150 kg/h y se extrae del pozo.

Adopción del ablandador de agua

Este equipo se utiliza para acondicionar el agua de proceso que luego ingresa al reactor y la que se utiliza para generar vapor en la caldera, las cuales suman un caudal de 1.3 m³/h.

Los ablandadores de agua para la industria trabajan por intercambio iónico, sustituyendo el calcio y magnesio que determinan la dureza del agua por iones de sodio. Esto es posible gracias a la carga filtrante de resina catiónica que posee en su interior el filtro ablandador.

Está formado por un tanque cilíndrico construido en PRFV o acero inoxidable que contiene en su interior una carga pequeña de grava que sostiene una carga mucho mayor de resina del tipo catiónica. En la parte superior de este tanque se encuentra el cabezal electrónico o manual, según el caso, que se utiliza para el lavado y regeneración de la resina. Junto al Ablandador se encuentra otro tanque llamado tanque salero o tanque de salmuera que contiene en su interior una solución de agua saturada de sal para la regeneración de la resina. Este tanque y el ablandador de agua están conectados por un pequeño tubo que será el encargado de llevar la solución de salmuera hacia el ablandador y luego cargar con agua el tanque salero para dejarlo listo para la próxima regeneración.

Para la adopción de este equipo se recurre a la empresa AQUATHERM y se selecciona el modelo AQ-1500 GAB. A continuación, se detallan las características.

Tabla 9.8: Adopción del ablandador de agua

Fuente: Aquatherm

DESCRIPCION		
Modelo	AQ-1500-GAB	AQ-2000-GAB
Accionamiento	Automático por Caudal	Automático por Caudal
Tipo	Electrónico	Electrónico
Foto ablandadores (puede variar el color)		
Caudal de operación máximo	1.500 Lt/Hora	2250 Lt/Hs
Regeneración	Pasa agua Dura durante regeneracion	
Dureza a tratar (teórica)	300ppm. (se analizara en caso de compra)	
Caudal entre regeneración	2,2m ³	3,3m ³
CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS		
Dimensiones (mm)	586 (alto) x 282 (ancho) x 510 (Prof)	710 (alto) x 350 (ancho) x 620 (Prof)
Peso	19,5 Kg	28,5Kg
Resina de Intercambio	HF (Alto Flujo)	HF (Alto Flujo)
Cantidad	10 Litros	15 Litros
Consumo De sal	1,8Kg.	2,5Kg
Días para poner sal	Cada 2 días	Cada 3 días
Conexión E/S	3/4"	1"
Consumo De sal	1,8Kg.	2,5Kg
Presión de trabajo	1,8 a 6 Bar	1,8 a 6 Bar
Temperatura máxima de agua	45°C	45°C
By Pass	Uno	Uno

Bombas

En la siguiente sección se detallan las características de las bombas necesarias para el transporte de líquidos en servicios auxiliares y, se adoptan, siguiendo el criterio de selección detallado en el capítulo 8. La tabla a continuación presenta un resumen de las corrientes involucradas.

Tabla 9.10: Bombas de servicios auxiliares

Fuente: Elaboración propia

Equipos P- Bombas				
Código	Corriente	Fluido	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)
P-07	N1	Agua de enfriamiento	197.5	35
P-08	N2	Agua de enfriamiento	51	35
P-09	N3	Agua de enfriamiento	14.2	35
P-10	W	Agua para caldera	1.3	132
P-11	C	Agua de reacción	12.5*10 ⁻²	25

A continuación, se detallan las características para la selección de cada bomba. En todos los casos, se adoptan bombas centrífugas y se recurre a la empresa AGP BOMBAS (AGP, 2015).

La bomba P-07 se utiliza para transportar el agua desde la torre de enfriamiento hacia el sistema de refrigeración del reactor para la eliminación de calor con el fin de mantener la temperatura de la mezcla de reacción en 190°C, mediante una camisa y un serpentín.

Se adopta una bomba de la serie CMX de 2900 rpm, de acero inoxidable AISI 316. Debido al gran caudal, es necesario una potencia mucho mayor a la calculada.

Tabla 9.11: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-07	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	197545.8	
Velocidad (m/s)	0.9	1.5
Diámetro (m)	2.7*10 ⁻¹	2.2*10 ⁻¹
Densidad (kg/m ³)	994	
Viscosidad (kg/s m)	7*10 ⁻⁴	
NRe	3.5*10 ⁶	4.7*10 ⁶

Coeficiente fricción f	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo de 90°x2	Codos de 90° x2
Longitud equivalente (m)	100	70
Longitud total (m)	101.5	80
Pérdida de carga hf (m)	$1.8 \cdot 10^{-1}$	0.4
Diferencia de presión (m)	2	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.75	
Altura teórica (m)	2.8	
Potencia calculada (HP)	2.7	
Potencia adoptada (HP)	20	
Cantidad de bombas	1	
Modelo de bombas	CMX-80/160B	

La bomba P-08 se utiliza para transportar el agua de refrigeración desde la torre de enfriamiento hacia el condensador de la torre de destilación. Se adopta una bomba de la serie CMX de 2900 rpm, de acero inoxidable AISI 316.

Tabla 9.12: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-08	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	50994	
Velocidad (m/s)	0.6	1.4
Diámetro (m)	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
Densidad (kg/m ³)	994	
Viscosidad (kg/s m)	$7 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$2.1 \cdot 10^6$	$2.4 \cdot 10^6$
Coeficiente fricción f	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo de 90°x2	Codos de 90° x4
Longitud equivalente (m)	90	78

Longitud total (m)	91.5	113
Pérdida de carga h_f (m)	$3.8 \cdot 10^{-1}$	1.8
Diferencia de presión (m)	0	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.35	
Altura teórica (m)	2.3	
Potencia calculada (HP)	1.2	
Potencia adoptada (HP)	3	
Cantidad de bombas	1	
Modelo de bombas	CMX-50/125C	

La bomba P-09 se utiliza para transportar el agua de refrigeración hacia el intercambiador de calor que se encarga de disminuir la temperatura del producto que se extrae por la corriente de colas de la torre de destilación, para llevarlo de 114°C a 25°C y así poder ser almacenado. Se adopta una bomba de la serie XV, bombas centrífugas multicelulares verticales diseñadas en línea para aplicaciones civiles e industriales. Todos los componentes en contacto con el líquido en AISI 304 (DIN/EN 1.4301) o AISI 316 (DIN/EN 1.4401).

Tabla 9.13: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-09	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	14214.7	
Velocidad (m/s)	0.6	1.4
Diámetro (m)	$8.9 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	994	
Viscosidad (kg/s m)	$7 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$1.1 \cdot 10^6$	$1.3 \cdot 10^6$
Coefficiente fricción f	$1.9 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo de 90°x2	Codos de 90° x3
Longitud equivalente (m)	52	45
Longitud total (m)	53.5	57

Pérdida de carga h_f (m)	$4.7 \cdot 10^{-1}$	2.2
Diferencia de presión (m)	0	
Diferencia de altura (m)	0	
Eficiencia	0.35	
Altura teórica (m)	2.7	
Potencia calculada (HP)	0.4	
Potencia adoptada (HP)	2	
Cantidad de bombas	1	
Modelo de bombas	XV16/2	

La bomba P-10 se encarga de alimentar la caldera con agua a presión proveniente del rehervidor de la torre y el intercambiador del proceso para generar en la misma el vapor necesario para estos equipos. Se adopta una bomba de la serie XV, bombas centrífugas multicelulares verticales diseñadas en línea para aplicaciones civiles e industriales. Todos los componentes en contacto con el líquido en AISI 304 (DIN/EN 1.4301) o AISI 316 (DIN/EN 1.4401).

Tabla 9.14: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-10	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	1237.8	
Velocidad (m/s)	0.4	1.6
Diámetro (m)	$3.3 \cdot 10^{-2}$	$1.7 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	933	
Viscosidad (kg/s m)	$2 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$7.6 \cdot 10^4$	$1.9 \cdot 10^5$
Coeficiente fricción f	$2.8 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo de 90°	Codos de 90° x3
Longitud equivalente (m)	12	8.7
Longitud total (m)	15	29
Pérdida de carga h_f (m)	$1.6 \cdot 10^{-1}$	14.5

Diferencia de presión (m)	22.1
Diferencia de altura (m)	0
Eficiencia	0.35
Altura teórica (m)	37
Potencia calculada (HP)	0.5
Potencia adoptada (HP)	1
Cantidad de bombas	1
Modelo de bombas	XV ³ / ₄

La bomba P-11 se encarga de transportar el agua desde el sistema de ablandamiento a los tanques de almacenamiento. Se adopta una bomba de la serie XHS, bombas multietapas de alto rendimiento construidas totalmente en acero INOX 316 L, aptas para funcionar con agua de mar y determinados productos químicos.

Tabla 9.15: Características y adopción de las bombas

Fuente: Elaboración propia

	P-11	
	Aspiración	Impulsión
Caudal (kg/h)	124.7	
Velocidad (m/s)	0.4	0.4
Diámetro (m)	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Densidad (kg/m ³)	998	
Viscosidad (kg/s m)	$9 \cdot 10^{-4}$	
NRe	$4.5 \cdot 10^4$	$1.3 \cdot 10^5$
Coeficiente fricción f	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$
Accesorios	Válvula	Válvula
	Codo de 90°	Codos de 90° x3
Longitud equivalente (m)	8	12
Longitud total (m)	9	27
Pérdida de carga hf (m)	$1.9 \cdot 10^{-1}$	5.2
Diferencia de presión (m)	0	
Diferencia de altura (m)	0	

Eficiencia	0.35
Altura teórica (m)	5.5
Potencia calculada (HP)	$7 \cdot 10^{-3}$
Potencia adoptada (HP)	0.5
Cantidad de bombas	2
Modelo de bombas	XHS 6 NT

9.2.4 ENERGÍA ELÉCTRICA

La empresa que suministra la energía eléctrica al parque industrial San Lorenzo es EPE Energía de Santa Fe, la cual hace que las instalaciones soporten media y altas tensiones. Además, el parque cuenta con una tarifa especial respecto a este servicio, con descuentos de entre un 12% y 20% en el costo de la luz (ON24, 2019).

En la tabla siguiente se presenta un resumen de los diferentes motores utilizados y sus consumos.

Tabla 9.16: Consumo de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia

Código	Equipo	Potencia (kW)	Consumo	
			kW/h	kW/mes
KM-01	Motor del compresor	52.7	2.2	1475.6
MA-01	Motor del agitador	1.5	$6.2 \cdot 10^{-2}$	42
EM-01	Motor de la torre de enfriamiento	$3 \cdot 5.5$	$6.8 \cdot 10^{-1}$	462
PM-01	Motor de bomba	14.9×2	1.24	834.4
PM-02	Motor de bomba	14.9×2	1.24	834.4
PM-03	Motor de bomba	37.3×2	3	2088.8

PM-04	Motor de bomba	0.4	$1.6 \cdot 10^{-2}$	11.2
PM-05	Motor de bomba	0.4	$1.6 \cdot 10^{-2}$	11.2
PM-06	Motor de bomba	0.6x2	$5 \cdot 10^{-2}$	33.6
PM-07	Motor de bomba	14.9	0.6	417.2
PM-08	Motor de bomba	2.2	$9 \cdot 10^{-2}$	61.6
PM-09	Motor de bomba	1.5	$6.2 \cdot 10^{-2}$	42
PM-10	Motor de bomba	0.8	$3.3 \cdot 10^{-2}$	22.4
PM-11	Motor de bomba	2x0.4	$3.3 \cdot 10^{-2}$	22.4
TOTAL				6358.8

CAPÍTULO 10: CONTROL DE CALIDAD

10.1 INTRODUCCIÓN

El control de calidad es una forma de verificar el estándar de un producto o servicio durante su proceso de elaboración y sirve para reducir la probabilidad de insertar productos con fallas en el mercado. Es fundamental en cualquier proceso industrial, ya que permite hacer un seguimiento de las acciones productivas y así eliminar errores, fallas o defectos. De la misma forma, permite evaluar la eficiencia de los sistemas y con ello ver qué procedimientos pueden mejorarse y cuáles deben corregirse (Nirian, 2020).

La Norma ISO 17025 proporciona los requisitos necesarios que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración, facilitando la armonización de criterios de calidad. El objetivo principal de ésta es garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos. Contiene tanto requisitos de gestión como técnicos, que inciden sobre la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios. El cumplimiento de la ISO 17025 implica el cumplimiento de la norma internacional ISO 9001, ya que son múltiples los requisitos que ambas tienen en común (ICSA, 2015).

En el presente capítulo se describen los controles de calidad que se llevan a cabo sobre la materia prima, el proceso de producción y el producto terminado, detallando las especificaciones y análisis de calidad realizados a cada sustancia, y analizando las etapas de elaboración más significativas, con el fin de obtener un producto constante y responder a los parámetros exigidos por las normativas vigentes. Al final, se presenta el modelo de las planillas de control.

10.2 CONTROL DE MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

Es necesario analizar las materias primas cuando se reciben, para corroborar que se adapten a los requisitos del proceso. Para esto se realizan ensayos de laboratorio con el fin de comprobar su identidad y determinar si cumplen con las normativas y condiciones establecidas.

- El proceso de control de calidad es realizado por un personal idóneo y consta de:
- Muestreo.
- Análisis.
- Comparación y verificación de los estándares establecidos para cada parámetro de control.
- Registro en una planilla de control. La misma contiene la siguiente información:
 - ✓ Fecha y hora en que se realiza el procedimiento.

- ✓ Operario/Analista que realiza la toma de muestra y el posterior análisis.
- ✓ Parámetro evaluado.
- ✓ Lote analizado.
- ✓ Técnica de análisis.
- ✓ Observaciones.
- ✓ Otra información relevante.

10.2.1 METANOL

Al ingresar, el camión se pesa, para controlar que se tenga la cantidad indicada por el proveedor. Luego se toma una muestra y se analiza en el laboratorio propio de la planta. En la siguiente tabla, se detallan las especificaciones que debe cumplir esta materia prima y los análisis necesarios a llevar a cabo junto con la técnica utilizada.

Tabla 10.1: Análisis de laboratorio para el metanol

Fuente: YPF²²

Análisis	Especificaciones	Método
Rango de destilación (°C)	≤1	ASTM D1078
Acetona (% en peso)	≤2*10 ⁻³	IMPCA 001
Alcalinidad como NH ₄ OH (% en peso)	≤3*10 ⁻³	ASTM D1614
Acidez expresada como ácido acético (% en peso)	≤3*10 ⁻³	ASTM D1613
Etanol (% en peso)	≤5*10 ⁻³	IMPCA 001
Sustancias carbonizables (color escala Pt/Co)	≤30	INS 0009524
Color (escala Pt/Co)	≤5	ASTM D5386 / ASTM D1209
Metanol (% en peso)	99.9	IMPCA 001
Agua (% en peso)	≤0.1	ASTM E1064
Tiempo de permanganato (minutos)	≤60	ASTM D1363
Densidad a 15 °C (kg/m ³)	796	ASTM D4052
Residuo no volátil (mg/100 ml)	≤0.8	ASTM D1353
Aspecto	Líquido claro, libre de materia en suspensión	IMPCA 003

²² <https://www.ypf.com/productosyservicios/Paginas/Metanol.aspx>

Hidrocarburos (miscibilidad en agua)	PASA	ASTM D1722
Cloruros (mg/kg)	≤0.5	IMPCA 002
Azufre (mg/kg)	≤0.5	ASTM D4045 / ASTM D5453 / UOP 987
Hierro soluble total (mg/kg)	≤0.1	ASTM E394

10.2.2 MONÓXIDO DE CARBONO

La empresa que provee esta materia prima se encarga de realizar todos los análisis de calidad necesarios sobre el fluido licuado. De esta manera, presenta un certificado de calidad al momento de la entrega.

Este tipo de fluido pertenece a la sección de gases especiales del proveedor, que son gases que obedecen a una especificación radical con respecto a su pureza, presencia de contaminantes o concentración de componentes. Esta especificación es garantizada por rigurosos procedimientos de control de calidad en todas las etapas de producción, desde la purificación de las materias primas hasta la certificación final del producto. Envasados en recipientes tratados, aplicándoles varios procedimientos de limpieza²³.

Por parte de la industria propia, se efectúan auditorías al proveedor y se realizan análisis de laboratorio para medir, principalmente, la pureza, como son control de agua por celda electro galvánica y espectrofotometría por absorción de radiación infrarroja para determinar la presencia de restos de hidrocarburos y restos de oxígeno y dióxido de carbono. La muestra para efectuar estas mediciones se toma luego del compresor, con el monóxido en estado gaseoso (Liquid, 2021) (IAQS, 2013) (PRTR, 2013).

10.2.3 AGUA

Los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua, tanto de reacción como de alimentación a la caldera, son los siguientes²⁴:

- pH. El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- Dureza. La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en la misma, los que favorecen a la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor.

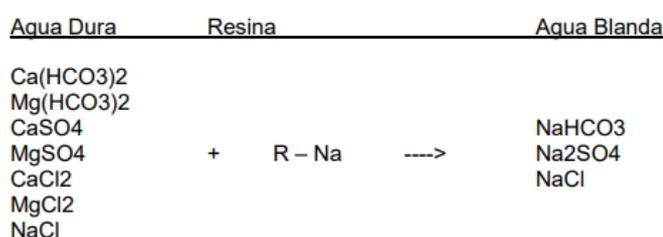
²³ <https://www.linde.co/gases/gas-special>

²⁴ http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf

- Oxígeno. El oxígeno favorece la corrosión de los componentes metálicos. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- Hierro y cobre. El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor.
- Dióxido de carbono. El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno.
- Aceite. El aceite favorece la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.
- Fosfato. El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.
- Sólidos disueltos y en suspensión. Son la cantidad de impurezas sólidas presentes en el agua, pueden estar presentes tanto disueltas como en suspensión.
- Sílice. La sílice presente en el agua puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).
- Alcalinidad. Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.
- Conductividad. La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales disueltas en el agua.

Antes de ingresar al reactor, el agua pasa por un ablandador, cuya función es eliminar los iones de calcio y magnesio, que conforman la dureza del agua y favorecen la formación de incrustaciones, intercambiándolos por iones de Sodio, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10.2: Sales presentes en el agua después de pasar por el ablandador



En el caso de que la capacidad de entrega de agua blanda de estos equipos se vea disminuida (agua entregada con dureza mayor a 6 ppm expresada como CaCO₃), es necesario llevar a cabo una regeneración para recuperar la capacidad de intercambio de las resinas. La regeneración es realizada con sal sódica de calidad técnica, con una concentración de 150 a 250 g/l de resina.

Sobre la base de las recomendaciones de la Norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV, se tienen los siguientes valores requeridos y aceptables en el control de calidad del agua.

Tabla 10.3: Requerimiento de agua según BS 2486²⁵

Fuentes: Elaboración propia

Análisis	Especificaciones	Métodos
Dureza total (ppm)	≤2	Método titulométrico con EDTA
Contenido de oxígeno (ppb)	≤8	Método Rhodazine D o método del índigo carmín ²⁶
Dióxido de carbono (ppm)	≤25	Método volumétrico
Hierro (ppm)	≤5*10 ⁻²	Método de espectrofotometría de absorción atómica por llama
Cobre (ppm)	≤1*10 ⁻²	Método de espectrofotometría de absorción atómica por llama
Alcalinidad total (ppm)	≤25	Método titulométrico
Contenido de aceite (ppm)	≤1	Método gravimétrico, con extracción por Soxhlet
pH a 25 °C	9–11	Método potenciométrico
Fosfato (ppm)	30–60	Método espectrofotométrico
Sólidos disueltos (ppm)	≤ 3500	Método volumétrico
Sólidos en suspensión (ppm)	≤ 200	Método gravimétrico
Sulfito de sodio (ppm)	30–70	Método yodométrico
Hidrazina (ppm)	0,1–10	Método del p-dimetilaminobenzaldehído
Taninos (ppm)	120–180	Método de Lowenthal
Dietilhidroxilamina (ppm)	0,1–1	Método PDTS
Sílice (ppm)	150	Método colorimétrico
Conductividad eléctrica (uS/cm)	≤7000	Método conductimétrico
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles	

Los controles del agua de perforación se realizan tres veces a la semana en el laboratorio del establecimiento. Se toma una muestra de 2 litros en un recipiente de plástico hasta llenarlo,

²⁵ <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/manual-procedimientos-analiticos-para-muestras-ambientales-tercera-edicion-2017>

²⁶ <https://www.cromtek.cl/producto/kits-de-muestreo-chemetrics/>

para evitar la entrada de aire y contaminantes y luego se la tapa. Esto se realiza en forma aleatoria antes y después del sistema de ablandador de agua.

Como se menciona anteriormente, estos análisis aplican también al agua de caldera. El muestreo del agua y del vapor del sistema de caldera se realizan de acuerdo con la Norma ISO 5667-1 y la preparación y manipulación de las muestras de acuerdo con la Norma ISO 5667-3 (Sincal, 2018).

Los puntos de toma de muestras se sitúan en emplazamientos representativos del sistema, como son:

- Agua de alimentación de la válvula de entrada.
- Agua de caldera de un tubo de descenso o de una línea de purga continua.
- Agua de relleno aguas debajo de la instalación de tratamiento del agua de relleno o de los tanques de almacenamiento.
- Condensados de la salida del condensador, si lo hay; en caso contrario, el condensado debe muestrearse en un punto lo más próximo que sea posible al tanque de alimentación.

10.3 CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Existen puntos críticos en el proceso de producción, que pueden afectar a la calidad del producto final. Uno de ellos, se describe anteriormente, y es la recepción de materias primas, a las cuales se les realizan análisis en el laboratorio con el fin de determinar si cumplen con las especificaciones necesarias.

Tabla 10.4: Plan de control de materias primas

Fuente: Elaboración propia

Etapa	MP o insumo	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción	Responsable de la toma de muestra	Responsable del análisis
Recepción	Metanol	Concentración (% en peso)	≥99.9	IMPCA 001	Batch	MPM-L	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
		Densidad a 15°C (kg/m³)	796	ASTM D4052					
		Ph	7	ASTM D1614					
		Tiempo de permanganato (minutos)	≤60	ASTM D1363					
		Miscibilidad en agua	PASA	ASTM D1722					
		Aspecto	Líquido incoloro	IMPCA 003					
Recepción	Monóxido de carbono	Auditorías			Mensual	MPCO-A	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
Compresor		Concentración (% en peso)	≥99.9	Espectrofotometría por absorción de radiación infrarroja	Batch	MPCO-L	Revisar registros y tomar medidas	Operario de reacción	Analista de laboratorio
Control	Agua	Ph	9-11		Batch	MPA-L	Tratamiento	Operario de log	

En otras partes del proceso es necesario un control continuo, por lo que se establecen controles automáticos en diferentes puntos de este y las especificaciones que se deben cumplir para prevenir la producción de un producto de calidad defectuosa. Es necesario el monitoreo en tiempo real de las variables en los equipos, por lo tanto, se cuenta con elementos de control automático

El control de un parámetro en particular se lleva a cabo con un sensor que mide la propiedad de este mismo, luego, un controlador compara esa medida con un valor fijo predeterminado. Si el valor de la medida se encuentra fuera del rango especificado, automáticamente se inician las acciones necesarias hasta ajustar ese valor. En la tabla a continuación se expresan los equipos y variables controladas.

Tabla 10.5: Plan de control del proceso
Fuente: Elaboración propia

Equipo	Parámetro	Especificación	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción	Responsable del sector	Responsable del análisis
Compresor	Presión (bar)	28±0.3	Control Automático	Continuo	R-001	Regular válvula	Operario de reacción	Panelista
Reactor	Nivel (m)	1.8	Control Automático	Continuo		Regular caudal de alimentación	Operario de reacción	Panelista
	Presión (bar)	28±0.1				Regular válvulas de venteo		
	Temperatura (°C)	190±1				Regular caudal de agua de enfriamiento		
	Velocidad de agitación (rpm)	150±10				Regular variador de velocidad		
	Concentración de catalizador y promotor (ppm)	200/400	Toma de muestras	Batch		Análisis de laboratorio		
Válvulas modulante	Presión (bar)	10±0.1	Control Automático	Continuo	R-002	Regular válvula	Operario de reacción	Panelista
Válvula modulante	Presión (bar)	1±0.1	Control Automático	Continuo		Regular válvula		Panelista
Intercambiador de calor	Temperatura (°C)	132±0.5	Control Automático	Continuo		Regular caudal de vapor	Operario de destilación	Panelista
Torre de destilación	Temperatura de tope (°C)	55.8±1	Control Automático	Continuo		Regular caudal de agua de enfriamiento	Operario de destilación	Panelista
	Temperatura de fondos (°C)	114.9±1			Regular caudal de vapor			

10.4 CONTROL DEL PRODUCTO TERMINADO

Durante la etapa de purificación del acético, el operario de panel de control se encarga de controlar periódicamente las siguientes variables de operación:

- Caudal al ingreso a la torre de destilación
- Temperatura y presión a la entrada y salida por el fondo de la torre de destilación
- Caudal de ingreso al intercambiador de calor
- Temperatura de salida del intercambiador de calor

Además, se realizan análisis sobre el producto terminado, con el fin de corroborar si cumple con las especificaciones adecuadas que exige la normativa para el ácido acético glacial, que se utiliza como materia prima para el acetato de vinilo. Las muestras se extraen de los tanques de almacenamiento diariamente. El control de calidad realizado en el laboratorio se describe en la tabla siguiente.

Tabla 10.6: Análisis de laboratorio para el producto

Fuentes: (Laboratorios, 2021)

Análisis	Especificaciones
Concentración (% en peso)	98
Densidad (kg/m ³)	1048/1051
Cloruro (ppm)	≤1
Sulfatos (ppm)	≤1
Metales pesados (ppm)	≤0.5
Hierro (ppm)	≤0.2
Color (apha)	≤10
Ensayo de dilución	cumple
Metales pesados (% en peso)	≤1*10 ⁻³
Punto de congelación (°C)	15.8
Residuo por evaporación (%)	≤1*10 ⁻³
Sulfato (%)	≤1 *10 ⁻³
Sustancias reductoras del permanganato	cumple
Sustancias reductoras del dicromato	cumple
Base titulable (meq/g)	4*10 ⁻⁴
Aspecto	Líquido claro, incoloro, con olor fuerte

El control del producto terminado se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 10.7: Plan de control del producto terminado

Fuente: Elaboración propia

Corriente	Variable	Especificación	Técnica	Frecuencia	Registro	Responsable	Acción
H	Temperatura (°C)	102.2±1	Control automático	Continuo	R-003	Panelista	Regular válvulas. Revisar registros y tomar medidas
	Caudal (m³/h)	2205.7					
	Presión (bar)	1					
J1	Temperatura (°C)	114.9±1	Control automático	Continuo		Panelista	Regular válvulas. Revisar registros y tomar medidas
	Caudal (m³/h)	3					
	Presión (bar)	1					
J2	Temperatura (°C)	25±1	Control Automático	Continuo	PTA-L	Panelista	Regular caudal de agua de enfriamiento Revisar registros y tomar medidas
	Análisis de laboratorio de la tabla 10.6			Cada lote			

Control del producto no conforme

Un producto no conforme es todo aquel que no cumple con algún requisito determinado por el sistema de gestión de calidad. Ante una no conformidad se siguen las siguientes pautas (ISO9001, 2013):

- Determinar qué unidades de productos son clasificados como no conformes. Estudiando los períodos de producción, las máquinas empleadas o los lotes de productos involucrados.
- Identificar las unidades de productos no conformes para asegurar que pueden distinguirse de las unidades de productos conformes.
- Documentar la existencia de las no conformidades, especificando en qué unidades de producto, máquinas de producción o lotes de productos se han producido las irregularidades.
- Evaluar la naturaleza de la no conformidad.
- Considerar las alternativas para la disposición de las unidades de productos no conformes y decidir qué disposición se tomará, registrando esta actividad.
- Ejercer un control físico de los movimientos, almacenamientos y demás procesos de los productos no conformes de acuerdo con la decisión de disposición.
- Notificarlo a otras áreas funcionales afectadas o involucradas por la no conformidad, incluyendo, cuando sea oportuno, al cliente.

10.5 PLANILLAS DE CONTROL

Las tablas siguientes corresponden a los registros que se llevan a cabo para todos los puntos analizados en este capítulo, como son las materias primas, proceso de producción y producto terminado. El código de registro se encuentra conformado con la letra que indica sobre qué se realiza el control (materia prima, insumo, equipo, producto final y en caso de ser necesario se agrega otra letra identificando qué sustancia se está controlando.

Una vez que el registro se realiza en el punto de control de proceso o en el laboratorio, se controla su edición y cumplimentación. Este procedimiento alcanza a la totalidad de los registros del sistema de calidad. El registro se envía al Departamento de Calidad, donde se llevan a cabo los análisis estadísticos pertinentes. A continuación, se detallan los registros mencionados anteriormente.

Las tablas siguientes corresponden al modelo de registros que se utilizan para el control de materias primas.

Tabla 10.8: Registro de control de materias primas.

Fuente: Elaboración propia

Tipo de registro	RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA			
Materia prima	MPM-L			
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma
ANÁLISIS	RESULTADOS		PARÁMETROS	
Concentración			≥99.9	%p/p
Densidad			796	kg/m ³
Ph			7	
Tiempo de permanganato			≤60	minutos
Miscibilidad en agua			PASA	
Aspecto			Líquido incoloro	
OBSERVACIONES				

Tipo de registro	CONTROL DE MONÓXIDO DE CARBONO			
Materia prima	MPCO-L			
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma
ANÁLISIS	RESULTADOS		PARÁMETROS	
Concentración			≥99.9	%p/p
OBSERVACIONES				

Tipo de registro	CONTROL DE AGUA			
Materia prima	MPA-L			
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma
ANÁLISIS	RESULTADOS		PARÁMETROS	
Sólidos disueltos			≤3500	ppm
Dureza			≤2	ppm
Ph			9-11	
Oxígeno			≤8	ppb

Aceite		≤1	ppm
Conductividad		≤700	uS/cm
Fosfatos		30-60	ppm
Aspecto		Líquido incolore	
OBSERVACIONES			

Las tablas siguientes corresponden a los modelos de registros que se utilizan para el control del proceso.

Tabla 10.9: Registro de control de proceso

Fuente: Elaboración propia

Tipo de registro		CONTROL DE PROCESO					
Etapa		Reacción					
Planilla		R-001					
	Fecha		Hora		Lote		
Equipo	Analista	Análisis	Resultado	Parámetros			
				Mínimo	Máximo		
Compresor		Presión (bar)		27.9	28.1		
Reactor		Nivel (m)		1.8			
		Presión (bar)		27.9	28.1		
		Temperatura (°C)		189	191		
		Velocidad de agitación (rpm)		140	160		
		Concentración del catalizador (ppm)		200			
OBSERVACIONES							

Tipo de registro		CONTROL DE PROCESO					
Etapa		Reacción					
Planilla		R-002					
	Fecha		Hora		Lote		
Equipo	Analista	Análisis	Resultado	Parámetros			

			Mínimo	Máximo
Válvula		Presión (bar)	9.9	10.1
Válvula		Presión (bar)	0.9	1.1
Intercambiador de calor		Temperatura (°C)	131.5	132.5
Torre de destilación		Temperatura (°C)	54.8	56.8
		Temperatura (°C)	113.9	115.9
OBSERVACIONES				

Las tablas siguientes corresponden al modelo de registros que se utiliza para el control de calidad del producto, en el proceso y en el laboratorio.

Tabla 10.10: Registro de control del producto terminado

Fuente: Elaboración propia

Tipo de registro		CONTROL DE PROCESO				
Etapa		Purificación				
Planilla		R-003				
	Fecha		Hora		Lote	
Equipo	Analista	Análisis	Resultado	Parámetros		
				Mínimo	Máximo	
Entrada torre de destilación		Presión (bar)		1		
		Caudal (m ³ /h)		2205.7		
		Temperatura (°C)		101.2	103.2	
Fondos torre de destilación		Presión (bar)		1		
		Caudal (m ³ /h)		3		
		Temperatura (°C)		113.9	115.9	
Intercambiador de calor		Temperatura (°C)		24	26	
OBSERVACIONES						

Tipo de registro	CONTROL DEL PRODUCTO TERMINADO			
Producto	PTA-L			
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma
ANÁLISIS	RESULTADOS		PARÁMETROS	
Concentración			98	% en peso
Densidad			1048/1051	kg/m ³
Cloruro			≤1	ppm
Sulfatos			≤1	ppm
Metales pesados			≤0.5	ppm
Hierro			≤0.2	ppm
Color (apha)			≤10	
Ensayo de dilución			Cumple	
Metales pesados			≤1*10 ⁻³	% en peso
Punto de congelación			15.8	°C
Residuo por evaporación			≤1*10 ⁻³	%
Sulfato			≤1*10 ⁻³	%
Sustancias reductoras del permanganato			Cumple	
Sustancias reductoras del dicromato			Cumple	
Base titulable			4*10 ⁻⁴	meq/g
Aspecto			Líquido claro, incoloro, con olor fuerte	
OBSERVACIONES				

CAPÍTULO 11: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

11.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperaturas, presiones, flujos y compuestos.

En la mayoría de las plantas de proceso existen cientos de variables que se deben mantener en algún valor determinado, con un procedimiento de corrección que requiere el trabajo de muchos operarios, por ello, es preferible contar con instrumentos que controlen las variables sin necesidad de que intervenga el operador. Este es el significado del control automático de procesos.

Para lograr este objetivo se debe diseñar e implementar un sistema de control. El primer paso es medir la variable que se quiere controlar, esto se realiza mediante un sensor. El sensor se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador. El controlador recibe la señal, la compara con el valor que se desea (set point) y, según el resultado, decide qué hacer para mantener la variable en el valor deseado. En base a esta decisión, envía otra señal al elemento final de control, el cual, ejecuta una acción para corregir ese valor.

La importancia de estos componentes estriba en que realizan las tres operaciones básicas que están presentes en todo sistema de control:

Medición (M): la medición de la variable que se controla se hace mediante la combinación del sensor y el transmisor.

Decisión (D): con base en 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 efectúa una acción en el sistema, realizada por el elemento final de control (SMITH & CORRIPIO, 1991).

En este capítulo se lleva a cabo la automatización del circuito de reacción del proceso.

11.2 PUNTOS DE CONTROL

El circuito de reacción incluye el ingreso de los reactivos, el reactor tanque agitado con su sistema de intercambio de calor, la salida de producto líquido y gases indeseables, el separador flash y la recirculación al reactor, que se compone de la mezcla del líquido procedente del flash y el destilado de la torre.

Las variables que se deben controlar en el equipo de reacción son:

Temperatura: la temperatura de la mezcla de reacción debe mantenerse en 190 °C. Como la reacción es muy exotérmica es necesario eliminar calor mediante una camisa y un serpentín, además del ingreso del alimento frío.

Presión: la presión dentro del reactor debe mantenerse en 28 bar, por lo que es necesario eliminar los gases que se generan mediante reacciones secundarias para mantener ese valor.

Nivel: El sistema de reacción está diseñado para que se mantenga un nivel dentro del reactor de 1.8 metros, de esta manera la mezcla de reacción se mantiene en contacto con el sistema de intercambio de calor, el reactivo gaseoso tiene lugar para ponerse en contacto con el líquido y los gases que se generan tienen espacio para no subir la presión muy rápidamente y, además, se cuenta con un espacio extra para la formación de espuma y arrastre generado por el agitador.

Velocidad del agitador: un valor óptimo en la velocidad de agitación es de 150 rpm, para mantener el catalizador suspendido, mezclar los reactivos, favorecer la difusión y evitar la generación de vórtices.

Concentración del catalizador: el proceso está diseñado para que el catalizador, suspendido en la mezcla de reacción, recircule en su totalidad. Este concepto ideal es muy difícil de lograr en la realidad, ya que algo de catalizador se pierde entre las etapas, por lo que es necesario reponer esa cantidad para que la reacción siga siendo eficiente. No existe un sensor que mida concentración del Iridio disuelto, y como este componente se encuentra presente en una cantidad muy baja, un densímetro proporcionaría mucho error, por lo que esta etapa no se puede controlar mediante el uso de la automatización. Para poder tener un control de esta variable, un operario toma, periódicamente, una muestra en la cañería de salida del líquido y esta se analiza en el laboratorio.

11.3 LÓGICA DE LAZOS EN EL CIRCUITO DE REACCIÓN

Control de las condiciones isotérmicas: mediante el ingreso de agua de enfriamiento al sistema de reacción (N) se controla la temperatura de la mezcla. Se coloca un sensor de temperatura TT-01 en el domo del reactor creando un lazo on-off con la válvula actuada CV-05 compartida para el ingreso de agua de enfriamiento en la chaqueta y el serpentín. El set-point se define en 190°C con una histéresis de 5°C.

Control de las condiciones isobáricas: para controlar la presión dentro del reactor se eliminan los gases (E) mediante un sistema de dos válvulas modulantes, ya que el cambio de presión es muy brusco y una sola no es suficiente para asegurar el control. Se coloca un sensor de

presión PT-03 en el domo del reactor que forma un lazo con la primera válvula modulante CV-03, con un set point de 10 bar. Seguido de esta, se coloca otro sensor de presión PT-04 que forma un lazo con la segunda válvula modulante CV-04, con el set point fijado en 1.2 bar.

Control del nivel de líquido en el reactor: el control del nivel dentro del reactor se realiza con el control del ingreso de los reactivos al sistema.

Metanol (A). Se coloca un caudalímetro FT-01 que forma un lazo con la bomba P-01, con el set point fijado en 1501.8 kg/h.

Agua (C). Se coloca un caudalímetro FT-02 que forma un lazo con la bomba P-02, con el set point fijado en 62 kg/h.

Monóxido de carbono (B). Se coloca un caudalímetro FT-03 apto para gases que forma un lazo con la válvula modulante que permite la salida del CO del compresor CV-06, con el set point fijado en 40.3 m³/h.

Además de los lazos descritos, se coloca un sensor de nivel en el reactor LT-01 que forma un lazo con las bombas P-01, P-02 y la válvula modulante del compresor CV-06, con una condición de forzado a cero, para cortar el suministro en caso de emergencia. También se coloca un switch de nivel bajo LSL-01 no enlazado, a modo informativo.

Control de la velocidad del agitador. El variador de frecuencia VF-01 mide las revoluciones por minuto, el actuador en este caso es el motor y el set point se fija en 150 rpm.

Para completar el circuito de reacción, se coloca un sensor de presión PT-01 en la cañería de salida del producto líquido (D), el cual forma un lazo con la primera válvula modulante CV-01, con un set point definido en 10 bar, seguido de otro sensor PT-02 conectado a la segunda válvula modulante CV-02, con un set point fijado en 1 bar. Esta corriente pasa por el intercambiador E-01 para generar más vapor y en el flash S-01, se separan las fases líquido-vapor. En este último tanque se coloca un switch de nivel bajo LSL-02, formando un lazo con la bomba P-03 que impulsa la recirculación hacia el reactor (F).

11.4 P&D

En la figura 11.1 se muestran todos los lazos descritos en el apartado anterior

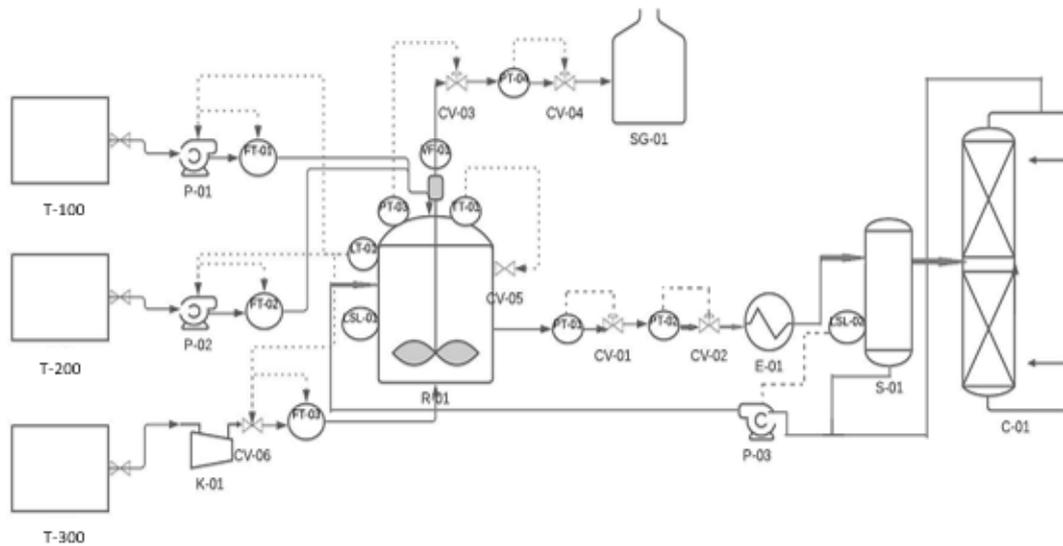


Figura 11.1: Control automático en la etapa de reacción.

Fuente: Elaboración propia

11.5 HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS

A continuación, se muestran las hojas de especificaciones de los instrumentos descriptos anteriormente.

Tabla 11.1: Hoja de especificaciones del transmisor de presión

Fuente: Elaboración propia

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE PRESIÓN	
General	Nombre	PT-01/02/03/04
	Servicio	Medición
	Ubicación	Reactor R-01
	Sector	Reacción
Sensor	Modelo	VEGABAR 83
	Función	Medir la presión
	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Vertical
	Material	316 L
	Longitud aproximada	Estándar
	Conexión a proceso	Brida
	Voltaje	24 V

	Señal de salida	4-20 mA
	Rango de medición	-1...1000 bar
	Temperatura de proceso	-40...200°C
	Precisión	0,075 %
Proceso	Fluido	Gases, líquidos y vapores
	Presión máxima	29 bar
	Temperatura máxima	195 °C

Se requieren cuatro transmisores de presión analógicos PT.



Figura 11.2: transmisor de presión.

Fuente: www.vega.com/es/productos/catalogo-de-productos/medicion-de-nivel/hidrostatico/vegabar-83

Tabla 11.2: hoja de especificaciones del transmisor de temperatura

Fuente: elaboración propia

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE TEMPERATURA	
General	Nombre	TT-01
	Servicio	Medición
	Ubicación	Reactor R-01
	Sector	Reacción
Sensor	Modelo	TIF50
	Función	Medir la temperatura
	Tipo de sensor	Digital

	Orientación	Horizontal
	Material	Acero inoxidable, mirilla de policarbonato
	Longitud aproximada	Estándar
	Conexión a proceso	1 sensor en cableado de 2/4/3 hilos
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	0-1
	Rango de medición	-200...+850 °C
Proceso	Fluido	Gases, líquidos y vapores
	Presión máxima	29 bar
	Temperatura máxima	195 °C



Figura 11.3: transmisor de temperatura

Fuente: www.wika.com.ar/upload/DS_TE6201_es_es_82634.pdf

Tabla 11.3: hoja de especificaciones del transmisor de nivel

Fuente: elaboración propia

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE NIVEL	
General	Nombre	LT-01
	Servicio	Medición
	Ubicación	Reactor R-01
	Sector	Reacción
Sensor	Modelo	VEGAFLEX 83
	Función	Medir el nivel de líquido

	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Horizontal
	Principio de medición	Radar guiado
	Material	316 L, recubierto de PFA o
	Longitud aproximada	Estándar
	Conexión a proceso	Brida
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	4...20 Ma
	Rango de medición	32 m
Proceso	Fluido	Gases, líquidos y vapores
	Presión máxima	29 bar
	Temperatura máxima	195 °C



Figura 11.4: transmisor de nivel

Fuente: www.vega.com/es/productos/catalogo-de-productos/medicion-de-nivel/radar-guiado/vegaflex-83

Tabla 11.4: hojas de especificaciones de los switches de nivel

Fuente: elaboración propia

Hoja de especificación	SWITCH DE NIVEL	
General	Nombre	LSL-01
	Servicio	Medición de nivel bajo

	Ubicación	Reactor R-01
	Sector	Reacción
Sensor	Función	Medir el nivel de líquido
	Tipo de sensor	Digital
	Orientación	Horizontal
	Principio de medición	Horquilla vibrante
	Material	316 L
	Longitud aproximada	Estándar
	Conexión a proceso	Brida
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	0-1
	Proceso	Fluido
Presión máxima		29 bar
Temperatura máxima		195 °C

Hoja de especificación	SWITCH DE NIVEL	
General	Nombre	LSL-02
	Servicio	Medición de nivel bajo
	Ubicación	Tanque flash S-01
	Sector	Reacción
Sensor	Función	Medir el nivel de líquido
	Tipo de sensor	Digital
	Orientación	Horizontal
	Principio de medición	Horquilla vibrante
	Material	316 L
	Longitud aproximada	Estándar
	Conexión a proceso	Brida
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	0-1
Proceso	Fluido	Gases, líquidos y vapores

	Presión máxima	2 bar
	Temperatura máxima	120 °C



Figura 11.5: Switch de nivel bajo

Fuente: www.vega.com/es/productos/catalogo-de-productos/interruptores-de-nivel/vibracion/vegaswing-61

Tabla 11.5: Hojas de especificaciones de los medidores de caudal

Fuente: Elaboración propia

Hoja de especificación	MEDIDOR DE CAUDAL	
General	Nombre	FT-01
	Servicio	Medición
	Ubicación	Bomba P-01
	Sector	Reacción
Sensor	Principio de medición	Electromagnético
	Función	Medir el caudal
	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Vertical
	Material	Caja de acero inoxidable 316 L
	Longitud aproximada	Estándar
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	4-20 Ma
Proceso	Fluido	Metanol
	Caudal	1501.8 kg/h
	Presión máxima	29 bar

	Temperatura máxima	25 °C
--	--------------------	-------

Hoja de especificación	MEDIDOR DE CAUDAL	
General	Nombre	FT-02
	Servicio	Medición
	Ubicación	Bomba P-02
	Sector	Reacción
Sensor	Principio de medición	Electromagnético
	Función	Medir el caudal
	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Vertical
	Material	Caja de acero inoxidable 316 L
	Longitud aproximada	Estándar
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	4-20 Ma
Proceso	Fluido	Agua
	Caudal	62 kg/h
	Presión máxima	29 bar
	Temperatura máxima	25 °C

Hoja de especificación	MEDIDOR DE CAUDAL	
General	Nombre	FT-03
	Servicio	Medición
	Ubicación	Compresor K-01
	Sector	Reacción
Sensor	Principio de medición	Electromagnético
	Función	Medir el caudal
	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Horizontal
	Material	Caja de acero inoxidable 316 L

	Longitud aproximada	Estándar
	Voltaje	24 V
	Señal de salida	4-20 Ma
Proceso	Fluido	Monóxido de carbono
	Caudal	40.3 m ³ /h
	Presión máxima	29 bar
	Temperatura máxima	-7 °C



Figura 11.6: caudalímetro
Fuente: www.ar.endress.com/es/

Tabla 11.6: hoja de especificaciones del variador de frecuencia
Fuente: elaboración propia

Hoja de especificación	VARIADOR DE FRECUENCIA	
General	Nombre	VF-01
	Servicio	Medición
	Ubicación	Motor del agitador del reactor R-01
	Sector	Reacción
Sensor	Principio de medición	Compensación de deslizamiento
	Modelo	LSLV 0015 M100
	Función	Medir la velocidad de agitación
	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Vertical

	Peso	1.5 kg
	Longitud aproximada	Estándar
	Voltaje	240 V
	Señal de salida	4-20 Ma
Proceso	Motor	2 HP
	Velocidad máxima	160 rpm



Figura 11.7: variador de frecuencia

Fuente: www.erhsa.com/pdf/LS%20Drive%20Series%20Catalog_ERHSA.pdf

CAPÍTULO 12: OBRAS CIVILES

12.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se representa la distribución física de todas las áreas presentes en la planta de producción de ácido acético, la cual se encuentra ubicada en el parque industrial San Lorenzo radicado en la provincia de Santa Fe, descripto en el capítulo cuatro.

Se describen todos los detalles considerados para la construcción de cada uno de los sectores y se diseña el layout correspondiente de la planta.

La distribución física tiene muchas consecuencias prácticas y estratégicas, adicionalmente facilita el flujo de materiales, aumenta la eficiencia en la implementación de mano de obra y equipos y al mismo tiempo reduce riesgos y peligros para los empleados.

12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

El parque industrial San Lorenzo cuenta con lotes de 2500m² y 5000m² de superficie, con dimensiones de 30m x 83,33m y 60m x 83,3m respectivamente.

LOTES COMERCIALIZABLES (2° ETAPA)



Figura 12.1: Lotes

Fuente: www.pisanlorenzo.com/page/lotes

Para el presente proyecto se adopta un lote de 5000 m². Dicho predio posee un cerco perimetral de 2 m de altura con alambre olímpico con postes de hormigón prefabricados y cordón de H°A° insitu e la parte inferior del alambrado.

En cuanto a la construcción del establecimiento, se busca la alternativa óptima para asegurar la seguridad, y a su vez, considerar que los materiales seleccionados no provocan ningún tipo de contaminación que pueda dañar a las personas, el producto final y el medio ambiente. Además, se debe tener en cuenta que cada predio del parque cuenta con:

- Red eléctrica de baja y media tensión.
- Red de agua potable.

- Red de media y alta presión de gas natural.
- Red de cloacas.
- Sistema desagües pluviales.
- Iluminación interior y alumbrado público exterior.
- Sistema hidrante contra incendios.
- Doble cerco perimetral.
- Sistema de control de ingresos y egresos

Por último, hay que considerar que, para el correcto desplazamiento dentro del establecimiento, se traza una red de calles internas pavimentadas y señalizadas, para la circulación de vehículos como así también personal a pie.

Tabla 12.1: Sectores de la planta

Fuente: Elaboración propia

Sector	Descripción	Características	Medidas (m ²)
Sección I	Almacenamiento de materias primas y producto	Intemperie	50.3 * 46.97
Sección II	Zona de reacción	Bajo techo	9.60 x 8.10
Sección III	Zona de purificación	Intemperie	7.22 x 10.40
Sector IV	Tratamiento de gases y servicios auxiliares	Bajo techo e intemperie	Bajo techo 5.45 x 8.10 Intemperie 7.30 x 7.84
Sección V	Vestuarios y baños	Bajo techo	9.70 x 6.0
Sección VI	Comedor	Bajo techo	7.3 x 5.52
Sección VII	Oficinas	Bajo techo	28.48 x 33.1
Sección VIII	Laboratorio	Bajo techo	4.58 x 4.10
Sección IX	Estacionamiento	Bajo techo	6.00 x 38.3
Sección X	Garita	Bajo techo	2.8 x 4.3
Sección XI	Depósito de mantenimiento	Bajo techo	9.3 x 8.0

12.3 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA

En la imagen a continuación, se muestra el layout de la planta productora de ácido acético

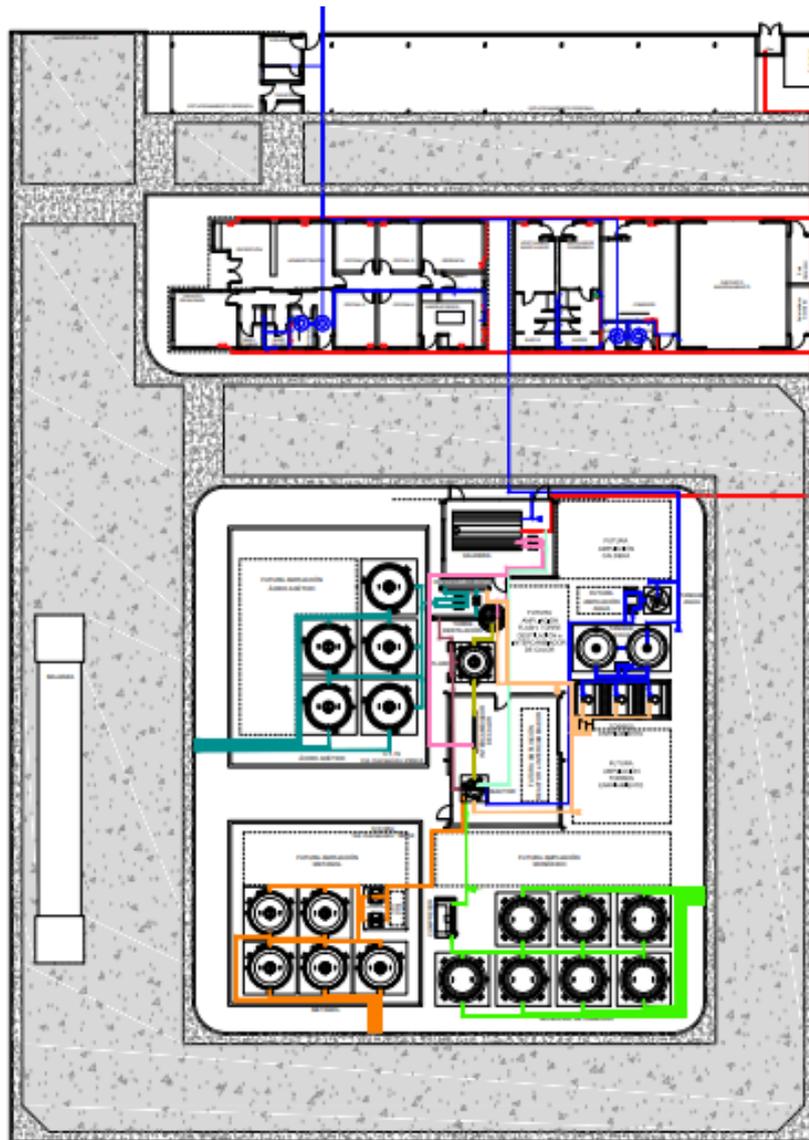


Figura 12.2: Layout de la planta de producción de ácido acético

Fuente: Elaboración propia

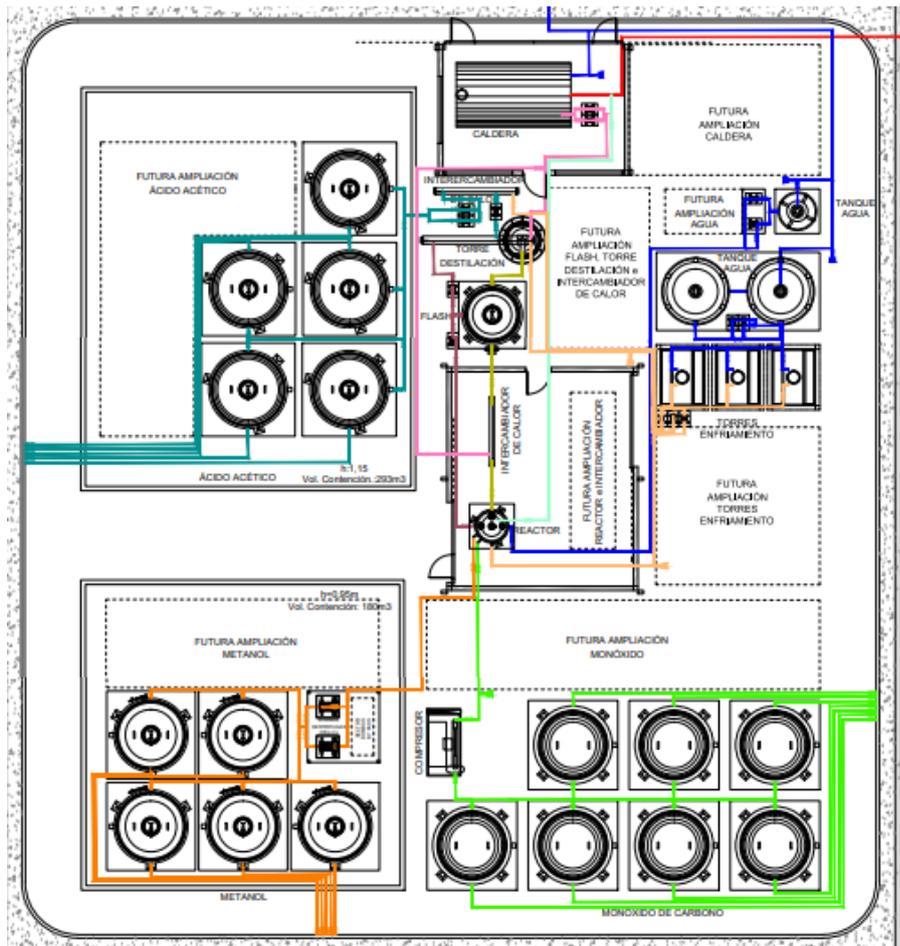


Figura 12.3: Zoom en la zona de producción

Fuente: Elaboración propia

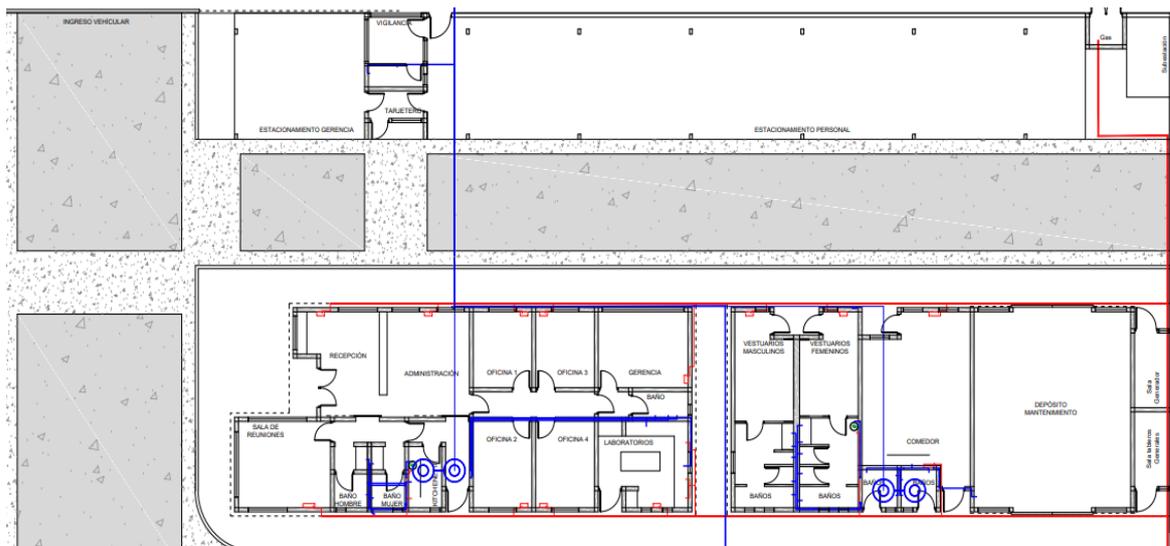


Figura 12.4: Zoom en las oficinas y estacionamiento

Fuente: Elaboración propia

Sección I

Almacenamiento de materias primas y producto terminado

En cuanto a la recepción de materia prima y producto terminado, se debe considerar que se ubican estratégicamente, de modo tal que los camiones tengan fácil acceso hasta los tanques tanto para descarga de materia prima como carga de producto terminado. Estos se encuentran a intemperie, entre los tanques existe una distancia adecuada para que circule el personal y para realizar las conexiones necesarias para carga y descarga.

Sección II y III

Zona de reacción y purificación

En el caso del sector productivo es necesario tener en cuenta otros aspectos además del personal, ya que, los componentes se ordenan de acuerdo con las etapas progresivas a través de las cuales avanza la fabricación, los equipos están próximos entre sí, y la distancia que tiene que recorrer la materia prima para completar la secuencia total de producción es pequeña. 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, y provoca un manejo más eficiente de la mano de obra. Los espacios entre los equipos se determinaron de manera tal que permita el fácil acceso de los operarios para las realizar las tareas cotidianas, y un adecuado mantenimiento de los equipos.

La zona de reacción se encuentra bajo techo de chapa, con pisos de cemento alisado y mampostería de ladrillos revocadas con mortero cementico revestidas con cerámicos. Mientras que la zona de purificación, debido a la altura de la torre de destilación, se encuentra a la intemperie.

Sección IV

Tratamiento de gases y servicios auxiliares

Esta sección está comprendida por las torres de enfriamiento, las cuales se encuentran a la intemperie. En este caso los pisos son de hormigón con incorporación de cuarzo para aumentar el endurecimiento en la superficie mejorando la resistencia. El espaciado entre las torres es el adecuado para permitir el paso del personal entre equipos, los cuales realizaran tareas de mantenimiento.

Mientras que la caldera, que se utiliza para tratamiento de gases, se encuentra techada. Esta sala está construida de techo de chapa con estructura metálica, cuenta con un piso de cemento alisado y para ingresar se utiliza un portón de chapa corredizo.

Sección V

Vestuarios y baños

Los vestuarios, permiten a los empleados colocarse el uniforme de trabajo pertinente antes de ingresar a la planta. Además, en este sector se encuentran los baños tanto de mujeres como de hombres.

- Presenta bancos y armarios dobles (lockers de metal).
- Dicho espacio cuenta con mampostería de ladrillo revocadas y pintadas del lado interior.
- Todos estos sectores cuentan con puntas redondeadas para que sea más fácil de limpiar.
- Los pisos cuentan con cerámicos antideslizantes para aumentar la seguridad del trabajador.
- Cuentan con ventilación permanente, mediante una ventana con malla metálica para prevenir el ingreso de insectos.
- Por último, tanto la puerta de ingreso, como la puerta que divide el baño, del vestuario son de aluminio.

Sección VI

Comedor

El comedor cuenta con servicio de desayuno, almuerzo, merienda y cena. Para determinar su capacidad, se tiene en cuenta la cantidad de operarios que utilizan las instalaciones en los distintos turnos de trabajo. La base de dicha construcción es igual a la de los baños y vestuarios.

Sección VII

Oficinas

Las oficinas se localizan en las proximidades del ingreso para facilitar el acceso de personas ajenas a la planta. Cuentan con las oficinas propiamente dichas, la sala de reuniones y un espacio para la recepción. Al igual que para los demás sectores, la superficie queda determinada en función de la cantidad de personas que se necesita para el desempeño de las tareas.

- En este caso, las paredes son de mampostería de ladrillo macizo, revocadas y pintadas.

- Los pisos son de cerámicos antideslizantes.
- Cuenta con ventanas y puertas, cuyos vidrios son esmerilados para aumentar la seguridad.

Sección VIII

Laboratorio

En cuanto al laboratorio, el mismo cuenta con todo el equipamiento e instrumentos necesarios para el control de calidad de materias primas y productos. En cuanto a la construcción:

- Cuenta con paredes de mampostería de ladrillos revocadas con mortero cementicio revestidas con cerámicos.
- Pisos de cerámica antideslizante y resistente. Los extremos de la construcción deben ser redondeadas para facilitar la limpieza.
- Las ventanas y puertas cuentan con una red metálica para evitar que ingresen insectos.
- Cuenta con una pequeña área, donde se encuentra el botiquín de primeros auxilios.
- Cuenta con ducha y lavajos en caso de emergencia.

Sección IX

Estacionamiento

El estacionamiento, el cual se encuentra en las cercanías del ingreso a la planta, cuenta con una media sombra, para la protección de los vehículos, tantos autos, motos, como bicicletas.

Sección X

Garita

En está, se encontrará el personal de seguridad únicamente, por lo tanto, sus dimensiones son pequeñas. Allí, cada empleado, antes de ingresar a su puesto de trabajo, debe marcar su horario de llegada y de salida en el tarjetero.

La garita está construida con losa de viguetas y cielorraso aplicado. Las paredes también estarán revocadas y pintadas, y cuenta con una puerta de aluminio y una ventana para permitir la circulación de aire.

Secciones adicionales

Los sectores que no se describen, están conformados por pasillos, calles internas y espacio libre para futuras ampliaciones.

En general, los pasillos industriales poseen piso de hormigón con endurecimiento, los techos son de chapa y con desagües pluviales. Las calles internas de la planta son de cemento.

CAPÍTULO 13: INSTALACIONES ELÉCTRICAS

13.1 INTRODUCCIÓN

Como se menciona en capítulos anteriores, la planta de ácido acético se ubica, en el parque industrial San Lorenzo, el cual cuenta con una estación transformadora de voltaje y líneas internas de suministro de energía eléctrica de baja y media tensión. Dicho servicio es provisto por la empresa EPESF (Empresa Provincial de la energía de Santa Fe).

Se cuenta con la instalación de luminaria correspondiente en cada sector y conexiones trifásicas en aquellos equipos que cuenten con un motor.

A continuación, se describe los elementos e instrumentos que se utilizan para realizar las conexiones de dicha instalación.

13.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Para que la planta funcione de manera adecuada, se debe contar con:

13.2.1 TABLEROS

Los tableros eléctricos brindan protección a cada circuito de la instalación además de comandar distintos tipos de componentes eléctricos como motores, bombas, válvulas, ventiladores, entre otros. Además, cuentan con instrumentos de medición que permiten ver variables de estos componentes o la red eléctrica (Ingela, 2021).

En conclusión, se utilizan tanto para la medición, control y maniobra de la corriente involucrada en la planta, como así también, para la protección de la maquinaria, infraestructura y del personal. Estos cuentan con:

- Interruptores manuales o termomagnéticos, contactores y conmutadores, todos estos son elementos de maniobra destinados a la puesta o corte del servicio eléctrico.
- Tapones cartucho, fusibles, etc., siendo estos elementos de protección para prevenir la instalación contra corto circuitos o sobrecargas inadmisibles.
- Medidores de energía, voltímetros, etc., siendo estos elementos de medición para determinar las distintas magnitudes eléctricas²⁷.

Los tableros se clasifican en:

- El tablero principal, el cual opera toda la instalación eléctrica y cuenta con el interruptor principal. A este ingresa la línea principal y se encarga de distribuirlas a las demás líneas de corriente como así también a los distintos circuitos. Generalmente estos se

²⁷ <https://www.transelec.com.ar/soporte/18408/tableros-el-ctricos-sus-requerimientos-y-clasificaci-n/>

encuentran en una sala confeccionada para tal fin, para garantizar resguardo de las condiciones climáticas y de todo factor que pudiera ocasionar un perjuicio como así también una cercanía adecuada a los principales puntos de consumo.

- Los tableros seccionales operan circuito y esta alimentado por las líneas seccionales. Se encargan de distribuir la corriente a los distintos puntos de consumo, agrupados en sectores, los cuales están protegidos por fusibles o interruptores termomagnéticos seleccionados de acuerdo a la intensidad de corriente que circula. Se colocan en los sitios necesarios para poder accionar los comandos para la parada, arranque y manejo de los diferentes equipos en los que sea necesario (UNLP, 2020).

13.2.2 TOMACORRIENTE

Se denomina tomacorriente a la pieza cuya función es establecer una conexión eléctrica segura con un enchufe macho de función complementaria.

Generalmente se sitúa en la pared, de forma superficial o empotrada en la misma. Consta como mínimo de dos piezas metálicas que reciben a sus complementarias macho y permiten la circulación de la corriente eléctrica²⁸.

Los tomacorrientes que se destinan para oficinas y usos generales son calculados para 150 y 300 W, pero para la conexión de motores, estos son para 1000 W.

13.2.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA

Fusibles: son los dispositivos de protección más simples, y tienen la misión de evitar sobrecorrientes y cortocircuitos, Por lo general son hilos, o láminas de cobre o plomo que suelen ir protegidos en cápsulas aislantes. La finalidad del fusible es la de proporcionar un punto débil en el circuito, de menor sección que los hilos de las líneas de conexión de la instalación, que permita el corte de la línea gracias a la fusión por calor del hilo o lámina que forma el fusible.

Magnetotérmicos o PIAs: son también dispositivos de protección, aunque más sofisticados que los fusibles, Su misión es evitar sobrecorrientes y cortocircuitos en la instalación eléctrica. En este caso la interrupción de la corriente se produce al accionarse o dispararse un doble mecanismo (uno de tipo magnético y otro de tipo térmico).

Interruptores Diferenciales: son dispositivos de seguridad encargados de prevenir efectos perjudiciales para la salud de las personas o incendios cuando existen posibles corrientes de

²⁸ <https://www.construmatica.com/construpedia/Tomacorriente>

fugas (aquella que circula debido a un defecto de aislamiento o contacto eléctrico) a tierra en instalaciones eléctricas²⁹.

13.2.4 GENERADOR DE EMERGENCIA

Es una alternativa ante una situación de emergencia, ya que el mismo otorga la corriente de luz necesaria logrando el funcionamiento sin parada imprevista en los equipos indispensables del proceso productivo de la planta, como así en la administración y en laboratorio.

13.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La iluminación artificial tiene como objeto remplazar a la natural cuando esta falta o es escasa. La luz eléctrica es la más cómoda, limpia, segura o higiénica de los otros tipos de luz artificial; sin embargo, requiere de una correcta utilización en forma eficiente y económica.

En la determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación hay que tener en cuenta que los valores recomendados para cada tarea y entorno se basan en valoraciones subjetivas de los usuarios, como la comodidad visual, el rendimiento visual, y la sensación de bienestar. Por ello se debe buscar una solución de compromiso que consiga un ambiente de trabajo lo más adecuado posible para todos los usuarios y en distintas condiciones ambientales (ADRIAN, 2002).

13.3.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN REQUERIDO PARA CADA SECTOR

Los niveles mínimos de iluminación están dados por la ley 19.587 “Higiene y Seguridad en el trabajo” Decreto 4160. A continuación, se muestra una tabla donde se especifica la clase de visualización, los lux (unidad de medida de la iluminación) y ejemplos de tareas, según normas IRAM (seguridad, 2019).

Tabla 13.1: Determinación del nivel de iluminación

Fuente: www.ms.gba.gov.ar/sitios/pepst/files/2017/02/Decreto_351-79.pdf

Clase de tarea visual	Iluminación sobre el plan de trabajo (lux)	Ejemplo de tareas
Visión ocasional	100	Para permitir movimientos seguros por ej. en lugares de poco tránsito: Sala de calderas, depósito de

²⁹ <https://automatismointustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/a-instalaciones-de-enlace/3-1-elementos-de-proteccion/elementos-de-seguridad-y-proteccion/>

		materiales voluminosos y otros
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles	100 a 300	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medios	300 a 1500	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo.
Tareas severas y prolongadas con poco contraste	750 a 1500	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montajes e inspección; pintura extrafina, sopleteado, costura de ropa oscura.
Tareas severas con detalles minuciosos	1500 a 3000	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibrador, trabajo de molienda fina.
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	3000	Casos especiales, como por ejemplo: iluminación del campo operatorio en una sala de cirugía.

Como se menciona anteriormente, el nivel de iluminación se mide en lux y surge del cociente de flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada (m²). No solo se debe tener en cuenta la tarea a realizar, según lo expresado en la tabla, sino que además hay que considerar el espacio con el que se cuenta, para poder determinar la iluminación necesaria.

13.3.2 ADOPCIÓN DE TIPOS DE LUMINARIAS PARA ILUMINACIÓN

Para seleccionar el tipo de luminaria adecuada, se deben tener en cuenta distintos factores, como se menciona anteriormente uno de ellos es el espacio del sector a iluminar, la economía y eficiencia de la luz. Existen distintos tipos de iluminación, entre ellas:

Tipo (código)	Potencia normal (vatios)	Reproducción del color	Temperatura colorimétrica (K)	Vida útil (horas)
Lámparas fluorescentes de tamaño reducido (FS)	5–55	buena	2.700–5.000	5.000–10.000
Lámparas de mercurio de alta presión (OE)	80–750	correcta	3.300–3.800	20.000
Lámparas de sodio de alta presión (S-)	50–1.000	de incorrecta a buena	2.000–2.500	6.000–24.000
Lámparas incandescentes (I)	5–500	buena	2.700	1.000–3.000
Lámparas de inducción (XF)	23–85	buena	3.000–4.000	10.000–60.000
Lámparas de sodio de baja presión (LS)	26–180	color amarillo monocromático	1.800	16.000
Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión (HS)	12–100	buena	3.000	2.000–5.000
Lámparas de haluro metálico (M-)	35–2.000	de buena a excelente	3.000–5.000	6.000–20.000
Lámparas fluorescentes tubulares (FD)	4–100	de correcta a buena	2.700–6.500	10.000–15.000
Lámparas halógenas de tungsteno (HS)	100–2.000	buena	3.000	2.000–4.000

Figura 13.1: Tipo de luminaria

Fuente: www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+46.+Iluminaci%C3%B3n

Aunque actualmente la mayoría de estas se reemplaza por la luz LED ya que cumple la misma función y se ve un cambio en el factor económica debido al reducido consumo de energía y a la gran fiabilidad y durabilidad de las lámparas. A continuación, se detalla el tipo de iluminación para cada sector.

Tabla 13.2: Selección del tipo de lámpara

Fuente: Elaboración propia

Sector	Tipo de lámpara	Luminosidad (lm)	Potencia (W)
Zona de producción	Tubo LED Modelo LT0518-ARTELUM	1750	18
Zona de almacenamiento y despacho	Lámpara LED Modelo DAN-74326- ARTELUM	1400	20
Laboratorio	Tubo LED Modelo LT0518-ARTELUM ³⁰	1750	18

³⁰ <https://www.artelum.com.ar/productos-gral.asp#cat115>

Taller de mantenimiento	Tubo LED Modelo LT0518-ARTELUM	1750	18
Comedor	Luminaria LED Lutron Serie LOEN ³¹	2000	12
Baños y vestuarios	Luminaria LED Lutron Serie LOEN	2000	12
Oficinas	Luminaria LED Lutron Serie LOEN	2000	12
Exterior	Lámpara LED Modelo DAN-74335- ARTELUM	5000	70

13.3.3 DETERMINACIÓN DE LA LUMINARIA REQUERIDA

Para determinar la cantidad de lámparas requeridas para la iluminación interior se emplea un conjunto de ecuaciones, las cuales se especifican a continuación.

En primer lugar, se desea conocer el número de lámparas

$$n^{\circ} \text{ de lámparas} = \frac{E * S}{Fm * Fu * Il}$$

Donde:

E=nivel de iluminación (lux)

S=superficie del sector a iluminar (m²).

Fm=factor de mantenimiento.

Fu=factor de utilización.

³¹ <https://www.lutron.com.ar/#productos>

I_l = flujo luminoso de la lámpara (lumen)

El factor de utilización es la relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el flujo total que emiten las lámparas instaladas. Es un dato muy importante para el cálculo del alumbrado y depende de una diversidad de factores como el valor adecuado del nivel de iluminación, el sistema de alumbrado, las luminarias, las dimensiones del local, la reflexión (techos, paredes y suelo) y el factor de mantenimiento. En general, para su determinación, se utiliza el método de las reflectancias y existen, actualmente, muchas situaciones y valores tabulados según cada fabricante e incluso programas para usuarios. En este caso, se extraen de la tabla presentada a continuación:

Tabla 13.3: Factor de reflexión

Fuente: <https://www.ms.gba.gov.ar>

	Color	Factor de reflexión(ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0,70
	Claro	0,50
	Medio	0,30
Paredes	Claro	0,50
	Medio	0,30
	Oscuro	0,10
Suelo	Claro	0,30
	Oscuro	0,10

El factor de mantenimiento está relacionado con el ensuciamiento de la luminaria, lo cual provoca una disminución del flujo luminoso. En los alumbrados interiores que presentan una polución del ambiente reducida se recomienda utilizar un factor de mantenimiento de 90% para luminaria cerrada y 80% para abierta. En los alumbrados exteriores se utiliza un factor de 60% cuando la polución es importante, 70% cuando es moderada y 80% si es reducida. Se define el factor de utilización a la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. Es decir, brinda un rendimiento de las luminarias ubicadas en el sector analizado. Para determinar este factor es necesario conocer el índice del local, el factor de reflexión para el techo, paredes y suelo. El índice del local se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{a * b}{h * (a + b)}$$

Donde:

K=índice del local

A=largo de la superficie

B=ancho de la superficie

H=altura de las lámparas

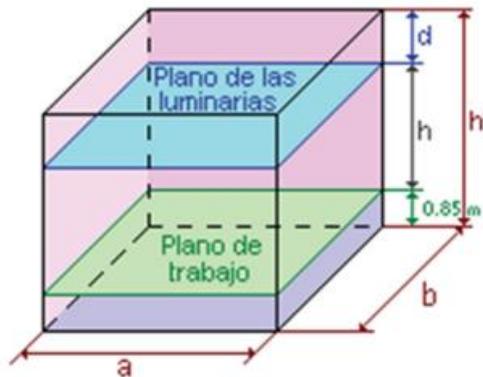


Figura 13.2: Medidas

Fuente: <https://www.insst.es>

A continuación, se presenta una tabla en donde se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

Tabla 13.4: Cantidad de lámparas

Fuente: Elaboración propia

Sector	E(lux)	S(m ²)	K	Fu	Fm	Lámpara (lm)	N° de lámparas calculadas	N° de lámparas adoptadas
Zona de producción	500	307	0.4	0.6	0.9	1750	162	162
Zona de almacenamiento y despacho	500	709	0.3	0.7	0.9	1400	400	400
Laboratorio	1500	18.77	0.7	0.6	0.9	1750	29.8	30
Taller de mantenimiento	700	88	0.6	0.6	0.9	1750	65	65

Comedor	150	40.3	0.7	0.6	0.9	2000	5.59	6
Baños y vestuarios	150	61.3	0.5	0.6	0.9	2000	8.5	9
Oficinas	500	117.7	0.6	0.6	0.9	2000	54.5	55

Iluminación exterior

El alumbrado exterior consiste en la colocación de proyectores LED alrededor de la nave industrial, en zonas cercanas a los límites del terreno adquirido del parque industrial.

13.4 CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para realizar este cálculo es necesario conocer la cantidad de horas por día que la luminaria funciona y la cantidad de Watts que consumen. Estos datos, se resumen en la tabla presentada a continuación.

Tabla 13.5: Consumo de electricidad

Fuente: Elaboración propia

Sector	N° de lámparas adoptadas	Potencia	Uso (h/día)	Consumo diario (kWh/día)	Consumo anual (kWh/año)
Zona de producción	162	18	24	121.5	41310
Zona de almacenamiento y despacho	400	20	12	666.7	226678
Laboratorio	30	18	16	33.8	11492
Taller de mantenimiento	65	18	16	73	24820
Comedor	6	12	12	6	2040

Baños y vestuarios	9	12	12	9	3060
Oficinas	55	12	8	82.5	28050
Total				992.5	337450

13.5 CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA

En la siguiente tabla se presenta un resumen del consumo de energía eléctrica en la planta de producción de ácido acético.

Tabla 13.6: Consumo global
Fuente: Elaboración propia

Tipo de consumo	Consumo diario (W)	Consumo mensual (W)
Equipos	227.1	6358.8
Iluminación	992.5	27790
Total	1219.6	34148.8

CAPÍTULO 14: ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

14.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe el procedimiento de organización de la empresa y los miembros que intervienen en ella. Las personas que forman parte, las cuales, deben trabajar de manera interrelacionada para administrar de forma óptima los recursos.

Una empresa es una unidad económico-social, integrada por elementos humanos, materiales y técnicos, que tiene el objetivo de obtener utilidades a través de su participación en el mercado de bienes y servicios. Para esto, hace uso de los factores productivos (trabajo, tierra y capital).

Se comienza por describir el tipo de sociedad, luego las diferentes áreas de la empresa, la función que cumple cada puesto y que persona desarrolla cada labor. Seguidamente se presenta un organigrama y se detallan los turnos de trabajo y la organización.

14.2 TIPO DE ORGANIZACIÓN

La Ley de Sociedades Comerciales 19.550 (LSC) de la República Argentina contempla una gran variedad de tipos societarios, pero en nuestro país las más frecuentes son, las Sociedades Anónimas (S.A.) y las Sociedades de Responsabilidad Limitada (S.R.L.).

Para el presente proyecto se decide optar por la sociedad anónima ya que en donde la responsabilidad de cada socio o accionista es proporcional al capital que haya aportado. Esto hace que este tipo de sociedad represente una seguridad financiera bastante alta respecto de las demás, debido a que sus socios deberán responder, como máximo, con el capital aportado. Para su conformación se requiere un mínimo de dos accionistas, siendo el máximo ilimitado. Las acciones pueden cotizar, o no, en el mercado de valores local. El directorio está conformado por uno o más miembros, que pueden ser o no accionistas.

14.3 DISTRIBUCIÓN JERÁRQUICA

Para la organización interna de dicha empresa se decide trabajar con departamentos, los cuales se crean en función de las actividades a realizar. Cada uno de ellos posee un jefe que responde a la gerencia general. En la figura 14-1 se representa el organigrama.

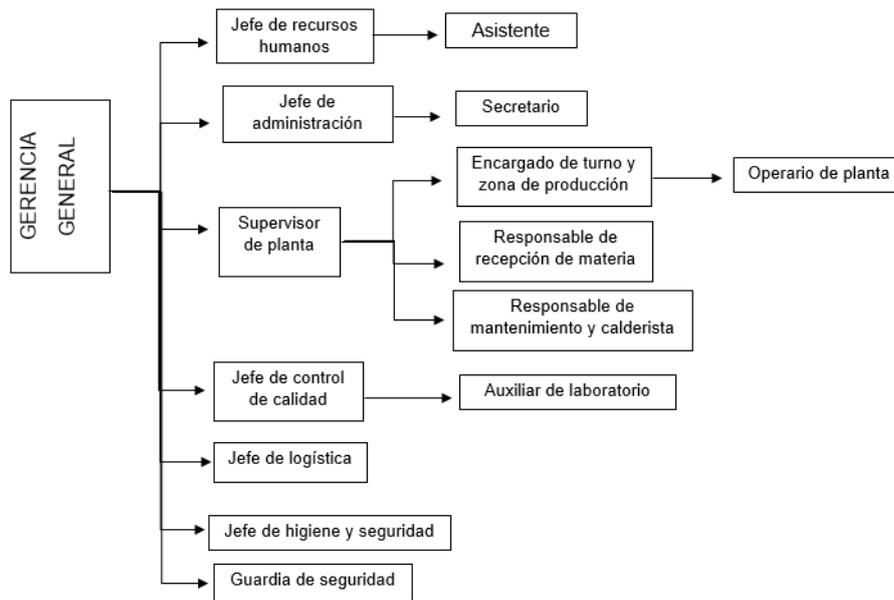


Figura 14.1: Organigrama

Fuente: Elaboración propia

14.4 PERSONAL NECESARIO

Para que la planta funcione de manera adecuada, en la tabla a continuación se muestra la cantidad de personal que se necesita por área y el grado de especialización de acuerdo a la tarea a realizar.

Tabla 14.1: Personal necesario

Fuente: Elaboración propia

Sector	Puesto	Nº de personal	Nº total	Especialización
Gerencia	Gerente general	1	1	Ingeniero químico
Producción	Supervisor	1	1	Ingenieros químicos
	Encargado de turno y producción	1 por turno	4	Ingeniero o Técnico químico
	Ayudante de producción	1 por turno	4	Técnico químico

	Recepción de materia prima	1	1	Secundario completo + capacitaciones
	Mantenimiento y calderista	1 por turno	4	Ingeniero mecánico
Calidad	Jefe de calidad	1	1	Ingeniero químico
	Ayudante de laboratorio	1 por turno	4	Técnico o ingeniero químico
Logística	Jefe de logística	1	1	Licenciado o técnico en logística
Administración	Jefe de administración	1	1	Contador
	Secretario	2	2	Secundario completo
Recursos humanos	Jefe de recursos humanos	1	1	Licenciado en recursos humanos
	Asistente	1	1	Secundario completo
Seguridad	Guardia	1 por turno	4	Secundario completo
Higiene	Personal de limpieza	2	2	Secundario completo
TOTAL DE EMPLEADOS: 32				

14.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

A continuación, se detalla la tarea que realiza cada área dentro de la empresa.

14.5.1 GERENCIA

El gerente general es la máxima autoridad de la empresa. Su función principal es transmitir y hacer cumplir los objetivos planificados. Además, se encarga de representar legalmente a la

empresa, decide sobre la ejecución de los proyectos, dispone de la capacidad operativa, controla los costos y rentabilidad, decide sobre políticas de calidad y recursos humanos.

14.5.2 PRODUCCIÓN

Supervisor

Se encarga de coordinar la labor del personal de los distintos turnos, así como también, de dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Establece prioridades, controla que cada empleado realice su trabajo y ayuda a optimizar el trabajo.

Encargado de turno y producción

Es el responsable de respetar las normas de calidad y seguridad con el fin de obtener el producto deseado. Dicha persona debe contar con la capacidad para manejar las materias primas que van a ingresar a la zona de producción, además de los controles estrictos sobre los paneles de control. Y tiene a cargo un operario.

Operario de producción

Se encarga de colaborar y seguir instrucciones del encargado de turno. Controla parámetros.

Recepción de materia prima

El operario encargado de la recepción de materia prima debe controlar que los parámetros de cada tanque sean los adecuados para que dichos componentes lleguen de manera óptima a la zona de producción. Además, coordina la descarga de estos a la planta.

Mantenimiento y calderista

El operario de la sala de calderas tendrá una función especial de controlar los parámetros de las calderas, conocer sobre sus funcionamientos óptimos y desviaciones, y actuar con serenidad en caso de alguna variación en los parámetros o fallas de los equipos antes mencionados. Además, deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc.

14.5.3 CALIDAD

Jefe de calidad

Su tarea principal consiste en definir la metodología para el control de los parámetros de calidad en la materia prima, en proceso, y en el producto terminado. También se encarga de

organizar las tareas del laboratorio, realizar informes sobre los resultados obtenidos y de organizar y supervisar las tareas desarrolladas por sus subordinados.

Auxiliar de laboratorio

Debe llevar a cabo los análisis sobre la materia prima, el producto en el proceso y el producto terminado. Conjuntamente deberá registrar e informar a sus superiores los resultados obtenidos y las desviaciones de los parámetros.

14.5.4 LOGÍSTICA

Jefe de logística

Se encarga de coordinar las entregas, herramientas, servicios y transporte del producto. Además, planifica, desarrolla y aplica procedimientos de almacenaje y de transporte. Por último, prepara el transporte, pesa el producto final y desarrolla tareas de carga del producto final.

14.5.5 ADMINISTRACIÓN

Jefe de administración

Se encarga de la supervisión y control del área administrativa y de la revisión y aprobación del balance contable mensual y anual.

Secretario

Tiene como función colaborar con sus superiores en el área de administración. Además, se encarga de recibir a los proveedores, comprar insumos, pedir cotizaciones y atender al cliente.

14.5.6 RECURSOS HUMANOS

Jefe de recursos humanos

Debe tener ciertas características que le permitan dirigir a la plantilla de personal de la empresa. Entre ellas se encuentran, la organización del personal, la selección del personal y la evaluación del desempeño y control de este.

Asistente de recursos humanos

Debe realizar las tareas acorde a lo que determine su superior.

14.5.7 SEGURIDAD

Su función es la de permitir o no el ingreso y el egreso de los empleados, vehículos y visitas a la planta como así también los camiones de proveen las materias primas y los que despachan el producto terminado.

14.5.8 HIGIENE

Es el encargado de mantener limpio los espacios compartidos principalmente como lo son, comedor, vestuarios, oficinas, laboratorios.

14.6 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LOS TURNOS

Como se menciona en capítulos anteriores, se toman 340 días de trabajo ya que el resto de los días del año no se cuentan, ya que puede haber alguna para parada imprevista o por mantenimiento.

Cabe destacar que el personal de higiene, de administración y recursos humanos realiza horario central, mientras que el resto de los empleados realiza horarios rotativos. A continuación, se aclara el horario para cada caso.

- Personal que trabaja con horario fijo (mañana y tarde), trabaja de lunes a viernes de 8:00 a 12:00 h. y 14:00 a 18:00 h. Tienen 30 minutos para desayunar, merendar o descansar.
- Personal que trabaja con horarios rotativos, cuentan con seis días de trabajo y dos de descanso. Sus horarios son:
 - ✓ Turno mañana: de 4:00 a 12:00.
 - ✓ Turno tarde: de 12:00 a 20:00.
 - ✓ Turno noche: de 20:00 a 4:00.

Todos cuentan con 30 minutos para desayunar, merendar o descansar.

El personal que rota forma cuatro grupos (1,2,3,4); los cuales trabajan dos noches, dos tardes, y finalmente dos mañanas. Luego de la última mañana, el personal tiene dos días de descanso, comenzando a las doce del mediodía y reincorporándose dos días después por la noche.

En el siguiente cuadro se presenta la disposición de turnos de operación de la planta para operarios de modo de cumplir con la jornada de trabajo rotativa.

Tabla 14.2: Rotación de los empleados
Fuente: Elaboración propia

Esquema de rotación de los empleados								
Semanas	Turnos	Grupo de trabajo						
		L	M	M	J	V	S	D
1	Noche (N)	1	1	2	2	3	3	4
	Tarde (T)	4	4	1	1	2	2	3
	Mañana (M)	3	3	4	4	1	1	2
2	Noche (N)	4	1	1	2	2	3	3
	Tarde (T)	3	4	4	1	1	2	2
	Mañana(M)	2	3	3	4	4	1	1
3	Noche(N)	4	4	1	1	2	2	3
	Tarde (T)	3	3	4	4	1	1	2
	Mañana(M)	2	2	3	3	4	4	1
4	Noche(N)	3	4	4	1	1	2	2
	Tarde (T)	2	3	3	4	4	1	1
	Mañana(M)	1	2	2	3	3	4	4
5	Noche(N)	3	3	4	4	1	1	2
	Tarde (T)	2	2	3	3	4	4	1
	Mañana(M)	1	1	2	2	3	3	4
6	Noche(N)	2	3	3	4	4	1	1
	Tarde (T)	1	2	2	3	3	4	4
	Mañana(M)	4	1	1	2	2	3	3
7	Noche (N)	2	2	3	3	4	4	1
	Tarde (T)	1	1	2	2	3	3	4
	Mañana (M)	4	4	1	1	2	2	3
8	Noche (N)	1	2	2	3	3	4	4
	Tarde (T)	4	1	1	2	2	3	3
	Mañana(M)	3	4	4	1	1	2	2

CAPÍTULO 15: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

15.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación económica financiera es un método de 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.

En este capítulo se detalla la información de carácter monetaria de todas las partes del proceso. Se calculan la inversión, los costos totales y se muestran los ingresos estipulados por la venta del producto.

Se realiza una evaluación económica del proyecto, basada en dos parámetros principales: 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 indica el tiempo en que se recupera 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 los principales puntos del análisis y su efecto en los parámetros.

Se considera un volumen de producción a lo largo de 20 años, detallado en el capítulo 5 de este proyecto, y una relación de cambio respecto al dólar de 107 ARS/USD.

15.2 INVERSIÓN

Se entiende por inversión al conjunto de mecanismos de ahorro, ubicación de capitales y postergación del consumo, con el objetivo de obtener un beneficio (Etecé, 2021). Se compone de activos fijos, nominales y capital de trabajo. Cada uno de estos aspectos se analiza a continuación.

15.2.1 ACTIVOS FIJOS

Las inversiones en activos fijos corresponden a todas aquellas adquisiciones que se efectúan en bienes materiales que se emplearán en el proceso productivo, o bien, que se utilizarán como apoyo para la operación normal de la iniciativa. Los activos fijos, o bienes tangibles, se refieren a todos aquellos utilizados en el proceso de transformación de insumos o apoyos a la operación y están compuestos por bienes muebles o inmuebles; sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa de su uso, lo que influye en el resultado de la evaluación (IPLACEX, 2021).

En la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 03/01/2022 del Banco de la Nación Argentina fue de \$107.
- 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 y los bienes de capital un 10,5%.
- En la estimación del costo del flete, se supone un valor del 1%.

Se distinguen:

Terreno y obras civiles

En la tabla siguiente 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 Fe³².

Tabla 15.1: Terrenos y obras civiles

Fuente: Elaboración propia

Rubro	Superficie (m ²)	Monto (\$/m ²)	Total (\$)
Terreno	5000	10165	50825000
Estacionamiento	282	20000	5640000
Sala guardia	18	40000	720000
Comedor	40.3	65.676,95	2646783
Vestuarios y baños	61.3	65.676,95	4026000
Sala de reunión/ oficinas	117.7	65.676,95	7730183
Laboratorio	18.77	65.676,95	1232757
Sala de mantenimiento	74.4	16500	1227600
Sala de caldera	45	16500	742500
Sector de torres de enfriamiento	132	3617	477444
Zona de almacenamiento	709	4500	3190500
Zona de reacción	85	46000	3910000
Zona de purificación	45	4500	202500
Total sin IVA			82571267
Total con IVA			99911233

³² <http://www.estadisticasantafe.gov.ar/wp-content/uploads/sites/24/2021/12/CCSF-1121.pdf>

Equipos industriales, auxiliares y accesorios

En la tabla a continuación 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 15.2: Equipos y accesorios

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Cantidad	Costo total (\$)	Flete (\$)	Precio final (\$)
Proceso				
Tanque T-100	5	11608715	116087	11724802
Bomba P-01	2	689000	6890	695890
Tanque T-200	1	79800	798	80598
Bomba P-02	2	689000	6890	695890
Tanque T-300	7	177248750	1772488	179021238
Compresor K-01	1	3500000	35000	3535000
Tanque T-400	5	13468750	134688	13603438
Bomba P-04/05/06	4	108000	1080	109080
Bomba P-03	2	18843162	188432	19031594
Reactor R-01	1	50000000	500000	50500000
Intercambiador de calor E-01/04	2	4184000	41840	4225840
Separador flash S-01	1	2321743	23217	2344960
Torre de destilación C-01	1	22953944	229539	23183483
Elementos de control automático				

Sensor de temperatura TT-01	1	121000	1210	122210
Sensor de presión PT-01/02/03/04	4	560000	5600	565600
Sensor de nivel LT-01	1	132000	1320	133320
Switch de nivel LSL-01/02	2	284000	2840	286840
Caudalímetro FT-01/02/03	3	2100000	21000	2121000
Variador de frecuencia VF-01	1	37000	370	37370
Motor AM-01	1	30000	300	30300
Reductor MR-01	1	47300	473	47773
Válvula modulante para gases CV-03/04	2	60000	600	60600
Válvula modulante para líquidos CV-01/02	2	9000	90	9090
Válvula de asiento CV-05	1	10800	108	10908
Servicios auxiliares				
Ablandador A-01	1	142028	1420	143448
Caldera SG-01	1	7948718	79487	8028205
Torre de enfriamiento CT-01/02/03	3	4350000	43500	4393500

Tanque cisterna	2	1588880	15889	1604769
Bomba P-07	1	265313	2653	267966
Bomba P-08	1	121900	1219	123119
Bomba P-09	1	71000	710	71710
Bomba P-10	1	33390	334	33724
Bomba P-11	2	56000	560	56560
Tuberías y accesorios	1	5778536	57785	5836321
Total equipos				329413729
Total IVA				34934326
Total flete				3294137

Muebles y útiles

Se presentan, en la tabla siguiente, 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 15.3: Mobiliarios

Fuente: Elaboración propia

Mobiliario	Cantidad	Precio unitario (\$/u)	Precio final (\$)
Escritorio	9	8500	76500
Silla	36	4700	169200
Computadora	9	50000	450000
Calefactor	8	15500	124000
Aire acondicionado	5	47000	235000
Mesa de comedor	1	12000	12000
Mesa de sala de conferencia	1	32000	32000
Microondas	1	16000	16000

Alacena	1	8000	8000
Heladera	1	50000	50000
Pava eléctrica	2	3200	6400
Armario	4	37000	148000
Archivero	4	18000	72000
Impresora	5	8000	40000
Casilleros	3	72000	216000
Total de muebles y útiles			1650100
Total IVA			346521
Total flete			16501

Resumen de activos fijos

A continuación, se resumen los montos de cada categoría de los activos fijos y el porcentaje que ese activo representa en el total de la inversión de bienes.

Tabla 15.4: Resumen de activos fijos

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Terreno y obras civiles	82571267	19.8
Equipos y accesorios	329413729	79
Muebles y útiles	1650100	0.4
Flete	3310638	0.8
Total	416945734	100

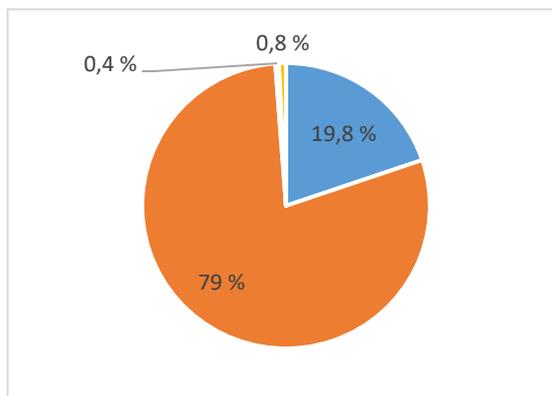


Figura 15.1: Resumen de porcentajes de activos fijos

Fuente: Elaboración propia

Según la imagen anterior, casi el 80% de los activos fijos corresponden a los equipos y accesorios, aproximadamente el 20% representa a los terrenos y obras civiles, mientras que los muebles, útiles y flete, no influyen considerablemente en la inversión de los activos fijos.

15.2.2 ACTIVOS NOMINALES

Son aquellos desembolsos realizados en activos intangibles necesarios para la operación y puesta en marcha del proyecto. Los mismos son gastos que no son susceptibles de ser recuperados por la empresa, pero que deben ser amortizados durante el período correspondiente (IPLACEX, 2021).

En el cálculo de estos activos, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- 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.
- Seguros: se estima un 3% del total de los activos fijos

En la tabla a continuación, se detallan los montos sin IVA, y en la figura se representan el porcentaje de este activo en la inversión total de bienes.

Tabla 15.5: Activos nominales

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Planificación y supervisión del proyecto	23364113	8
Capacitaciones	12345391	4.2
Automatización	37976675	13
Puesta en marcha	10827298	3.4
Montaje de equipos	189883377	65
Seguros	14018468	4.8
Otros imprevistos	4672823	1.6
Total	293088145	100

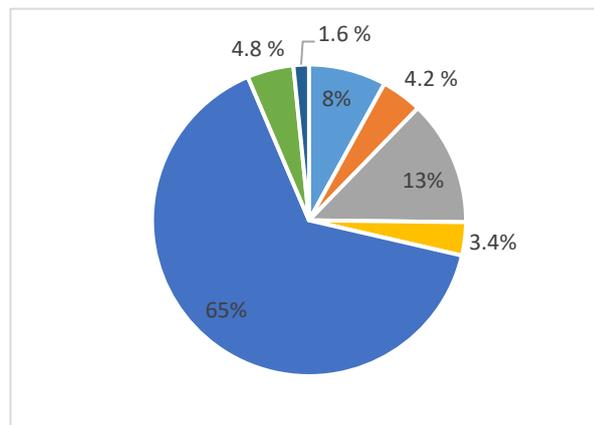


Figura 15.2: Resumen de porcentajes de activos nominales

Fuente: Elaboración propia

15.2.3 CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo se define como aquel gasto necesario para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo, para una capacidad y tamaño determinados. Se entiende como los primeros desembolsos con los cuales se cancelan los insumos iniciales para producir los productos o servicios que se consumirán en el primer ciclo de trabajo.

El mismo se encuentra relacionado con los niveles de producción; por lo tanto, si el nivel de producción aumenta, también lo hace el capital de trabajo (IPLACEX, 2021).

Para estimar el capital de trabajo necesario se consideran 24 días de trabajo al mes.

Tabla 15.6: Capital de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Capital de trabajo	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Materia prima e insumos	797523424	93.8
Mano de obra directa	17817020	2.1
Mano de obra indirecta	26172942	3
Servicios	8597395	1.1
Total	850110781	100

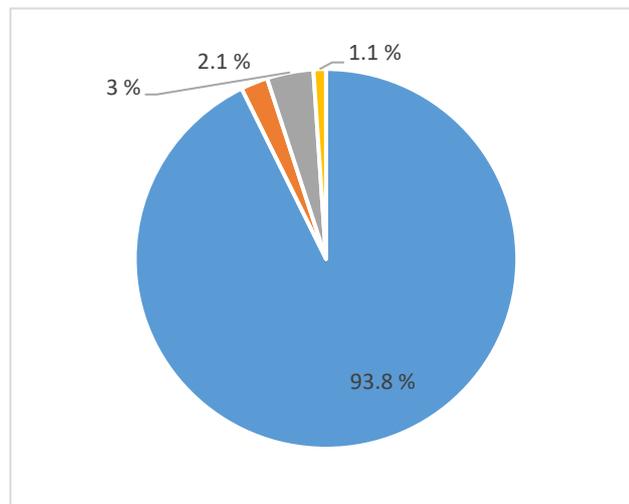


Figura 15.3: Resumen porcentajes capital de trabajo

Fuente: Elaboración propia

15.2.4 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 se representan estos resultados y en la figura la participación de cada rubro.

Tabla 15.7: Inversión total del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Activos fijos	416945734	26.7
Activos nominales	293088145	18.8

Capital de trabajo	850110781	54.5
Total	1560144660	100

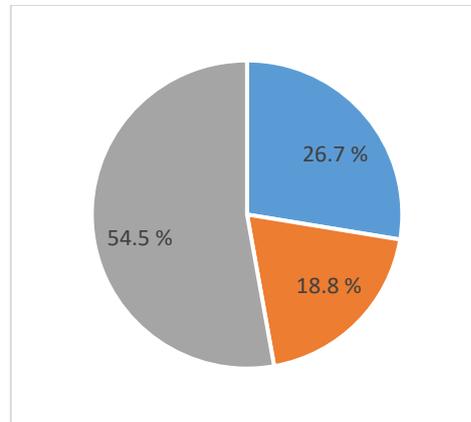


Figura 15.4: Resumen de porcentajes de inversión total

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura anterior, el capital de trabajo resulta el valor más significativo de la inversión, representando un poco más del 50%, en menor medida los activos fijos representando un 26.7 % y los activos nominales un 18.8 %.

15.3 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. Corresponden a aquellos desembolsos relacionados con la fabricación o elaboración del producto o servicio. 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.

15.3.1 COSTOS VARIABLES O DIRECTOS

Los costos directos son aquellos que están relacionados directamente con la fabricación de un producto determinado, por lo que, afecta claramente sobre el precio del mismo. Dentro de este grupo se encuentran:

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 consideran el iridio y el rutenio que se emplean como catalizador y promotor, ambos se importan, y el agua, que se extrae del parque industrial.

Se considera un flete del 1% del valor de la materia prima. En la tabla siguiente se representan estos costos para el primer año del proyecto.

Tabla 15.8: Costos de materias primas e insumos

Fuente: Elaboración propia

Materia prima/insumo	Cantidad (t/año)	Precio (\$/t o \$/m ³)	Flete (\$)	Costo (\$)
Metanol	14137	37032.1	370	533992182
Monóxido de carbono	13594	14000	140	194122460
Agua	584	5.38	0	3232
Iridio	3	10700000	107000	36396050
Rutenio	6	5350000	53500	33009500
Total con flete				797523424

Servicios auxiliares

La planta cuenta con servicio de gas natural, electricidad y 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. 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 siguiente se muestra el consumo anual y los costos de todos estos servicios.

Tabla 15.9: Costos de servicios

Fuente: Elaboración propia

Servicio	Consumo anual	Unidad	Costo unitario (\$/kWh o \$/m ³)	Costo total (\$)
Energía eléctrica ³³	1297440	KWh	6.31	8186846.4
Gas natural	201960	m ³	1.16	234273.6
Agua de red	32764.8	m ³	5.38	176274.6
Total				8597395

Mano de obra directa

Los costos de mano de obra directa están relacionados directamente al proceso y varían en función del volumen de producción, se refieren al gasto en sueldos generado por obreros y operarios quienes tienen relación directa con la producción. En la siguiente tabla, se presentan los costos según el cargo del personal. Los días de trabajo anual considerados para el cálculo son 340.

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 2021³⁴.

Tabla 15.10: Costos de mano de obra directa

Fuente: Elaboración propia

Sector	Cargo	Nº	Jornada por hora (\$)	Jornal anual (\$)	Aguinaldo (\$)	Carga social (\$)	Gasto total anual (\$)
Producción	Supervisor	1	450	1224000	102000	596700	1922700
	Encargado de turno y producción	4	380	4134400	344533	2015520	6494453

³³https://www.epe.santafe.gov.ar/fileadmin/archivos/Comercial/Clientes/Cuadro_Tarifario_Diciembre_2021.PDF

³⁴ <http://www.festiqypra.com.ar/wp-content/uploads/FESTIQyPRA-Santa-Fe-Grilla-Paritarias-2021-2022-1.pdf>

	Operario	4	350	3808000	317333	1856400	5981733
	Recepción de materia prima	1	350	952000	79333	464100	1495433
Calidad	Jefe de calidad	1	450	1224000	102000	596700	1922700
Total							17817020

Resumen de costos variables o directos

En la tabla se especifican los costos directos de producción a lo largo de un año, y en la figura se muestra la composición porcentual correspondiente.

Tabla 15.11: Resumen de costos variables o directos

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Materia prima e insumos	797523424	96.8
Servicios auxiliares	8597395	1
Mano de obra directa	17817020	2.2
Total	823937839	100

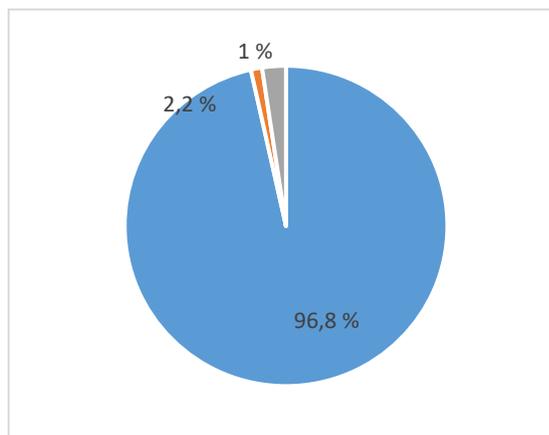


Figura 15.5: Resumen de porcentajes de costos variables o directos

Fuente: Elaboración propia

Según la figura, casi la totalidad de los costos variables corresponden a las materias primas e insumos, mientras que, los servicios auxiliares y la mano de obra directa no representan valores significativos.

15.3.2 COSTOS FIJOS O INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que no se relacionan directamente con el proceso productivo, pero que influyen en éste. Dentro de este grupo se encuentran:

Mano de obra indirecta

La mano de obra indirecta hace referencia a aquellos empleados que no trabajan directamente en la sección de producción. Para el gasto total anual se consideran 13 meses, donde se incluye el aguinaldo. El detalle se representa en la siguiente tabla.

Tabla 15.12: Costos de mano de obra indirecta

Fuente: Elaboración propia

Cargo	N°	Sueldo (\$/mes)	Remuneración anual (\$)	Aguinaldo (\$)	Carga social (\$)	Gasto total anual (\$)
Gerente	1	95000	1140000	95000	555750	1790750
Jefe de logística	1	79771	957252	79771	466660	1503683
Jefe de administración	1	79771	957252	79771	466660	1503683
Secretario	2	59844	1436256	119688	700174	2256118
Jefe de recursos humanos	1	79771	957252	79771	466660	1503683
Asistente	1	59844	718128	59844	350087	1128059
Guardia	4	58000	2784000	232000	1357200	4373200
Personal de limpieza	2	52520	1260480	105040	614484	1980004
Analista de laboratorio	4	61440	2949120	245760	1437696	4632576
Mantenimiento y calderista	4	72960	3502080	291840	1707264	5501184
Total						26172942

Seguros e impuestos

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 años³⁵. En cuanto a los seguros, se estima un 1% de la inversión en activos fijos, obteniendo así, un valor de 4169457.3 pesos.

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 825712.7 pesos.

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 3294137.3 pesos.

Gastos de administración y comercialización

Los gastos de comercialización y administración se estiman como el 0,1% y 0,5% del costo total anual de producción, representando un valor de 792558 y 3962791 para el primer año.

Financiación de proyecto

Para poder llevar a cabo el proyecto se debe realizar una inversión inicial de una suma de gran valor, como se detalla en este capítulo. Para esto se recurre a un crédito, el cual tiene un costo financiero, materializado como intereses. Para llevar a cabo esta operación es necesario definir un sistema de amortización financiera, que consiste en reembolsar de forma gradual la deuda contraída, de forma que las cuotas se componen de dos conceptos: principal e intereses³⁶. Existen diferentes tipos de sistemas de amortización, entre los más conocidos se encuentran:

Sistema de amortización francés: fija una cuota única y establece que el principal sea creciente y los intereses decrecientes. Es por esto que en los primeros años se pagan más intereses que principal y con el transcurso del tiempo lo contrario. La ventaja es que durante todo el préstamo se paga la misma cantidad.

³⁵ <https://www.pisanlorenzo.com/page/ventajas>

³⁶ <https://inmogesco.com/blog/tipos-de-amortizacion/>

Sistema de amortización alemán: el pago del principal es constante, de forma que lo que varía son los intereses generados. De esta forma, las primeras cuotas serán más exigentes, pero con el tiempo se aligeran, porque la cantidad de principal que queda pendiente de liquidar es menor.

La tasa de interés que informan las entidades, llamada Tasa de Interés Nominal Anual (TNA), se expresa de manera anual y en porcentaje.

Para este proyecto, el capital disponible para la inversión es aportado por un crédito del Banco Nación con una TNA de 24% y sistema de amortización francés.

La cuota, denominada anualidad, en el sistema de amortización francés, se calcula mediante una equivalencia financiera. De esta forma, lo que el banco entrega es el préstamo solicitado y lo que se devuelve son las cuotas constantes. De esa ecuación inicial se despeja la anualidad (Enrique Rus Arias, 2020).

$$a = C_o * \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

a: cuota periódica constante

Co: capital prestado

i: tipo de interés anual del préstamo

n: número de períodos

En la tabla se detallan las características del préstamo solicitado.

Tabla 15.13: Características del crédito

Fuente: Elaboración propia

Monto del crédito	1760467062.2
TNA	24%
Número de cuotas	120
Sistema de amortización	Francés

Tabla 15.14: Costos anuales

Fuente: Elaboración propia

Cuota	Intereses (\$)	Pagos anuales (\$)
1	422512095	525151069
2	409159814	523665628

3	392602986	521823681
4	372072518	519539666
5	346614739	516707488
6	315047093	513195588
7	275903212	508840831
8	227364798	503440932
9	167177167	496745058
10	925445023	488442174

Depreciaciones y amortizaciones

La depreciación es la disminución del valor que experimentan los bienes de un 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 es la reducción en el valor de los activos para reflejar en el sistema de contabilidad cambios en el precio del mercado u otras reducciones de valor. Estas se aplican a los activos fijos intangibles y representan el proceso financiero mediante el cual se extingue, gradualmente, una deuda por medio de pagos periódicos³⁷.

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 (veinte 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.

³⁷ <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12238/Capitulo4.pdf>

Tabla 15.15: Costos de depreciaciones y amortizaciones

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Inversión (\$)	Tasa (%)	Depreciación anual (\$)
Terreno	50825000	2	1016500
Obras civiles	31746267	10	3174627
Equipos y accesorios	329413729	5	16470686
Muebles y útiles	1650100	20	330020
Total			26027136

Resumen de costos indirectos de producción

En la tabla siguiente se resumen los costos indirectos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 15.16: Resumen de costos indirectos

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Mano de obra indirecta	26172942	40.1
Seguros e impuestos	4169457.3	6.4
Servicio de limpieza	825712.7	1.3
Mantenimiento	3294137.3	5
Gastos de administración y comercialización	4755349	7.3
Depreciación y amortización	26027136	39.9
Total	65244733	100

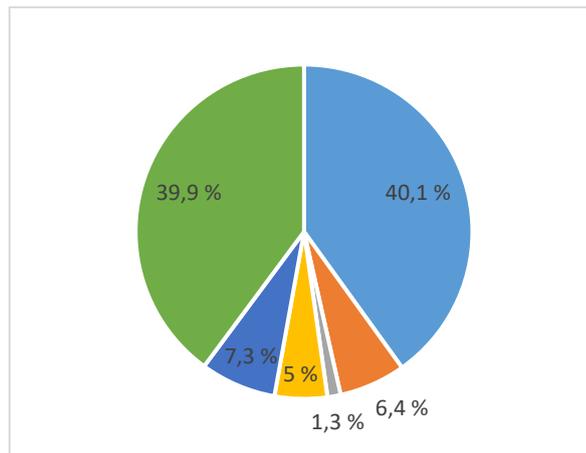


Figura 15.6: Resumen de costos indirectos de producción

Fuente: Elaboración propia

15.3.3 COSTO DE PRODUCCIÓN UNITARIO PARA EL ÁCIDO ACÉTICO

El costo unitario es el valor monetario de producir un bien o un servicio. Se calcula como el costo de producir todos los bienes entre el número de bienes producidos.

Es fundamental en los negocios saber cuánto es el costo unitario de lo que cuesta producir un bien, porque eso repercute directamente en el precio del producto final y probablemente, en la decisión del cliente en adquirirlo (Nirian, 2019).

Se calcula según la ecuación que se presenta a continuación:

$$C_u = \frac{C_t}{U}$$

Donde:

C_u = Costo unitario total (\$/t).

C_T = Costo total de producción (incluye costo fijo anual (\$) y costo variable anual (\$)).

U = Cantidad anual producida (t).

En la tabla siguiente se presenta el costo total de producción y los costos unitarios para el ácido acético en los años considerados

Tabla 15.17: Costo unitario del ácido acético

Fuente: Elaboración propia

Año	Costo total de producción (\$)	Volumen de producción (t/año)	Costo unitario (\$/t)
1	792558181	23427.4	33830.4
2	800610966	23802.2	33636
3	811970760	24183	33576
4	823512311	24570	33517
5	835238527	24963	33459
6	847152362	25362.5	33401.7
7	859256818	25768.3	33345.5
8	871554946	26180.6	33290.1
9	884049843	26599.5	33235.6
10	896974659	27025.1	33181.9
11	896974659	27025.1	33181.9
12	896974659	27025.1	33181.9
13	896974659	27025.1	33181.9
14	896974659	27025.1	33181.9
15	896974659	27025.1	33181.9
16	896974659	27025.1	33181.9
17	896974659	27025.1	33181.9
18	896974659	27025.1	33181.9
19	896974659	27025.1	33181.9
20	896974659	27025.1	33181.9

15.4 INGRESOS POR VENTAS

El ingreso por ventas hace referencia al dinero que se recibe por la entrega de bienes o servicios que son objeto del tráfico de la empresa. En base a la información recopilada en el capítulo tres, el precio de venta del producto se define en 149.8 \$/kg. Este valor se considera constante a lo largo del período de tiempo considerado en este proyecto (20 años).

Tabla 15.18: Ingresos por ventas

Fuente: Elaboración propia

Ácido acético (t/año)	Precio unitario (\$/t)	Ingreso anual (\$)
23427	149800	3509424520

15.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Para realizar nuevas inversiones se necesita conocer de antemano las posibilidades de éxito, la rentabilidad, los beneficios y la viabilidad del proyecto que se pretende iniciar. Para ello existen dos indicadores financieros: el VAN y el TIR, que permiten analizar, de una forma segura, el posible proyecto de inversión.

Su mayor diferencia radica en que mientras que el VAN calcula la rentabilidad de la inversión y arroja sus resultados en términos de unidades de valor monetario, el TIR realiza el análisis de esa misma rentabilidad, pero expresando sus resultados en términos relativos, en forma de porcentaje.

Otra diferencia, es que el VAN toma en cuenta el vencimiento de los flujos de caja, dando prioridad a los más próximos para evitar arriesgar la inversión, mientras que la TIR no lo hace. La TIR no considera reinvertir los flujos de caja cada cierto tiempo. El VAN permite comparar entre diferentes proyectos para determinar cuál es la mejor inversión. La TIR dice a qué tasa y en qué tiempo la empresa recuperará su inversión sin comparar entre proyectos³⁸.

15.5.1 ESTADO DE RESULTADOS

Es una herramienta de gestión que permite mostrar la performance de una empresa, como así también explicar en forma detallada las causas que generaron su variación patrimonial en un ejercicio contable. Brinda de manera detallada los ingresos y gastos que ha tenido una empresa durante un período determinado. A partir de esa información, se obtiene la utilidad o pérdida neta del periodo, la cual permitirá tomar decisiones sobre la compañía. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Utilidad neta} = \text{ingresos} - \text{gastos}$$

³⁸ <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

Existen algunos conceptos del estado de resultados que es conveniente conocer para comprenderlo (Nuño, 2017), como son:

- Ingreso por ventas: primer dato de cualquier estado de resultados. Se refiere a los ingresos totales percibidos por las ventas realizadas en ese período concreto.
- Costo de ventas: se refiere a cuánto le costó a la empresa el artículo que vende
- Utilidad bruta: diferencia entre ventas y coste de ventas, indicando qué gana la empresa, en bruto, con el producto vendido.
- Gastos de operación: gastos involucrados directamente en el funcionamiento de la empresa.
- Utilidad sobre flujo: ganancias de la empresa sin tener en cuenta gastos financieros, impuestos y otros gastos contables.
- Depreciaciones y amortizaciones: importes que disminuyen el valor contable de los bienes tangibles que se utilizan en la empresa para llevar a cabo sus operaciones.
- Utilidad operativa: diferencia entre la utilidad sobre flujo y el montante de las depreciaciones y amortizaciones, indicando la ganancia o pérdida de la empresa en función de sus actividades productivas.
- Gastos y productos financieros: gastos e ingresos no relacionados directamente con la operación principal de la empresa. Se refiere, normalmente, a importes referentes a bancos: pago de intereses, por ejemplo.
- Utilidad antes de impuestos: pérdida o ganancia tras cubrir obligaciones operacionales y financieras.
- Impuestos: importe que paga la empresa al Estado según su desempeño.
- Utilidad neta: última cuenta del estado de resultados, que refleja la ganancia o pérdida final tras gastos operativos, financieros e impuestos.

En la siguiente tabla se detalla el estado de resultados con cada uno de sus componentes para el período de actividad del proyecto, hasta el año diez, a partir de este año los resultados se mantienen constantes. En figura se representan los flujos netos efectivos y su evolución.

Tabla 15.19: Resultados

Fuente: Elaboración propia

Ejercicios	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas netas	3509424520	3565575312	3622624517	3680586510	3739475894
Costo de producción	792558181	800610966	811970760	823512311	835238527

respecto de lo vendido					
RESULTADO OPERATIVO	2716866339	2764964346	2810653757	2857074199	2904237367
Gastos de administración	3962791	4003055	4059854	4117562	4176193
Gastos de comercialización	792558	800611	811971	823512	835239
Gastos de financiación	525151069	523665628	521823681	519539666	516707489
Depreciación-amortización	26027136	26027136	26027136	26027136	26027136
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTOS	2160932785	2210467917	2257931116	2306566323	2356491312
Depreciación-amortización	26027136	26027136	26027136	26027136	26027136
Impuesto a las ganancias	765435972	782773268	799385388	816407710	833881457
FLUJO NETO DE EFECTIVO	1421523948	1453721784	1484572863	1516185748	1548636991

Ejercicios	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas netas	3799307508	3860096428	3921857971	3984607699	4048361422
Costo de producción respecto de lo vendido	847152362	859256818	871554946	884049843	896744659
RESULTADO OPERATIVO	2952155147	3000839610	3050303025	3100557855	3151616762
Gastos de administración	4235762	4296284	4357775	4420249	4483723
Gastos de comercialización	847152	859257	871555	884050	896745

Gastos de financiación	513195588	508840831	503440933	496745059	488442175
Depreciación-amortización	26027136	26027136	26027136	26027136	26027136
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTOS	2407849509	2460816103	2515605628	2572481362	2631766984
Depreciación-amortización	26027136	26027136	26027136	26027136	26027136
Impuesto a las ganancias	851856826	870395133	889571467	909477974	930227942
FLUJO NETO DE EFECTIVO	1582019819	1616448105	1652061296	1689030524	1727566178

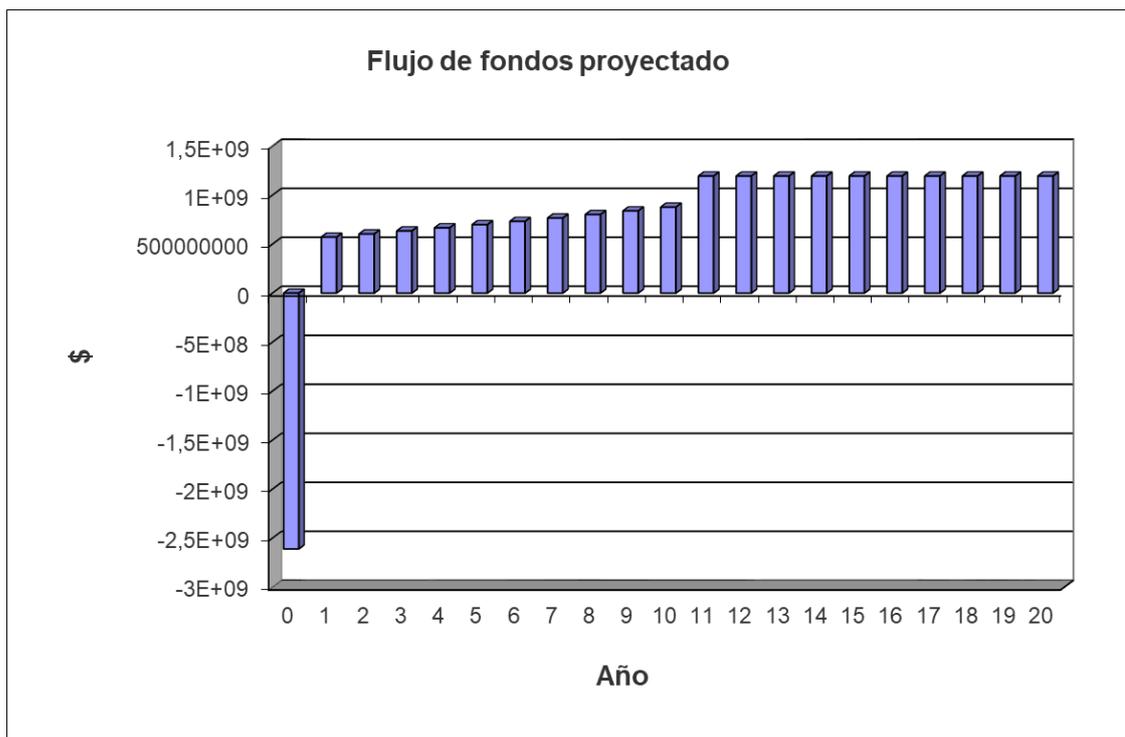


Figura 15.7: Flujo neto de fondos a lo largo de los años

Fuente: Elaboración propia

15.5.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. Si el resultado de esta operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable.

De esta manera la empresa está en posición de evaluar desde el inicio y con proyección a futuro la viabilidad de su proyecto y los resultados de su inversión. En la fórmula de cálculo se utilizan los valores de los flujos de caja (ingresos y egresos de efectivo) actualizados a la fecha presente, descontándolos a una tasa de interés determinada. Y con sus resultados expresados en términos de unidades de valor monetario.

$$VAN = BNA - I_0$$

Donde I_0 es la inversión inicial y el BNA es el Beneficio Neto Actualizado, valor actualizado del flujo de caja que se obtiene al estipular el valor de venta a futuro y aplicarle una tasa de descuento para actualizar su valor al presente. Es decir, se calcula el valor en que se podría vender en el futuro y se le aplica una tasa de interés inversa para estimar ese valor al día de hoy. Esta operación arroja tres posibles resultados:

- $VAN = 0$. Se determina que el proyecto no dará ganancias ni pérdidas, o sea, es indiferente.
- $VAN > 0$. Se asume que el proyecto será rentable.
- $VAN < 0$. Se considera el proyecto no viable.

El VAN calculado es \$345447.7, este valor es positivo, por lo cual se asume que el proyecto es rentable.

15.5.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El TIR utiliza el flujo de caja neto proyectado y el monto de la inversión del proyecto. Aunque, esa confiabilidad se ve disminuida si se compara la rentabilidad de dos proyectos diferentes, debido a que no toma en cuenta la variación entre las dimensiones de ambos. En conclusión, TIR es el porcentaje de beneficio o pérdida que se puede obtener de una inversión.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1 + I_0)^n} = 0$$

Donde:

F_n es el flujo de caja en el periodo n .

n es el número de períodos.

I_0 es el valor de la inversión inicial.

Y sus resultados se interpretan de la siguiente manera.

- $TIR < TMAR$. Se determina que el proyecto debe ser rechazado.
- $TIR \geq TMAR$. El proyecto será viable y puede ser aprobado.

Siendo la $TMAR$ (tasa mínima aceptable de rendimiento) un porcentaje determinado por la entidad que va a invertir en un proyecto. En este caso el banco prestador, con un valor del 24%

El valor de TIR es 27%, por lo que al ser mayor que la $TMAR$ se concluye que el proceso es rentable.

15.5.4 PERÍODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN (PRI)

El período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelar con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial (ESAN, 2017). Para calcular el PRI se usa la siguiente fórmula:

$$PRI = a + \frac{(I_0 - c)}{d}$$

Donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

I_0 = Inversión Inicial.

c = Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

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 4 años y 2 meses. Analizando este resultado, se destaca que la inversión se recuperaría en un período relativamente corto, comparado con los diez años previstos de actividad.

15.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Un análisis de sensibilidad es una técnica que permite observar cómo afecta un aumento o una disminución en el valor de un factor sobre el resultado final en un análisis financiero.

En primer lugar, se plantean opciones en función de los posibles escenarios futuros. Estas se analizan con los datos que se conocen y los que van a ir variando. Una vez que se tienen claras cada una de ellas se pueden comparar y tomar decisiones sobre si interesa modificar dichos factores. Normalmente estos están relacionados con la producción, los costes o las ventas (Arias, 2020).

De acuerdo con esto, se analiza la variación de la TIR con la desviación del precio de venta, de los costos de mano de obra y materia prima e insumos, 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.

15.6.1 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE VENTA

Se observa en la figura 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 más de un 3% el proyecto deja de ser rentable.

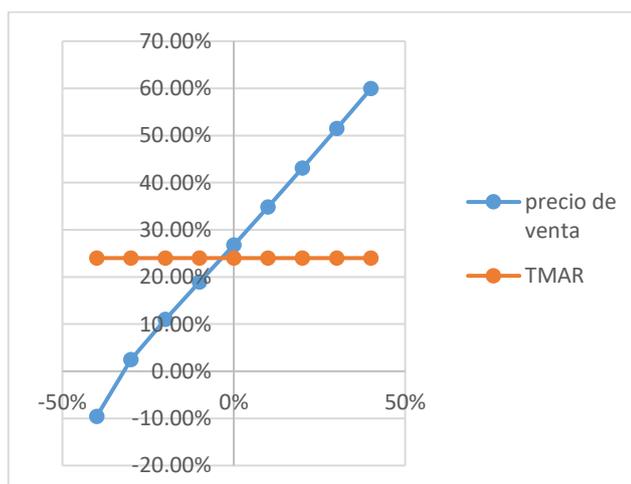


Figura 15.8: Variación de la TIR con el precio de venta

Fuente: Elaboración propia

15.6.2 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE MANO DE OBRA

Para este caso, como se observa, el proyecto admite aumentos en los costos del personal con mínima disminución en la rentabilidad y en el rango de la variación que se analiza, el proyecto es rentable.

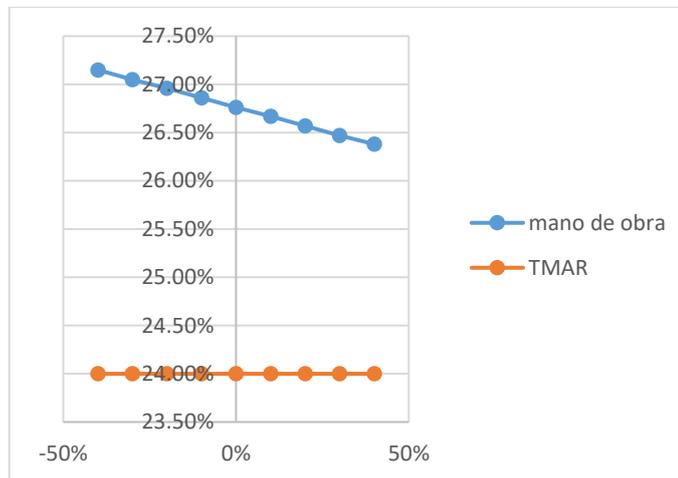


Figura 15.9: Variación de la TIR con la mano de obra

Fuente: Elaboración propia

15.6.3 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA

En este caso se analiza cómo varía la TIR con la fluctuación en el costo de materia prima. Como se observa en figura, si el costo de la materia prima aumenta en un 17% el proyecto deja de ser rentable.

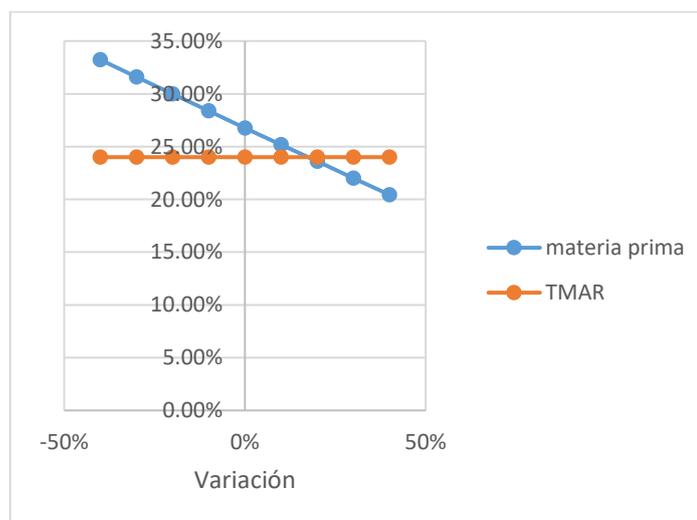


Figura 15.10: Variación de la TIR con el costo de la materia prima

Fuente: Elaboración propia

15.7 CONCLUSIONES

El análisis económico financiero realizado permite concluir que la puesta en marcha de la planta de producción de ácido acético requiere de una inversión inicial de \$1760467062.2, monto financiado por crédito del Banco Nación, con una tasa nominal anual fija del 24% y un plazo de pago de 10 años.

El precio de venta del producto se define en 1400 USD/t, siendo el volumen de venta máximo alcanzado 27025.1 toneladas anuales, las cuales se alcanzan en el año diez.

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 27%, un VAN positivo de \$345447.7 y un PRI de 4 años y 2 meses. Estos 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 precio de venta, cuyo margen de disminución no debe ser inferior al 3% y le sigue el costo de la materia prima, el cual no debe superar un aumento del 17%. En cuanto al costo de mano de obra, este no se ve afectado por la variación que se analiza.

CONCLUSIÓN FINAL

En las diferentes etapas de este proyecto, se llevó a cabo un análisis completo de la posibilidad de instalar una planta de producción de ácido acético en Argentina y, a su vez, se utilizaron los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Química, alcanzando los objetivos propuestos en el capítulo uno.

Se seleccionó el proceso más conveniente económicamente y donde se obtuviera la mayor pureza sin generar un alto impacto ambiental. Además de ser el más utilizado a nivel mundial, por las grandes potencias productoras de ácido acético.

Se realizó un estudio de mercado del producto definiendo las características de los proveedores de materias primas, de los consumidores del producto terminado, y los mercados que estos integran.

Se determinó la cantidad a producir para el consumo nacional y, principalmente, para sustituir un porcentaje de las importaciones a Brasil, el principal consumidor en América del Sur.

Verificando el entorno del estudio socioeconómico, se rodeó la comercialización del ácido acético y teniendo en cuenta en este análisis la materia prima y los insumos necesarios, la localización del mercado y la capacidad de consumo, se definió la localización de la planta en el parque industrial San Lorenzo, en Santa Fe. Este es considerado un lugar estratégico debido a la cercanía de los puertos y de las rutas de transporte.

Con los balances de masa y energía, en base a la capacidad definida, se llevaron a cabo las integraciones energéticas necesarias para lograr mayores rendimientos. Además, estos sirvieron para realizar el cálculo, diseño y adopción de los equipos requeridos, utilizando los métodos de ingeniería básica y de detalle. También, se automatizó el proceso, para garantizar la calidad y seguridad del producto.

Se consideraron cuestiones de organización industrial y la distribución física de la planta, con el detalle de la planimetría correspondiente que presenta las dimensiones, ubicaciones específicas y generales de cada sector.

Se efectuó una evaluación económica financiera con el fin de determinar si el proyecto era rentable para poder ser llevado a la realidad, haciendo uso de indicadores como VAN y TIR. Estas variables arrojaron resultados favorables en las condiciones estipuladas a lo largo de este trabajo, por lo cual se concluyó que el proyecto de inversión es factible.

ANEXO 1: PLANOS

ANEXO 2: BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 2

Muller Carlos, C. H. (2017). *UTN FACULTAD REGIONAL DE BAHIA BLANCA*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/procesos_fisicoquimicos/Obtencion_de_Metanol.pdf

Raffino, M. E. (26 de 06 de 2020). Obtenido de <https://concepto.de/acido-acetico/>

Salud, R. d.-D. (Julio de 2008). *Riesgo Quimico*. Obtenido de https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/132198-ACETATO_DE_METILO.pdf

CAPÍTULO 3

AFP. (15 de febrero de 2020). *El economista*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/mercados/El-rodio-el-discreto-metal-que-se-ha-convertido-en-el-mas-caro-del-mundo-en-11500-dolares-la-onza-20200215-0009.html>

Bicego, F., Chiapero, A., & Molinengo, L. (2018). *Producción de metanol a partir de glicerina*. Villa María, Córdoba, Argentina.

Centauro alpha . (2020). Obtenido de <https://www.centauroalpha.com.ar/productos-quimicos/acido-acetico.html>

EcuRed. (2012). Obtenido de https://www.ecured.cu/%C3%81cido_ac%C3%A9tico

Gobierno de España, M. I. (2018). Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+119+%C3%81cido+ac%C3%A9tico++A%C3%B1o+2018.pdf/1d5b5a9a-4438-4105-8b77-3e68196f2701?version=1.0&t=1551310408920>

https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/wts2019_s/wts2019_s.pd. (s.f.).

INDEC. (noviembre de 2020). *comercio exterior*. Obtenido de [https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.257137675.1239651037.1613423991-1100430331.1600731784#/#/](https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.257137675.1239651037.1613423991-1100430331.1600731784#/)

INDEC. (2020). *Estadísticas de productos industriales*. Buenos Aires: Creative Commons.

INDEC. (2020). *Índices de precios y cantidades del comercio exterior*. Buenos Aires.

Informe tecnico de comercio exterior - MERCOSUR. (2019). Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/informescomercio.pdf>

- Informe tecnico de comercio exterior- MERCOSUR. (2019). Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/informescomercio.pdf>
- INSSIT. (2018). ÁCIDO ACÉTICO. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+119+%C3%81cido+ac%C3%A9tico++A%C3%B1o+2018.pdf/1d5b5a9a-4438-4105-8b77-3e68196f2701>
- IPA. (2019). Obtenido de <https://noticiasutnfrn.files.wordpress.com/2020/04/anuario-ipa-2019.pdf>
- IPA. (2010). Información estadística de la industria petroquímica y química de la Argentina. Buenos Aires.
- JM- PRODUCTOS QUIMICOS DE IRIDIO. (2020). Obtenido de <https://matthey.com/en/products-and-services/precious-metal-chemicals/iridium-chemicals?q=>
- MERCOSUR. (noviembre de 2020). Obtenido de [https://estadisticas.mercosur.int/mmsa - Global insight. \(2020\). Obtenido de https://www.methanolmsa.com/acetic-acid/](https://estadisticas.mercosur.int/mmsa - Global insight. (2020). Obtenido de https://www.methanolmsa.com/acetic-acid/)
- Organización Mundial del Comercio. (2019). Obtenido de https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/anrep19_s.pdf
- OROINFORMACION. (23 de 03 de 2018). Obtenido de <https://oroinformacion.com/rodio-rutenio-e-iridio-alcanzan-sus-precios-maximos-historicos/>
- Pedraza, J. Á. (23 de Marzo de 2018). Oro información. Obtenido de <https://oroinformacion.com/rodio-rutenio-e-iridio-alcanzan-sus-precios-maximos-historicos/>
- Pedraza, J. Á. (17 de Abril de 2019). Oro información. Obtenido de <https://oroinformacion.com/rodio-rutenio-osmio-iridio-los-metales-preciosos-mas-desconocidos/>
- quimicanet. (2020). Obtenido de <https://www.quiminet.com/productos/monoxido-de-carbono-213003814/proveedores.htm>
- Scavage. (noviembre de 2020). Scavage. Obtenido de <https://www.scavage.com/>
- Scavage. (Marzo de 2021). Scavage. Obtenido de <https://www.scavage.com/trade?menu=br.import&query=product:291521>

SHTC. (2014). Obtenido de http://www.asiquim.com/nwebq/guia_quimica2014-16/prodyprovee/productosyprovee.html

CAPÍTULO 4

La capital. (20 de 01 de 20). Obtenido de <https://www.lacapital.com.ar/la-region/buscan-potenciar-el-funcionamiento-del-parque-industrial-roldan-n2560223.html>

ON 24. (23 de 01 de 2018). Obtenido de <https://www.on24.com.ar/negocios/cuantos-parques-areas-industriales-santa-fe/>

SAIJ. (7 de Enero de 2019). Obtenido de <http://www.saij.gob.ar/3175-local-neuquen-se-otorga-pequenas-medianas-empresas-beneficios-impositivos-lpq0003175-2019-01-07/123456789-0abc-defg-571-3000qvorpyel?q=fecha-rango%3A%5B20181118%20TO%2020190518%5D&o=281&f=Total%7CFecha%7CEstado%20de%20Vigencia%>

Santa Fe Provincia. (23 de 06 de 2015). Obtenido de antafe.gov.ar/index.php/web/Estructura-de-Gobierno/Ministerios/Economia/Secretaria-de-Planificacion-y-Politica-Economica/Direccion-Provincial-del-Instituto-Provincial-de-Estadistica-y-Censos-de-la-Provincia-de-Santa-Fe/ESTADISTICAS/Censos/Poblacion/Censo-

Vaconfirma. (27 de 03 de 2020). Obtenido de https://vaconfirma.com.ar/?articulos_seccion_716/id_10926/neuquen-con-desempleo-mas-bajo-que-nacion-#:~:text=La%20tasa%20de%20desempleo%20de,%2DPlottier%205%2C7%25.

CAPÍTULO 5

INDEC. (noviembre de 2020). sistema de consulta de comercio exterior. Obtenido de [https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.29539647.1239651037.1613423991-1100430331.1600731784#/#/](https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.29539647.1239651037.1613423991-1100430331.1600731784#/)

ONU. (1974). Industrialización y productividad.

Sapag Chain, R., & Sapag Chain, N. (1991). Preparación y evaluación de proyectos. México: McGraw-Hill.

CAPÍTULO 6

ALVAREDO, L. C. (2007, 06 15). Planta de Producción de Acido Acético. From <https://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/13547/PFC%20MeCO%201.pdf?sequence=1>

Alvaredo, L., Fernandez, N., Montalbán, M., Gomez, M., & Montera, S. (2007, 6 15). PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACIDO ACETICO. From <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/PFC%20MeCO%201.pdf>

CUNILL., M. I. (2013). Reactores multifasicos. From <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33262/1/APUNTES%20RM.pdf>

Eco Friendly Technology. (2018). From <http://carboneros.org/clients/articles/woodpyrolysis/esp/#:~:text=La%20destilaci%C3%B3n%20seca%20de%20la,procesos%20de%20la%20tecnolog%C3%ADa%20qu%C3%ADmica.&ext=El%20comienzo%20de%20la%20aplicaci%C3%B3n,principal%20fue%20el%20%C3%A1cido%20ac%C3%A9tico.>

<https://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Reactors/Slurry/Slurry.html>

Enciclopedia visual del Ingeniero Quimico . (1997). From <https://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Reactors/Slurry/Slurry.html>

EUROPEAN PATENT APPLICATION. (2001, 07 11). From <https://patentimages.storage.googleapis.com/f3/6d/48/c5c5aaf2386f53/EP1114811A1.pdf>

I & EC RESEARCH. (2017). From <https://core.ac.uk/download/pdf/141870308.pdf>

Jones, J. H. (2000). The Cativa Process for the Manufacture of Acetic Acid. From https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiJ2paRI-XvAhWIG7kGHRlhBb8QFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.technology.matthey.com%2Fpdf%2Fpmr-v44-i3-094-105.pdf&usg=AOvVaw3pYSrduu29SW_i5xxLywk_

Levoso, A. S. (2016, 06). Modelado de extracción del Acido Acético con recuperación de disolvente orgánico. From http://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf

Martinez, J. (2018). Modelado y simulación de una planta de obtención de etanol a partir de acético. From <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20282/fichero/PFC+Simulaci%C3%B3n+planta+etanol.pdf>

Ortiz, M. G. (2007). Planta de Producción de Acido Acético. From
<https://docplayer.es/59482587-Planta-de-produccion-de-acido-acetico.html>

Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, W. (n.d.). Acetic Acid. From
http://www.ugr.es/~tep028/pqi/descargas/Industria%20quimica%20organica/tema_5/acetico_derivados_a01_045.pdf

CAPÍTULO 8

Bausill. (2007, 06). DOCPLAYER. From <https://docplayer.es/59482587-Planta-de-produccion-de-acido-acetico.html>

Company, F. (2000). Manual de cálculos. From
<file:///C:/Users/Usuario/Desktop/facultaad/TESIS/CAP%C3%8DTULO%2011.%20MANUAL%20DE%20C%C3%81LCULOS%20PLANTA%20DE%20PRODUCCI%C3%93N%20DE%20%C3%81CIDO%20F%C3%93RMICO.pdf>

Cubillos, A. M. (2008, 02 28). sistema suratep. From
https://www.arlsura.com/images/stories/documentos/fluidos_criogenicos.pdf

DEKRA. (2020). From <https://www.dekra.es/media/dekra-focus-article-some-commons-pitfalls-in-vent-systems-a4-es-v2.pdf>

FENK. (2021). FENK. From http://www.fenk.com.ar/productos/motores-electricos/?gclid=CjwKCAjwy7CKBhBMEiwA0Eb7anwjtWZkBPxUCXNwPI84xZx9gjstgsSI22rjIPNiYRoCWgEud3j6QRoCx2gQAvD_BwE

fquim. (n.d.). From http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GuionNo6_17167.pdf

Geankoplis. (1998). Proceso de transporte y operaciones unitarias. México.

Gelsonluz. (2020, 09 26). From <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/09/astm-a285-propiedades-mecanicas.html>

Gonzalez, J. (2021). Scielo. From
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912021000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Hagen, J. (2006). Industrial Catalysis. From
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.453.6813&rep=rep1&type=pdf>

Hanning. (2012, 7 20). Supported Ionic Liquid Phase (SILP) Catalysis for the Production of Acetic acid by. From

<https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/12142750/C%20Hanning%20Thesis%20July%202012%20Public.pdf>

haynes et al 2004 y Paulik y Roth. (1968). Advances in catalysis. From haynes et al 2004 y Paulik y Roth,

Haynes, A. (2004). Catalysis involving CO. From <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/chab/icb/van-bokhoven-group-dam/coursework/Catalysis/2015/catalysis-with-co.pdf>

Herrera, S. (2018). Control de columnas de destilación. From <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20374/fichero/Proyecto+completo.pdf>

Iborra, C. (2013). Reactores Multifásicos . From <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33262/1/APUNTES%20RM.pdf>

Jimenez, J. (2012, 09 13). Planta de producción de ácido acético. From <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/facultaad/TESIS/ACIDO%20ACETICO/TRABAJO.pdf>

Jones, J. H. (2000). The Cativa Process for the Manufacture. From <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/facultaad/TESIS/Captivaprocespmr-v44-i3-094-105.pdf>

Kern, D. (1999). Procesos de transferencia de Calor.

La suma de Todos, M. (2013). Caldera industriales eficientes. From <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>

Memoria de cálculo. (2017). From <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90482/fichero/MEMORIA+DE+C%C3%81LCULO.pdf+>

METHANEX. (17, 3 17). From https://www.methanex.com/sites/default/files/safety/SDS-2014/Canada-USA/Methanol_SDS_Norma%20Chilena%202017.pdf

Ocon, & Tojo. (1986). Problemas de Ingeniería química- Operaciones básicas.

Perry, R. H. (1997). Manuel del Ingeniero químico.

SALES. (1972). Cálculo de recipientes.

Smith, M. y. (1981). Operaciones básicas de Ingeniería Química.

Warring. (1977).

CAPÍTULO 9

AGP. (2015). Obtenido de <http://www.agpbombas.com/catalogo.pdf>

ON24. (18 de 03 de 2019). Parques Industriales, una necesidad y un buen negocio. págs.
<https://www.on24.com.ar/negocios/parques-industriales-una-necesidad-y-un-buen-negocio/>.

CAPÍTULO 10

IAQS. (24 de 4 de 2013). monóxido de carbono. Obtenido de
<https://www.iaqs.info/?p=525&lang=es>

ICSA. (2015). Norma ISO 17025. Obtenido de <https://www.icsa.es/laboratorios-analiticos/consultoria-de-laboratorios/norma-iso-17025>

ISO9001. (2013). control de producto no conforme. Obtenido de
<https://iso9001calidad.com/control-de-producto-no-conforme-177.html>

Laboratorios, C. (20 de 8 de 2021). Obtenido de
<http://cicarelli.com/certificados/1025/index.php>

Liquid, A. (09 de 12 de 2021).

Ministerio, A. (10 de 8 de 2017). Manual de procedimientos analíticos para muestras ambientales. Obtenido de <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/manual-procedimientos-analiticos-para-muestras-ambientales-tercera-edicion-2017>

Nirian, P. O. (4 de 5 de 2020). Control de calidad. Obtenido de Economipedia:
<https://economipedia.com/definiciones/control-de-calidad.html>

PRTR. (10 de 2013). monóxido de carbono. Obtenido de <https://prtr-es.es/Data/images/MonoxidodeCarbono.pdf>

Sincal. (1 de 2018). CALIDAD DEL AGUA DE CALDERAS. Obtenido de
<http://www.sincal.es/descargas/calidad-de-agua-de-calderas.pdf>

CAPÍTULO 13

ADRIAN, J. L. (2002). Fundamentos teóricos sobre la iluminación. Obtenido de
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1683/1/T-UTC-1557.pdf>

Ingela. (2021). Ingen automatización. Obtenido de <https://ingenla.com/tableros-electricos/>

seguridad, R. d. (5 de 2 de 2019). Decreto 351/79. Obtenido de
https://www.ms.gba.gov.ar/sitios/pepst/files/2017/02/Decreto_351-79.pdf

UNLP. (22 de 12 de 2020). Electricidad. Obtenido de
<https://unlp.edu.ar/frontend/media/90/33790/49cdae8cd1a7709f8adecd349c9ae455.pdf>

CAPÍTULO 15

Arias, E. R. (6 de 4 de 2020). Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-sensibilidad.html>

Enrique Rus Arias. (23 de 1 de 2020). Obtenido de
<https://economipedia.com/definiciones/sistema-de-amortizacion-frances.html>

ESAN, c. (24 de 1 de 2017). Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>

Etecé, E. (5 de 8 de 2021). Inversión. Obtenido de <https://concepto.de/inversion-2/>

IPLACEX. (2021). Formulación y evaluación de proyectos. Obtenido de
http://cursos.iplacex.cl/CED/FEP4004/S3/ME_3.pdf

Nirian, P. O. (11 de 7 de 2019). Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/coste-unitario.html>

Nuño, P. (7 de 6 de 2017). Estado de resultados. Obtenido de
<https://www.emprendepyme.net/el-estado-de-resultados.html>