



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**

**PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA
A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO**

**GERBER, MELISA SOLANGE
STRATTA, MELINA SOLEDAD**

**VILLA MARÍA
2021**

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Firma de los alumnos:

Gerber, Melisa Solange:

Stratta, Melina Soledad:

Aceptado por Facultad Regional Villa María de la UTN, Villa María,

Aprobada por su contenido y estilo.

Presidente del Tribunal:

Primer Miembro Vocal:

Segundo Miembro Vocal:

Nota final de aprobación:

Agradecimientos

En este momento tan importante de nuestras vidas, estamos agradecidas de poder contar con el sostén de nuestros padres, hermanos, y demás familiares que siempre estuvieron ahí, en momentos tantos buenos como malos, apoyándonos, dándonos las fuerzas necesarias para seguir y nunca bajar los brazos.

A lo largo de todos estos años se hemos conocido mucha gente: profesionales con los que hemos compartido momentos, que nos han aportado sus conocimientos, experiencias y su tiempo; amigos con los que disfrutamos cada día, aprendiendo uno del otro, acumulando experiencias, y todas aquellas personas que fueron y son parte de lo que hoy somos.

A todas ellas les estamos felizmente agradecidas, incluyendo nuestra prestigiosa Universidad Tecnológica Nacional por brindarnos un espacio y los conocimientos necesarios para poder ejercernos hoy en día como profesionales.

Melisa, Melina.

Índice general

1. Fundamentos y objetivos	15
1.1. Introducción	15
1.2. Objetivo general.....	15
1.3. Objetivos específicos	15
2. Descripción de la materia prima y del producto.....	18
2.1. Introducción	18
2.2. Descripción del producto	18
2.2.1. Monoetanolamina	18
2.2.2. Dietanolamina.....	19
2.2.3. Trietanolamina.....	21
2.3. Descripción de la materia prima.....	22
2.3.1. Amoníaco	22
2.3.2. Óxido de etileno.....	24
2.3.3. Agua.....	25
2.4. Clasificación	27
3. Estudio de mercado.....	29
3.1. Introducción	29
3.2. Mercado mundial	29
3.3. Mercado nacional	32
3.3.1. Importaciones.....	33
3.3.2. Exportaciones.....	35
3.3.3. Demanda insatisfecha	37
3.4. Materias primas	39
3.4.1. Amoníaco	39
3.4.2. Óxido de etileno.....	42
3.5. Análisis de FODA	44
3.5.1. Fortaleza	44
3.5.2. Oportunidades	45
3.5.3. Debilidades.....	45
3.5.4. Amenazas	45
4. Capacidad de la planta	47
4.1. Introducción	47
4.2. Demanda a futuro.....	47

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

4.3.	Producción óptima en función de la demanda	48
4.4.	Requerimiento de materia prima	50
5.	Localización de la planta.....	53
5.1.	Introducción	53
5.2.	Macro-localización	53
5.2.1.	Factores primarios	53
5.2.2.	Factores específicos.....	53
5.2.3.	Procedimiento de cribado	53
5.3.	Micro-localización	57
5.3.1.	Puntuaciones ponderadas	60
6.	Descripción y selección del proceso de producción	62
6.1.	Introducción	62
6.2.	Breve descripción de los procesos.....	62
6.2.1.	Primer método	62
6.2.2.	Segundo método	64
6.2.3.	Tercer método	65
6.2.4.	Cuarto método.....	66
6.3.	Selección del proceso.....	68
6.4.	Descripción del proceso elegido	68
6.4.1.	Diagrama de flujo del proceso elegido	70
7.	Balance de masa y energía	74
7.1.	Introducción	74
7.2.	Diagrama de flujo.....	74
7.3.	Balance de masa y Balance de energía.....	76
7.3.1.	Mezclador (ME-104)	77
7.3.2.	Reactor isotérmico (R-105).....	78
7.3.3.	Reactor adiabático (R-106).....	81
7.3.4.	Stripping (V-201).....	85
7.3.5.	Mezclador (ME-203)	89
7.3.6.	Evaporador (E-204)	90
7.3.7.	Intercambiador de calor (E-205)	93
7.3.8.	Deshidratador (C-208).....	94
7.3.9.	Divider (S-209)	99
7.3.10.	Intercambiador de calor (E-212).....	100

7.3.11.	Mezclador (ME-301).....	101
7.3.12.	Condensador (E-302).....	102
7.3.13.	Absorbedor (C-308)	104
7.3.14.	Intercambiador de calor (E-309).....	107
7.3.15.	Primera destilación (C-401).....	109
7.3.16.	Intercambiador de calor (E-402).....	114
7.3.17.	Segunda destilación (C-404).....	115
7.3.18.	Intercambiador de calor (E-405).....	119
7.3.19.	Intercambiador de calor (E-406).....	121
8.	Diseño y adopción de equipos.....	124
8.1.	Introducción.....	124
8.2.	Recepción y almacenamiento de materias primas.....	124
8.2.1.	Balanza	124
8.2.2.	Adopción de tanque de almacenamiento de amoníaco (SV-306).....	124
8.2.3.	Adopción de tanque almacenamiento óxido de etileno (T-101).....	125
8.2.4.	Adopción de tanque de almacenamiento de agua de proceso (T-312)	126
8.3.	Zona 100	126
8.3.1.	Diseño de reactor isotérmico (R-105)	127
8.3.2.	Diseño de reactor adiabático (R-106)	133
8.4.	Zona 200	134
8.4.1.	Adopción de la columna de stripping (V-201).....	135
8.4.2.	Adopción de rehervidor de columna de stripping (V-201/R).....	135
8.4.3.	Adopción de evaporador (E-204).....	136
8.4.4.	Adopción de intercambiador de calor (E-205).....	138
8.4.5.	Adopción de deshidratador (C-208).....	139
8.4.6.	Adopción de condensador del deshidratador (C-208/C).....	140
8.4.7.	Adopción de rehervidor del deshidratador (C-208/R).....	141
8.4.8.	Adopción de intercambiador de calor (E-212).....	142
8.5.	Zona 300	143
8.5.1.	Adopción de mezclador (ME-301).....	143
8.5.2.	Adopción de condensador (E-302)	147
8.5.3.	Adopción de columna de absorción (C-308)	149
8.5.4.	Adopción de rehervidor de la columna de absorción (C-308/R).....	150
8.5.5.	Adopción del intercambiador de calor (E-309).....	151

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

8.6.	Zona 400	152
8.6.1.	Adopción de columna de destilación (C-401).....	155
8.6.2.	Adopción de condensador de la primera torre de destilación (C-401/C)	157
8.6.3.	Adopción de rehervidor de la primera columna de destilación (C-401/R).....	158
8.6.4.	Adopción de intercambiador de calor (E-402).....	159
8.6.5.	Adopción de tanque de almacenamiento de monoetanolamina (T-403).....	160
8.6.6.	Adopción de columna de destilación (C-404).....	161
8.6.7.	Adopción de condensador de la segunda columna de destilación (C-404/C)	163
8.6.8.	Adopción de rehervidor de la segunda columna de destilación (C-404/R)	164
8.6.9.	Adopción de intercambiador de calor (E-405).....	165
8.6.10.	Adopción de tanque de almacenamiento de dietanolamina (T-407)	166
8.6.11.	Adopción de intercambiador de calor (E-406)	167
8.6.12.	Adopción de tanque de almacenamiento de trietanolamina (T-408).....	168
8.7.	Adopción de bombas de proceso.....	169
8.7.1.	Adopción de bomba (P-102)	172
8.7.2.	Adopción de bomba (P-103)	173
8.7.3.	Adopción de bomba (P-108)	174
8.7.4.	Adopción de bomba (P-109)	175
8.7.5.	Adopción de bomba (P-202)	176
8.7.6.	Adopción de bomba (P-206)	177
8.7.7.	Adopción de bomba (P-210)	178
8.7.8.	Adopción de bomba (P-211)	179
8.7.9.	Adopción de bomba (P-213)	180
8.7.10.	Adopción de bomba (P-303).....	181
8.7.11.	Adopción de bomba (P-310).....	182
8.7.12.	Adopción de bomba (P-311).....	183
8.7.13.	Adopción de bomba (P-409).....	184
8.7.14.	Adopción de bomba (P-410).....	185
8.7.15.	Adopción de bomba (P-411).....	186
8.7.16.	Adopción de bomba (P-412).....	187
8.8.	Adopción de ventiladores de proceso	187
8.8.1.	Adopción de ventilador (K-214).....	188
8.8.2.	Adopción de ventilador (K-215).....	188
8.8.3.	Adopción de ventilador (K-304).....	189

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

8.9.	Adopción de soplador (K-305)	189
8.10.	Diagrama de flujo final.....	190
9.	Servicios auxiliares	193
9.1.	Introducción	193
9.2.	Refrigeración con nitrógeno	193
9.2.1.	Adopción de tanque de nitrógeno (T-501).....	194
9.3.	Agua de enfriamiento.....	195
9.3.1.	Adopción de la torre de enfriamiento	195
9.3.2.	Diagrama de enfriamiento.....	197
9.3.3.	Adopción de bombas y cañerías.....	197
9.4.	Servicio de agua	208
9.4.1.	Agua requerida en caso de incendios	209
9.4.2.	Agua para cubrir pérdidas en torres de enfriamiento	209
9.4.3.	Adopción de tanque de almacenamiento para el agua.....	209
9.5.	Vapor saturado	210
9.5.1.	Adopción de la caldera de vapor.....	210
9.5.2.	Balance de masa para determinar pérdidas de agua	212
9.5.3.	Adopción de bombas y cañerías	212
9.5.4.	Diagrama de abastecimiento de vapor.....	214
9.6.	Fluido térmico	214
9.6.1.	Diseño del equipo de calentamiento	214
9.6.2.	Elección del fluido térmico	214
9.6.3.	Adopción de caldera	216
9.6.4.	Diagrama de abastecimiento de fluido térmico	219
9.6.5.	Adopción de bombas y cañerías.....	219
9.7.	Servicio de gas	221
10.	Control de calidad.....	224
10.1.	Introducción	224
10.2.	Plan de control de calidad según las normas	224
10.3.	Control de calidad de las materias primas.....	224
10.3.1.	Amoníaco.....	226
10.3.2.	Óxido de etileno	226
10.4.	Control de calidad de productos terminados.....	226
10.4.1.	Monoetanolamina.....	228

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

10.4.2.	Dietanolamina	228
10.4.3.	Trietanolamina	228
10.5.	Control de calidad del proceso de producción	228
10.5.1.	Plan de control de calidad del proceso	228
11.	Obras civiles	236
11.1.	Introducción	236
11.2.	Descripción general del establecimiento	236
11.3.	Edificio I	239
11.4.	Edificio II	239
11.5.	Edificio III	240
11.5.1.	Recepción (C)	240
11.5.2.	Oficinas administrativas (D) y oficinas directivas (B)	241
11.5.3.	Sala de conferencias (E)	241
11.6.	Edificio IV	241
11.6.1.	Carga, descarga y estacionamiento	241
11.7.	Edificio V	242
11.7.1.	Cocina y comedor (F)	242
11.7.2.	Baños y vestuarios (G y H)	242
11.8.	Edificio VI	243
11.8.1.	Zona de reacción	243
11.9.	Edificio VII	243
11.9.1.	Zona de recuperación	243
11.10.	Edificio VII	243
11.10.1.	Zona de absorción	243
11.11.	Edificio IX	244
11.11.1.	Zona de destilación	244
11.12.	Edificio X	244
11.12.1.	Tanques de materias primas	244
11.13.	Edificio XI	245
11.13.1.	Tanques de productos	245
11.14.	Edificio XII	245
11.14.1.	Servicios auxiliares	245
11.14.2.	Caldera de vapor	245
11.14.3.	Caldera de fluido térmico	246

11.15.	Edificio XIII	247
11.15.1.	Taller de mantenimiento.....	247
12.	Instalaciones eléctricas.....	249
12.1.	Introducción	249
12.2.	Descripción de una instalación eléctrica.....	249
12.2.1.	Conductores eléctricos.....	249
12.2.2.	Bandejas portacables.....	249
12.2.3.	Tableros.....	250
12.2.4.	Tomacorrientes	250
12.2.5.	Transformadores.....	251
12.2.6.	Dispositivos de protección.....	251
12.2.7.	Iluminación.....	251
12.2.8.	Iluminación de emergencia	251
12.2.9.	Pararrayos	251
12.3.	Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso	252
12.4.	Requerimiento de iluminación	254
12.5.	Adopción de tipos de luminarias para iluminación	254
12.5.1.	Cálculo del número de luminarias internas.....	255
12.5.2.	Cálculo del número de luminarias externas.....	257
12.5.3.	Consumo total de energía eléctrica del sistema de iluminación.....	258
12.6.	Consumo total de energía eléctrica en la planta.....	259
13.	Control automático de procesos	261
13.1.	Introducción	261
13.2.	Control automático	261
13.2.1.	Zona 400 - Torres de destilación.....	261
13.3.	Hojas de especificación de instrumentos.....	264
13.3.1.	Transmisor de presión.....	264
13.3.2.	Válvula On-Off	265
13.3.3.	Transmisor de temperatura	267
13.3.4.	Transmisor de caudal.....	269
13.3.5.	Transmisor de nivel.....	271
13.3.6.	Variador de frecuencia	272
14.	Seguridad industrial	275
14.1.	Introducción	275

14.2.	Marco legal	275
14.3.	Política de higiene y seguridad.....	275
14.4.	Gestión de higiene y seguridad	275
14.5.	Responsabilidades del técnico de higiene y seguridad.....	276
14.6.	Estructura de HS&MA	276
14.6.1.	Proceso.....	276
14.6.2.	Diseño de equipos	276
14.6.3.	Obras civiles y estructurales.....	277
14.6.4.	Electricidad	277
14.6.5.	Protección contra incendios	278
14.6.6.	Seguridad en la construcción de la planta	278
14.6.7.	Seguridad en la operación	279
14.6.8.	Seguridad en el mantenimiento.....	279
14.6.9.	Seguridad en prevención, defensa y actuación	279
14.7.	Industria química.....	280
14.8.	Sustancias de proceso	280
14.9.	Protección individual	281
14.9.1.	Protección corporal	282
14.9.2.	Protección craneana	283
14.9.3.	Protección ocular y/o facial	283
14.9.4.	Protección respiratoria	284
14.9.5.	Protección de pies.....	284
14.9.6.	Protección de manos y brazos	285
14.9.7.	Protección auditiva.....	285
14.9.8.	Protección en altura	286
14.10.	Carteles y señalización	286
14.10.1.	Señales de información.....	287
14.10.2.	Señales de prohibición.....	287
14.10.3.	Señales de advertencia.....	288
14.10.4.	Señales de obligación	290
14.10.5.	Señales de lucha contra incendios	291
14.11.	Protección colectiva	292
14.11.1.	Protección contra incendios	294
14.11.2.	Procedimiento de extinción de un posible incendio	294

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

14.11.3.	Plan de emergencia y evacuación.....	295
14.11.4.	Sistema de alarma	295
14.12.	Selección y capacitación	296
14.12.1.	Servicio de medicina laboral.....	297
14.12.2.	Parada de planta.....	297
15.	Organización Industrial	299
15.1.	Introducción	299
15.2.	Tipo de sociedad comercial.....	299
15.3.	Organización de la empresa.....	299
15.3.1.	Organización interna	299
15.4.	Descripción de los puestos de trabajo	300
15.4.1.	Gerente.....	300
15.4.2.	Departamento de administración.....	300
15.4.3.	Departamento de calidad	301
15.4.4.	Departamento de producción	302
15.4.5.	Departamento de mantenimiento	303
15.4.6.	Departamento de logística	304
15.5.	Organización de la producción y turnos de trabajo	305
16.	Estudio económico financiero	309
16.1.	Introducción	309
16.2.	Inversión	309
16.2.1.	Activos fijos.....	310
16.2.2.	Activos nominales	314
16.2.3.	Capital de trabajo.....	316
16.2.4.	Inversión necesaria	316
16.3.	Costos totales de producción	317
16.3.1.	Costos directos de producción	317
16.3.2.	Costos indirectos de producción	320
16.3.3.	Costos fijos indirectos	322
16.3.4.	Costos generales	324
16.4.	Costo unitario.....	325
16.5.	Ingreso por venta	325
16.6.	Financiación del proyecto.....	326
16.7.	Evaluación económica	327

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

16.7.1.	Estado de resultados	327
16.7.2.	Indicadores	330
16.7.3.	Análisis de sensibilidad	332
16.8.	Conclusión del estudio económico financiero	335
CONCLUSIONES		337
BIBLIOGRAFÍA.....		339
ANEXO I – Técnicas de análisis		344
ANEXO II – Registro de control de materias primas, productos terminados y proceso		348
ANEXO III – Fichas técnicas de datos de seguridad		364
ANEXO IV – Planimetría.....		377



CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS

1. Fundamentos y objetivos

1.1. Introducción

En el presente proyecto se realiza la producción de etanolaminas, hay tres tipos diferentes, mono-, di- y trietanolamina. Como sugieren sus nombres, pueden pensarse como derivadas del amoníaco en los que el radical $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ sustituye a uno, dos o tres átomos de hidrógeno.

Industrialmente se han preparado desde la década de 1930. Sin embargo, la producción a gran escala inició solo después de 1945, cuando comenzó la producción de óxido de etileno.

Combinan interesantes propiedades químicas de alcoholes y aminas. Tienen una reactividad y propiedades solventes únicas, que las hacen útiles como productos intermedios para una amplia variedad de aplicaciones. Como grupo, son viscosas y líquidas solubles en agua. En su estado puro, son químicamente estables y no corrosivas para los recipientes adecuados.

La característica más utilizada de las etanolaminas es el efecto reductor de la tensión superficial, que permite la mezcla de sustancias solubles e insolubles en agua.

Son utilizadas principalmente para la extracción de dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en el gas natural. También se emplean como materias primas en pesticidas, productos de higiene personal, detergentes, así como aditivos en la industria de cemento, entre otras cosas.

En cuanto al mercado mundial, las exportaciones son lideradas por China (24%) y Bélgica (12%), a ellos le siguen en menor proporción (menor al 6%) Estados Unidos, México y Brasil. En un futuro, muchos países planean fabricar ellos mismos etanolaminas para cubrir sus propios requisitos.

1.2. Objetivo general

Se propone determinar la viabilidad técnico-económica referida a la producción de monoetanolamina a partir de amoníaco y óxido de etileno. Aplicar los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera para el desarrollo y confección del proyecto, así como definir adecuadamente los procesos productivos involucrados, que permita a la empresa desarrollar y utilizar tecnologías para consolidar su posición en el mercado.

1.3. Objetivos específicos

Entre los propósitos establecidos se propone encontrar los siguientes:

- Determinar características del mercado nacional y mundial, del producto, subproductos involucrados, incluida la materia prima. Observando el consumo y evolución a través de los años.
- Establecer la capacidad de producción óptima, teniendo en cuenta la demanda insatisfecha calculada en el ítem anterior.
- Evaluar la mejor ubicación, donde debería llevarse a cabo el proyecto, teniendo en cuenta un procedimiento de cribado y puntuaciones ponderadas.
- Analizar los diferentes procesos de producción con el fin de seleccionar el método más conveniente.
- Emplear ingeniería básica y de detalle para efectuar los balances de masa y energía del proceso, como así también el diseño, dimensionamiento y distribución de los equipos involucrados en este y en los servicios auxiliares, incluyendo todas las instalaciones.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

- Diseñar un sistema de gestión de calidad y control automático de proceso, que garantice la seguridad de estos y calidad del producto.
- Desarrollar un análisis económico financiero, estableciendo la inversión inicial necesaria y los indicadores económicos financieros de proyecto: TIR, PRI y VAN.
- Proponer alternativas de mejora para el proyecto.



CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO Y MATERIA PRIMA

2. Descripción de la materia prima y del producto

2.1. Introducción

En el presente capítulo se va a detallar las características de los tres productos obtenidos, monoetanolamina principalmente, dietanolamina y trietanolamina, en menor cantidad. Así como también las materias primas a implementar, amoníaco, óxido de etileno y agua.

2.2. Descripción del producto

2.2.1. Monoetanolamina

También llamada etanolamina, abreviado como ETA o MEA, es un compuesto químico orgánico que es tanto una amina primaria como un alcohol primario. Actúa como una base débil. Es un líquido tóxico, corrosivo, incoloro, viscoso y con olor similar al amoníaco. Líquido higroscópico a temperatura ambiente. Completamente miscible en agua y alcohol. No inflamable, pero si combustible. Absorbe agua y dióxido de carbono. Su índice de refracción es de 1,4539.

- Fórmula molecular: C_2H_7NO
- Peso molecular: 61,084 g/mol
- Estructura química (Figura 2.1)

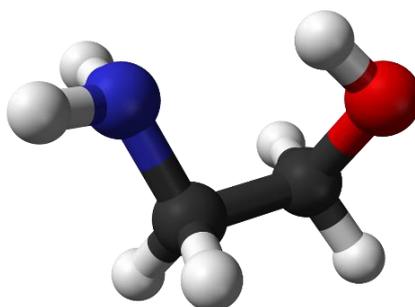


Figura 2.1 - MEA.

Elaboración propia.

- Nombre IUPAC: 2 - aminoetanol
- Número CAS: 141-43-5

A continuación, en la Tabla 2.1 se muestran las propiedades de la misma:

Tabla 2.1 - Propiedades de la MEA.

Propiedades de la Monoetanolamina	
Densidad relativa (agua=1)	1,02
Densidad relativa del vapor (aire=1)	2,1
Punto de fusión [°C]	10
Punto de ebullición [°C]	171
Punto de inflamación [°C]	94,50
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	0
Solubilidad en agua	Completamente soluble
Temperatura de autoignición [°C]	410
Viscosidad dinámica a 20 °C [kg/m·s]	0,023
Tensión superficial a 20 °C [kcal/m ²]	0,0000117
Calor de vaporización a 1 atm [kcal/kg]	202,70
Calor específico [kcal/kg·°C]	0,6497
pH	12,100 (solución al 10%, 20 °C)

Elaboración propia. Fuente: Ullmann's - Base de datos ICSC.

➤ Peligros químicos

Se puede señalar que la MEA se descompone al calentarla intensamente y al arder, esto produce gases tóxicos y corrosivos incluyendo óxidos de nitrógeno. Además, reacciona violentamente con ácidos fuertes y oxidantes fuertes, lo que genera peligro de incendio y explosión. La sustancia es moderadamente básica, ataca el cobre, aluminio, sus aleaciones y el caucho.

➤ Aplicaciones

El principal uso es la eliminación de contaminantes como dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en corrientes gaseosas, como el gas natural y de refinería.

Así mismo puede ser intermedio en la producción de varios productos como son cosméticos, tensoactivos, emulsionantes, suavizantes, pigmentos, entre otros.

Es significativo en la producción de etilendiamina y etilenimina.

2.2.2. Dietanolamina

Es un compuesto químico orgánico, abreviado como DEA, es tanto una amina secundaria como un di alcohol. Actúa como una base débil. Es un líquido higroscópico, incoloro, viscoso, de olor característico.

- Fórmula molecular: $C_4H_{11}NO_2$
- Peso molecular: 105,137 g/mol
- Estructura química (Figura 2.2)

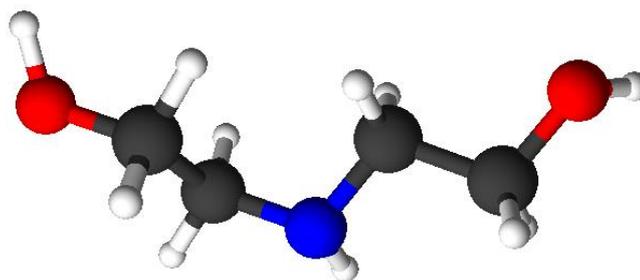


Figura 2.2 - DEA.

Elaboración propia.

- Nombre IUPAC: 2,2'-Iminodietanol
- Numero de CAS: 111-42-2

En la Tabla 2.2 se muestran las propiedades que presenta:

Tabla 2.2 - Propiedades de la DEA.

Propiedades de la Dietanolamina	
Densidad relativa (agua=1)	1,091
Densidad relativa le vapor (aire=1)	3,65
Punto de fusión [°C]	28
Punto de ebullición [°C]	268,39
Punto de inflamación [°C]	134
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	0
Solubilidad en agua	Muy elevada
Temperatura de autoignición [°C]	662
Viscosidad dinámica a 30 °C [kg/m·s]	0,39
Tensión superficial a 20 °C [kcal/m ²]	0,0000115
Calor de vaporización a 1 atm [kcal/kg]	152,58
Calor específico [kcal/kg·°C]	0,652
pH	11,3

Elaboración propia. Fuente: Ullmann's - Base de datos ICSC.

- Peligros físicos

El vapor es más denso que el aire.

- Peligros químicos

Se debe tener en cuenta que se descompone al arder, produciendo vapores tóxicos. La disolución en agua es moderadamente básica, reacciona violentamente con oxidantes fuertes y ácidos fuertes. Ataca el cobre, el cinc, el aluminio y sus aleaciones.

- Aplicaciones

Se emplea en operaciones de tratamiento de gases, al igual que la MEA, para eliminar contaminantes como dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno de corrientes gaseosas. Puede emplearse adicionalmente en la síntesis de herbicidas y especialidades textiles.

Es un intermediario y materia prima en la elaboración de cosméticos, agentes tensoactivos, detergentes, insecticidas y herbicidas. Es un emulsificante para ceras, pulimentos, y recubrimientos. También es usada como aditivo para lubricantes, inhibidores de corrosión y desemulsificantes de petróleo.

2.2.3. Trietanolamina

Conocida como TEA, es un compuesto químico orgánico, que se encuentra formado por una amina terciaria y tres grupos de hidroxilos lo que lo convierte en un compuesto esencial para formar compuestos como sales, jabones, aminas o ésteres. Es viscoso, de aspecto incoloro a amarillo pálido.

- Fórmula molecular: $C_6H_{15}NO_3$
- Peso molecular: 149,190 g/mol
- Estructura química (Figura 2.3)

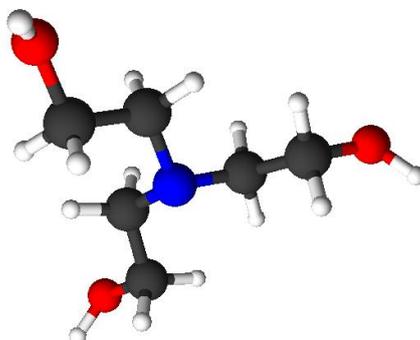


Figura 2.3 - TEA.

Elaboración propia.

- Nombre IUPAC: 2,2',2"- Nitrilotrietanol
- Numero de CAS: 102-71-6

Aquí debajo se presenta en la Tabla 2.3 sus propiedades:

Tabla 2.3 - Propiedades de la TEA.

Propiedades de la Trietanolamina	
Densidad relativa (agua=1)	1,124
Densidad relativa le vapor (aire=1)	5,1
Punto de fusión [°C]	21,6
Punto de ebullición [°C]	335,4
Punto de inflamación [°C]	179
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	0
Solubilidad en agua	Miscible
Temperatura de autoignición [°C]	324
Viscosidad dinámica a 30 °C [kg/m·s]	0,39
Tensión superficial a 20 °C [kcal/m ²]	0,0000115
Calor de vaporización a 1 atm [kcal/kg]	123,76
Calor especifico [kcal/kg·°C]	0,5565
pH	10,500 (1% solución acuosa)

Elaboración propia. Fuente: Ullmann's - Base de datos ICSC.

➤ Peligros químicos

La sustancia es una base débil que reacciona con oxidantes. Se descompone al arder, produciendo vapores tóxicos y corrosivos como óxidos de nitrógeno, entre otros.

➤ Aplicaciones

Se puede combinar con ácidos grasos para la producción de detergentes y productos de cuidado personal. También se utiliza como aditivo de cemento para controlar la velocidad de evaporación del mismo en el secado. Igualmente encuentra uso como inhibidor de corrosión para perforar hardware.

2.3. Descripción de la materia prima

2.3.1. Amoníaco

Es un compuesto químico, formado por tres átomos de hidrógeno y por un átomo de nitrógeno, se puede encontrar en forma de gas incoloro y fácil de identificar por su olor desagradable, fuerte y penetrante. Es soluble y altamente volátil.

- Fórmula molecular: NH₃
- Peso molecular: 17,031 g/mol
- Estructura química (Figura 2.4)

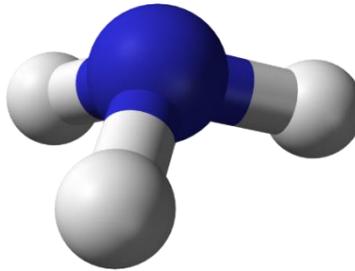


Figura 2.4 - NH₃.

Elaboración propia.

- Nombre IUPAC: azano
- Numero de CAS: 7664-41-7

En la Tabla 2.4 se podrán observar las distintas propiedades:

Tabla 2.4 - Propiedades del NH₃.

Propiedades del Amoníaco	
Densidad relativa (agua=1)	0,68
Densidad relativa le vapor (aire=1)	0,6
Punto de fusión [°C]	-77,71
Punto de ebullición [°C]	-33,43
Punto de inflamación [°C]	11
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	8,77
Solubilidad en agua a 20 °C	Se disuelve fácilmente
Temperatura de autoignición [°C]	651
Calor de vaporización a 1 atm [kcal/kg]	327,44

Elaboración propia. Fuente: Ullmann's - Base de datos ICSC.

- Peligros físicos

El gas es más ligero que el aire.

- Peligros químicos

Las mezclas con óxidos de mercurio, plata y oro son sensibles al choque. Es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva, también reacciona violentamente con oxidantes fuertes, halógenos y muchas otras sustancias. Ataca el cobre, el aluminio, el cinc y sus aleaciones. Al disolverse en agua desprende calor.

- Aplicaciones

Además de que se implementa en la producción de las etanolaminas antes mencionadas, junto con óxido de etileno.

Se emplea para la producción de fertilizantes como urea granulada, nitrato de amonio, fosfato, sulfato.

Un uso importante del nitrógeno amoniacal, en parte después de la conversión a ácido nítrico, es la producción de plásticos y fibras, como poliamidas, formaldehído, resinas fenólicas, resinas a base de melamina, poliuretanos y poliacrilonitrilo.

Otra aplicación es la fabricación de explosivos, hidrazina, aminas, amidas, nitrilos y otros compuestos orgánicos de nitrógeno, que sirven como intermedios para colorantes y productos farmacéuticos.

En el sector medioambiental, el amoníaco se utiliza en diversos procesos para eliminar el SO_2 de los gases de combustión de las plantas de energía de combustibles fósiles.

También puede servir como solvente en ciertos procesos y la nitruración de acero.

2.3.2. Óxido de etileno

Igualmente, conocido como oxirano, abreviado OE, es un gas inflamable de aroma más bien dulce, que se disuelve con facilidad en el agua, el alcohol y la mayoría de los solventes orgánicos.

El OE es muy reactivo debido a que presenta un anillo altamente tensado que se puede abrir fácilmente y es, por lo tanto, uno de los productos químicos intermedios más versátiles. Por su reactividad y toxicidad, también es un compuesto peligroso que tiene estado involucrado en una serie de incidentes graves.

- Fórmula molecular: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$
- Peso molecular: 44,050 g/mol
- Estructura química (Figura 2.5)

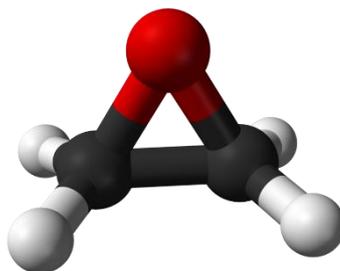


Figura 2.5 - OE.

Elaboración propia.

- Nombre IUPAC: oxirano
- Numero de CAS: 75-21-8

A continuación, en la Tabla 2.5 se adjunta las siguientes propiedades:

Tabla 2.5 - Propiedades del OE.

Propiedades del óxido de etileno	
Densidad relativa (agua=1)	0,899
Densidad relativa le vapor (aire=1)	1,5
Punto de fusión [°C]	-112,5
Punto de ebullición [°C]	10,8
Punto de inflamación [°C]	<-18
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	1,515
Solubilidad en agua	Miscible
Temperatura de autoignición [°C]	429
Tensión superficial a 20 °C [kcal/m ²]	0,00000586
Calor de vaporización a 20 °C [kcal/kg]	137,13

Elaboración propia. Fuente: Ullmann's - Base de datos ICSC.

➤ Peligros físicos

El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.

➤ Peligros químicos

Puede polimerizar por calentamiento intenso, bajo la influencia de ácidos, bases, cloruros de metales y óxidos metálicos; esto genera peligro de incendio o explosión. Se descompone por encima de 560 °C en ausencia de aire, lo que también genera peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con muchos compuestos.

➤ Aplicación

El OE se produce en grandes cantidades y se utiliza para elaborar otras sustancias químicas, especialmente el etilenglicol, una sustancia que se usa en la producción de anticongelantes y el poliéster.

También es un excelente desinfectante, agente esterilizante y fumigante cuando se usa como una mezcla no explosiva con N₂, CO₂ o diclorofluorometano. El gas penetra en los poros y a través del embalaje o la ropa. Se puede usar, por ejemplo, para esterilizar instrumentos quirúrgicos en hospitales o para eliminar plagas y microorganismos de especias, pieles, etc. Sin embargo, la mayoría del óxido de etileno se convierte en otros productos.

2.3.3. Agua

El agua es un compuesto químico estable formado, a nivel molecular, por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Gracias a los puentes de hidrógeno, las distintas moléculas de agua se unen entre sí dando lugar a la sustancia de las más conocidas.

El agua tiene unas propiedades específicas que la convierten en un elemento idóneo para la vida.

- Polaridad: sus moléculas son polares lo que convierte en un excelente disolvente de sustancias también polares. De ahí que reciba el nombre de "disolvente universal", aunque, precisamente por esta propiedad, no sea capaz de disolver sustancias apolares, como grasas y aceites.

- Calores específicos de vaporización y fusión: la cantidad de calor necesaria para evaporar, fundir o calentar el agua es más elevada que en otras sustancias. Esto hace que el agua sea un buen almacenador de calor, ayudando así a regular la temperatura del planeta y de los organismos vivos.
- Cohesión: una repercusión importante de la polaridad es que las moléculas, al atraerse entre sí, se mantienen como enlazadas unas con otras, lo que tiene gran interés en fenómenos como el ascenso de la savia en los vegetales o el movimiento del agua en el suelo.
- Densidad: la densidad del agua es de 1000 kg/m^3 , si bien va aumentando según disminuye la temperatura, alcanzando su máxima densidad a los $4 \text{ }^\circ\text{C}$. A partir de aquí, según va bajando la temperatura, comienza a disminuir la densidad, provocando que el hielo flote en el agua.
- Formula molecular: H_2O
- Peso molecular: 18,015
- Estructura química (Figura 2.6)

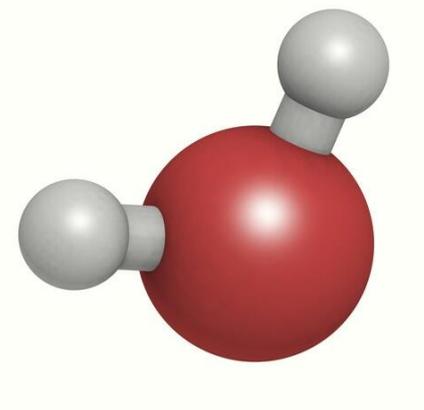


Figura 2.6 - H_2O .

Elaboración propia.

- Número CAS: 7732-18-5

A continuación, en la Tabla 2.6 se muestran las propiedades de esta:

Tabla 2.6 - Propiedades del agua.

Propiedades del Agua	
Densidad relativa	1,00
Punto de fusión [$^\circ\text{C}$]	0,00000746
Punto de ebullición [$^\circ\text{C}$]	100
Presión de vapor a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [kg/cm^2]	0,025
Viscosidad a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [$\text{kg/m}\cdot\text{s}$]	0,001048
Calor de vaporización a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [kcal/kg]	584
Calor específico del líquido [$\text{kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$]	1,00
pH	7,00

Elaboración propia. Fuente: Chemcad.

2.4. Clasificación

Los productos y materias primas se van a clasificar en categorías de acuerdo a la sustancia, que luego va a ser implementado en la localización de los taques dentro de la planta y sus respectivas distancias hacia el resto de la infraestructura.

Clase A: Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 1 bar. Según la temperatura a la cual se almacenan puede considerarse como:

- Subclase A1, licuados a una temperatura menor de 0 °C.
- Subclase A2, licuados en otras condiciones.

Clase B: Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55 °C y no están comprendidos en la clase A. Según el punto de inflamación se clasifican en:

- Subclase B1, punto de inflamación menor que 38 °C.
- Subclase B2, punto de inflamación entre 38 °C y 55 °C.

Clase C: productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55 °C y 100 °C.

Clase D: productos cuyo punto de inflamación es superior a 100 °C.

Para el caso de las ETAS, la MEA se considera clase C, la DEA y TEA clase D. Mientras que el OE y Amoníaco se consideran clase A.



CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE MERCADO

3. Estudio de mercado

3.1. Introducción

En el presente capítulo se efectuará un análisis de estudio de mercado, en el cual se podrá observar el comercio a nivel mundial y nacional de la MEA, importaciones, exportaciones y producción de la materia prima en el territorio nacional. Además, se incorporará un análisis de FODA para evaluar fortalezas, oportunidades, debilidades y alternativas de dicho proyecto.

3.2. Mercado mundial

Para valuar el comercio mundial se recopiló información de la página ITC, la cual muestra valores desde el año 2014 al 2018. Obteniendo así todos los países importadores y exportadores de MEA, en el mundo. Se seleccionaron los cinco principales de cada año, de acuerdo a las toneladas resultando la Tabla 3.1 para los países importadores.

Tabla 3.1 - Principales importadores de MEA.

Año	2014	2015	2016	2017	2018
Países	Bélgica	Bélgica	Bélgica	Alemania	Alemania
	Canadá	Canadá	Canadá	Canadá	Canadá
	China	China	China	Francia	China
	Francia	Francia	Reino Unido	Reino Unido	India
	Reino Unido	Reino Unido	Tapei Chino	Tapei Chino	Países bajos

Elaboración propia. Fuente: ITC.

En cuanto a los países exportadores se cuenta con la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 - Principales exportadores de MEA.

Año	2014	2015	2016	2017	2018
Países	Arabia Saudita				
	Bélgica	Bélgica	Bélgica	Bélgica	Estados Unidos
	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Malasia
	Malasia	Malasia	Malasia	Malasia	Suecia
	Tailandia	Sudán	Tailandia	Sudán	Tailandia

Elaboración propia. Fuente: ITC.

Tomando referencia de los países importadores, se recopilaron los datos en la Tabla 3.3, la cual muestra los años, peso neto en toneladas y miles de dólares en el mundo en los últimos cuatro años. Además, se realizaron los Gráfico 3.1 y Gráfico 3.2.

Tabla 3.3 - Importaciones anuales.

Año	Peso neto [t]	Miles de USD
2014	279.401,00	458.069,00
2015	274.302,00	372.555,00
2016	263.990,00	311.654,00
2017	190.706,00	366.065,00
2018	259.407,00	444.996,00

Elaboración propia. Fuente: ITC.

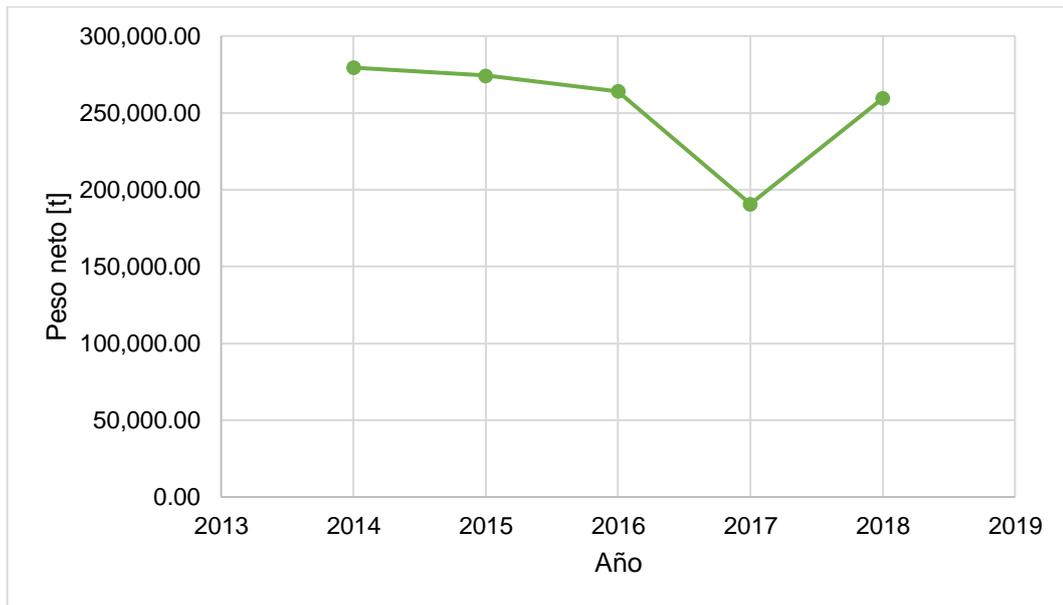


Gráfico 3.1 - Peso neto de importaciones anuales.

Elaboración propia. Fuente: ITC.

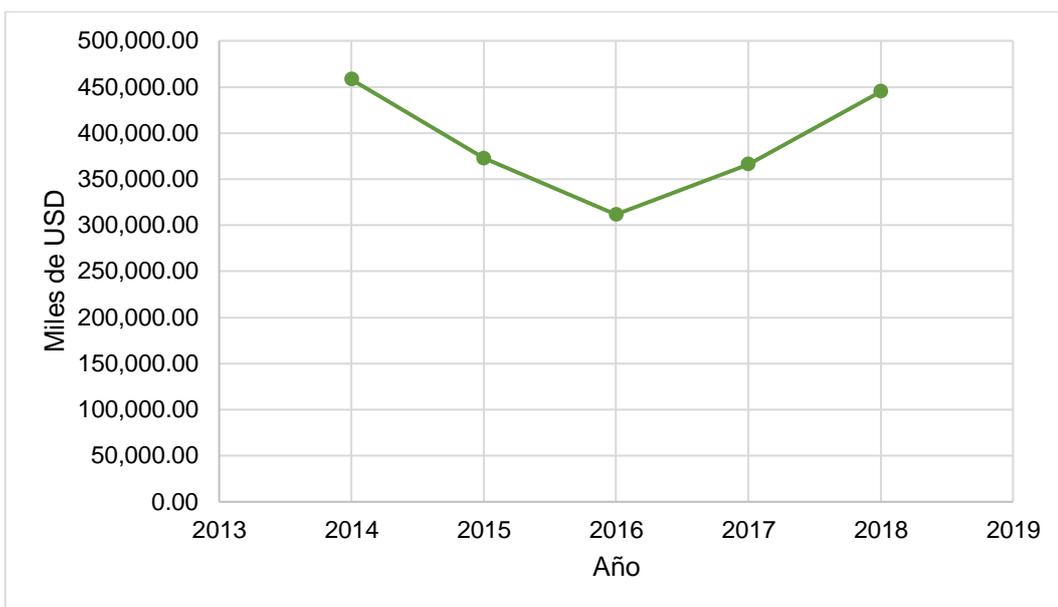


Gráfico 3.2 - Miles de USD de importaciones.

Elaboración propia. Fuente: ITC.

El Gráfico 3.1 muestra un descenso marcado en el año 2017 y luego un aumento en lo que respecta al 2018. Al contrario, en el Gráfico 3.2 el punto mínimo se encuentra en el año 2016. Esto deja ver la inestabilidad económica que atravesaba el mundo en dicho momento.

Teniendo en cuenta los países exportadores, se resumieron los valores en la Tabla 3.4, la cual muestra los años, peso neto en toneladas y miles de dólares en el mundo. Además, se plasman dichos datos en los Gráfico 3.3 y Gráfico 3.4.

Tabla 3.4 - Exportaciones anuales.

Año	Peso neto [t]	Miles de USD
2014	233.619,00	353.579,00
2015	241.762,00	319.663,00
2016	253.048,00	284.509,00
2017	296.631,00	369.387,00
2018	252.538,00	407.449,00

Elaboración propia. Fuente: ITC.

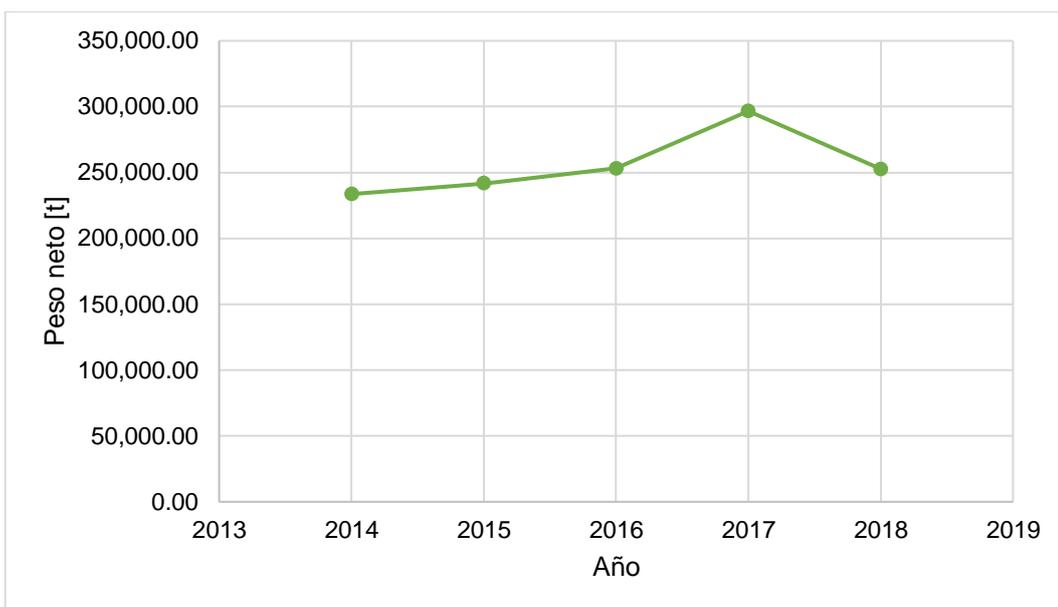


Gráfico 3.3 - Peso neto de exportaciones anuales.

Elaboración propia. Fuente: ITC.

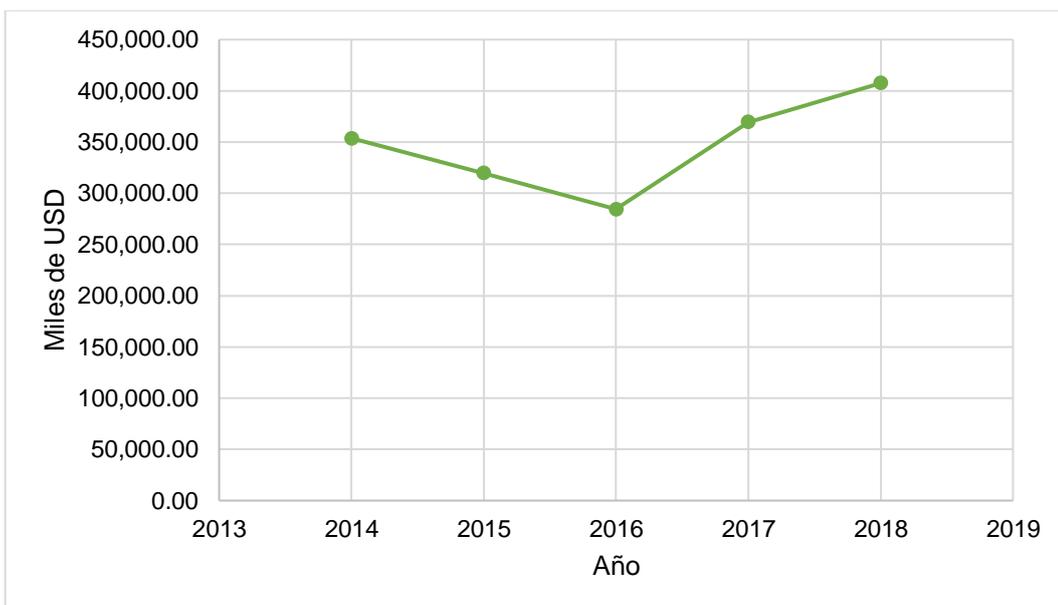


Gráfico 3.4 - Miles de USD de exportaciones anuales.

Elaboración propia. Fuente: ITC.

Como se puede observar en el Gráfico 3.3, las exportaciones correspondientes del año 2017 presentan un pico máximo. Comparando el Gráfico 3.4 con el Gráfico 3.2 se puede distinguir que en ambos existe un mínimo en el año 2016, esto recae en las oscilaciones económicas a nivel mundial.

3.3. Mercado nacional

Dentro del territorio nacional la MEA es producida, distribuida, comercializada e importada por diferentes empresas, algunas de las cuales se puede nombrar:

- Biopack: empresa fundada en 1988, ubicada en Zárate, Bs As.
- Cicarelli: creada en 1948, dedicada a la fabricación, fraccionamiento y comercialización de reactivos analíticos y materias primas. Se encuentra en San Lorenzo, Santa Fe.
- Sintorgan: brinda servicios desde 1960, destinada a la elaboración de solventes de alta pureza. Situada en Villa Martelli, Buenos Aires.
- Centauro Alpha SRL: ofrece servicio hace más de 40 años. Importa y exporta mercadería. Florida, Buenos Aires
- Nameco SRL: Villa Bosch, Buenos Aires.
- Laquimar SACIF: empresa dedicada a la importación, distribución y comercialización. Instaurada en 1965 en la provincia de Buenos Aires.
- Cicloquímica: desde 1963 en la provincia de Bs As, dicha empresa abastece a las siguientes industrias: alimenticia, resinas sintéticas, productos agroquímicos, textiles, desinfectantes, productos de limpieza, pinturas, tintas y esmaltes, farmacéuticos, cosméticos, aceites y lubricantes, veterinarios y cerámicos.
- Chemical ingredients and solutions: dedicada a la importación y distribución de materias primas para la industria química. Instalada en Villa Martelli, Bs As.

Los datos requeridos para calcular la demanda, importaciones y exportaciones, son extraídos de INDEC, utilizando la posición arancelaria 29.221.100 referido a monoetanolamina y sus sales. Este análisis nos permite estimar el comportamiento de los productos en los últimos diez años y proyectar el mismo en los años siguientes.

3.3.1. Importaciones

Los principales países de los cuales proviene la MEA pueden observarse en la Tabla 3.5 y su respectivo porcentaje en el Gráfico 3.5.

Tabla 3.5 - Países de origen de las importaciones.

País de origen	Peso neto [t]
Estados Unidos	13.528,34
México	4.705,02
Suecia	4.268,35
Brasil	3.150,36
Alemania	1.726,97
Taiwán	679,60
China	303,89
Bélgica	83,04
Francia	33,60
Corea	16,80
Italia	1,45

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

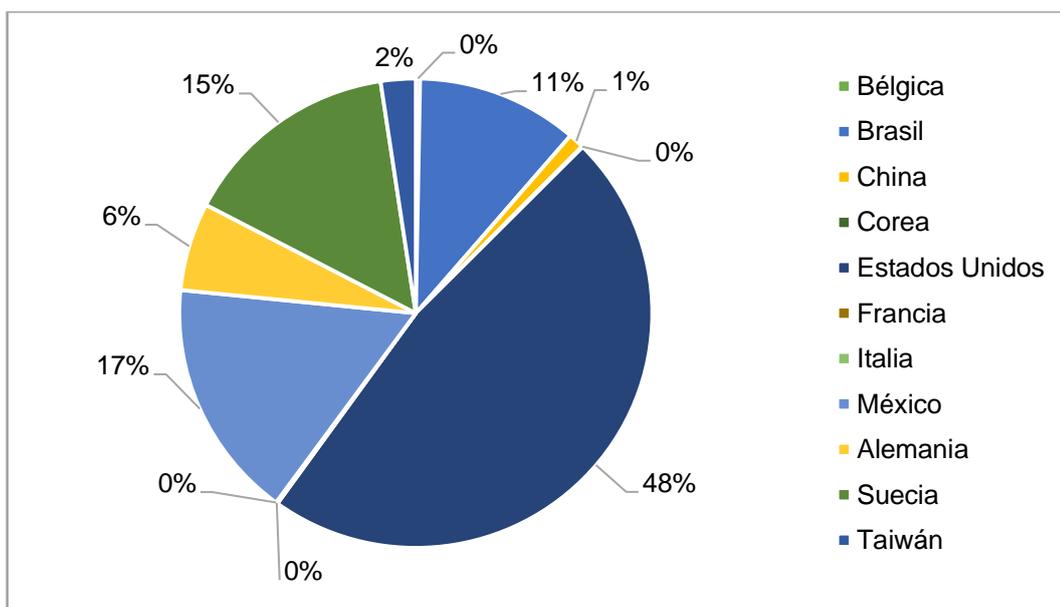


Gráfico 3.5 - Países de origen de las importaciones.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

A continuación, en la Tabla 3.6 se observa el peso neto, monto y relación monto/peso de las importaciones en los últimos diez años. En los Gráfico 3.6 y Gráfico 3.7 se muestran las diferentes relaciones frente a los distintos años.

Tabla 3.6 - Importaciones de MEA.

Año	Peso neto [t]	Monto CIF en USD	USD/t
2008	2.129,86	4.497.094,000	2.111,45
2009	2.228,74	3.306.635,00	1.483,63
2010	2.403,29	3.494.721,00	1.454,14
2011	2.472,48	3.860.588,00	1.561,42
2012	2.771,07	4.208.226,00	1.518,63
2013	3.254,25	5.018.714,00	1.542,20
2014	3.270,86	5.084.061,00	1.554,35
2015	2.461,05	3.570.365,00	1.450,75
2016	2.440,06	2.931.928,00	1.201,58
2017	2.490,09	2.601.312,00	1.044,67
2018	2.375,68	2.680.032,00	1128,11

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

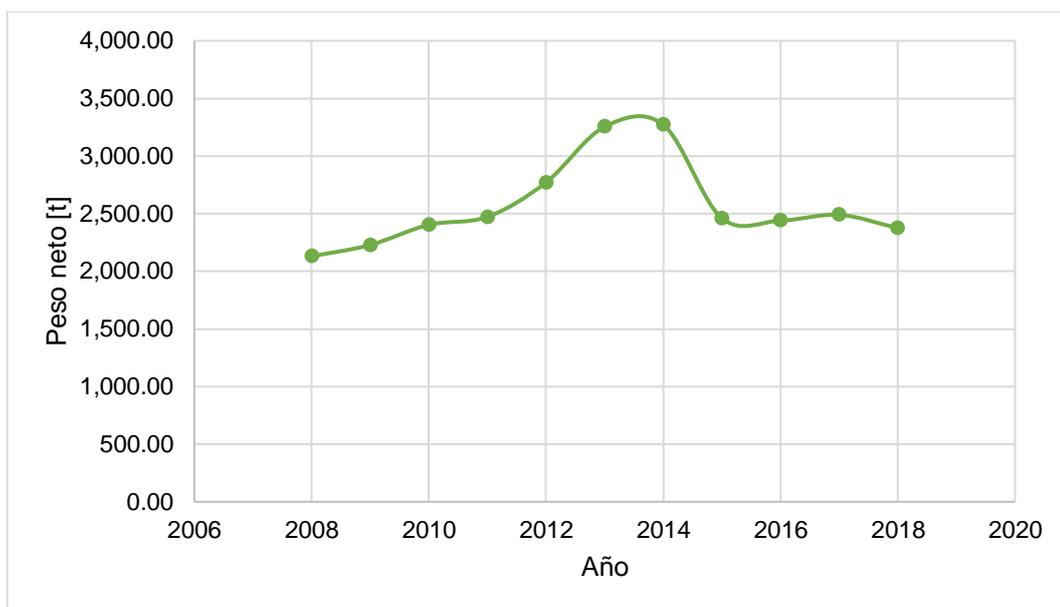


Gráfico 3.6 - Cantidades importadas de MEA.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

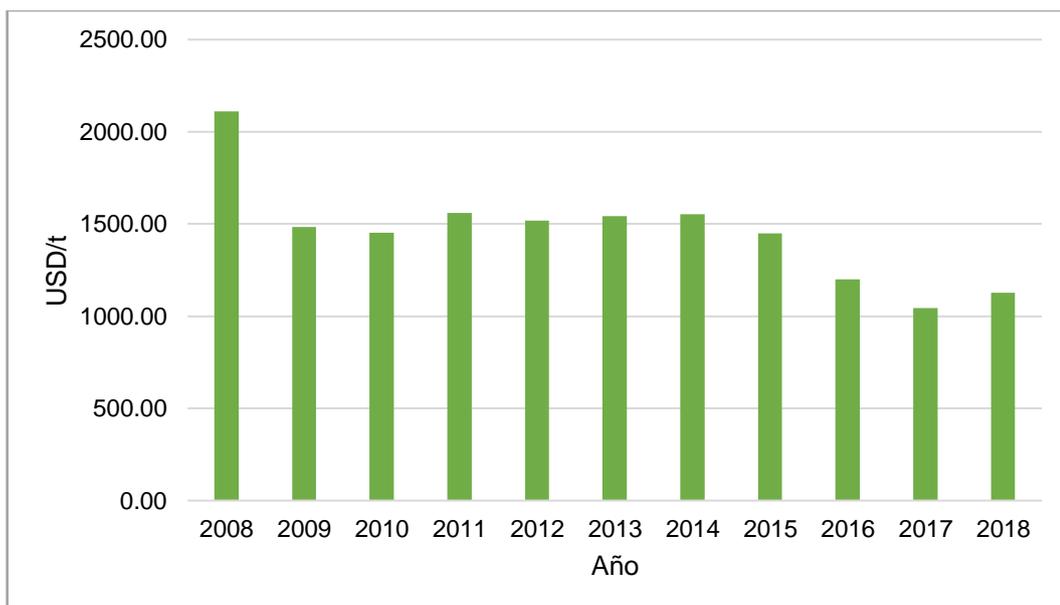


Gráfico 3.7 - Monto CIF/t.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

Se puede observar a través del Gráfico 3.6 que en los años comprendido entre 2008 y 2012 hubo un leve ascenso de las importaciones, detectándose un pico máximo en los años 2013 y 2014. Luego se distingue un considerable descenso en el año 2015. Los siguientes años perciben pequeñas variaciones.

3.3.2. Exportaciones

En la Tabla 3.7 adjunta se pueden apreciar los países de destino de dichas exportaciones junto con el Gráfico 3.8.

Tabla 3.7 - Países de destino de las exportaciones.

País de destino	Peso neto [t]
Bolivia	79,02
Chile	51,57
Brasil	16,40
México	11,40
Paraguay	10,72
Cuba	7,04
Uruguay	3,35
Confidencial	1,22
Perú	0,44

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

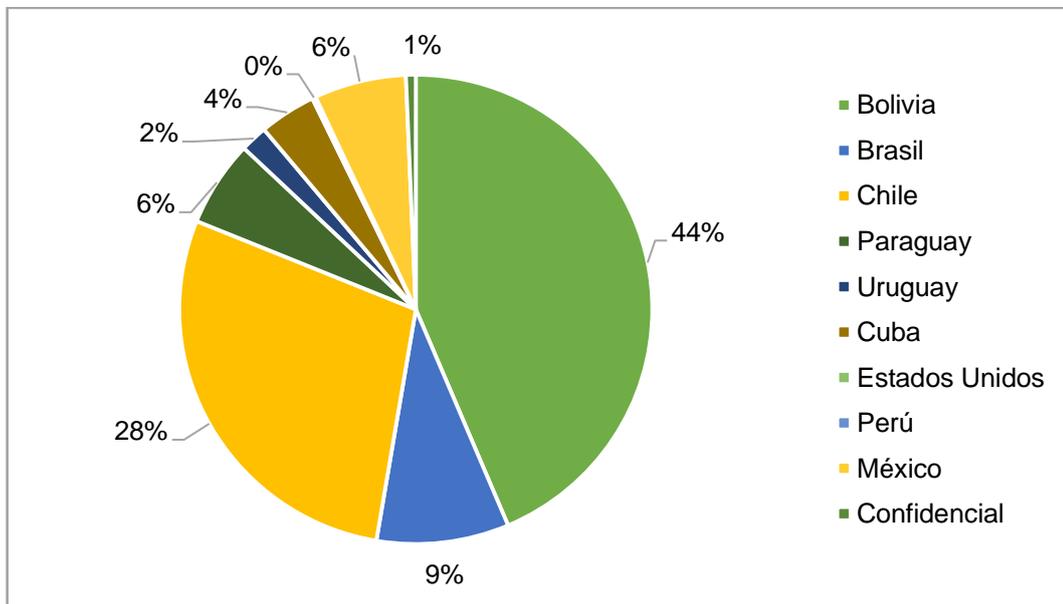


Gráfico 3.8 - Países de destino de las exportaciones.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

Posteriormente, en la Tabla 3.8 se observan los datos de exportación de nuestro país en los últimos diez años.

Tabla 3.8 - Exportaciones de MEA.

Año	Peso neto [t]	Monto FOB en USD	USD/t
2008	39,93	121.058,00	3031,76
2009	18,94	53.786,00	2839,81
2010	6,07	13.305,00	2190,12
2011	3,41	8.232,00	2414,08
2012	14,45	40.045,00	2771,28
2013	7,92	35.310,00	4455,52
2014	5,96	14.920,00	2505,18
2015	10,93	30.599,00	2798,26
2016	3,76	8.244,00	2192,55
2017	48,84	86.785,00	1777,01
2018	20,94	44.061,24	2104,17

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

De forma similar en el Gráfico 3.9 se representa el peso neto de las exportaciones vs tiempo.

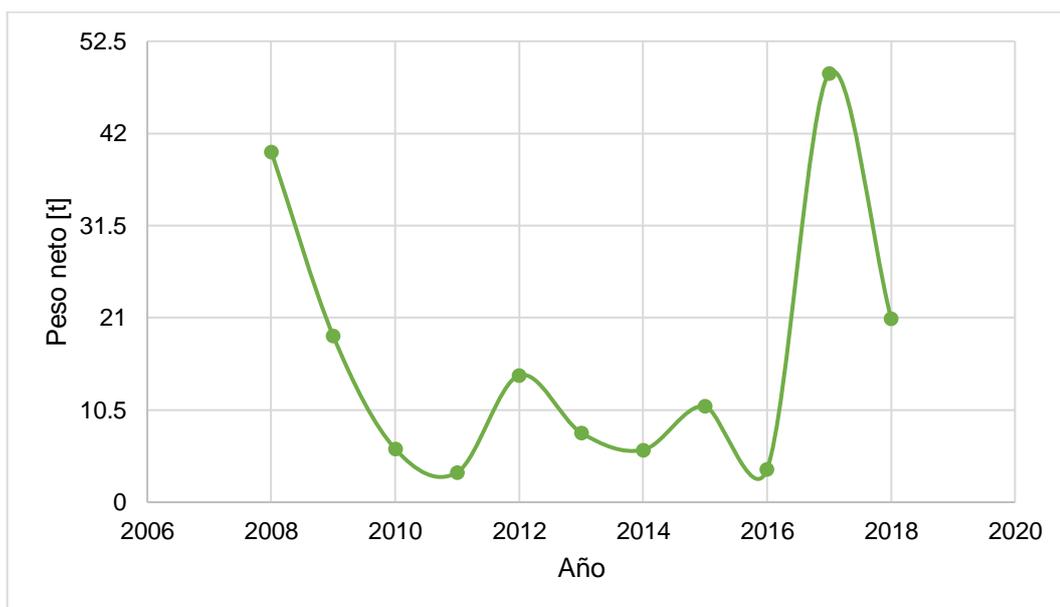


Gráfico 3.9 - Cantidades exportadas de MEA.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

El Gráfico 3.9 muestra como en el año 2008 comienzan a descender las exportaciones, existiendo entre 2010 y 2016 una serie de oscilaciones. Luego en el año 2017 presenta una gran suba y decae nuevamente.

3.3.3. Demanda insatisfecha

Al no contar con información para obtener el consumo aparente en Argentina, no se ha tenido en cuenta para calcular la demanda.

$$\text{Demanda insatisfecha} = \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

En la Tabla 3.9 se adjuntan los valores encontrados de la misma, desde el año 2008 al 2018.

Tabla 3.9 - Demanda insatisfecha.

Año	Demanda insatisfecha [t]
2008	2.089,93
2009	2.209,80
2010	2.397,22
2011	2.469,07
2012	2.756,62
2013	3.246,32
2014	3.264,90
2015	2.450,11
2016	2.436,30
2017	2.441,25
2018	2.354,74

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

Al ser superiores los valores de importaciones, se estima que la demanda se encuentra insatisfecha, no logrando abastecer el mercado interno.

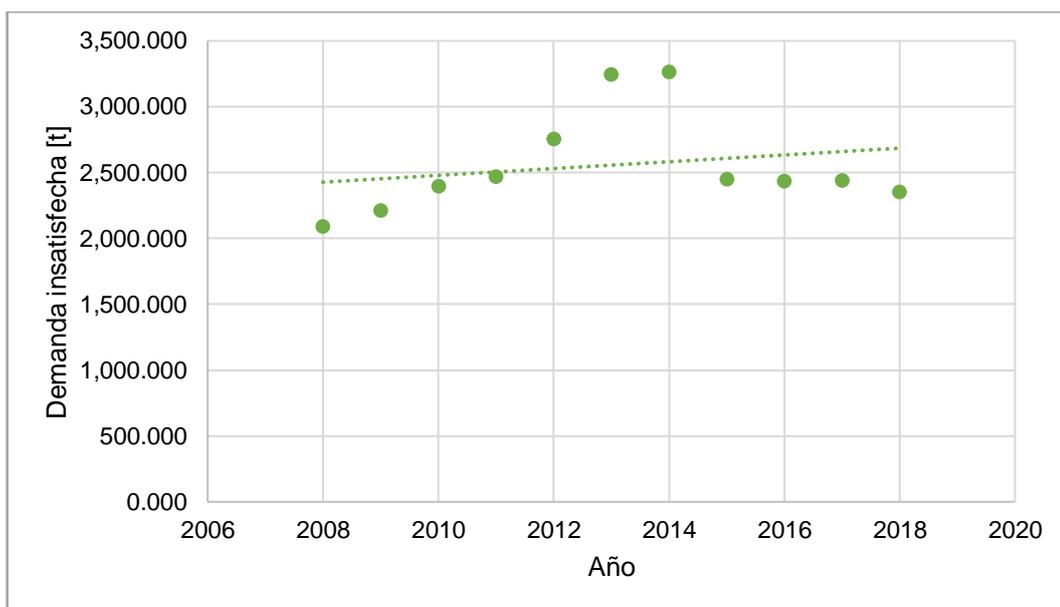


Gráfico 3.10 - Demanda insatisfecha.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

En el Gráfico 3.10 se detectan tres puntos que se desvían de la tendencia con respecto al resto. Esto apunta a la inestabilidad económica surgida en 2012, 2013 y 2014. Como consecuencia de lo acontecido en dichos años, se procede a realizar un promedio entre los años 2011 y 2015 para asignarlo a los años correspondientes. Luego de la corrección realizada se obtiene la Tabla 3.10 y el Gráfico 3.11.

Tabla 3.10 - Demanda Insatisfecha.

Año	Demanda insatisfecha [t]
2008	2.089,93
2009	2.209,80
2010	2.397,22
2011	2.469,07
2012	2.459,59
2013	2.459,59
2014	2.459,59
2015	2.450,11
2016	2.436,30
2017	2.441,25
2018	2.354,74

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

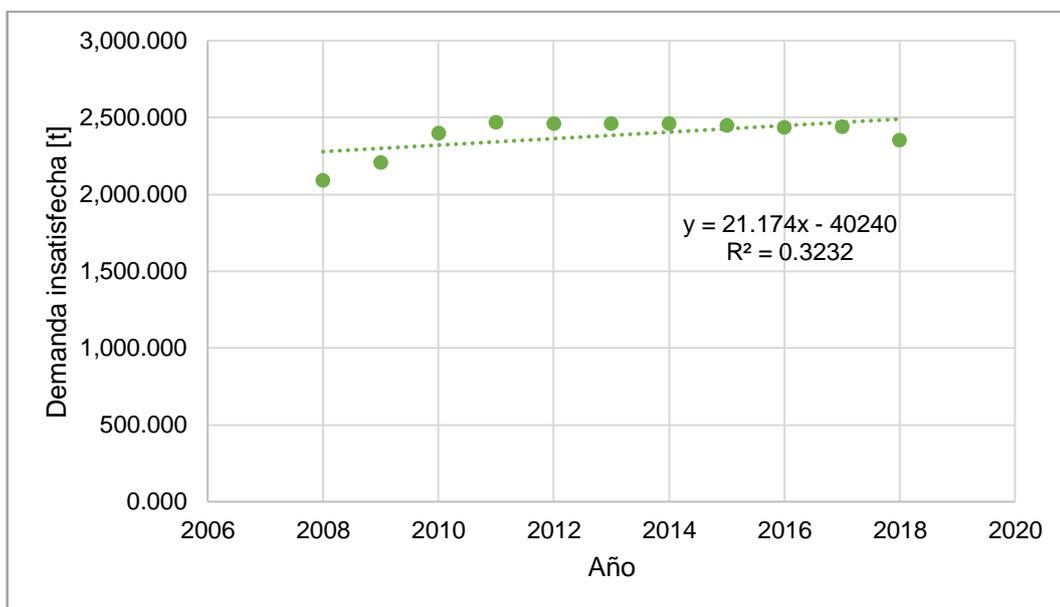


Gráfico 3.11 - Demanda insatisfecha.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

El valor obtenido del R^2 es de 0,3232; la tendencia lineal en los próximos años se puede considerar admisible, en la que si no se tiene en cuenta los dos primeros años R^2 alcanza un valor de 0,8112.

Posteriormente, con la demanda se calcula la producción máxima, a partir de la cual se proyectan los equipos y operaciones de la planta.

3.4. Materias primas

3.4.1. Amoníaco

En nuestro país las empresas que proveen amoníaco son las siguientes.

➤ Importadoras

The Linde Group: empresa alemana fabricante de gases industriales. Fundada en 1879. Esta multinacional presenta sede en nuestro país. Entre sus productos se encuentra amoníaco disponible en variedad de purezas, en cilindros o tambores y semigranel.

➤ Productoras

Profertil SA: produce y comercializa nutrientes para la tierra, la planta genera 1.320.000 toneladas anuales de Urea y 790.000 toneladas anuales de amoníaco. Los productores de alimentos son los principales destinatarios de sus productos y soluciones. La planta de producción se encuentra en el puerto ingeniero White, en Bahía Blanca. Dicha empresa abastece a distribuidores, pero no comercializa directamente con el consumidor final.

Sulfur SA: tiene como principal objetivo la producción de dióxido de azufre, produce amoníaco anhidro. Se encuentra en San Luis.

Bunge: compañía multinacional de agronegocios, alimentos e ingredientes, energía y fertilizantes. Produce amoníaco anhidro en el país.

➤ Distribuidoras

Química Oeste SA: ubicada en Esteban Echeverría, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Aczel & Cía: fundada en 1924 por distribuidores de Petrobras, fábricas militares y demás empresas como petroquímicas, pinturerías, metalúrgicas, frigoríficos, pesqueras y alimenticias entre otras. Ubicada en La Matanza, Buenos Aires. Ofrece amoníaco calidad industrial, a granel, en tubos de 55 kg, en tanques de 320 kg. Es distribuidora de Bunge.

Laquim SA: importa, exporta y distribuye productos químicos industriales de fabricantes de primer nivel nacional e internacional. Es distribuidora de Profertil SA.

Inquimex SA: representante y distribuidora de Profertil SA.

3.4.1.1. Importaciones y exportaciones

El amoníaco es importado desde diferentes países, de los cuales se puede nombrar: Brasil, Chile, China, Estados Unidos, Canadá. Sin embargo, la demanda está satisfecha. Las exportaciones son realizadas a diferentes países, de los cuales: Chile, Marruecos, Estados Unidos, Brasil, Paraguay, Bolivia, Uruguay.

Los datos presentados a continuación; importaciones Tabla 3.11 y Gráfico 3.12, exportaciones Tabla 3.12 y Gráfico 3.13; fueron extraídos de INDEC, utilizando la posición arancelaria 28.141.000.

Tabla 3.11 - Importaciones de amoníaco.

Año	Peso neto [t]	Monto CIF en USD
2008	84,01	54.956,00
2009	901,03	481.663,00
2010	1.040,76	564.817,00
2011	858,11	609.229,00
2012	220,00	237.091,00
2013	0,00	0,00
2014	0,02	694,00
2015	21,00	16.225,00
2016	0,00	0,00
2017	0,00	0,00
2018	0,00	0,00

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

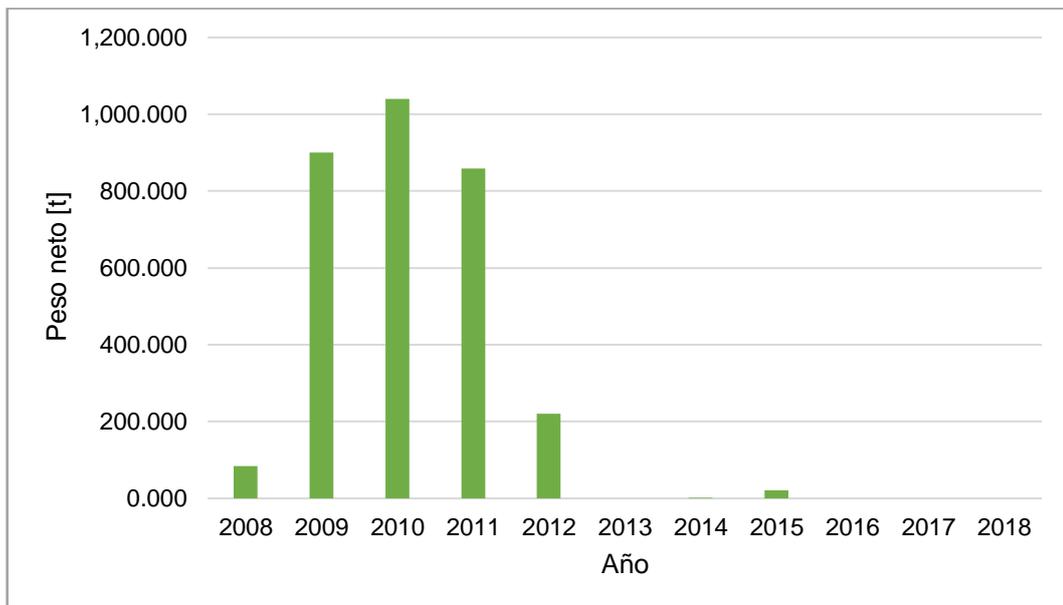


Gráfico 3.12 - Importaciones de amoníaco.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

Tabla 3.12 - Exportaciones de amoníaco.

Año	Peso neto [t]	Monto FOB en USD
2008	31.840,37	21.073.032,00
2009	12.497,67	3.806.665,00
2010	12.025,60	4.961.533,00
2011	54.169,88	27.249.534,00
2012	36.356,32	20.825.797,00
2013	45.269,10	21.003.312,00
2014	28.067,30	15.542.133,00
2015	33.884,83	14.114.619,00
2016	267,38	250.244,00
2017	16.625,83	4.074.508,65
2018	0,00	0,00

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

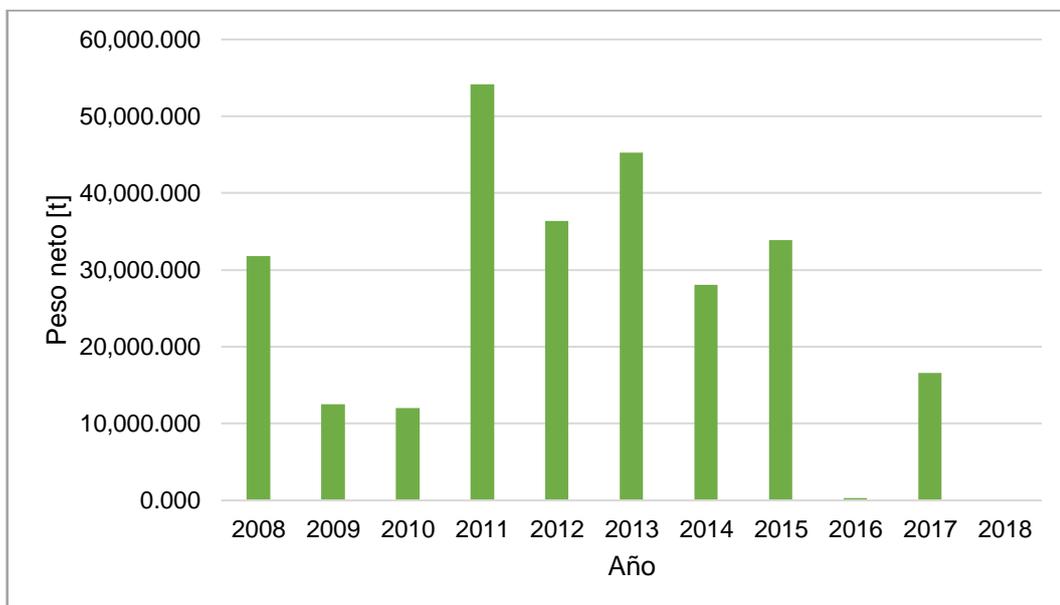


Gráfico 3.13 - Exportaciones de amoníaco.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

3.4.2. Óxido de etileno

3.4.2.1. Importaciones y exportaciones

El óxido de etileno es importado desde diferentes países: Alemania, Bélgica, Brasil y Estados Unidos. En cuanto a las exportaciones, los países de destino son: Alemania, Bélgica, Bolivia, Chile, Taiwán y Uruguay.

Los valores expuestos posteriormente, fueron sustraídos del INDEC, con la posición arancelaria 29.101.000.

Importaciones, Tabla 3.13 y Gráfico 3.14. Exportaciones, Tabla 3.12 y Gráfico 3.15.

Tabla 3.13 - Importaciones de óxido de etileno.

Año	Peso neto [t]	Monto CIF en USD
2008	49,95	210.376,00
2009	64,64	284.184,00
2010	54,18	224.871,00
2011	73,97	321.405,00
2012	59,31	242.902,00
2013	78,41	346.619,0
2014	63,50	303.828,00
2015	66,56	282.497,00
2016	78,06	387.354,00
2017	63,05	400.932,40
2018	60,60	367.086,10

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

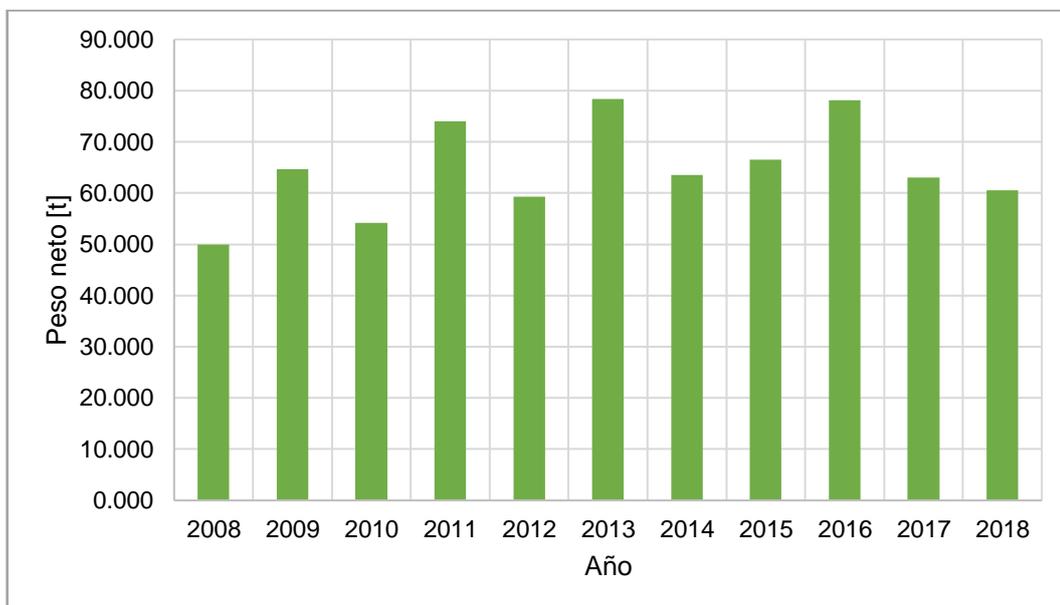


Gráfico 3.14 - Importaciones de óxido de etileno.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

Tabla 3.14 - Exportaciones de óxido de etileno.

Año	Peso neto [t]	Monto FOB en USD
2008	1,58	11590,00
2009	0,34	7372,00
2010	0,54	11465,00
2011	0,39	9321,00
2012	1,22	53214,00
2013	0,47	11743,00
2014	1,52	53697,00
2015	0,79	36700,00
2016	1,43	40825,00
2017	0,42	14159,65
2018	0,00	0,00

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

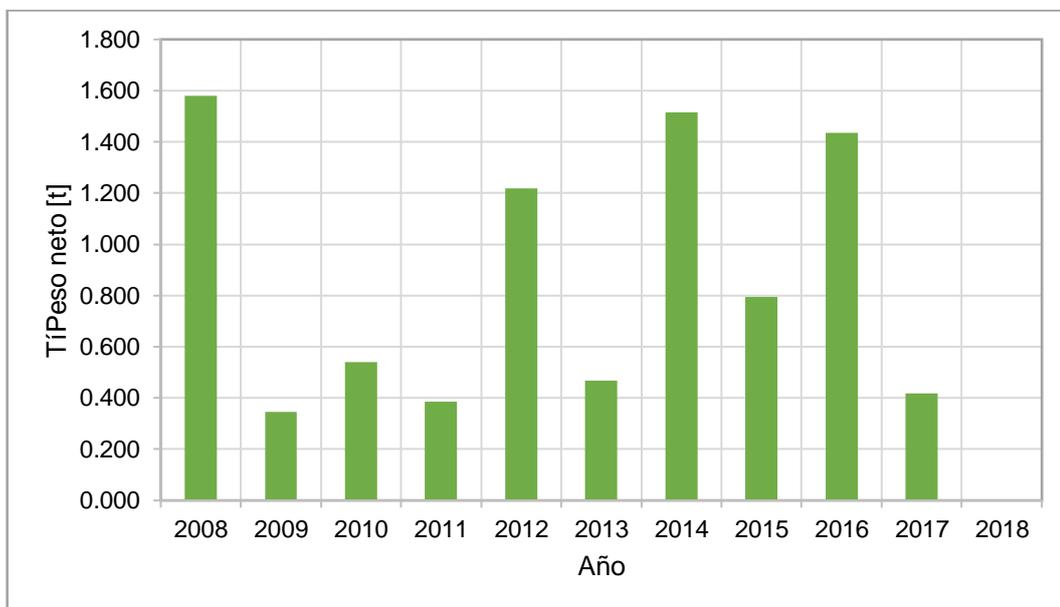


Gráfico 3.15 - Exportaciones de óxido de etileno.

Elaboración propia. Fuente: INDEC.

De acuerdo a los valores presentados y a que en el país solo se encuentra óxido de etileno en capsulas muy pequeñas, se decidió que dicha materia prima será importada desde Estados Unidos. La cual se analizará en capítulos posteriores.

3.5. Análisis de FODA

El análisis FODA es una herramienta de planificación estratégica, diseñada para realizar un análisis interno (Fortalezas y Debilidades) y externo (Oportunidades y Amenazas) en la empresa.

3.5.1. Fortaleza

- El producto como los subproductos son empleados por una extensa gama de industrias para distintos fines entre ellos, jabones, detergentes, tinta, tinturas, caucho.

- Disponibilidad de mano de obra competente.
- Comprende parte del mercado insatisfecho en el periodo de estudio.
- Posibilidad de acoplar a una planta de producción de amoníaco existente o en la cercanía.

3.5.2. Oportunidades

- Crecimiento de la demanda interna de producto y subproductos.
- Oportunidad de asociación con proveedores de materia prima.
- En la actualidad se están investigando nuevos campos de aplicación.
- No requieren inserción en el mercado debido a que los productos son conocidos.
- Los análisis realizados proyectan la oportunidad de establecer una industria que logre ser rentable.

3.5.3. Debilidades

- Gran inversión inicial.
- La inestabilidad económica-financiera existente dentro del país que podrían perjudicar a la industria.
- Amplia oferta de MEA producida en el exterior e importada por empresas que residen en el país.

3.5.4. Amenazas

- Competencia procedente de industrias extranjeras, que abastecen el mercado mundial.
- Producción nacional a gran escala.
- Incertidumbre en el mercado nacional ocasionado por fluctuaciones económicas.



CAPÍTULO 4

CAPACIDAD DE LA PLANTA

4. Capacidad de la planta

4.1. Introducción

En el presente capítulo se establecerá la capacidad de la planta. A través del estudio de mercado realizado con anterioridad se estima la demanda futura, definiendo así el tamaño del proyecto. Conjuntamente se determina la cantidad de materia prima necesaria que se tendrá en cuenta en la etapa posterior de localización de la planta.

4.2. Demanda a futuro

A partir de los datos de la Tabla 3.10 y con la Ecuación 4.1 obtenida a través de la línea de tendencia del Gráfico 3.11 se deducen los valores de demanda insatisfecha proyectados diez años a futuro, los cuales se encuentran en la Tabla 4.1, que determina el Gráfico 4.1.

$$y = 21,174 \cdot x - 40240$$

Ecuación 4.1 - Línea de tendencia.

Tabla 4.1 - Demanda a futuro.

Año	Demanda Insatisfecha [t]
2019	2.510,31
2020	2.531,48
2021	2.552,65
2022	2.573,83
2023	2.595,00
2024	2.616,18
2025	2.637,35
2026	2.658,52
2027	2.679,70
2028	2.700,87

Elaboración propia.

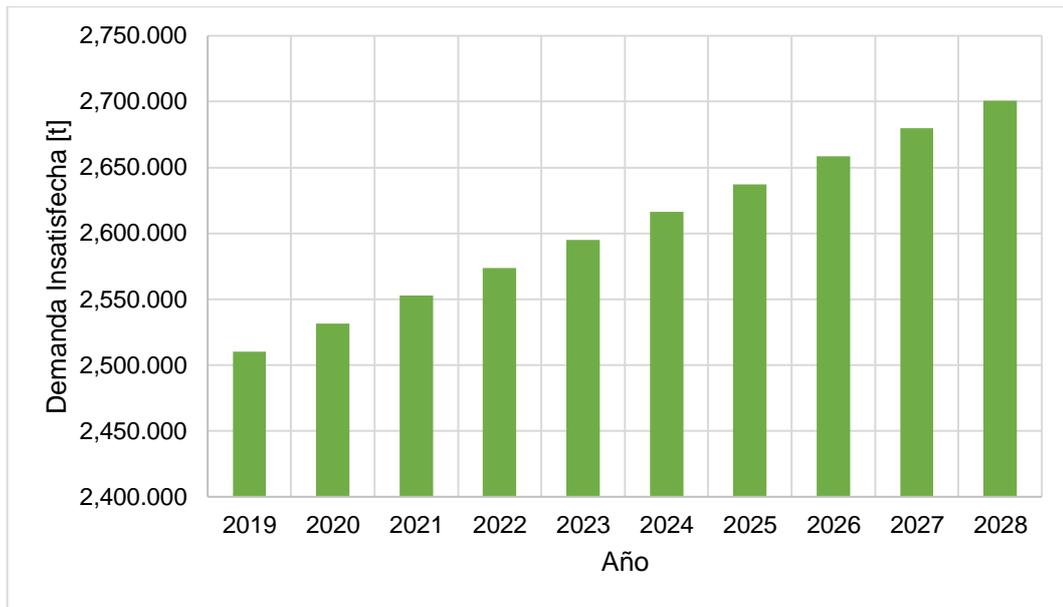


Gráfico 4.1 - Demanda a futuro.

Elaboración propia.

A continuación, en la Gráfico 4.2 se puede observar la tendencia final a través de los años.

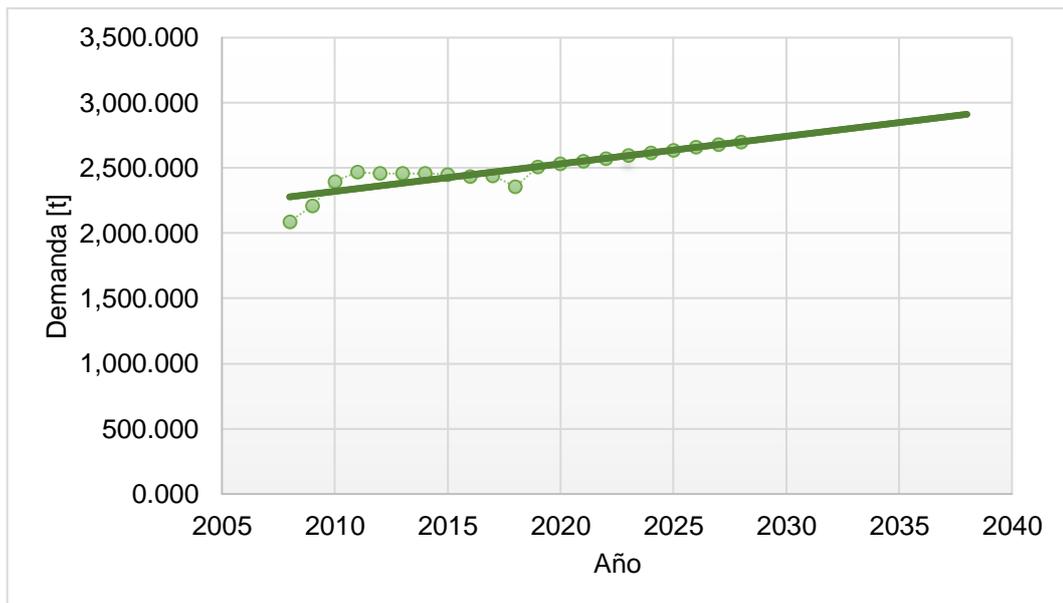


Gráfico 4.2 - Tendencia de la demanda a través de los años.

Elaboración propia.

4.3. Producción óptima en función de la demanda

Después de los análisis realizados puede certificarse que la demanda crece año tras año, debido a esto la producción deberá acompañar dicha evolución.

Para establecer la capacidad se dispone de un método de aproximación, el cual examina diferentes factores que hacen variar el tamaño óptimo de la producción, así como la demanda futura, disponibilidad de insumos, capacidad financiera del inversionista, crecimiento de la

competencia, entre otros. Para emplear dicha ecuación se necesita fijar los siguientes parámetros:

- D_n : capacidad óptima de proyección futura.
- D_0 : magnitud de la demanda actual que satisface el proyecto.
- r : tasa de crecimiento de la demanda que satisface el proyecto.
- N : vida útil de la maquinaria y equipos, 10 años por convenio.
- α : factor de escala.

El exponente del factor de escala toma un valor de 0,86 el cual se obtiene de una lista de factores calculados para las industrias químicas, petroquímicas y automovilísticas, generada por las Naciones Unidas, Boletín N° 20 "industrialización y productividad" (SAPAG, 1989).

En aquellos mercados en los que el consumo del producto presenta una tendencia creciente, como es en este caso, se estima el periodo óptimo "n", correspondiente al tamaño del proyecto. Empleando la Ecuación 4.2.

$$\frac{1}{R^n} = 1 - 2 \cdot \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha}\right) \cdot \left(\frac{R - 1}{R + 1}\right)^{N-n}$$

Ecuación 4.2 - Periodo óptimo.

- R : desarrollo porcentual de la demanda, deducida por la Ecuación 4.3.

$$R = 1 + r$$

Ecuación 4.3 - Desarrollo porcentual de la demanda.

Para establecer "r" se emplearon los datos obtenidos en la Tabla 4.1 y la Ecuación 4.4 que se encuentra a continuación. La tasa de crecimiento anual resulto ser 0,0082.

$$r = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{1/x} - 1$$

Ecuación 4.4 - Parámetro r.

- v_f : valor final.
- v_i : valor inicial.
- x : cantidad de años.

A partir de estos datos se obtienen los valores resultantes serán de 1,0082 para R y 9,735 para n.

Una vez hallados dichos parámetros se proceden a calcular el tamaño óptimo aconsejable del proyecto " D_n " utilizando la Ecuación 4.5.

$$D_n = D_0 \cdot (1 + r)^n$$

Ecuación 4.5 - Tamaño óptimo del proyecto.

La resolución de esta ecuación arroja un resultado de 2718 toneladas anuales, que concuerda con las expectativas de crecimiento de mercado expuestas al comienzo. Se adopta una capacidad de 2700 t/año. Las ecuaciones anteriores fueron extraídas del libro SAPAG, 1989.

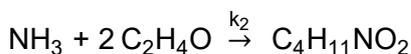
4.4. Requerimiento de materia prima

De las dos materias primas necesarias en este proceso, el amoníaco debe ser suministrado directamente por una empresa productora, por lo tanto, será necesario establecer en esta instancia cuánto amoníaco se necesitará.

Las ecuaciones expuestas posteriormente presentan las reacciones que ocurren en serie y paralelo, Ecuación 4.6 reacción de formación de MEA, Ecuación 4.7 formación de DEA y Ecuación 4.8 formación de TEA



Ecuación 4.6 - Formación de MEA.



Ecuación 4.7 - Formación de DEA.



Ecuación 4.8 - Formación de TEA.

De la cantidad total de amoníaco consumida solo una fracción producirá MEA, lo demás generará DEA y TEA. En la Figura 4.1 se observa concentración molar porcentual de los productos en función de la relación molar de las materias primas (Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 7th Edition, 2011).

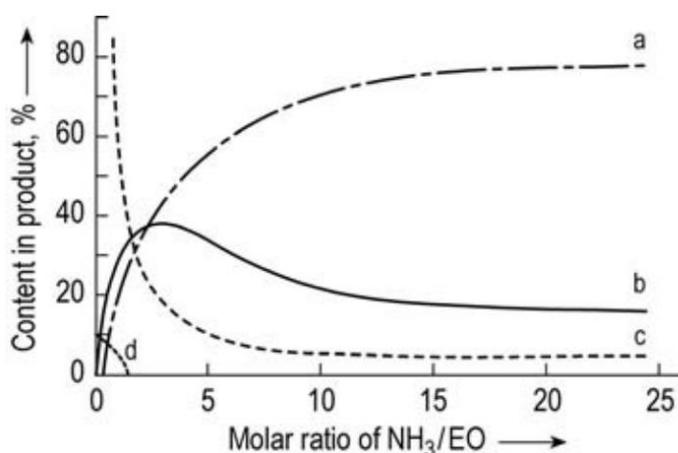


Figura 4.1 - Distribución del producto de monoetanolamina (a), dietanolamina (b), trietanolamina (c) y éteres de glicol de trietanolamina en función de la relación molar de amoníaco a óxido de etileno (EO) en solución acuosa a 100 - 200 °C.

Fuente: Ullmann's

Considerando una relación molar 10:1 de NH₃/OE, con la Figura 4.1 se obtiene la relación de la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 - Cantidad de ETAS formadas.

Componentes	Fracción molar	kmol/h obtenidos	kg/h obtenidos
MEA	0,700	5,26	321,43
DEA	0,213	1,60	168,22
TEA	0,087	0,65	97,57

Elaboración propia.

De acuerdo a las reacciones presentadas anteriormente, la Tabla 4.3 arroja la materia prima que reaccionará.

Tabla 4.3 - Materia prima reaccionante.

Componentes	kmol/h	kg/h
OE	10,43	459,21
Amoníaco fresco	7,51	128,01

Elaboración propia.

Volviendo a la relación establecida de NH_3/OE se procedió al cálculo de amoníaco recirculado. Por lo tanto, en la Tabla 4.4 se adjunta la cantidad necesaria.

Tabla 4.4 - Cantidad necesaria de amoníaco

Amoníaco	kmol/h	kg/h
Amoníaco total	104,10	1775,31
Amoníaco fresco	7,51	128,01
Amoníaco recirculado	96,59	1647,30

Elaboración propia.

En base a esto se necesitará 1075 toneladas anuales de amoníaco fresco y 3857 toneladas anuales de óxido de etileno.

La empresa Profertil S. A. localizada en la ciudad de Bahía Blanca, de la provincia de Buenos Aires, es la elegida para proveer a dicho proyecto el amoníaco. La misma goza de una capacidad anual de 790000 toneladas. Cuenta con una compañía, Inquimex SACI, encargado de la distribución de dicho producto dentro del país.

En cuanto al OE se decidió optar por la importación del mismo debido a que no se produce actualmente en nuestro país.



CAPÍTULO 5

LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

5. Localización de la planta

5.1. Introducción

Por ser la planta de MEA una industria de tipo secundaria, su ubicación estará definida por la disponibilidad de las materias primas. Las principales distribuidoras de amoníaco se encuentran en la provincia de Buenos Aires. Respecto al óxido de etileno, al ser un producto importado, la cercanía a un puerto es clave para disminuir costos de transporte. La gran demanda existente de ETAS da como resultado diversas alternativas de consumidores.

5.2. Macro-localización

5.2.1. Factores primarios

A continuación, se enumeran los factores primarios de localización para la producción de MEA:

- Disponibilidad de materia prima.
- Mercados de consumo.
- Disponibilidad de energía.
- Factibilidad de transportes.
- Oferta de mano de obra.
- Infraestructura existente y servicios afines.
- Condiciones climáticas y topográficas.

Una región industrializada deberá satisfacer varios de los puntos anteriormente nombrados, siempre y cuando no se perturbe el nivel de urbanización existente. Se deberá contar con el acceso a rutas marítimas y terrestres, teniendo así, diversas opciones respecto a países de importación y mercados de consumo locales. La región a ubicar la planta deberá ofrecer una matriz energética apta, suministro de agua, red de gas natural y residuos industriales, capaz de cubrir las necesidades para poder operar de manera eficiente y reglamentaria. El lugar a situar el proyecto deberá encontrarse cercana a una zona urbana, para contar con mano de obra requerida, especializada y/o capacitada para las diversas tareas.

Las condiciones climáticas, de no ser extremas, no serán un factor limitante. En tanto al terreno, preferiblemente que sea una zona antisísmica por naturaleza, siendo menos exigente las especificaciones de construcción civil en estos lugares.

5.2.2. Factores específicos

- Suministro de amoníaco por parte de distribuidora en la provincia.
- Cercanía a un puerto.
- Abastecimiento de agua.

5.2.3. Procedimiento de cribado

En esta etapa se hará una selección preliminar de las posibles zonas a tener en cuenta dentro del país, para luego seleccionar la que cumpla simultáneamente los requisitos considerados a continuación.

A. Localizaciones portuarias en el país.

Por regla general el transporte náutico de mercancías, es de menor costo por kilogramo transportado para grandes cargas. En la Figura 5.1 se señalan de color verde las zonas portuarias.



Figura 5.1 - Zonas portuarias de Argentina.

Elaboración propia.

Los puertos que cuentan con terminales de combustibles, que son las requeridas para el OE, se listan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 - Puertos con terminal de combustible.

Puerto	Provincia
Eldorado	Misiones
Bahía Blanca	Buenos Aires
Mar del Plata	Buenos Aires
La Plata	Buenos Aires
Zárate	Buenos Aires
Dock Sud	Buenos Aires
Caleta Córdova	Chubut
Caleta Oliva	Santa Cruz
Ushuaia	Tierra del fuego

Elaboración propia.

B. Regiones productoras y distribuidoras de amoníaco.

La localización general de las principales proveedoras de amoníaco, mencionadas en el capítulo tres, se señalan en la Figura 5.2.



Figura 5.2 - Zonas productoras y distribuidoras de amoníaco.

Elaboración propia.

C. Zonas de consumo del producto.

Debido a las diversas aplicaciones de la MEA, así como los productos secundarios de la reacción, DEA y TEA, mencionadas en la Tabla 5.2, su consumo se distribuye en las principales zonas industrializadas del país, las que se citan la Figura 5.3.

Tabla 5.2 - Usos de las etanolaminas.

MEA	DEA	TEA
Refinería de gas natural	Refinería de gas natural	Cuidado personal
Productos de limpieza	Cemento	Inhibidor de corrosión
Cuero	Pesticidas	Cosméticos
Cemento	Cosméticos	Fotografía
Pinturas	Catalizador de poliuretano	Adhesivos
Textil	Humectante	Plastificantes
Surfactantes	Detergentes	Resinas sintéticas

Elaboración propia.



Figura 5.3 - Zonas consumidoras de etanolaminas.

Elaboración propia.

Respecto a los tres criterios, se concluye que la provincia de Buenos Aires es la más viable para enmarcar el proyecto.

5.3. Micro-localización

En esta instancia se busca determinar el lugar preciso donde se llevará a cabo el proyecto, siendo este, el sitio que permita cumplir con los objetivos de la empresa, producir la más alta rentabilidad y el mínimo costo unitario del producto.

Inquimex SACI realiza el traslado del amoníaco desde Profertil SA hasta el lugar solicitado, siendo el costo del flete fijo dentro de la provincia de Buenos Aires.

Respecto de los puestos con terminal de combustible, su localización específica se muestra en la Figura 5.4.



Figura 5.4 - Localización de puertos con terminal de combustible en Buenos Aires.

Elaboración propia. Fuente: Google My Maps.

Una manera objetiva para elegir la localización de la planta es utilizar el método de las puntuaciones ponderadas, donde se comparan dos posibles ubicaciones. Las localizaciones pueden ser el Parque Industrial de Bahía Blanca, que cuenta con 136 hectáreas, su ubicación es estratégica ya que se encuentra cerca del puerto Galván y, al ser una zona industrializada, de posibles consumidores de producto. En la Figura 5.5 se muestra la localización de dicho parque, y la distancia a Profertil SA.

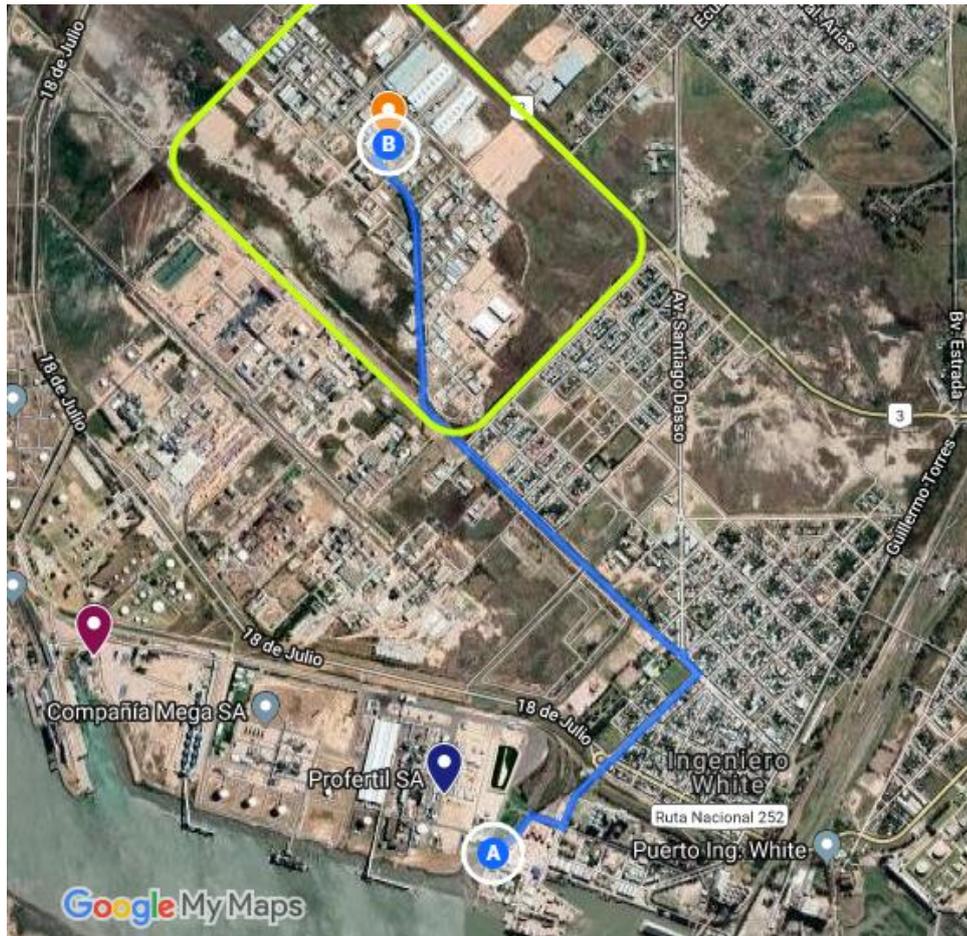


Figura 5.5 - Distancia entre Profertil SA y el Parque Industrial Bahía Blanca.

Elaboración propia. Fuente: Google My Maps.

Otra posible localización es el Parque Industrial y logístico Paraná de Las Palmas (PLIZ), ubicado en Zárate, cuenta con 200 hectáreas, en la Figura 5.6 y Figura 5.7 se muestra la ubicación y distancia hasta Profertil SA, respectivamente.

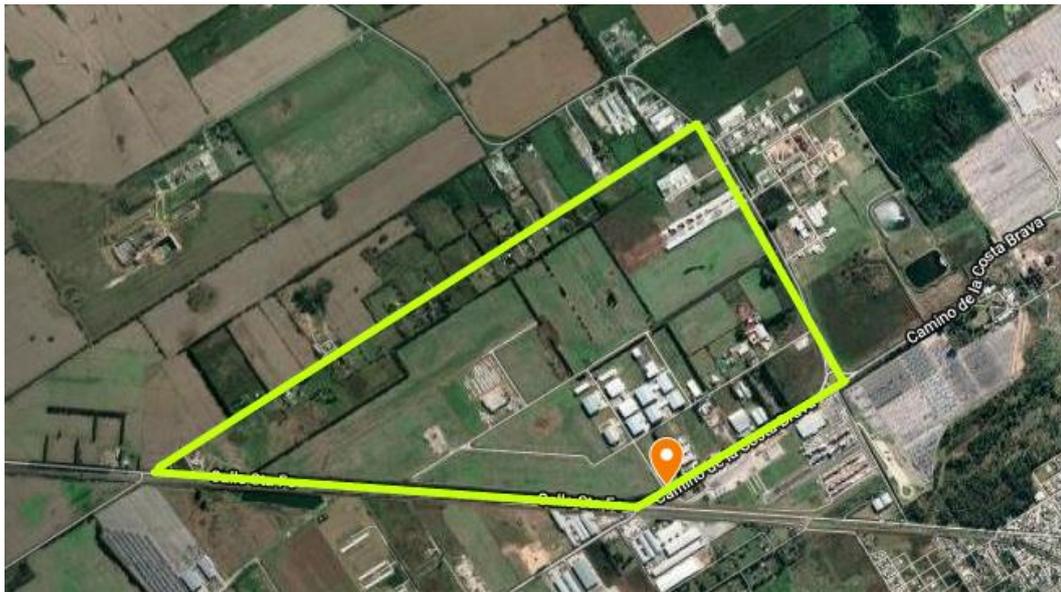


Figura 5.6 - Mapa del Parque Industrial y Logístico Paraná de Las Palmas.

Elaboración propia. Fuente: Google My Maps.

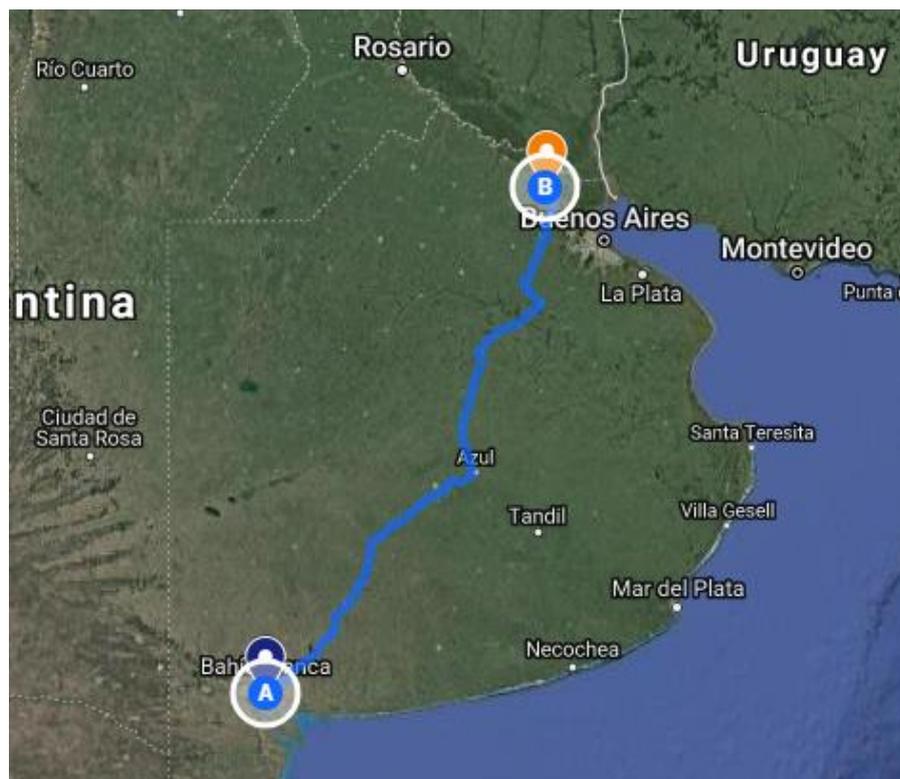


Figura 5.7 - Distancia entre Profertil SA y el Parque Industrial y Logístico Paraná de Las Palmas.

Elaboración propia. Fuente: Google My Maps.

Ambos cuentan con mano de obra especializada ya que se encuentran en zonas altamente urbanizadas, y con servicios de agua, gas natural, energía eléctrica, telefonía, internet, calles pavimentadas, cordón cuneta, iluminación en calles internas y acceso con vigilancia.

5.3.1. Puntuaciones ponderadas

A continuación, se adjuntan la Tabla 5.3, con los dos posibles parques y se observa cual obtiene mayor grado de perfección.

Tabla 5.3 - Puntuaciones ponderadas.

Factores	Ponderación	Región 1: Bahía Blanca		Región 2: PLIZ	
		% de perfección	Grado de perfección	% de perfección	Grado de perfección
Costo del terreno	1,5	80	120	70	105
Cercanía respecto a Profertil SA	1	100	100	10	10
Cercanía al puerto	2,5	70	175	100	250
Cercanía a los consumidores	2	50	100	9	180
Beneficios económicos	1,5	80	120	90	135
Rutas principales para la comercialización del producto	1,5	70	105	90	135
TOTAL	10		720		815

Elaboración propia.

Se eligió el Parque Industrial y Logístico Paraná de las Palmas, en la Figura 5.8 se especifica el lote elegido.

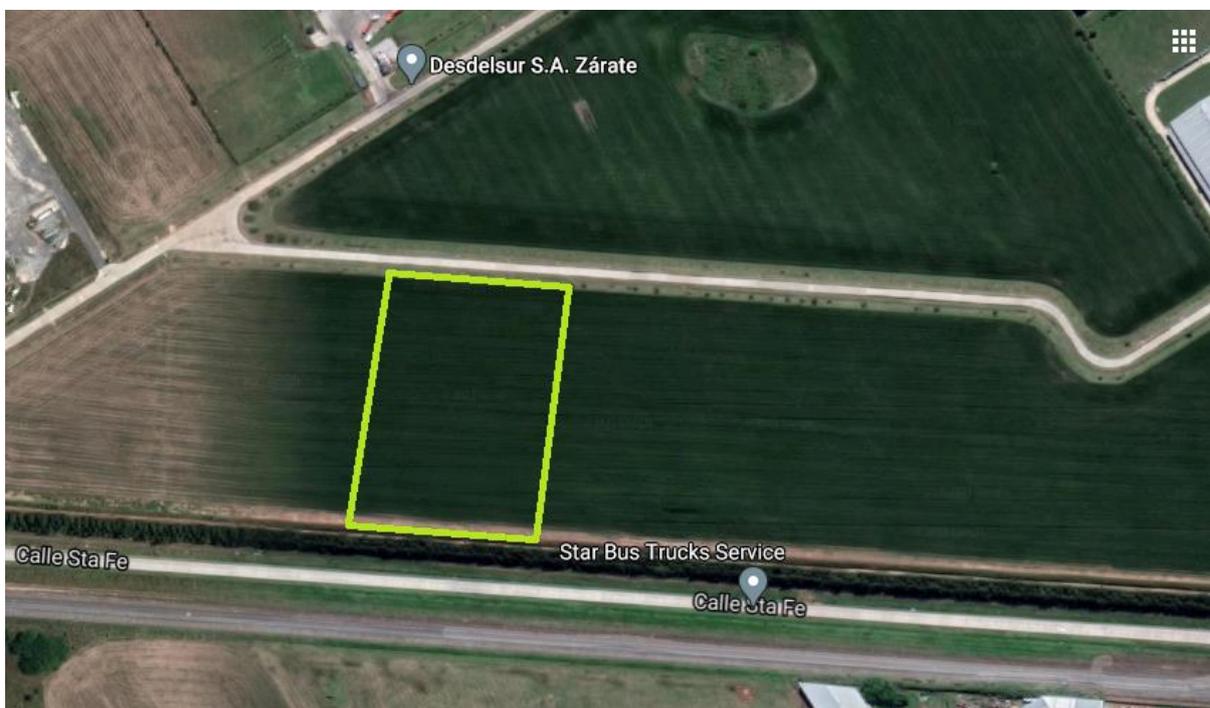


Figura 5.8 - Micro-localización de la planta.

Elaboración propia. Fuente: Google My Maps.



CAPÍTULO 6

DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

6. Descripción y selección del proceso de producción

6.1. Introducción

Fue solo hacia fines del siglo XIX que una mezcla de etanolaminas se separó en sus componentes mono-, di- y trietanolamina a través de destilación fraccionada.

Las mismas no estaban disponibles comercialmente antes de principios de la década de 1930, asumen una importancia comercial cada vez mayor solo después de 1945, debido a la producción a gran escala de óxido de etileno.

La MEA, DEA y TEA pueden considerarse como derivados del amoníaco en el que uno, dos o tres átomos de hidrógeno han sido reemplazados por un grupo $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$. En la Figura 6.1 pueden observarse dichos derivados.

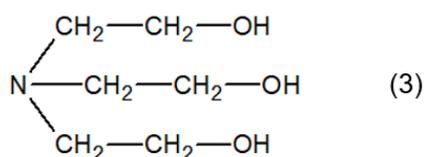
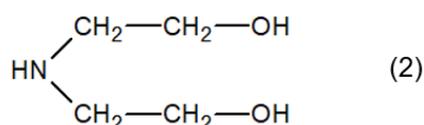
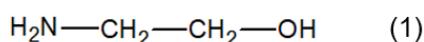


Figura 6.1 - Derivados del amoníaco; (1) MEA, (2) DEA; (3) TEA.

Elaboración propia.

En todos los procesos industriales se logra la conversión completa a las tres etanolaminas, sin una formación significativa de subproductos, por lo tanto, los costos de las materias primas son independientes del tipo de proceso de producción. Por otro lado, los costos de fabricación y, en particular, los costos de energía dependen en gran medida de la composición del producto deseada y el diseño de la planta.

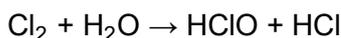
6.2. Breve descripción de los procesos

A continuación, se describirán cuatro mecanismos de obtención, luego de su análisis se procederá a la elección del más conveniente.

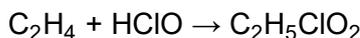
6.2.1. Primer método

Fue un procedimiento utilizado a partir de 1860 por Wurtz empleando etileno clorhidrina, para la posterior obtención de óxido de etileno que reacciona con amoníaco.

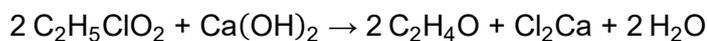
Las reacciones involucradas en este proceso son:



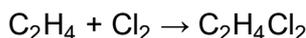
Ecuación 6.1 - Formación de ácido hipocloroso.



Ecuación 6.2 - Formación de etileno clorhidrina.



Ecuación 6.3 - Formación de óxido de etileno.



Ecuación 6.4 - Formación de dicloruro de etileno. No deseada.

La síntesis comienza haciendo reaccionar etileno, cloro y agua, como muestra la Ecuación 6.1 y Ecuación 6.2, son introducidos en una torre empacada a temperaturas de 48,88 °C o poco menores. La adición de ácido hipocloroso al etileno es mucho más rápida que la adición de cloro a través de la doble ligadura, por lo que el etileno clorhidrina es el principal producto de la reacción.

Manteniendo un pequeño exceso de etileno, la concentración de clorhidrina puede alcanzar un valor de 6 a 8% antes que se formen cantidades apreciable de dicloruro de etileno, Ecuación 6.4.

La solución es extremadamente corrosiva y solo puede utilizarse un equipo de cerámica, plástico o recubierto con hule.

El producto principal se convierte simplemente a óxido de etileno reaccionando la solución con hidróxido de calcio, de acuerdo con la Ecuación 6.3, dicho producto estará formado por un 26% de OE, 70% de agua y lo demás cloruro de calcio.

La solución se calienta con vapor para separar el óxido de etileno producido y se desvía rápidamente para evitar la hidratación a etilenglicol. El mismo se condensa, se envía a una columna de destilación fraccionada, generando una corriente de fondo con subproductos clorinados y agua.

Los dos subproductos principales son dicloroetano ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$), producto de la cloración directa del etileno, y el dicloroetil éter ($\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2\text{O}$) producido por separación de agua por cada dos moléculas de clorhidrina etílica. Ambos son de valor, ya que el éter se emplea ampliamente como solvente y el dicloruro de etileno se usa como aditivo de la gasolina y como sustancia intermedia en la fabricación del cloruro de vinilo.

En la Figura 6.2 se puede observar el diagrama de flujo para la obtención de OE.

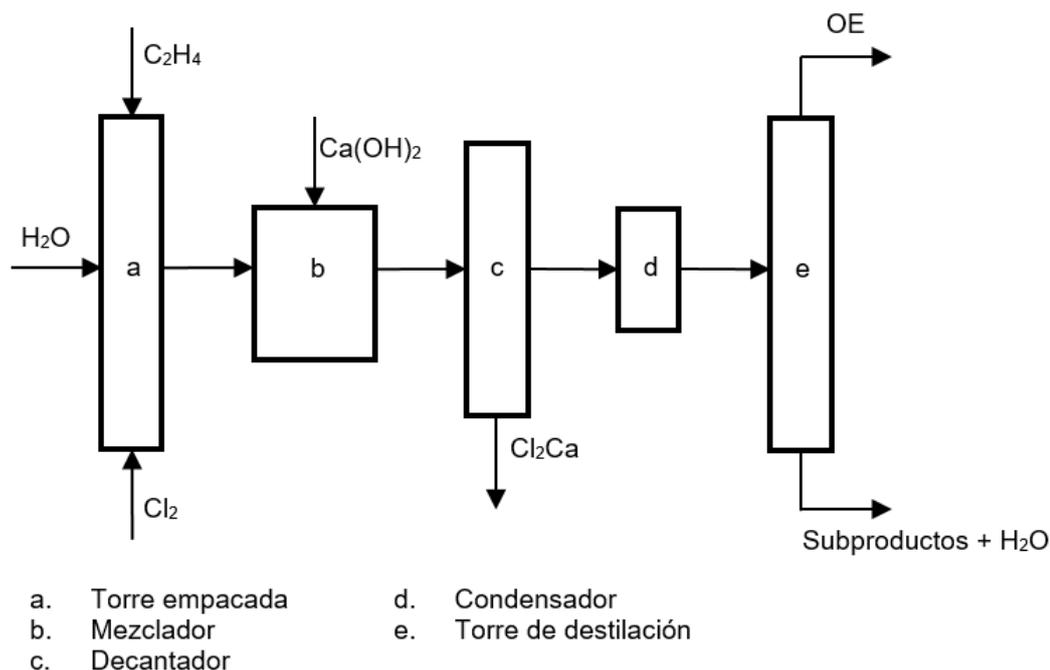


Figura 6.2 - Diagrama de flujo. Primer método.

Elaboración propia.

Una vez obtenido el OE se hace reaccionar con amoníaco como se explica en el ítem 6.2.3.

6.2.2. Segundo método

Este medio de obtención utiliza amoníaco anhidro, el cual emplea un catalizador de lecho fijo que consiste en una resina orgánica de intercambio iónico, arcillas inorgánicas ácidas o zeolitas térmicamente más estables.

Lo que se busca con este método es una alternativa de catalizador, en lugar de agua se utiliza un sólido, evitando así su posterior recuperación, lo que implica un ahorro energético.

Las materias primas son bombeadas para obtener una alimentación que consiste en 99,6% en peso de OE puro y 99,96% en peso de NH_3 puro. Para evitar la formación de burbujas de gas durante la fase de succión, se presurizan los cilindros de almacenamiento. Esto se hace llenando el cilindro OE con He a aproximadamente $5,1 \text{ kg/cm}^2$ y calentando el NH_3 de los cilindros a $39,85 \text{ }^\circ\text{C}$.

La mezcla se precalienta antes de ingresar al reactor. El mismo consiste en un tubo de acero inoxidable con aislación, que se encuentra empaquetado con cuentas de vidrio en la parte inferior y superior, contando con un catalizador en la parte media.

La presión es de aproximadamente $132,6 \text{ kg/cm}^2$, mantenida por medio de una válvula reguladora, para evitar la vaporización de la mezcla de reacción.

Mediante una revisión bibliográfica, se pudo observar que los datos obtenidos son a escala laboratorio; no se puede saber con exactitud cómo se comportaría ese método a escala industrial.

Sin embargo, se encontró como conclusión que si el rendimiento de MEA es la principal preocupación, la resina de intercambio iónica es la opción más atractiva, aunque carece de estabilidad a altas temperaturas.

Si la capacidad es la más importante, las zeolitas es la mejor elección, no obstante, aún se encuentra en estudio, y no se conoce la actividad a largo plazo de estas.

En la Figura 6.3 se puede observar el diagrama de flujo del proceso explicado anteriormente.

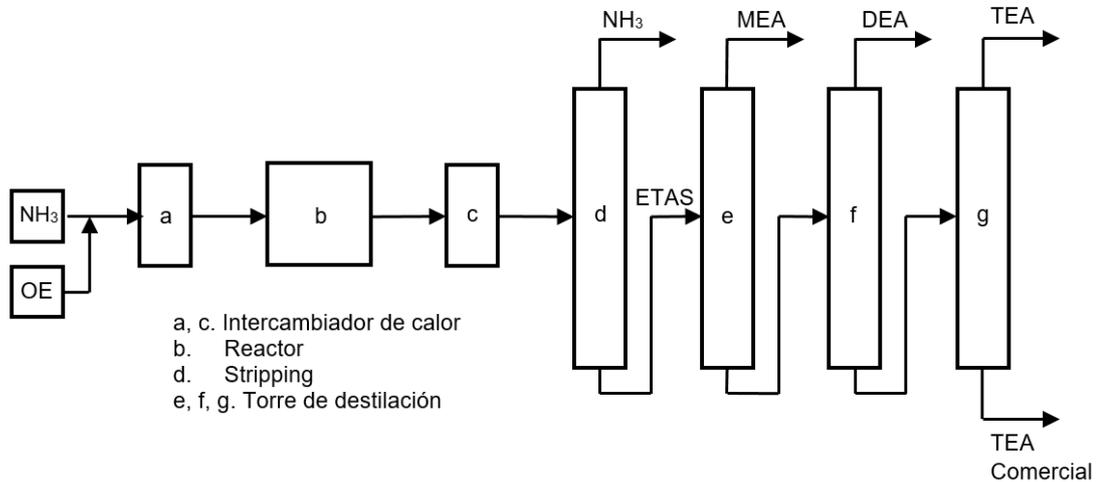


Figura 6.3 - Diagrama de flujo. Segundo método.

Elaboración propia.

6.2.3. Tercer método

Las etanolaminas se producen actualmente por reacción de óxido de etileno con exceso de amoníaco, este exceso es considerable en algunos casos. Esta reacción tiene lugar lentamente y es catalizada por el agua.

En la Figura 6.4 se puede observar el diagrama de flujo, más adelante se detallan las condiciones de trabajo de cada equipo.

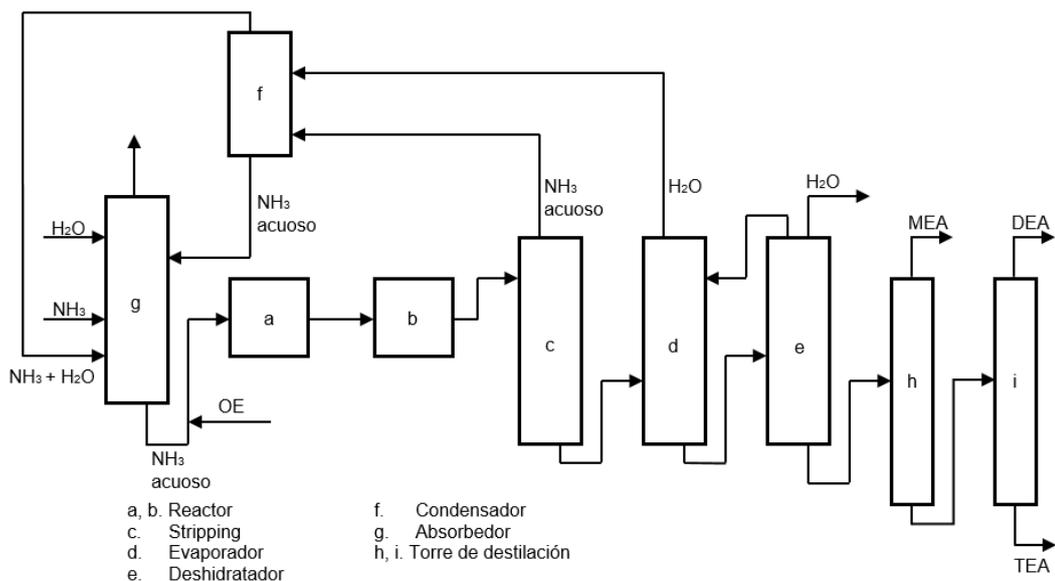


Figura 6.4 - Diagrama de flujo. Tercer método.

Elaboración propia.

El proceso consta de un absorbedor que trabaja a una presión entre 1,5 - 4 kg/cm², y una temperatura entre 10 - 50 °C, obteniendo una concentración de amoníaco del 20 - 50% p/p, esto es ventajoso ya que permite que el mismo permanezca licuado en la zona de reacción con presiones más bajas. El óxido de etileno se inyecta directamente a la corriente de amoníaco, caso contrario se produce la reacción de polimerización explosiva.

Las materias primas ingresan a zona de reacción, que cuenta con dos reactores, uno isotérmico y otro adiabático, la presión de trabajo es alrededor de 10 - 30 kg/cm², con una temperatura entre 50 - 275 °C.

El producto de reacción es enviado a un stripping que trabaja a una presión entre 0,5 - 1 kg/cm² y un a temperatura en el fondo entre 80 - 100 °C, separando la mayor cantidad de exceso de amoníaco y una porción de agua que luego será enviado al absorbedor. Las ETAS en solución acuosa van a un evaporador que trabaja a una presión entre 1 - 1,5 kg/cm² y una temperatura en el fondo entre 110 - 140 °C, logrando separar una cantidad de agua tal que la corriente del fondo no supere el 30% p/p, y eliminando el resto de amoníaco que pueda quedar remanente. La corriente obtenida se envía a un deshidratador que trabaja a una presión en el fondo de 0,2 - 0,4 kg/cm² y una temperatura de 140 - 160 °C, logrando apartar el resto de agua. Las ETAS pasan a una zona de destilación para obtener cada una de manera pura.

6.2.4. Cuarto método

También la reacción puede suceder de manera anhidra en fase líquida (50 - 100% p/p), pero para esto se requieren altas presiones y temperaturas además de un gran exceso de amoníaco.

En la Figura 6.5 se puede observar el diagrama de flujo, explicado posteriormente.

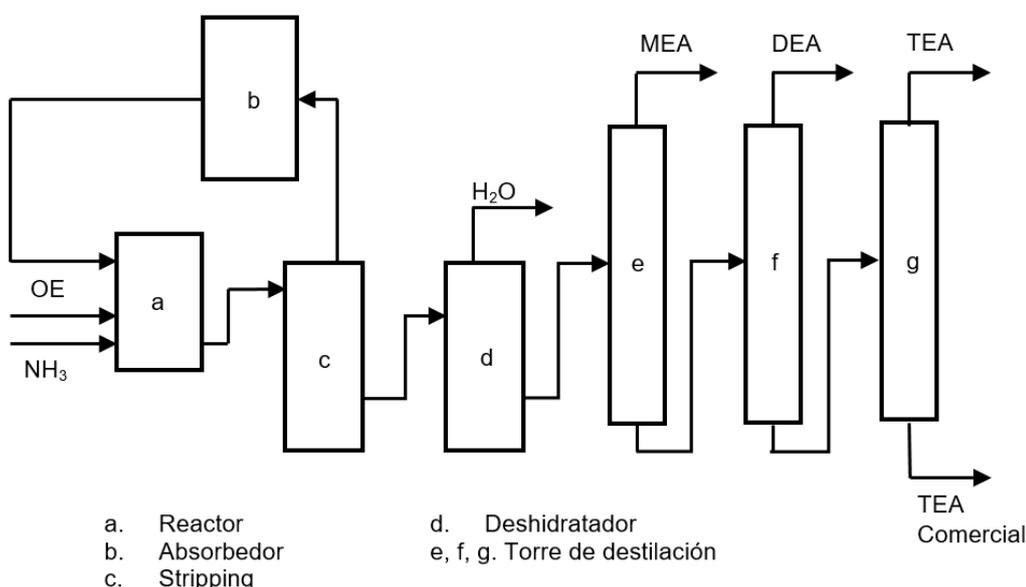


Figura 6.5 - Diagrama de flujo. Cuarto método.

Elaboración propia.

El amoníaco acuoso se mezcla con una corriente reciclada de amoníaco, que proviene del absorbedor, para lograr una concentración de 30% en peso de éste en agua. Esto se mezcla con óxido de etileno y se envía a un reactor de flujo pistón.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

La temperatura de reacción es de 150 °C, con una presión de 163 kg/cm² para evitar la evaporación de amoníaco.

La reacción entre el óxido de etileno y el amoníaco es exotérmica con la liberación de 125 kJ/mol de óxido de etileno. Por lo tanto, para mantener la temperatura de reacción, debe eliminarse el calor por medio de agua de enfriamiento que circula por la camisa que recubre al reactor.

La distribución del producto de las tres etanolaminas se puede controlar mediante la elección adecuada de la relación amoníaco: óxido de etileno, mientras mayor es la relación utilizada, mayor es la producción de MEA.

Bajo condiciones apropiadas de reacción, la MEA formada será 70%, DEA 20% y TEA 10%. Por razones de seguridad, el óxido de etileno debe dosificarse en una corriente de amoníaco, en el procedimiento inverso, el amoníaco o la amina pueden provocar que el óxido de etileno experimente una reacción de polimerización explosiva.

El producto que sale del reactor se envía al stripping para eliminar el exceso de amoníaco utilizado, luego se envía al absorbedor. La corriente de salida del reactor tendrá una temperatura de 150 °C y a la misma presión con la que trabaja el reactor.

Se considera que no se pierde agua en el stripping, solo se elimina el amoníaco, el mismo trabaja a una presión menor a la atmosférica.

La corriente de salida del stripping entra a un deshidratador, en el que casi toda el agua que interfiere en la alimentación se elimina como producto superior. Solo se perderá una cantidad insignificante de MEA debido a la gran diferencia en el punto de ebullición de DEA y TEA, que bajan a medida que ingresa la alimentación, por lo tanto, la separación se produce solo entre MEA y agua.

Para la obtención de los productos puros, se envía la salida del deshidratador a una zona de destilación donde la cantidad de agua presente en la alimentación es insignificante. En la primera columna la MEA se obtiene con un 99% de pureza además de una pequeña fracción de DEA y agua, la mezcla de DEA y TEA del fondo avanzan a una segunda y tercera columna donde se las obtiene con una mayor pureza, por el fondo de la última columna se obtiene TEA con calidad comercial.

6.3. Selección del proceso

Tabla 6.1 - Cuadro comparativo.

	Ventajas	Desventajas
Primer método	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se produce el OE. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Técnica en desuso por ser costosa y contaminante. ➤ Utiliza muchos productos químicos.
Segundo método	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los catalizadores empleados son reconocidos en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La resina orgánica de intercambio iónico carece de estabilidad térmica. ➤ Se desconoce la actividad a largo plazo de las zeolitas.
Tercer método	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trabaja a bajas presiones. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Costo de separación del agua. ➤ Costo de recuperación del amoníaco.
Cuarto método	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Proceso más simple y limpio. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Opera a mayores presiones, siendo más costoso el proceso. ➤ Costo de recuperación del amoníaco, debido a la gran cantidad presente.

Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 6.1, y a la información con la que se cuenta, se llegó a las siguientes conclusiones; el primer método fue descartado debido a que el OE se importa, además es una técnica en desuso a causa de que en la producción actual de OE se lleva a cabo a través de la oxidación directa del etileno, lo cual conlleva menos productos químicos y es más amigable con el ambiente.

El segundo se encuentra en estudio y todos los experimentos existentes son a escala laboratorio, además de la falta de información sobre el comportamiento de las zeolitas a largo plazo y la estabilidad térmica de las resinas.

El tercero, si bien trabaja a bajas presiones, implica costos de recuperación de agua y amoníaco en exceso.

El cuarto método es un proceso más limpio, pero al trabajar con materias puras implica grandes costos de operación para el funcionamiento de los equipos a altas presiones, además no se encuentran disponibles datos de operación de dicha síntesis.

Considerando lo explicado anteriormente, se adopta el tercer método como proceso de obtención de MEA, a partir de OE y NH₃.

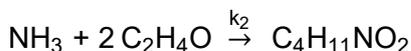
6.4. Descripción del proceso elegido

El proceso de obtención y recuperación de etanolaminas se llevará a cabo por amonólisis de óxido de etileno con amoníaco acuoso.

El OE y el NH₃ se ponen en contacto en una cámara de reacción, dado a la gran reactividad del OE, se producen tres reacciones competitivas paralelas - consecutivas, dando como producto MEA, DEA y TEA, esto se puede observar en la Ecuación 6.5, Ecuación 6.6 y Ecuación 6.7 respectivamente.



Ecuación 6.5 - Reacción de formación de MEA.



Ecuación 6.6 - Reacción de formación de DEA.



Ecuación 6.7 - Reacción de formación de TEA.

Las tres reacciones son altamente exotérmicas y pueden ocurrir dentro de un corto tiempo de residencia en el reactor, siendo la presión en este, lo suficientemente grande como para evitar la vaporización de amoníaco y óxido de etileno a la temperatura de reacción.

Otras reacciones secundarias forman hidróxido de amonio y éter, que no tienen importancia en la síntesis.

Todos los pasos de reacción tienen la misma energía de activación. Los datos cinéticos de las reacciones de Ecuación 6.5, Ecuación 6.6 y Ecuación 6.7 se muestran a continuación en la Ecuación 6.8, Ecuación 6.9 y Ecuación 6.10 respectivamente.

$$k_1 = (41 + 4 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2) \cdot 10^2 \cdot e^{\frac{-11000}{R \cdot T}}$$

Ecuación 6.8 - Coeficiente cinético de la reacción de MEA.

$$k_2 = (7,2 - 0,042 \cdot [\text{H}_2\text{O}]) \cdot k_1$$

Ecuación 6.9 - Coeficiente cinético de la reacción de DEA.

$$k_3 = (16 - 0,22 \cdot [\text{H}_2\text{O}]) \cdot k_2$$

Ecuación 6.10 - Coeficiente cinético de la reacción de TEA.

Las unidades de las se detallan a continuación:

$$k_1 = k_2 = k_3 = \left[\frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}} \right]$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \left[\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right]$$

$$E_a = \left[\frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right]$$

$$R = \left[1,987 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$$

$$T = [\text{K}]$$

La proporción de ETAS dependerá del exceso molar de NH_3 con respecto al OE y no del contenido de agua, temperatura de reacción o presión. En la Figura 6.6 se puede observar lo mencionado anteriormente.

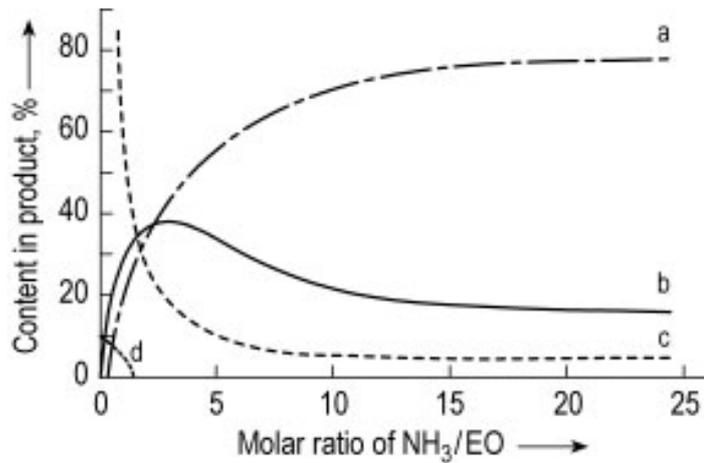


Figura 6.6 - Distribución del producto de monoetanolamina (a), dietanolamina (b), trietanolamina (c) y éteres de glicol de trietanolamina en función de la relación molar de amoníaco a óxido de etileno (OE) en solución acuosa a 100-200 °C.

Fuente: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.

6.4.1. Diagrama de flujo del proceso elegido

A continuación, en la Figura 6.7 se observa el diagrama de flujo del proceso seleccionado explicado posteriormente.

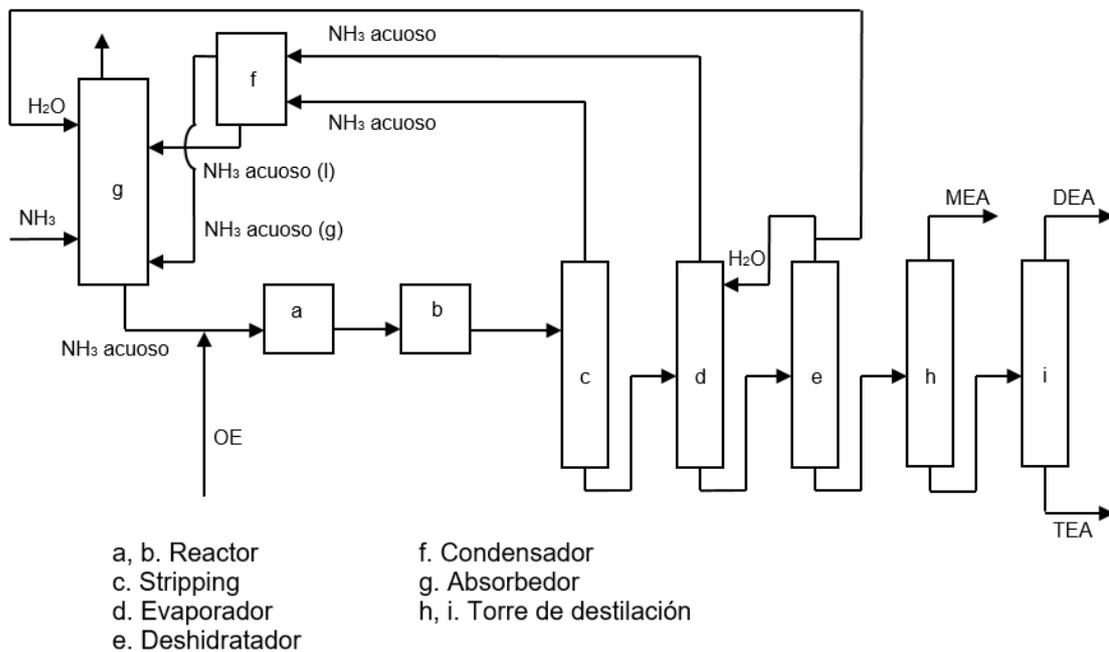


Figura 6.7 - Diagrama de flujo del proceso.

Elaboración propia.

a, b. Reactores

El proceso cuenta con dos reactores, uno trabaja de manera isotérmica y el segundo adiabáticamente.

Por razones de seguridad, el OE debe dosificarse en la corriente de NH_3 , el procedimiento inverso, pueden provocar que el mismo experimente una reacción de polimerización explosiva.

La reacción entre los reactivos es exotérmica y muy rápida, se debe contar con un sistema de enfriamiento, eliminando así el calor generado para mantener la temperatura dentro de los $50^\circ - 275^\circ \text{C}$.

Las altas proporciones de NH_3 :OE conduce a altas concentraciones de MEA en el flujo de productos, entre 55 - 75%, lo cual es deseable, esta relación varía entre 5:1 y 15:1. Sin embargo, los altos niveles de amoníaco significan una corriente de recirculación más grande, lo que aumenta los costos de separación del agua.

Un alto contenido de agua en el sistema permite operar a baja presión y temperatura, lo cual resulta en un producto de mayor calidad. Sin embargo, la adición de agua está limitada ya que una gran cantidad de agua promueve la reacción lateral que produce etilenglicol.

Es importante una conversión completa del OE ya que, cualquier remanente después de la reacción, reaccionaría con algún compuesto en las etapas posteriores, aumentando la corrosión y causando diferenciales de presión en los procesos aguas abajo.

Las condiciones de trabajo de los reactores serán:

- Relación NH_3 :OE entre 5:1 - 15:1
- Concentración de amoníaco en agua a la entrada entre 20% - 50% p/p
- Reactivo limitante: OE
- Conversión: en el reactor isotérmico entre 50% - 95%, llegando a 100% en el adiabático.
- Temperatura: en el reactor isotérmico entre $50 - 110^\circ \text{C}$ y como máximo 180°C a la salida del adiabático.
- Presión: $10 - 30 \text{ kg/cm}^2$

c. Stripping

Los productos de la reacción se transportan a una columna de stripping, donde el exceso de amoníaco, entre 90 - 99%, y parte del agua se eliminan de la solución de etanolamina calentando a una presión ligeramente mayor que la atmosférica.

La corriente superior, que contiene una concentración en peso de amoníaco de aproximadamente el 80%, es enviada a un condensador para su posterior tratamiento.

Las condiciones de trabajo serán:

- Presión entre $0,5 - 1 \text{ kg/cm}^2$
- Temperatura del fondo entre $30 - 50^\circ \text{C}$

d. Evaporador

La corriente saliente del stripping que tendrá una concentración en peso de, 90% H_2O , 5% MEA, 2,5% DEA, 2% TEA y 0,1% de NH_3 se alimenta por medio de una bomba a una placa intermedia de un evaporador. Dicho equipo funciona a una presión superior a la atmosférica y hasta $1,5 \text{ kg/cm}^2$ absolutos, con una temperatura al pie entre $110 - 140^\circ \text{C}$ mantenida por medio de vapor alimentado al calderín.

El vapor recuperado por la cabeza primero se condensa para luego enviarlo a la columna de absorción-condensación de película descendente.

Por el fondo se recupera una solución de etanolamina con un contenido de agua no superior al 30% en peso.

e. Deshidratador

Las ETAS se someten a una deshidratación completa en una columna, que opera a una presión de fondo entre 0,2 - 0,41 kg/cm², con una temperatura al pie entre 140 - 160 °C. El contenido inicial de agua es entre el 10 - 30% p/p.

El agua condensada liberada por la cabeza se divide en dos corrientes, 2/3 de la misma es reciclada al evaporador, mientras que, el 1/3 restante se retorna al absorbedor.

Las ETAS, libres de agua, o al menos con un contenido de agua de menos del 0,5% en peso, se recuperan al pie de la columna, para proceder a la zona de destilación.

f. Condensador de película descendente

Las corrientes provenientes del stripping y del evaporador, ingresan a un condensador enfriado por un refrigerante circulado a través de este, en el que parte de los vapores se condensan. La presión de funcionamiento del equipo debe ser ligeramente menor a la atmosférica.

El condensado obtenido comprende la solución acuosa amoniaca del 20% p/p reciclada que se alimenta a la columna de absorción, mientras que el amoníaco no condensado ingresa a un compresor para alcanzar una presión de 2 kg/cm², luego ingresa al absorbedor.

g. Absorbedor

Esta columna está destinada a la absorción de amoníaco en agua, trabajando a una temperatura entre 10 - 50 °C y una presión entre 1,5 - 4 kg/cm². La corriente de amoníaco fresco que ingresa al equipo es de 120 - 130 kg/h, la cantidad de amoníaco recirculado es 1640 - 1650 kg/h. Al mismo ingresan, una corriente de agua proveniente del deshidratador, y una segunda de amoníaco gaseoso, además de las dos corrientes provenientes del condensador. La corriente de descarga tendrá la composición de amoníaco necesaria para el ingreso al reactor, por la cabeza se obtienen trazas de amoníaco y agua, liberadas al ambiente debido a que no supera el umbral olfativo.

El amoníaco fluye hacia arriba a través de la columna en contracorriente con agua de reposición alimentada a la cabeza y las corrientes recicladas. El enfriamiento es preferiblemente tal que la temperatura de funcionamiento se mantenga.

h, i. Destiladores

Esta zona se compone de dos torres de destilación que trabajan bajo vacío, a una presión entre 0,3 - 0,6 kg/cm², las cuales se encargan de la separación de los productos.

La primera torre tendrá un destilado que se compone del 99% MEA, 1% DEA y trazas de TEA, el resto pasara a una segunda torre, donde se procede a la separación de la DEA, con una composición del destilado de 98,5% DEA, 1,32% TEA y 0,18% MEA; por la corriente del fondo se obtiene una composición es de 99,57% TEA y 0,43% DEA.



CAPÍTULO 7

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

7. Balance de masa y energía

7.1. Introducción

En el presente capítulo se realizan los balances de masa y energía correspondiente al proceso global de producción, así como también el de las etapas involucradas en el mismo. Para cada una de ellas se calculan el caudal, las composiciones de cada corriente y la cantidad de calor involucrado.

Para el cálculo de estos balances se debe definir la capacidad que debe tratarse por hora, para ello se toman 350 días por año de actividad de la planta, contando con turnos continuos de 24 horas, destinando 15 días para paradas de mantenimiento y detenciones imprevistas.

De capítulos anteriores, referidos a estudio de mercado y capacidad de la planta, se llegó a los siguientes datos de producción que se detallan en la Tabla 7.1 y Tabla 7.2. Además, se considera que existe capacidad de abastecimiento de materia prima para toda la producción anual.

Tabla 7.1 - Producción anual.

Datos de producción de MEA	
Producción anual	2700 t/año
Meses de operación por año	11,67 meses/año
Semanas de operación por año	46,67 sem/año
Días de operación por año	350 días/año
Horas de operación por año	8400 h/año

Tabla 7.2 - Datos de producción.

Cuadro de producción de MEA	
Producción anual	2700 t/año
Producción mensual	231,429 t/mes
Producción semanal	57,857 t/sem
Producción diaria	7,714 t/día
Producción horaria	0,321 t/h

7.2. Diagrama de flujo

A continuación, en la Figura 7.1 se puede observar el correspondiente diagrama de flujo para la obtención de MEA, DEA y TEA, a partir de amoníaco y óxido de etileno, empleando agua como catalizador.

7.3. Balance de masa y Balance de energía

Para realizar el presente balance se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La operación se realiza en estado estacionario, sin acumulación de materia.
- El proceso se lleva a cabo en forma continua.
- El anterior flow sheet se separa en cuatro zonas para su estudio más detallado.
- Los diagramas y los valores de ambos balances, que se presentan en este capítulo, se han realizado en el simulador ChemCAD 6.1.3.¹
- Cada etapa involucrada en el proceso en cuestión conlleva un rendimiento o eficiencia asignado.

Luego de haber detallado las condiciones se detallará las presentes zonas y se procede a su estudio:

- Zona 100 - Sección de reacción.
- Zona 200 - Sección de recuperación.
- Zona 300 - Sección de absorción.
- Zona 400 - Sección de destilación.

Teniendo en cuenta la Figura 7.1, en la Tabla 7.3 se presenta el balance global, considerando el proceso como una caja negra.

Tabla 7.3 - Balance Global.

Balance global
$R + A = S' + U' + V' + Q$

A. Zona 100 - Sección de reacción.

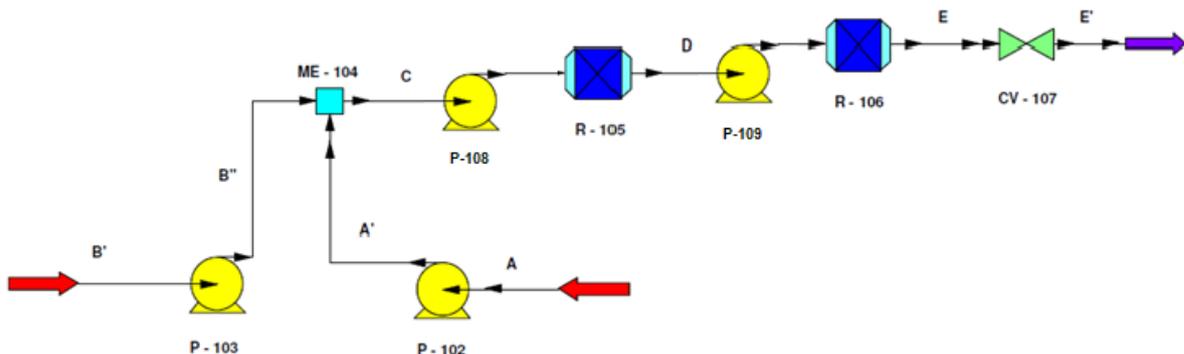


Figura 7.2 - Esquema representativo de la Zona 100.

En la Figura 7.2 se observan los equipos correspondientes a dicha zona, el balance de masa no se lleva a cabo en los dispositivos P-102, P-103, P-108, P-109 y CV-107, debido a que en ellos solo se produce una modificación en la presión o velocidad y no existe una modificación en la materia.

En cuanto al balance energético las consideraciones que se tienen en cuenta son:

¹ ChemCAD versión 6.1.3.2845

- El agua de enfriamiento utilizada ingresa a 20 °C y sale una temperatura de 42 °C.
- El calor de pérdida se considera cero.

7.3.1. Mezclador (ME-104)

En la Figura 7.3 se exhibe un esquema representativo del proceso de mezclado, este equipo es ilustrativo, a causa de que la corriente A' correspondiente al OE debe suministrarse directamente a la corriente B'' (solución amoniacal), de lo contrario, podría ocurrir una reacción de polimerización explosiva no deseada. Debajo del diagrama se observa la Tabla 7.4 con las ecuaciones de balance y en la Tabla 7.5 las corrientes involucradas con sus respectivas composiciones.

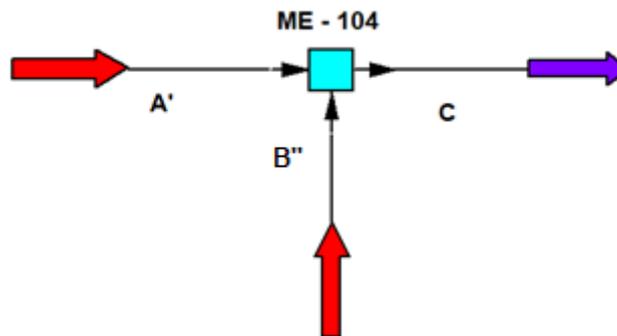


Figura 7.3 - Esquema representativo del mezclador.

Condiciones para esta etapa:

- Se supone que no ocurre reacción química.
- No existen pérdidas.

Tabla 7.4 - Ecuaciones de balance para ME-104.

BALANCE GENERAL	B''+A' = C
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O B''} \cdot B'' = x_{H_2O C} \cdot C$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3 B''} \cdot B'' = x_{NH_3 C} \cdot C$
Balance de OE	$x_{OE A'} \cdot A' = x_{OE C} \cdot C$

Tabla 7.5 - Balance de componentes para ME-104.

Balance de componentes para ME-104						
Descripción del equipo: Mezclador líquido - líquido						
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]
B''	Entrada	7939,67	Amoniaco	22,36%	1775,31	47,37
			Agua	77,64%	6164,36	
A'	Entrada	459,21	Óxido de etileno	100%	459,21	10,68
C	Salida	8398,88	Amoniaco	21,14%	1775,31	46,11
			Agua	73,40%	6164,36	
			Óxido de etileno	5,46%	459,21	
Presión de operación [kg/cm ²]				10,33		

7.3.2. Reactor isotérmico (R-105)

En la Figura 7.4 se muestra la corriente que ingresa y que sale del reactor. A continuación, se detallan las condiciones de reacción, las ecuaciones de balance de masa en la Tabla 7.6 y los resultados en la Tabla 7.7.

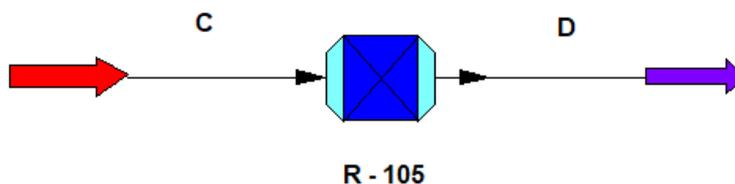
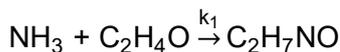


Figura 7.4 - Esquema representativo de Reactor isotérmico.

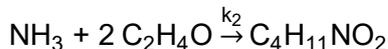
Condiciones:

- Se considera una relación molar 10:1 de NH₃/OE, para garantizar una mayor producción de MEA.
- La solución amoniacal tiene una concentración del 22,36% p/p.
- El OE es el reactivo limitante, en este equipo dicho elemento reacciona el 80% molar.
- Se supone que no hay pérdidas de masa durante la reacción.

Posteriormente se muestran las reacciones involucradas, en la Ecuación 7.1, Ecuación 7.2 y Ecuación 7.3 se observa la formación de MEA, DEA y TEA.



Ecuación 7.1 - Producción de MEA.



Ecuación 7.2 - Producción de DEA.



Ecuación 7.3 - Producción de TEA.

Tabla 7.6 - Ecuaciones de balance para R-105.

BALANCE GENERAL	C = D
Balance de H ₂ O	$x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{C} = x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{D}$
Balance de NH ₃	$x_{\text{NH}_3} \cdot \text{C} = x_{\text{NH}_3} \cdot \text{D}$
Balance de OE	$x_{\text{OE}} \cdot \text{C} = x_{\text{OE}} \cdot \text{D}$
Balance de MEA	$x_{\text{MEA}} \cdot \text{D}$
Balance de DEA	$x_{\text{DEA}} \cdot \text{D}$
Balance de TEA	$x_{\text{TEA}} \cdot \text{D}$

Tabla 7.7 - Balance de componentes para R-105.

Balance de componentes para R-105						
Descripción del equipo: Reactor Isotérmico						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal máximo [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal máximo de la fracción [kg/h]
C	Entrada	Mezcla de agua amoniacal + OE	8398,88	Amoniaco	21,14%	1775,31
				Agua	73,40%	6164,36
				Óxido de etileno	5,46%	459,21
D	Salida	Mezcla de agua, OE, amoniaco y ETAS	8398,88	Amoniaco	19,92%	1672,95
				Agua	73,40%	6164,36
				OE	1,09%	91,84
				MEA	3,06%	257,16
				DEA	1,60%	134,57
				TEA	0,93%	78,00

Consideraciones para el balance energético:

- Las reacciones que ocurren son en serie-paralelo, irreversibles y exotérmicas.
- La reacción transcurre en fase líquida.
- Dentro del reactor al haber tanta cantidad de agua, utilizada como catalizador, se le debe incorporar calor al mismo para que mantenga su funcionamiento isotérmico.
- No se producen reacciones secundarias significativas.

En la Tabla 7.8 se detallan las entalpías de formación y los calores específicos a 25 °C de cada compuesto involucrado.

Tabla 7.8 - Entalpías de formación y calores específicos.

Compuesto	ΔH_f° a 25 °C [kcal/kg]	C_p a 25 °C [kcal/kg·°C]
1. Amoníaco	-643,68	1,154
2. OE	-285,349	0,48
3. Agua	-3206,08	1,000
4. MEA	-808,223	0,631
5. DEA	-927,946	0,613
6. TEA	-898,851	0,583

En la Tabla 7.9 se observan las condiciones de cada corriente para realizar el balance de energía.

Tabla 7.9 - Condiciones del reactor isotérmico.

Equipo R-105						
Descripción del equipo: Reactor isotérmico						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal máximo [kg/h]	Componente	Temperatura [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
C	Entrada	Mezcla de agua amoniacal + OE	8398,88	Amoníaco	$T_c = 46,11$	0,55
				Agua		1,00
				Óxido de etileno		0,516
D	Salida	Mezcla de agua, OE, amoníaco y ETAS	8398,88	Amoníaco	$T_d = 90,00$	1,155
				Agua		1,005
				Óxido de etileno		0,516
				MEA		0,671
				DEA		0,655
				TEA		0,625
Presión [kg/cm ²]				10,33		

En la Tabla 7.10 se puede observar el resultado de las ecuaciones presentadas aquí debajo.

$$\Delta H_R = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_F^0 + Q_{\text{calentamiento}} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{NH}_3\text{sinreaccionar}} + Q_{\text{OEsinreaccionar}}$$

$$Q_{\text{enf}} = \left[m_{1(D-C)} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (25^\circ\text{C} - T_c) \right]_{\text{NH}_3} + \left[m_{2(D-C)} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (25^\circ\text{C} - T_c) \right]_{\text{OE}}$$

$$Q_f^0 = (m_{4D} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{MEA}} + (m_{5D} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{DEA}} + (m_{6D} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{TEA}} - (m_{1C} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{NH}_3} - (m_{2C} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{OE}}$$

$$Q_{\text{cal}} = \left[m_{4D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_d - 25^\circ\text{C}) \right]_{\text{MEA}} + \left[m_{5D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_d - 25^\circ\text{C}) \right]_{\text{DEA}} + \left[m_{6D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_d - 25^\circ\text{C}) \right]_{\text{TEA}}$$

$$Q_{\text{NH}_3\text{sinreaccionar}} = m_{1D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_d - T_c)$$

$$Q_{\text{OEsinreaccionar}} = m_{2D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_d - T_c)$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = m_{3D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_d - T_c)$$

Tabla 7.10 - Resultados del BE en el 1° reactor.

Nomenclatura	Calor [kcal/h]
$Q_{\text{enfriamiento}}$	-5703,10
$Q_{\text{formación}}$	-232110,951
$Q_{\text{calentamiento}}$	19415,45
$Q_{\text{H}_2\text{O}}$	270553,76
$Q_{\text{NH}_3\text{sinreaccionar}}$	62595,47
$Q_{\text{O}_2\text{sinreaccionar}}$	2079,92
ΔH_R	116830,549

Consideraciones:

- El agua no reacciona, es el catalizador, permaneciendo sin cambio estado.
- Los reactivos que no reaccionaron se calientan desde la temperatura de entrada hasta la de salida.

Del balance de energía se muestra que por más que las reacciones sean exotérmicas al haber gran cantidad de agua como catalizador, se debe aportar energía al reactor de 116830,549 kcal/h, para que funcione isotérmicamente. Para ello se utiliza vapor saturado, proveniente de una caldera a presión media, con una temperatura de 165 °C y una presión de 7,146 kg/cm²; el mismo sale a una temperatura de 110 °C como líquido saturado, proporcionando así su calor latente de condensación.

En la Tabla 7.11 se muestran los datos de la corriente de vapor. Utilizando la Ecuación 7.4 se puede obtener la masa de este requerida, mostrando sus valores en la Tabla 7.12.

Tabla 7.11 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/Salida	Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]	C_p [kcal/kg·°C]
Vapor saturado	Entrada	165	7,146	0,607
Líquido saturado	Salida	110	1,4609	1,01
Calor latente de condensación [kcal/kg]			-493,55	

$$-\Delta H_{R1} = m \cdot \lambda_c + m \cdot C_{pi} \cdot (110 \text{ °C} - 165 \text{ °C})$$

Ecuación 7.4 - Balance de energía para el vapor saturado en R-105.

Tabla 7.12 - Balance de energía para el vapor saturado.

Nomenclatura	Valor
ΔH_{R1} [kcal/h]	-116830,549
λ_c [kcal/kg]	-493,55
C_{pi} [kcal/kg·°C]	1,01
ΔT [°C]	-55
Masa de vapor [kg/h]	212,77

7.3.3. Reactor adiabático (R-106)

En la Figura 7.5 se representa el esquema del reactor adiabático. Junto con la Tabla 7.13 y Tabla 7.14 que muestran las ecuaciones de balance y dichos resultados. Las reacciones que ocurren son las enunciadas anteriormente en R-105.

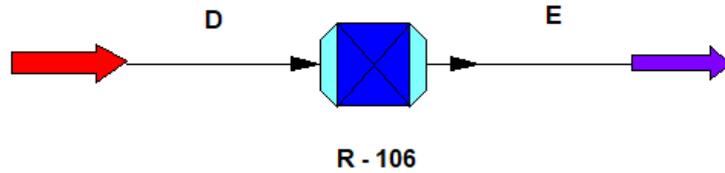


Figura 7.5 - Esquema representativo del Reactor Adiabático.

Condiciones:

- Aquí termina de reaccionar el OE hasta el 100%.

Tabla 7.13 - Ecuaciones de balance para R-106.

BALANCE GENERAL	D = E
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O D} \cdot D = x_{H_2O E} \cdot E$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3 D} \cdot D = x_{NH_3 E} \cdot E$
Balance de OE	$x_{OED} \cdot D$
Balance de MEA	$x_{MEAD} \cdot D = x_{MEAE} \cdot E$
Balance de DEA	$x_{DEAD} \cdot D = x_{DEAE} \cdot E$
Balance de TEA	$x_{TEAD} \cdot D = x_{TEAE} \cdot E$

Tabla 7.14 - Balance de componentes para R-106.

Balance de componentes para R-106						
Descripción del equipo: Reactor Adiabático						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
D	Entrada	Mezcla de agua, OE, amoníaco y ETAS	8398,88	Amoníaco	19,92%	1672,95
				Agua	73,40%	6164,36
				OE	1,09%	91,84
				MEA	3,06%	257,16
				DEA	1,60%	134,57
				TEA	0,93%	78,00
E	Salida	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	8398,88	Amoníaco	19,61%	1647,30
				Agua	73,40%	6164,36
				MEA	3,83%	321,43
				DEA	2,00%	168,22
				TEA	1,16%	97,57

Consideraciones para el balance de energía:

- Las reacciones que ocurren son en serie-paralelo, irreversibles y exotérmicas.
- La reacción transcurre en fase líquida.
- No se producen reacciones secundarias significativas.

Para que el reactor funcione adiabáticamente, se puede optar por dos opciones:

- Colocar un aislante que retire el exceso de energía generado por las sustancias no reaccionantes.
- Involucrar esa energía en el intercambio de calor que se produce dentro del reactor, junto con vapor saturado.

La opción elegida fue la segunda, por lo cual se realizan los cálculos aquí debajo.

En la Tabla 7.8 se muestran los calores de formación y C_p a 25 °C. Luego en la Tabla 7.15 se observan las condiciones que se presentan, en la Tabla 7.16 su resultado, empleando las ecuaciones correspondientes.

Tabla 7.15 - Condiciones del reactor adiabático.

Equipo R-106						
Descripción del equipo: Reactor adiabático						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temperatura [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
D	Entrada	Mezcla de agua, OE, amoníaco y ETAS	8398,88	Amoníaco	$T_d = 90,00$	1,155
				Agua		1,005
				Óxido de etileno		0,516
				MEA		0,671
				DEA		0,655
				TEA		0,625
E	Salida	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	8398,88	Amoníaco	$T_e = 97,28$	1,655
				Agua		1,008
				MEA		0,676
				DEA		0,660
				TEA		0,629
Presión [kg/cm ²]				10,33		

$$\Delta H_R = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_F^0 + Q_{\text{calentamiento}} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{NH}_3\text{sinreaccionar}} + Q_{\text{ETASsinreaccionar}}$$

$$Q_{\text{enf}} = \left[m_{1D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (25^\circ\text{C} - T_d) \right]_{\text{NH}_3} + \left[m_{2D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (25^\circ\text{C} - T_d) \right]_{\text{OE}}$$

$$Q_f^0 = (m_{4(E-D)} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{MEA}} + (m_{5(E-D)} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{DEA}} + (m_{6(E-D)} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{TEA}} - (m_{1(E-D)} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{NH}_3} - (m_{2D} \cdot \Delta H_f^0)_{\text{OE}}$$

$$Q_{\text{cal}} = \left[m_{4(E-D)} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - 25^\circ\text{C}) \right]_{\text{MEA}} + \left[m_{5(E-D)} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - 25^\circ\text{C}) \right]_{\text{DEA}} + \left[m_{6(E-D)} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - 25^\circ\text{C}) \right]_{\text{TEA}}$$

$$Q_{\text{NH}_3\text{sinreaccionar}} = m_{1E} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - T_d)$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = m_{3E} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - T_d)$$

$$Q_{\text{ETASsinreaccionar}} = \left[m_{4D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - T_d) \right]_{\text{MEA}} + \left[m_{5D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - T_d) \right]_{\text{DEA}} + \left[m_{6D} \cdot C_{p_{\text{medio}}} \cdot (T_e - T_d) \right]_{\text{TEA}}$$

Tabla 7.16 - Resultados del BE en el 2° reactor.

Nomenclatura	Calor [kcal/h]
$Q_{\text{enfriamiento}}$	-5065,72
$Q_{\text{formación}}$	-58043,54
$Q_{\text{calentamiento}}$	5440,40
$Q_{\text{H}_2\text{O}}$	45166,27
$Q_{\text{NH}_3\text{sinreaccionar}}$	18970,31
$Q_{\text{ETASsinreaccionar}}$	2260,97
ΔH_R	8728,69

Consideraciones:

- Los reactivos que no reaccionaron se calientan desde la temperatura de entrada hasta la de salida.
- Se considera que el amoníaco esta todo diluido a la entrada de dicho reactor.

Por medio del balance de energía se llegó a la conclusión, al igual que el anterior, de que se necesitan aportar 8728,69 kcal/h, para que la reacción ocurra en su totalidad. Con una masa de vapor saturado de media presión, ingresando a una temperatura de 165 °C, con una presión de 7,146 kg/cm² y saliendo a una temperatura de 110 °C, proporcionando así su calor latente de condensación.

En la Tabla 7.17 se muestran los datos de la corriente de vapor. Utilizando la Ecuación 7.5 se puede obtener la masa de vapor requerida, mostrando sus resultados en la Tabla 7.18.

Tabla 7.17 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]	C_p [kcal/kg·°C]
Vapor saturado	Entrada	165	7,146	0,607
Líquido saturado	Salida	110	1,4609	1,01
Calor latente de condensación [kcal/kg]			-493,55	

$$-\Delta H_{R_2} = m \cdot \lambda_c + m \cdot C_{p_l} \cdot (110 \text{ °C} - 165 \text{ °C})$$

Ecuación 7.5 - Balance de energía para el vapor saturado en R-106.

Tabla 7.18 - Balance de energía para el vapor saturado.

Nomenclatura	Valor
ΔH_{R_2} [kcal/h]	-8728,69
λ_c [kcal/kg]	-493,55
C_{p_l} [kcal/kg·°C]	1,01
ΔT [°C]	-55,00
Masa de vapor [kg/h]	15,90

A. Zona 200 - Sección de recuperación.

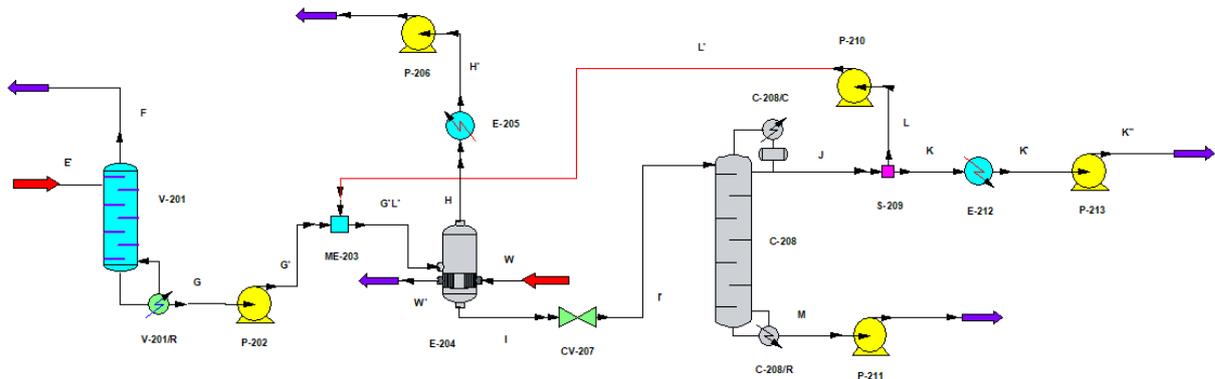


Figura 7.6 - Esquema representativo Zona 200.

En la Figura 7.6 se observa el diagrama de dicha zona, el balance de masa no se lleva a cabo en los dispositivos P-202, P-206, CV-207, P-210, P-211 y P-213 por lo detallado anteriormente en la sección 100.

7.3.4. Stripping (V-201)

En la Figura 7.7 a continuación, se muestran los equipos con las corrientes involucradas, luego las Tabla 7.19 y Tabla 7.20 con las respectivas ecuaciones de balance y composición.

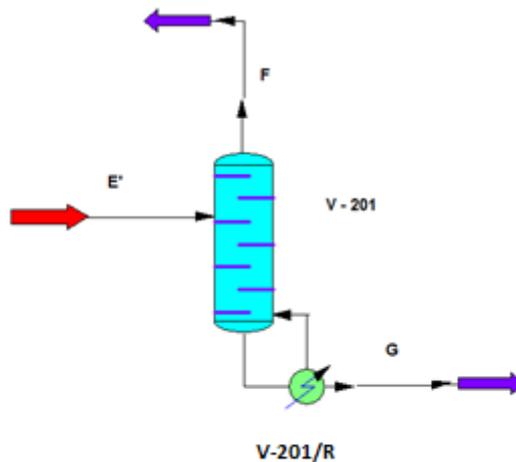


Figura 7.7 - Esquema representativo del stripping.

Condiciones:

- El amoníaco que ingresa por la corriente E', producto de reacción, la mayor cantidad de este sale por la corriente F, representando el 99,60% p/p de la corriente que ingresa.
- El balance de masa arroja por el tope del stripping cantidades pequeñas de ETAS consideradas trazas, por lo cual no se tendrá en cuenta en el balance.

Tabla 7.19 - Ecuaciones de balance para V-201.

BALANCE GENERAL	$E' = F + G$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O E'} \cdot E' = y_{H_2O F} \cdot F + x_{H_2O G} \cdot G$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3 E'} \cdot E' = y_{NH_3 F} \cdot F$
Balance de MEA	$x_{MEA E'} \cdot E' = x_{MEA G} \cdot G$
Balance de DEA	$x_{DEA E'} \cdot E' = x_{DEA G} \cdot G$
Balance de TEA	$x_{TEA E'} \cdot E' = x_{TEA G} \cdot G$

Tabla 7.20 - Balance de componentes para V-201.

Balance de componentes para V-201						
Descripción del equipo: Stripping						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
E'	Entrada	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	8398,88	Amoníaco	19,61%	1647,30
				Agua	73,40%	6164,36
				MEA	3,83%	321,43
				DEA	2,00%	168,22
				TEA	1,16%	97,57
F	Salida	Solución amoniacal	1992,48	Amoníaco	82,36%	1641,08
				Agua	17,64%	351,40
				ETAS	-	Trazas
G	Salida	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	6406,40	Agua	90,75%	5812,96
				Amoníaco	0,10%	6,22
				MEA	5,01%	321,43
				DEA	2,62%	168,22
				TEA	1,52%	97,57

Para el presente equipo la Tabla 7.21 muestra las condiciones de operación.

Tabla 7.21 - Condiciones del stripping.

Equipo V-201						
Descripción del equipo: Stripping						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp. [°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
E'	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	8398,88	Amoníaco	59,82	-15188,98	-25020800
			Agua		-4058,94	
			MEA		-77842,14	
			DEA		-148738,56	
			TEA		-256439,48	
F	Solución amoniacal	1992,48	Amoníaco (V)	59,86	-1311,00	-2151441
			Agua (V)		-6122,48	
G	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	6406,40	Amoníaco	99,50	-3571855,31	-22216940
			Agua		-3821,97	
			MEA		-69119,06	
			DEA		-132070,74	
			TEA		-227702,06	
Presión [kg/cm ²]				1,00		
Calor del reboiler [kcal/h]				652419,00		

Teniendo en cuenta las entalpías de las corrientes de entrada y salida se puede corroborar el calor del reboiler con la ecuación siguiente.

$$Q_E - Q_{Pérdida} = Q_F + Q_G + Q_{Reboiler}$$

Consideraciones:

- La corriente F sale en estado de vapor, teniendo en cuenta el cambio de estado.
- La corriente G permanece en estado líquido.

1. Reboiler (V-201/R)

El stripping necesario para que ocurra la operación se comportan como una torre de destilación; en esta columna se tiene una corriente de servicio de alta temperatura (vapor saturado) cuyo objetivo es recuperar parte del amoníaco. Esta corriente adhiere calor sensible a la solución de entrada y asegura la fuerza impulsora para que se dé la etapa de desorción. Este calor es aplicado en el reboiler. La mezcla de agua y ETAS, con pequeña cantidad de amoníaco fluye hacia abajo y se regenera en el fondo, mientras que el vapor y el amoníaco restante segregan hacia arriba.

En la Figura 7.8 y Tabla 7.23 se pueden apreciar los flujos entrantes y salientes del reboiler, junto con las ecuaciones de balance en la Tabla 7.22, encargado de vaporizar una parte de la corriente de salida del stripping G1 para obtener G.

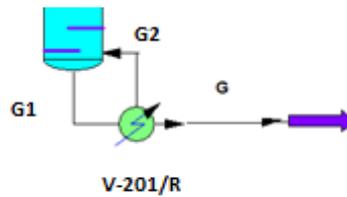


Figura 7.8 - Diagrama del reboiler V-201/R.

Tabla 7.22 - Ecuaciones de balance para V-201/R.

BALANCE GENERAL	$G1 = G2 + G$
Balance de H ₂ O	$x_{G1H_2O} \cdot G1 = x_{G2H_2O} \cdot G2 + x_{GH_2O} \cdot G$
Balance de NH ₃	$x_{G1NH_3} \cdot G1 = x_{G2NH_3} \cdot G2 + x_{GNH_3} \cdot G$
Balance de MEA	$x_{G1MEA} \cdot G1 = x_{G2MEA} \cdot G2 + x_{GMEA} \cdot G$
Balance de DEA	$x_{G1DEA} \cdot G1 = x_{G2DEA} \cdot G2 + x_{GDEA} \cdot G$
Balance de TEA	$x_{G1TEA} \cdot G1 = x_{G2TEA} \cdot G2 + x_{GTEA} \cdot G$

Los valores de la corriente de vapor se encuentran en la Tabla 7.24. Por la Ecuación 7.6 se realiza el cálculo para la obtención de su caudal, arrojando los resultados en la Tabla 7.25.

Tabla 7.23 - Balance de V-201/R.

Equipo V-201/R						
Descripción del equipo: Reboiler del stripping						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
G1	Entrada	Líquido	7639,72	Amoníaco	22,28	98,63
				Agua	6989,21	
				MEA	324,85	
				DEA	168,24	
				TEA	135,14	
G2	Salida	Vapor	1233,32	Amoníaco	16,06	99,50
				Agua	1176,26	
				MEA	4,04	
				DEA	0,02	
				TEA	36,94	
G	Salida	Líquido	6406,40	Amoníaco	6,22	99,50
				Agua	5812,96	
				MEA	321,43	
				DEA	168,22	
				TEA	97,57	
Calor del reboiler (Q _R) [kcal/h]					652419	

Tabla 7.24 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]	C _p [kcal/kg·°C]
Vapor saturado	Entrada	165	7,146	0,607
Líquido saturado	Salida	110	1,4609	1,01
Calor latente de condensación [kcal/kg]			-493,55	

$$-Q_R = m \cdot \lambda_c + m \cdot C_{p_l} \cdot (110 \text{ °C} - 165 \text{ °C})$$

Ecuación 7.6 - Balance de energía para el vapor saturado en V-201/R.

Tabla 7.25 - Balance de energía para el vapor saturado.

Nomenclatura	Valor
Q _R [kcal/h]	-652419
λ _c [kcal/kg]	-493,55
C _{pl} [kcal/kg·°C]	1,01
ΔT [°C]	-55
Masa de vapor [kg/h]	1188,16

7.3.5. Mezclador (ME-203)

En la Figura 7.9 se exhibe un esquema representativo del proceso de mezclado, este equipo es ilustrativo, a causa de que la corriente L' debería ingresar junto con G', para el correcto funcionamiento del evaporador. Debajo del diagrama se observa la Tabla 7.26 con las ecuaciones de balance y en la Tabla 7.27 las corrientes involucradas con sus respectivas composiciones.

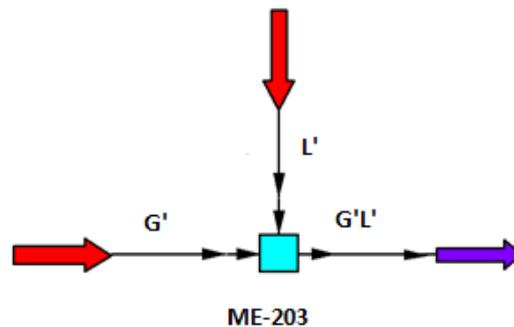


Figura 7.9 - Esquema representativo del mezclador.

Condiciones para esta etapa:

- Se supone que no ocurre reacción química.
- No existen pérdidas.

Tabla 7.26 - Ecuaciones de balance para ME-203.

BALANCE GENERAL	$G' + L' = G'L'$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O}G' + x_{H_2O}L' = x_{H_2O}G'L'$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3}G' = x_{NH_3}G'L'$
Balance de MEA	$x_{MEA}G' = x_{MEA}G'L'$
Balance de DEA	$x_{DEA}G' = x_{DEA}G'L'$
Balance de TEA	$x_{TEA}G' = x_{TEA}G'L'$

Tabla 7.27 - Balance de componentes para ME-203.

Balance de componentes para ME-203						
Descripción del equipo: Mezclador líquido - líquido						
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]
G'	Entrada	6406,40	Amoníaco	0,10%	6,22	99,50
			Agua	90,75%	5812,96	
			MEA	5,01%	321,43	
			DEA	2,62%	168,22	
			TEA	1,52%	97,57	
L'	Entrada	97,90	Agua	100,00%	97,90	74,17
G'L'	Salida	6504,30	Amoníaco	0,09%	6,22	99,11
			Agua	90,88%	5910,86	
			MEA	4,94%	321,43	
			DEA	2,59%	168,22	
			TEA	1,50%	97,57	
Presión [kg/cm ²]					1,25	

7.3.6. Evaporador (E-204)

En la Figura 7.10 se detalla el equipo de evaporación, la corriente H que sale en estado de vapor, pasa a un intercambiador de calor donde se condensa. En las Tabla 7.28 y Tabla 7.29 mostradas aquí debajo se observan los cálculos realizados.

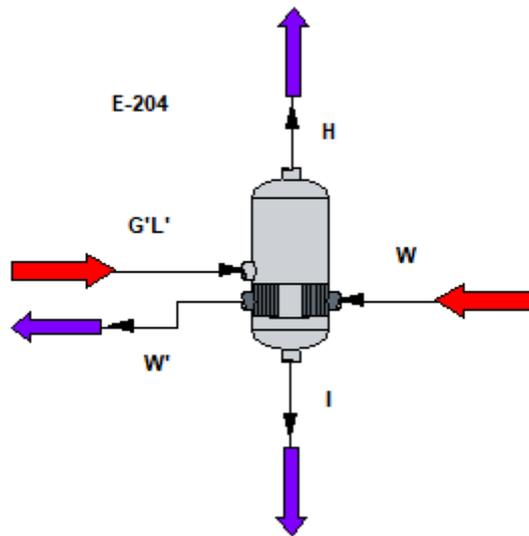


Figura 7.10 - Esquema representativo del evaporador.

Consideraciones:

- La corriente I que sale del mismo tiene una composición del 20% p/p de agua.

Tabla 7.28 - Ecuaciones de balance para E-204.

BALANCE GENERAL	$G'L' = H + I$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O}G'L' = x_{H_2O}I + x_{H_2O}H$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3}G'L' = x_{NH_3}H$
Balance de MEA	$x_{MEA}G'L' = x_{MEA}I$
Balance de DEA	$x_{DEA}G'L' = x_{DEA}I$
Balance de TEA	$x_{TEA}G'L' = x_{TEA}I$

Tabla 7.29 - Balance de componentes para E-204.

Balance de componentes para E-204						
Descripción del equipo: Evaporador						
Corriente	Entrada/	Denominación	Caudal másico	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
G'L'	Entrada	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	6504,30	Amoníaco	0,09%	6,22
				Agua	90,88%	5910,86
				MEA	4,94%	321,43
				DEA	2,59%	168,22
				TEA	1,50%	97,57
H	Salida	Agua amoniacal diluida	5768,55	Agua	99,89%	5762,33
				Amoníaco	0,11%	6,22
I	Salida	Mezcla de ETAS concentradas en agua	735,75	Agua	20,18%	148,53
				MEA	43,69%	321,43
				DEA	22,86%	168,22
				TEA	13,24%	97,57

Tabla 7.30 - Condiciones del evaporador.

Equipo E-204						
Descripción del equipo: Evaporador						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp. [°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
G'L'	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS	6504,30	Amoníaco	99,11	-3640099,36	-22641418
			Agua		-3830,48	
			MEA		-70439,65	
			DEA		-134594,09	
			TEA		-232053,07	
H	Agua amoniacal diluida	5768,55	Amoníaco	140,00	-2927389,00	-18208360
			Agua		-3159,90	
I	Mezcla de ETAS concentradas en agua	735,75	Agua	140,00	-6957,17	-1035718
			MEA		-3214,85	
			DEA		-6142,84	
			TEA		-10590,85	
Presión [kg/cm ²]				1,25		
Calor del evaporador (Q _{evaporador}) [kcal/h]				3397340		

En la Tabla 7.30 se examinan las condiciones de dicho equipo, con la ecuación aquí debajo se puede corroborar el calor del evaporador.

$$Q_{G'L'} - Q_{Pérdida} = Q_H + Q_I + Q_{evaporador}$$

En la Tabla 7.31 se muestran las condiciones del vapor requerido para el funcionamiento de este equipo, luego se procede al cálculo de la masa del mismo en la Tabla 7.32 con la Ecuación 7.7.

Tabla 7.31 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]	C _p [kcal/kg·°C]
Vapor saturado (W)	Entrada	165	7,146	0,607
Líquido saturado (W')	Salida	110	1,4609	1,01
Calor latente de condensación [kcal/kg]			-493,55	

$$-Q_{\text{evaporador}} = m \cdot \lambda_c + m \cdot C_{p_l} \cdot (110 \text{ °C} - 165 \text{ °C})$$

Ecuación 7.7 - Balance de energía para el vapor saturado en E-204.

Tabla 7.32 - Balance de energía para el vapor saturado.

Nomenclatura	Valor
Q _{evaporador} [kcal/h]	-3397340
λ _c [kcal/kg]	-493,55
C _{pl} [kcal/kg·°C]	1,01
ΔT [°C]	-55
Masa de vapor [kg/h]	6187,11

7.3.7. Intercambiador de calor (E-205)

La Figura 7.11 muestra el esquema de este equipo y la Tabla 7.33 las ecuaciones de balance. La corriente H se envía al intercambiador para condensarlo y disminuir su temperatura, las condiciones de dicha corriente se pueden observar en la Tabla 7.34.

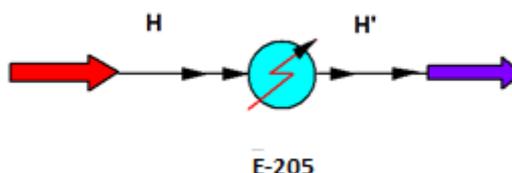


Figura 7.11 - Esquema representativo del intercambiador de calor.

Tabla 7.33 - Ecuaciones de balance de E-205.

BALANCE GENERAL	H = H'
Balance de H ₂ O	x _{H₂O} · H = x _{H₂O} · H'
Balance de NH ₃	x _{NH₃} · H = x _{NH₃} · H'

Tabla 7.34- Balance de componentes para E-205.

Balance de componentes para E-205							
Descripción del equipo: Intercambiador de Calor							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
H	Entrada	5768,55	Agua	99,89%	5762,33	140,00	0,4805
			Amoniaco	0,11%	6,22		
H'	Salida	5768,55	Agua	99,89%	5762,33	65,00	1,0010
			Amoniaco	0,11%	6,22		
Presión [kg/cm ²]						1,24	
λ _c [kcal/kg]						-592,52	
Calor del intercambiador (Q _{IQ}) [kcal/h]						-3418000	

$$-Q_{IQ} = m_H \cdot \lambda_c + m_H \cdot C_{pH} \cdot (65 \text{ °C} - 140 \text{ °C})$$

Ecuación 7.8 - Balance de energía para E-205.

El calor que se le debe retirar para producir la condensación está dado por el simulador ChemCAD y se verifica por la Ecuación 7.8 con un valor de -3418000 kcal/h, esto se realiza con agua de enfriamiento mostrando sus condiciones en la Tabla 7.35, la cantidad de la misma que se necesita se muestra en la Tabla 7.36, sacada con la Ecuación 7.9.

Tabla 7.35 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1,00
Agua	Salida	42	1,00
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$-Q_{IQ} = m \cdot C_{pi} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.9 - Balance de energía para el agua en E-205.

Tabla 7.36 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q _{IQ} [kcal/h]	-3418000
C _{pi} [kcal/kg·°C]	1,00
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	155363,64

7.3.8. Deshidratador (C-208)

La Figura 7.12 muestra un deshidratador con condensador en la parte superior y reboiler en el fondo. Las Tabla 7.37 y Tabla 7.38 arrojan los resultados del balance de masa de la columna.

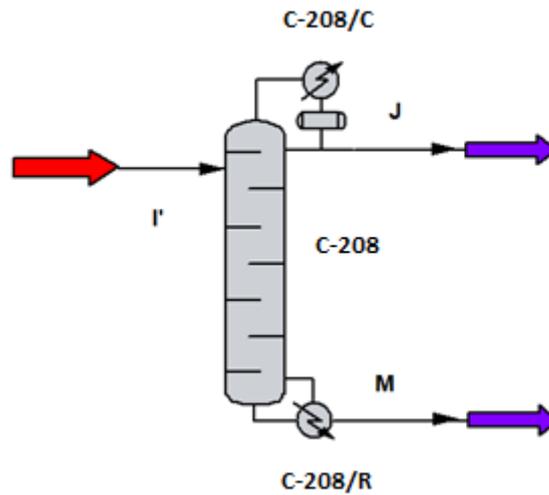


Figura 7.12 - Esquema representativo del deshidratador.

Consideraciones:

- La corriente que sale del fondo (M) se encuentra libre de agua.

Tabla 7.37 - Ecuaciones de balance para C-208.

BALANCE GENERAL	$I' = J + M$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O I'} \cdot I' = x_{H_2O J} \cdot J$
Balance de MEA	$x_{MEA I'} \cdot I' = x_{MEA M} \cdot M$
Balance de DEA	$x_{DEA I'} \cdot I' = x_{DEA M} \cdot M$
Balance de TEA	$x_{TEA I'} \cdot I' = x_{TEA M} \cdot M$

Tabla 7.38 - Balance de componentes para C-208.

Balance de componentes para C-208						
Descripción del equipo: Deshidratador						
Corriente	Entrada/Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
I'	Entrada	Mezcla de ETAS concentradas en agua	735,75	Agua	20,18%	148,53
				MEA	43,69%	321,43
				DEA	22,86%	168,22
				TEA	13,24%	97,57
J	Salida	Agua	148,53	Agua	100,00%	148,53
M	Salida	ETAS	587,22	MEA	54,73%	321,43
				DEA	28,65%	168,22
				TEA	16,62%	97,57

En la Tabla 7.39 se observan las condiciones del equipo en cuestión.

Tabla 7.39 - Condiciones del deshidratador.

Equipo C-208						
Descripción del equipo: Deshidratador						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp. [°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
I'	Mezcla de ETAS concentradas en agua	735,75	Agua	113,28	-7036,65	-1045152,90
			MEA		-3251,57	
			DEA		-6213,01	
			TEA		-10711,83	
J	Agua	148,53	Agua	74,15	-3743,39	-556005,00
M	ETAS	587,22	MEA	140,00	-1827,27	-587338,00
			DEA		-3491,49	
			TEA		-6019,66	
Presión [kg/cm ²]				0,38		
Calor del condensador [kcal/h]				-115373,00		
Calor del reboiler [kcal/h]				17182,90		

$$Q_I - Q_{\text{Perdida}} = Q_J + Q_M + Q_{\text{Reboiler}} - Q_{\text{Condensador}}$$

1. Condensador (C-208/C)

Seguidamente, se detallan en la Figura 7.13, la Tabla 7.40 y la Tabla 7.41, el diagrama y las corrientes involucradas en el condensador de la columna de deshidratación.

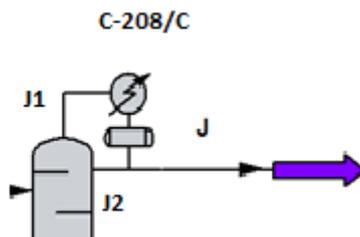


Figura 7.13 - Diagrama del condensador C-208/C.

Tabla 7.40 . Ecuaciones de balance de C-208/C.

BALANCE GENERAL	J1 = J2 + J
Balance de H ₂ O	$x_{H_2OJ1} \cdot J1 = x_{H_2OJ2} \cdot J2 + x_{H_2OJ} \cdot J$
Balance de MEA	$x_{MEA J1} \cdot J1 = x_{MEA J2} \cdot J2$

Tabla 7.41 - Balance de C-208/C.

Equipo C-208/C						
Descripción del equipo: Condensador del deshidratador						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
J1	Entrada	Vapor	215,43	Agua	215,33	74,15
				MEA	0,10	
J2	Salida	Líquido	66,90	Agua	66,83	74,15
				MEA	0,07	
J	Salida	Líquido	148,53	Agua	148,53	74,15
Calor del condensador (Q _C) [kcal/h]					-119467,00	

Para dicho propósito se utiliza agua de enfriamiento, los datos se encuentran en la Tabla 7.42, con la Ecuación 7.10 se calcula la masa que se necesita, mostrada en la Tabla 7.43.

Tabla 7.42 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1,00
Agua	Salida	42	1,00
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$-Q_C = m \cdot C_{p_i} \cdot (42\text{ °C} - 20\text{ °C})$$

Ecuación 7.10 - Balance de energía para el agua en C-208/C.

Tabla 7.43 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q _C [kcal/h]	-119467
C _{pl} [kcal/kg·°C]	1
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	5430,32

2. Reboiler (C-208/R)

En la Figura 7.14, la Tabla 7.44 y la Tabla 7.45 se pueden apreciar los flujos entrantes y salientes del reboiler pertenecientes al deshidratador.

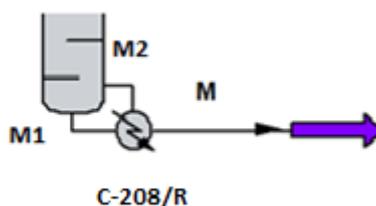


Figura 7.14 - Diagrama del reboiler C-208/R.

Tabla 7.44 - Ecuaciones de balance de C-208/R.

BALANCE GENERAL	M1 = M2 + M
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O M1} \cdot M1 = x_{H_2O M2} \cdot M2$
Balance de MEA	$x_{MEA M1} \cdot M1 = x_{MEA M2} \cdot M2 + x_{MEA M} \cdot M$
Balance de DEA	$x_{DEA M1} \cdot M1 = x_{DEA M2} \cdot M2 + x_{DEA M} \cdot M$
Balance de TEA	$x_{TEA M1} \cdot M1 = x_{TEA M2} \cdot M2 + x_{TEA M} \cdot M$

Tabla 7.45 - Balance de C-208/R.

Equipo C-208/R						
Descripción del equipo: Reboiler del deshidratador						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
M1	Entrada	Líquido	590,08	Agua	0,40	86,50
				MEA	323,86	
				DEA	168,25	
				TEA	97,57	
M2	Salida	Vapor	2,90	Agua	0,37	140,00
				MEA	2,50	
				DEA	0,03	
				TEA	-	
M	Salida	Líquido	587,22	MEA	321,43	140,00
				DEA	168,22	
				TEA	97,57	
Calor del reboiler (Q_{R1}) [kcal/h]					21280,10	

Los valores de la corriente de vapor se encuentran en la Tabla 7.46. Por la Ecuación 7.11 se realiza el cálculo para la obtención de su caudal, arrojando los resultados en la Tabla 7.47.

Tabla 7.46 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]	C _p [kcal/kg·°C]
Vapor saturado	Entrada	165	7,146	0,607
Líquido saturado	Salida	110	1,4609	1,01
Calor latente de condensación [kcal/kg]			-493,55	

$$- Q_{R1} = m \cdot \lambda_c + m \cdot C_{p_i} \cdot (110 \text{ °C} - 165 \text{ °C})$$

Ecuación 7.11 -Balance de energía para el vapor saturado en C-208/R.

Tabla 7.47 - Balance de energía para el vapor saturado.

Nomenclatura	Valor
Q_{R1} [kcal/h]	-21280,10
λ_c [kcal/kg]	-493,55
C_{pl} [kcal/kg·°C]	1,01
ΔT [°C]	-55
Masa de vapor [kg/h]	48,58

7.3.9. Divider (S-209)

La Figura 7.15 muestra un divider que separa la corriente saliente del deshidratador en dos, su funcionamiento es el de una válvula donde una parte se deriva en L y la otra en K, obteniendo así los números que se muestran en la Tabla 7.48 y Tabla 7.49.

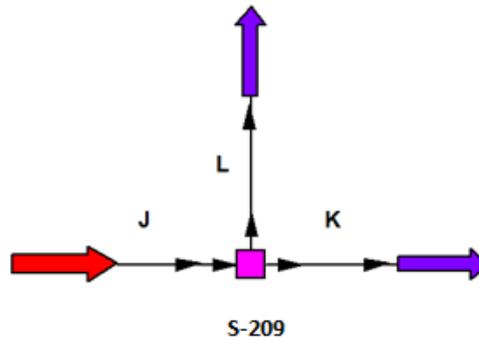


Figura 7.15 - Esquema representativo del divider.

Consideraciones:

- De la corriente J que ingresa, aproximadamente dos tercios corresponden a L, retornando al evaporador y el resto de J sale como agua de lavado en K, que es tratada e ingresa al absorbedor de la zona 300.

Tabla 7.48 - Ecuaciones de balance para S-209.

BALANCE GENERAL	$J = L + K$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2OJ} \cdot J = x_{H_2OK} \cdot K + x_{H_2OL} \cdot L$

Tabla 7.49 - Balance de componentes para S-209.

Balance de componentes para S-209						
Descripción del equipo: Divider						
Corriente	Entrada/Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
J	Entrada	Agua	148,53	Agua	100%	148,53
K	Salida	Agua de lavado	50,63	Agua	100%	50,63
L	Salida	Agua	97,90	Agua	100%	97,90

7.3.10. Intercambiador de calor (E-212)

En la Figura 7.16 se puede observar el intercambiador encargado de disminuir la temperatura del agua para poder ingresar en el absorbedor que se encuentra en la zona 300 para realizar la absorción del amoniaco. En la Tabla 7.50 se ve la ecuación de balance y en la Tabla 7.51 los números correspondientes para dicho equipo.

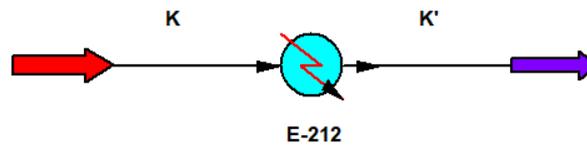


Figura 7.16 - Esquema representativo del intercambiador de calor.

Tabla 7.50 - Ecuaciones de balance de E-212.

BALANCE GENERAL	K = K'
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O K} \cdot K = x_{H_2O K'} \cdot K'$

Tabla 7.51 - Balance de componentes para E-212.

Balance de componentes para E-212							
Descripción del equipo: Intercambiador de Calor							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
K	Entrada	50,63	Agua	100%	50,63	74,15	1,0032
K'	Salida	50,63	Agua	100%	50,63	25,00	0,9999
Presión [kg/cm ²]						0,38	
Calor del intercambiador (Q _{IQ1}) [kcal/h]						-2490,78	

$$-Q_{IQ1} = m_H \cdot C_{pH} \cdot (25,00 \text{ °C} - 74,15 \text{ °C})$$

Ecuación 7.12 - Balance de energía para E-212.

El calor que se le debe retirar está dado por la Ecuación 7.12 el cual se verifica por medio del simulador, con un valor de -2490,78 kcal/h, el mismo se retira con agua de enfriamiento mostrando sus condiciones en la Tabla 7.52.

Tabla 7.52 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

A continuación, con la Ecuación 7.13 se procede a calcular la masa de agua a utilizar, Tabla 7.53.

$$-Q_{IQ1} = m \cdot C_{pl} \cdot (42 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})$$

Ecuación 7.13 - Balance de energía para el agua en E-212.

Tabla 7.53 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q_{IQ1} [kcal/h]	-2490,78
C_{pl} [kcal/kg·°C]	1,00
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	113,22

B. Zona 300 - Sección de absorción.

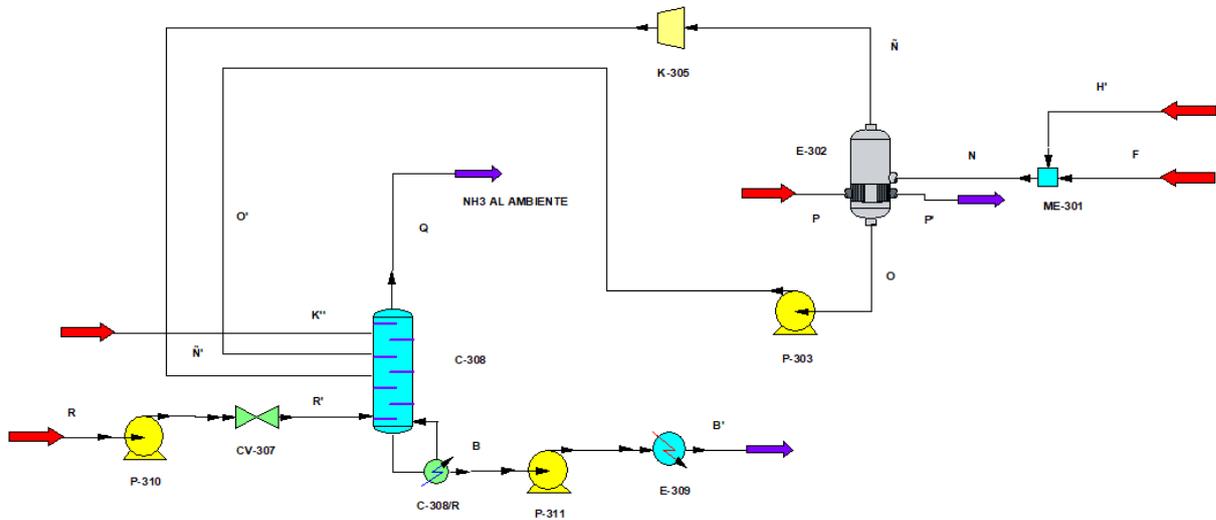


Figura 7.17 - Esquema representativo de la Zona 300.

En la Figura 7.17 se observa la sección de formación de solución amoniacal, el balance de masa no se lleva a cabo en el dispositivo P-303, P-310, P-31, K-305 y CV-307 por razones ya conocidas.

7.3.11. Mezclador (ME-301)

En la presente Figura 7.18 se observa la mezcla de dos corrientes, una proveniente del evaporador (H') y otra saliente del tope del stripping (F). Luego en las Tabla 7.54 y Tabla 7.55 se adjunta los correspondientes valores. Este equipo luego se adoptará como un tanque agitado debido a que hay mezcla de distintas fases.

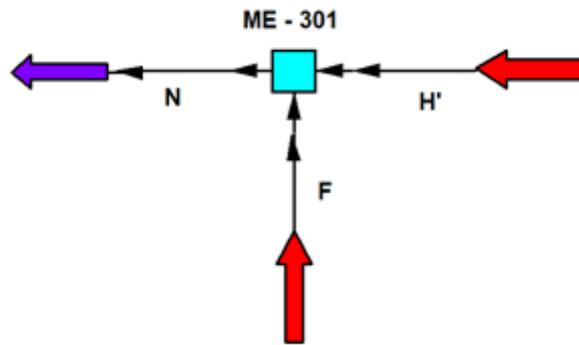


Figura 7.18 - Esquema representativo del mezclador.

Tabla 7.54 - Ecuaciones de balance para ME-301.

BALANCE GENERAL	$H' + F = N$
Balance de H_2O	$x_{H_2O} \cdot F + x_{H_2O} \cdot H' = x_{H_2O} \cdot N$
Balance de NH_3	$x_{NH_3} \cdot F = x_{NH_3} \cdot N$

Tabla 7.55 - Balance de componentes para ME-301.

Balance de componentes para ME-301							
Descripción del equipo: Mezclador líquido - líquido							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	Presión [kg/cm ²]
F	Entrada	1992,48	Amoníaco	82,36%	1641,08	59,86	1,00
			Agua	17,64%	351,4		
H'	Entrada	5768,55	Amoníaco	0,11%	6,22	65,00	1,24
			Agua	99,89%	5762,33		
N	Salida	7761,03	Amoníaco	21,22%	1647,3	70,00	1,00
			Agua	78,78%	6113,73		
Presión de operación [kg/cm ²]					1,00		

7.3.12. Condensador (E-302)

En la Figura 7.19 se observa el diagrama de dicho equipo, el cual produce la separación de dos corrientes, una líquida y la otra en estado de vapor. En la Tabla 7.56 se muestran las ecuaciones de balance, en la Tabla 7.57 los valores correspondientes y en la Tabla 7.58 los datos del balance de energía.

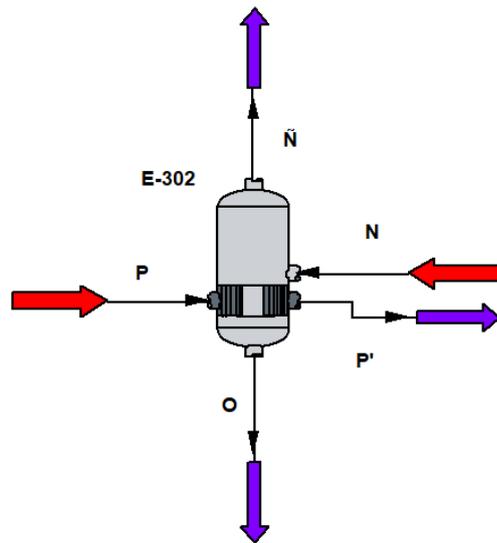


Figura 7.19 - Esquema representativo del condensador.

Consideraciones:

- La corriente O que sale del separador contiene 20% p/p de amoníaco.
- En el equipo E-302 se condensa la corriente N para dar Ñ y O, con agua de enfriamiento (P/P').

Tabla 7.56 - Ecuaciones de balance para E-302.

BALANCE GENERAL	$N = \tilde{N} + O$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O} \cdot N = x_{H_2O} \cdot O + x_{H_2O} \cdot \tilde{N}$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3} \cdot N = x_{NH_3} \cdot O + x_{NH_3} \cdot \tilde{N}$

Tabla 7.57 - Balance de componentes para E-302.

Balance de componentes para E-302						
Descripción del equipo: Condensador de película						
Corriente	Entrada/Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
N	Entrada	Solución amoniacal recuperada	7761,03	Amoníaco	21,22%	1647,30
				Agua	78,78%	6113,73
O	Salida	Solución amoniacal	7630,35	Amoníaco	20,00%	1528,77
				Agua	80,00%	6101,58
Ñ	Salida	Amoníaco diluido	130,68	Amoníaco	90,70%	118,53
				Agua	9,30%	12,15

Tabla 7.58 - Condiciones del condensador.

Equipo E-302						
Descripción del equipo: Condensador de película						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp. [°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
N	Solución amoniaca recuperada	7761,03	Amoniaco	70,00	-14434,03	-23777170,00
			Agua		-3889,14	
O	Solución amoniaca	7630,35	Amoniaco	43,00	-15982,83	-24434076,10
			Agua		-4004,55	
Ñ	Amoniaco diluido	130,68	Amoniaco	43,00	-963,17	-114164,40
			Agua		-9396,25	
Presión [kg/cm ²]				1,00		
Calor del condensador (Q _{C1}) [kcal/h]				-771070,50		

Con la ecuación que se encuentra debajo se puede corroborar el calor del condensador.

$$Q_N - Q_{pérd} + Q_{C1} = Q_O + Q_{\tilde{N}}$$

El calor del condensador debe ser retirado por medio de agua de enfriamiento para que el equipo funcione correctamente. En la Tabla 7.59 se observan los datos de la corriente (P/P'), utilizando la Ecuación 7.14 se procede al cálculo del flujo de masa del agua, Tabla 7.60.

Tabla 7.59 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua (P)	Entrada	20	1
Agua (P')	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$-Q_{C1} = m \cdot C_{p_i} \cdot (42\text{ °C} - 20\text{ °C})$$

Ecuación 7.14 - Balance de energía para el agua en E-302.

Tabla 7.60 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q _{C1} [kcal/h]	-771070,50
C _{pl} [kcal/kg·°C]	1
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	35048,66

7.3.13. Absorbedor (C-308)

En la Figura 7.20 se muestra el absorbedor con las corrientes involucradas, luego de realizar el balance con las ecuaciones de la Tabla 7.61 se adjunta la Tabla 7.62 de resultados. Conjuntamente, en la Tabla 7.63 las condiciones relacionadas al balance de energía.

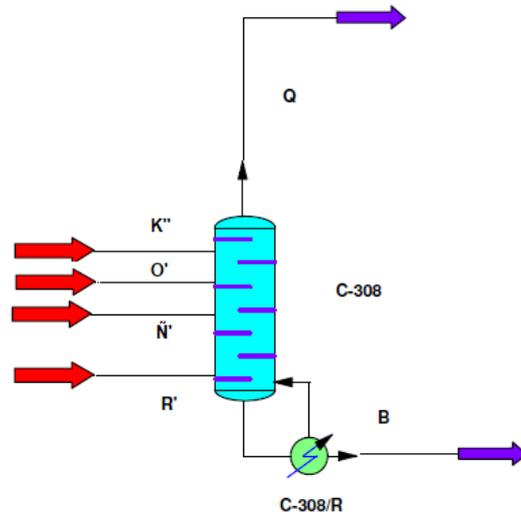


Figura 7.20 - Esquema representativo del absorbedor.

Tabla 7.61 - Ecuaciones de balance para C-308.

BALANCE GENERAL	$K'' + R' + O' + \tilde{N}' = B + Q$
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O}K'' \cdot K'' + x_{H_2O}\tilde{N}' \cdot \tilde{N}' + x_{H_2O}O' \cdot O' = x_{H_2O}B \cdot B + x_{H_2O}Q \cdot Q$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3}R' \cdot R' + x_{NH_3}O' \cdot O' + x_{NH_3}\tilde{N}' \cdot \tilde{N}' = x_{NH_3}B \cdot B + x_{NH_3}Q \cdot Q$

Tabla 7.62 - Balance de componentes para C-308.

Balance de componentes para C-308						
Descripción del equipo: Absorbedor						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
K''	Entrada	Agua recirculada	50,63	Agua	100%	50,63
R'	Entrada	Amoníaco fresco	128,01	Amoníaco	100%	128,01
O'	Entrada	Solución amoniacal débil	7630,35	Amoníaco	20,00%	1528,77
				Agua	80,00%	6101,58
Ñ'	Entrada	Solución amoniacal fuerte	130,68	Amoníaco	90,70%	118,53
				Agua	9,30%	12,15
B	Salida	Solución amoniacal	7939,67	Amoníaco	22,36%	1775,31
				Agua	77,64%	6164,36
Q	Salida	Fracción ligera	Trazas	Amoníaco	Trazas	Trazas
				Agua	Trazas	Trazas

Consideraciones:

- La corriente K'' es recirculada del deshidratador.
- La corriente R' es amoníaco fresco, en estado vapor, que se añade la cantidad que reacciona, además completa la solución amoniacal (22,36% p/p) que sale por la corriente final B.

- La corriente Q que sale por el tope de la torre se elimina al ambiente, debido a que es mucho menor que 25 ppm, que corresponde al valor aceptado como umbral olfativo.

Tabla 7.63 Condiciones del absorbedor.

Equipo C-308						
Descripción del equipo: Absorbedor						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp. [°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
K''	Agua recirculada	50,63	Agua	25,04	-3792,08	-191993,20
R'	Amoniaco fresco	128,01	Amoniaco	3,75	-658,68	-84317,75
O'	Solución amoniacal débil	7630,35	Amoniaco	43,03	-15984,71	-24436950,22
			Agua		-4005,02	
Ñ'	Solución amoniacal fuerte	130,68	Amoniaco	97,11	-933,37	-110633,00
			Agua		-9105,60	
B	Solución amoniacal	7939,67	Amoniaco	59,67	-13942,58	-24752410
			Agua		-4015,41	
Q	Fracción ligera	Trazas	Amoniaco	81,06	-1753,41	-0,266109
			Agua		-4927,94	
Presión [kg/cm ²]				2,00		
Calor del reboiler [kcal/h]				71483,90		

Teniendo en cuenta las entalpías de las corrientes de entrada y salida se puede corroborar el calor del reboiler con la ecuación siguiente.

$$Q_{K''} + Q_{R'} + Q_{O'} + Q_{Ñ'} - Q_{Pérdida} = Q_B + Q + Q_{Reboiler}$$

1. Reboiler (C-308/R)

El absorbedor trabaja de igual manera que una columna de destilación; en esta torre se tiene una corriente de servicio de alta temperatura (vapor saturado) cuyo objetivo es generar calor sensible en la solución de entrada y asegura la fuerza impulsora para que se dé la etapa de absorción. Este calor es aplicado en el reboiler.

En la Figura 7.21, la Tabla 7.64 y Tabla 7.65 se pueden apreciar los flujos entrantes y salientes del reboiler, encargado de vaporizar una parte de la corriente de salida del stripping B1 para obtener B.

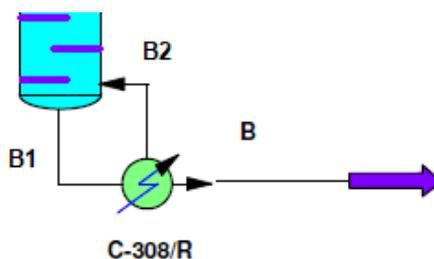


Figura 7.21 - Diagrama del reboiler C-308/R.

Tabla 7.64 - Ecuaciones de balance de C-308/R.

BALANCE GENERAL	B1 = B2 + B
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O B1} \cdot B1 = x_{H_2O B2} \cdot B2 + x_{H_2O B} \cdot B$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3 B1} \cdot B1 = x_{NH_3 B2} \cdot B2 + x_{NH_3 B} \cdot B$

Los valores de la corriente de vapor se encuentran en la Tabla 7.66. Por la Ecuación 7.15 se realiza el cálculo para la obtención de su caudal, arrojando los resultados en la Tabla 7.67.

Tabla 7.65 - Balance de C-308/R.

Equipo C-308/R						
Descripción del equipo: Reboiler del absorbedor						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
B1	Entrada	Líquido	8083,51	Amoniaco	1903,94	56,92
				Agua	6179,57	
B2	Salida	Vapor	143,84	Amoniaco	128,63	59,70
				Agua	15,21	
B	Salida	Líquido	7939,67	Amoniaco	1775,31	59,70
				Agua	6164,36	
Calor del reboiler (Q _{R2}) [kcal/h]					71483,90	

Tabla 7.66 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]	C _p [kcal/kg·°C]
Vapor saturado	Entrada	165	7,146	0,607
Líquido saturado	Salida	110	1,4609	1,01
Calor latente de condensación [kcal/kg]			-493,55	

$$-Q_{R2} = m \cdot \lambda_c + m \cdot C_{p_i} \cdot (110 \text{ °C} - 165 \text{ °C})$$

Ecuación 7.15 - Balance de energía para el vapor saturado en C-208/R.

Tabla 7.67 - Balance de energía para el vapor saturado.

Nomenclatura	Valor
Q _{R2} [kcal/h]	-71483,90
λ _c [kcal/kg]	-493,55
C _{pl} [kcal/kg·°C]	1,01
ΔT [°C]	-55
Masa de vapor [kg/h]	130,18

7.3.14. Intercambiador de calor (E-309)

En la Figura 7.22 se muestra el equipo encargado de enfriar la corriente saliente del absorbedor, que va a ir luego al reactor, junto con la Tabla 7.68 y Tabla 7.69 que muestran el balance de componentes.

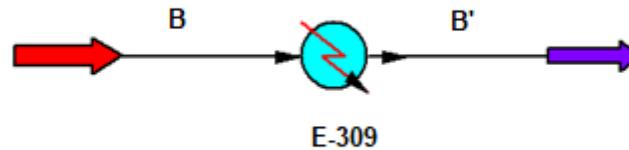


Figura 7.22 - Esquema representativo del intercambiador de calor.

Tabla 7.68 - Ecuaciones de balance para E-309.

BALANCE GENERAL	B = B'
Balance de H ₂ O	$x_{H_2O} \cdot B = x_{H_2O} \cdot B'$
Balance de NH ₃	$x_{NH_3} \cdot B = x_{NH_3} \cdot B'$

Tabla 7.69 - Balance de componentes para E-309.

Balance de componentes para E-309							
Descripción del equipo: Intercambiador de Calor							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
B	Entrada	7939,67	Agua	77,64%	6164,36	59,70	1,106
			Amoníaco	22,36%	1775,31		
B'	Salida	7939,67	Agua	77,64%	6164,36	47,14	1,0842
			Amoníaco	22,36%	1775,31		
Presión [kg/cm ²]						2,00	
Calor del intercambiador (Q _{IQ3}) [kcal/h]						110033,00	

$$- Q_{IQ3} = m_B \cdot C_{p_B} \cdot (47,14 \text{ °C} - 59,67 \text{ °C})$$

Ecuación 7.16 - Balance de energía para E-309.

El calor que se le debe retirar está dado por la Ecuación 7.16 el cual se verifica por medio del simulador, con un valor de 110033 kcal/h, el mismo se retira con agua de enfriamiento mostrando sus condiciones en la Tabla 7.70.

Tabla 7.70 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

A continuación, con la Ecuación 7.17 se procede a calcular la masa de agua a utilizar, Tabla 7.71.

$$- Q_{IQ3} = m \cdot C_{p_i} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.17 - Balance de energía para el agua en E-309.

Tabla 7.71 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q_{IQ3} [kcal/h]	-110033,00
C_{pl} [kcal/kg·°C]	1,00
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	5001,50

C. Zona 400 - Sección de destilación.

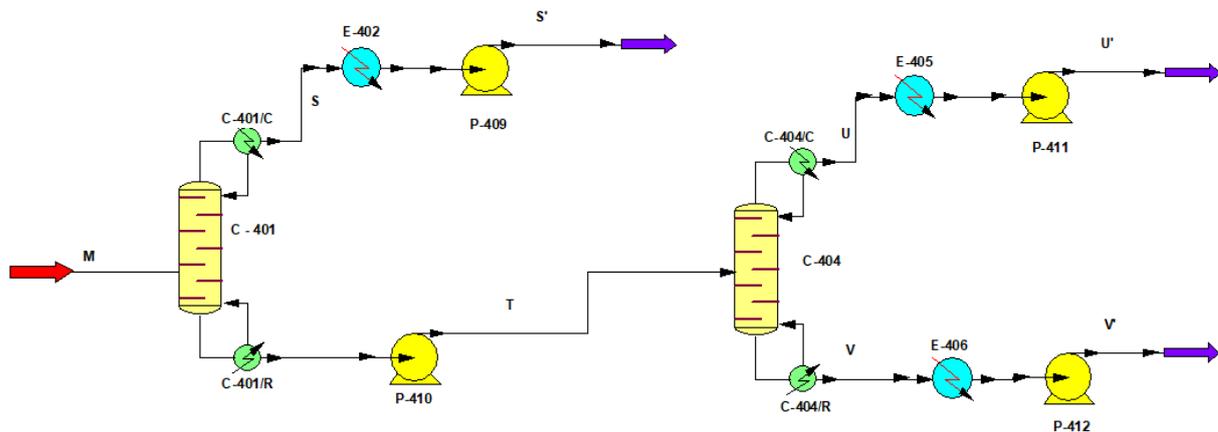


Figura 7.23 - Esquema representativo del tren de destilación.

En la Figura 7.23 se observa el diagrama de dicha zona, no se realiza balance de masa ni energía en las bombas ya que solo realizan transporte.

Los productos obtenidos deben ser enfriados para almacenarse, por lo cual se coloca a la salida de cada torre un intercambiador de calor.

Consideraciones de las tres torres de destilación para el balance de energía:

- Las tres columnas operan bajo vacío entre 0,39 y 0,41 kg/cm².
- Los productos superiores obtenidos de las columnas se los considera de alta pureza.
- Las ETAS antes de ser enviadas a los tanques de almacenamiento se enfrían.
- Debido a las altas temperaturas que se produce en las torres, se va a colocar un aislante de lana de vidrio, se obtiene el calor de pérdida que se le debe sumar al reboiler y con ello se procede al cálculo del caudal de fluido térmico. El desarrollo se encuentra en el capítulo siguiente destinado al diseño y adopción de equipos.

7.3.15. Primera destilación (C-401)

En la Figura 7.24 se muestra la corriente que ingresa y que salen de la columna. A continuación, se detallan las condiciones llevadas a cabo, las ecuaciones de balance en la Tabla 7.72 y los resultados en la Tabla 7.73.

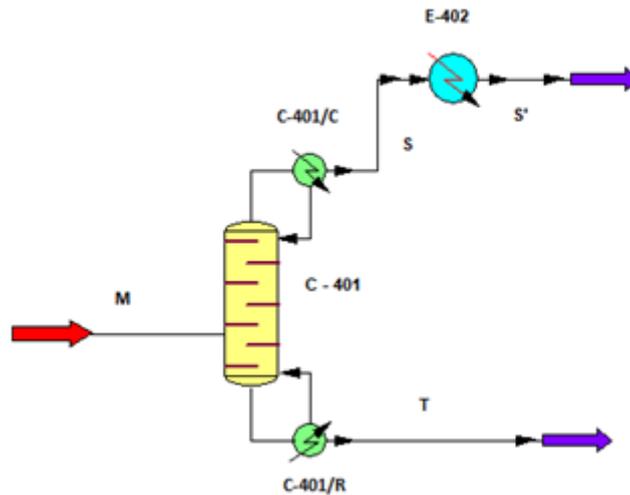


Figura 7.24 - Esquema representativo de la 1° columna.

Tabla 7.72 - Ecuaciones de balance para C-401.

BALANCE GENERAL	$M = S + T$
Balance de MEA	$x_{MEAM} \cdot M = x_{MEAS} \cdot S$
Balance de DEA	$x_{DEAM} \cdot M = x_{DEAT} \cdot T$
Balance de TEA	$x_{TEAM} \cdot M = x_{TEAT} \cdot T$

Tabla 7.73- Balance de componentes para C-401.

Balance de componentes para C-401						
Descripción del equipo: Primera Destilación						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
M	Entrada	ETAS	587,22	MEA	54,73%	321,43
				DEA	28,65%	168,22
				TEA	16,62%	97,57
S	Salida	MEA concentrada	324,36	MEA	99,00%	321,12
				DEA	1,00%	3,24
				TEA	-	Trazas
T	Salida	Mezcla de DEA y TEA	262,86	MEA	0,13%	0,31
				DEA	62,76%	164,98
				TEA	37,11%	97,57

En la Tabla 7.74 se puede observar las condiciones de operación de la primera.

Tabla 7.74 - Condiciones para la primera destilación

Equipo C-401						
Descripción del equipo: Primera destilación						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp.[°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
M	ETAS	587,22	MEA	140,00	-1829,07	-587918,30
			DEA		-3494,94	
			TEA		-6025,60	
S	MEA concentrada	324,36	MEA	141,632	-989,71	-317815,30
			DEA		-98091,14	
			TEA		-	
T	Mezcla de DEA y TEA	262,86	MEA	245,00	-806930,32	-250148,40
			DEA		-1516,23	
			TEA		-2563,78	
Presión [kg/cm ²]				0,39		
Calor del condensador [kcal/h]				-108253,00		
Calor del Reboiler [kcal/h]				128208,00		

$$Q_M - Q_{\text{Perdida}} = Q_S + Q_T + Q_{\text{Reboiler}} - Q_{\text{Condensador}}$$

1. Condensador (C-401/C)

En las Figura 7.25 se muestra el diagrama del condensador y en la Tabla 7.75 las ecuaciones de balance. Seguido de la Tabla 7.76 donde se observa el caudal que circula dentro del mismo en la primera torre de destilación y sus respectivas condiciones.

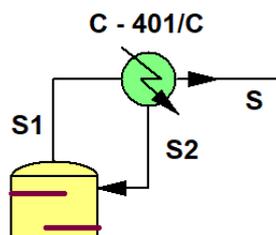


Figura 7.25 - Diagrama del condensador C-401/C.

Tabla 7.75 - Ecuaciones de balance de C-401/C.

BALANCE GENERAL	S1 = S2 + S
Balance de MEA	$x_{\text{MEAS1}} \cdot S1 = x_{\text{MEAS2}} \cdot S2 + x_{\text{MEAS}} \cdot S$
Balance de DEA	$x_{\text{DEAS1}} \cdot S1 = x_{\text{DEAS2}} \cdot S2 + x_{\text{DEAS}} \cdot S$
Balance de TEA	$x_{\text{TEAS1}} \cdot S1 = x_{\text{TEAS2}} \cdot S2 + x_{\text{TEAS}} \cdot S$

Tabla 7.76 - Balance de C-401/C.

Equipo C-401/C						
Descripción del equipo: Condensador de la 1° torre						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
S1	Entrada	Vapor	517,26	MEA	512,08	149,30
				DEA	5,18	
				TEA	Trazas	
S2	Salida	Líquido	192,89	MEA	191,00	141,60
				DEA	1,89	
				TEA	Trazas	
S	Salida	Líquido	324,36	MEA	321,12	141,60
				DEA	3,24	
				TEA	Trazas	
Calor del condensador (Q_{C2}) [kcal/h]					-108253,00	

Ese calor se intercambia a través de agua de enfriamiento, en la Tabla 7.77 se adjunta la temperatura de esta y junto con la Ecuación 7.18 se procede al cálculo de la masa, Tabla 7.78.

Tabla 7.77 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$- Q_{C2} = m \cdot C_{p_i} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.18 - Balance de energía para el agua en C-401/C.

Tabla 7.78 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q_{C2} [kcal/h]	-108253
C_{p_i} [kcal/kg·°C]	1
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	4920,59

2. Reboiler (C-401/R)

En la Figura 7.26 se observa el rehervidor de la primera columna, en la Tabla 7.79 con sus respectivos datos y composiciones en la Tabla 7.80.

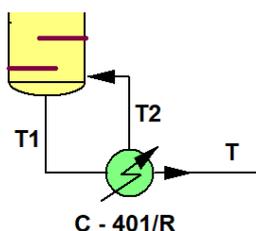


Figura 7.26 - Diagrama del reboiler C-401/R.

Tabla 7.79 - Ecuaciones de balance de C-401/R.

BALANCE GENERAL	T1 = T2 + T
Balance de MEA	$x_{MEAT1} \cdot T1 = x_{MEAT2} \cdot T2 + x_{MEAT} \cdot T$
Balance de DEA	$x_{DEAT1} \cdot T1 = x_{DEAT2} \cdot T2 + x_{DEAT} \cdot T$
Balance de TEA	$x_{TEAT1} \cdot T1 = x_{TEAT2} \cdot T2 + x_{TEAT} \cdot T$

Tabla 7.80 - Balance de C-401/R.

Equipo C-401/R						
Descripción del equipo: reboiler de la 1° torre						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
T1	Entrada	Líquido	1041,61	MEA	13,27	232,7
				DEA	876,70	
				TEA	150,64	
T2	Salida	Vapor	777,75	MEA	12,96	245
				DEA	711,72	
				TEA	53,07	
T	Salida	Líquido	262,86	MEA	0,31	245
				DEA	164,98	
				TEA	97,57	
Calor del reboiler (Q_{R3}) [kcal/h]					128208,00	

El calor concedido se logra por medio de un fluido térmico, en la Tabla 7.81 aquí debajo se observan las condiciones y el tipo de fluido, el mismo se desarrollará en capítulos posteriores.

Tabla 7.81 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada / Salida	Temperatura [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
Therminol 66	Entrada	358	0,667
Therminol 66	Salida	250	0,568
Presión [kg/cm ²]			1,064

$$- Q_{R3} = m \cdot C_p \cdot (250 \text{ °C} - 358 \text{ °C})$$

Ecuación 7.19 - Balance de energía para el agua en C-401/R.

Con la Ecuación 7.19 se puede proceder al cálculo de la masa de dicho fluido a utilizar, mostrada en la Tabla 7.82.

Tabla 7.82 - Balance de energía para el Therminol 66.

Nomenclatura	Valor
Q_{R3} [kcal/h] (Reboiler + Calor de pérdida)	-131617
C_p [kcal/kg·°C]	0,667
ΔT [°C]	-108
Masa de Therminol 66 [kg/h]	1827,10

7.3.16. Intercambiador de calor (E-402)

La MEA saliente de la primera torre debe enfriarse disminuyendo su temperatura a 35°C para su correcto almacenamiento. En la Figura 7.27 se muestra el intercambiador utilizado, en la Tabla 7.83 se observan las ecuaciones de balance y en la Tabla 7.84 sus características.

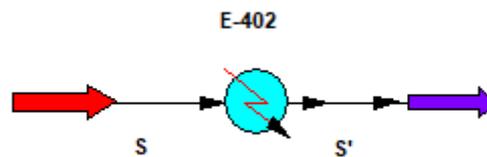


Figura 7.27 - Esquema representativo del Intercambiador de calor.

Tabla 7.83 - Ecuaciones de balance de E-402.

BALANCE GENERAL	S=S'
Balance de MEA	$X_{MEAS} \cdot S = X_{MEAS'} \cdot S'$
Balance de DEA	$X_{DEAS} \cdot S = X_{DEAS'} \cdot S'$
Balance de TEA	$X_{TEAS} \cdot S = X_{TEAS'} \cdot S'$

Tabla 7.84 - Balance de componentes para E-402.

Balance de componentes para E-402							
Descripción del equipo: Intercambiador de Calor							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Comp. fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
S	Entrada	324,36	MEA	99,00%	321,12	141,632	0,67
			DEA	1,00%	3,24		
			TEA	-	Trazas		
S'	Salida	324,36	MEA	99,00%	321,12	35,00	0,6366
			DEA	1,00%	3,24		
			TEA	-	Trazas		
Presión [kg/cm ²]						0,39	
Calor del intercambiador (- Q_{IQ4}) [kcal/h]						-23166,10	

$$- Q_{IQ4} = m_S \cdot C_{pS} \cdot (35 \text{ °C} - 141,632 \text{ °C})$$

Ecuación 7.20 - Balance de energía para E-402.

El calor que se le debe retirar para producir el enfriamiento, se calcula por la Ecuación 7.20 con un valor de -23166,10 kcal/h, esto se realiza con agua de enfriamiento mostrando sus condiciones en la Tabla 7.85, la cantidad de la misma que se necesita se muestra en la Tabla 7.86, cuyo resultado se obtiene con la Ecuación 7.21.

Tabla 7.85 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$- Q_{IQ4} = m \cdot C_{p_i} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.21 - Balance de energía para el agua en E-402.

Tabla 7.86 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q _{IQ4} [kcal/h]	-23166,10
C _p [kcal/kg·°C]	1,00
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	1053,00

7.3.17. Segunda destilación (C-404)

En la Figura 7.28 a continuación, se muestran los equipos con las corrientes involucradas, luego las Tabla 7.87 y Tabla 7.88 con las respectivas ecuaciones de balance y composición.

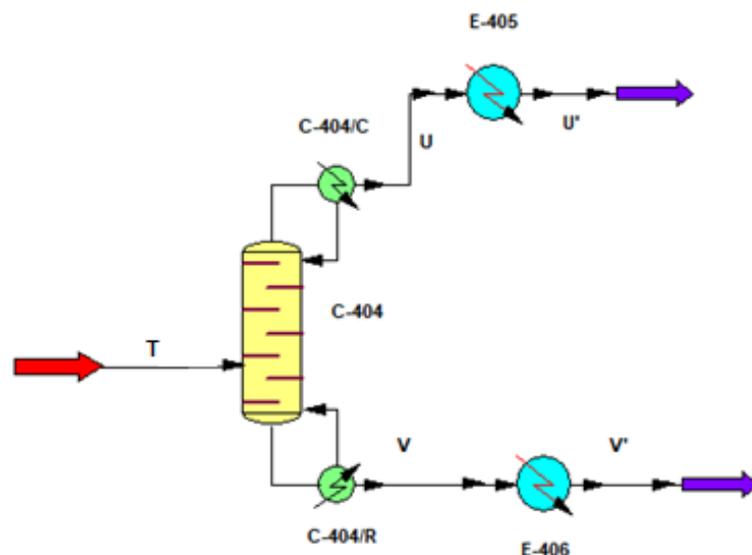


Figura 7.28 -Esquema representativo de la 2° columna.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Tabla 7.87 - Ecuaciones de balance para C-404.

BALANCE GENERAL	T = U + V
Balance de DEA	$X_{DEAT} \cdot T = X_{DEAU} \cdot U$
Balance de TEA	$X_{TEAT} \cdot T = X_{TEAV} \cdot V$

Tabla 7.88 - Balance de componentes para C-404.

Balance de componentes para C-404						
Descripción del equipo: Segunda Destilación						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
T	Entrada	Mezcla de DEA y TEA	262,86	MEA	0,13%	0,31
				DEA	62,76%	164,98
				TEA	37,11%	97,57
U	Salida	DEA concentrada	167,08	MEA	0,18%	0,31
				DEA	98,50%	164,57
				TEA	1,32%	2,20
V	Salida	TEA	95,78	MEA	-	Trazas
				DEA	0,43%	0,41
				TEA	99,57%	95,37

A continuación, en la Tabla 7.89 se detallan las condiciones con la que opera la segunda torre.

Tabla 7.89 - Condiciones para la segunda destilación

Equipo C-404						
Descripción del equipo: Segunda destilación						
Corriente	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Temp. [°C]	Entalpía [kcal/kg]	Q _{corriente} [kcal/h]
T	ETAS	262,86	MEA	245,00	-807880,50	-250442,96
			DEA		-1518,02	
			TEA		-2566,80	
U	DEA concentrada	167,08	MEA	235,50	-526694,52	-163275,30
			DEA		-992,11	
			TEA		-74216,04	
V	TEA	95,78	MEA	300,00	-	-84161,16
			DEA		-205271,12	
			TEA		-882,47	
Presión [kg/cm ²]				0,40		
Calor de condensación [kcal/h]				-41032,60		
Calor del Reboiler [kcal/h]				44039,10		

$$Q_T - Q_{Perdida} = Q_U + Q_V + Q_{Reboiler} - Q_{Condensador}$$

1. Condensador (C-404/C)

En las Figura 7.29 se muestra el diagrama del condensador de la segunda torre, seguido de las ecuaciones de balance en la Tabla 7.90 y datos numéricos que se muestran en las Tabla 7.91.

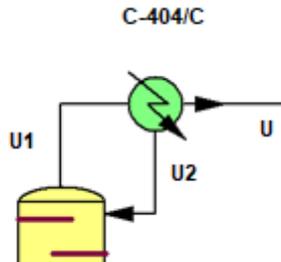


Figura 7.29 - Diagrama del condensador C-404/C.

Tabla 7.90 - Ecuaciones de balance de C-404/C.

BALANCE GENERAL	$U1 = U2 + U$
Balance de MEA	$x_{\text{MEAU}1} \cdot U1 = x_{\text{MEAU}2} \cdot U2 + x_{\text{MEAU}} \cdot U$
Balance de DEA	$x_{\text{DEAU}1} \cdot U1 = x_{\text{DEAU}2} \cdot U2 + x_{\text{DEAU}} \cdot U$
Balance de TEA	$x_{\text{TEAU}1} \cdot U1 = x_{\text{TEAU}2} \cdot U2 + x_{\text{TEAU}} \cdot U$

Tabla 7.91 - Balance de C-404/C.

Equipo C-404/C						
Descripción del equipo: Condensador de la 2° torre						
Corriente	Entrada/Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
U1	Entrada	Vapor	264,92	MEA	0,49	238,30
				DEA	260,94	
				TEA	3,49	
U2	Salida	Líquido	97,84	MEA	0,18	235,50
				DEA	96,37	
				TEA	1,29	
U	Salida	Líquido	167,08	MEA	0,31	235,50
				DEA	164,57	
				TEA	2,20	
Calor del condensador (Q_{C3}) [kcal/h]					-41032,60	

Ese calor obtenido del condensador se intercambia a través de agua de enfriamiento, en la Tabla 7.92 se adjunta la temperatura de esta y junto con la Ecuación 7.22 se procede al cálculo de la masa, Tabla 7.93.

Tabla 7.92 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$-Q_{C3} = m \cdot C_{p_i} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.22 - Balance de energía para el agua en C-404/C.

Tabla 7.93 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q _{C3} [kcal/h]	-41032,60
C _{pl} [kcal/kg·°C]	1
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	1865,12

2. Reboiler (C-404/R)

A continuación, en la Figura 7.30 se el modelo el reboiler de la segunda torre y sus datos en la Tabla 7.94 y la Tabla 7.95.

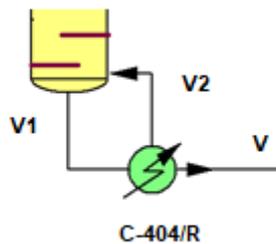


Figura 7.30 - Diagrama del reboiler C-404/R.

Tabla 7.94 - Ecuaciones de balance de C-404/R.

BALANCE GENERAL	V1 = V2 + V
Balance de MEA	$x_{MEAV1} \cdot V1 = x_{MEAV2} \cdot V2 + x_{MEAV} \cdot V$
Balance de DEA	$x_{DEAV1} \cdot V1 = x_{DEAV2} \cdot V2 + x_{DEAV} \cdot V$
Balance de TEA	$x_{TEAV1} \cdot V1 = x_{TEAV2} \cdot V2 + x_{TEAV} \cdot V$

Tabla 7.95 - Balance de C-404/R

Equipo C-404/R						
Descripción del equipo: Reboiler de la 2° torre						
Corriente	Entrada/ Salida	Estado	Caudal másico [kg/h]	Componente	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temperatura [°C]
V1	Entrada	Líquido	440,65	MEA	0,01	296,30
				DEA	8,49	
				TEA	432,15	
V2	Salida	Vapor	344,87	MEA	0,01	300,00
				DEA	8,08	
				TEA	336,78	
V	Salida	Líquido	95,78	MEA	Trazas	300,00
				DEA	0,41	
				TEA	95,37	
Calor del reboiler (Q_{R4}) [kcal/h]					44039,10	

Al igual que el rehervidor de la torre anterior, se aplica el mismo fluido térmico para lograr el funcionamiento del equipo. En la Tabla 7.96 aquí debajo se observan las condiciones.

Tabla 7.96 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada / Salida	Temperatura [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
Therminol 66	Entrada	358	0,667
Therminol 66	Salida	305	0,618
Presión [kg/cm ²]			1,044

$$- Q_{R4} = m \cdot C_p \cdot (305 \text{ °C} - 358 \text{ °C})$$

Ecuación 7.23 - Balance de energía para el agua en C-404/R.

Con la Ecuación 7.23 se puede proceder al cálculo de la masa de dicho fluido a utilizar, mostrada en la Tabla 7.97.

Tabla 7.97 - Balance de energía para el Therminol 66.

Nomenclatura	Valor
Q_{R4} [kcal/h] (Reboiler + Calor de pérdida)	-49720,10
C_p [kcal/kg·°C]	0,667
ΔT [°C]	-53
Masa de Therminol 66 [kg/h]	1406,47

7.3.18. Intercambiador de calor (E-405)

Para su almacenamiento la DEA debe enfriarse hasta 50 °C, en la Figura 7.31 se observa el intercambiador encargado de ello y en las Tabla 7.98, Tabla 7.99, se resumen los datos.

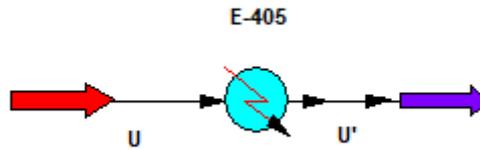


Figura 7.31 - Esquema representativo del Intercambiador de calor.

Tabla 7.98 - Ecuaciones de balance de E-405.

BALANCE GENERAL	$U = U'$
Balance de MEA	$x_{\text{MEA}U} \cdot U = x_{\text{MEA}U'} \cdot U'$
Balance de DEA	$x_{\text{DEA}U} \cdot U = x_{\text{DEA}U'} \cdot U'$
Balance de TEA	$x_{\text{TEA}U} \cdot U = x_{\text{TEA}U'} \cdot U'$

Tabla 7.99 - Balance de componentes para E-405.

Balance de componentes para E-405							
Descripción del equipo: Intercambiador de Calor							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Comp. fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	Cp [kcal/kg·°C]
U	Entrada	167,08	MEA	0,18%	0,31	235,50	0,688
			DEA	98,50%	164,57		
			TEA	1,32%	2,2		
U'	Salida	167,08	MEA	0,18%	0,31	50,00	0,6278
			DEA	98,50%	164,57		
			TEA	1,32%	2,2		
Presión [kg/cm ²]						0,40	
Calor del intercambiador (Q _{IQ5}) [kcal/h]						-21333,90	

$$- Q_{IQ5} = m_U \cdot C_{pU} \cdot (50,00 \text{ °C} - 235,50 \text{ °C})$$

Ecuación 7.24 - Balance de energía para E-405.

Utilizando agua de enfriamiento para lograr el intercambio de calor, con la Ecuación 7.24 se corrobora el calor del equipo. En la Tabla 7.100 se muestran las condiciones del agua y en la Tabla 7.101 se examina la masa de la misma calculada por la Ecuación 7.25.

Tabla 7.100 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$- Q_{IQ5} = m \cdot C_{p1} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.25 - Balance de energía para el agua en E-405.

Tabla 7.101 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q_{IQ3} [kcal/h]	-21333,90
C_p [kcal/kg·°C]	1,00
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	969,73

7.3.19. Intercambiador de calor (E-406)

Al igual que los casos anteriores la TEA también debe ser enfriada para su almacenamiento a 40 °C. En la Figura 7.32 se observa el diagrama, junto con la Tabla 7.103 que muestra las corrientes involucradas. En la Tabla 7.102 se exponen las ecuaciones involucradas.

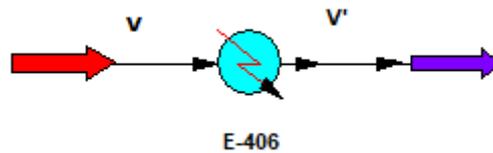


Figura 7.32 - Esquema representativo del Intercambiador de calor.

Tabla 7.102 - Ecuaciones de balances de E-406.

BALANCE GENERAL	$V = V'$
Balance de MEA	$x_{MEAV} \cdot V = x_{MEAV'} \cdot V'$
Balance de DEA	$x_{DEAV} \cdot V = x_{DEAV'} \cdot V'$
Balance de TEA	$x_{TEAV} \cdot V = x_{TEAV'} \cdot V'$

Tabla 7.103 - Balance de componentes para E-406.

Balance de componentes para E-406							
Descripción del equipo: Intercambiador de Calor							
Corriente	Entrada/ Salida	Caudal másico [kg/h]	Componente	Comp. fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]	Temp. [°C]	C_p [kcal/kg·°C]
V	Entrada	95,78	MEA	-	Trazas	300,00	0,676
			DEA	0,43%	0,41		
			TEA	99,57%	95,37		
V'	Salida	95,78	MEA	-	Trazas	40,00	0,5923
			DEA	0,43%	0,41		
			TEA	99,57%	95,37		
Presión [kg/cm ²]						0,41	
Calor del intercambiador (Q_{IQ6}) [kcal/h]						-16826,10	

$$- Q_{IQ6} = m_V \cdot C_{pV} \cdot (40 \text{ °C} - 300 \text{ °C})$$

Ecuación 7.26 - Balance de energía para E-406.

Por la Ecuación 7.26 se puede confirmar el balance de energía. Para el enfriamiento se utiliza agua, cuyos datos se encuentran en la Tabla 7.104. Con la Ecuación 7.27 se procede al cálculo del flujo a emplear, Tabla 7.105.

Tabla 7.104 - Datos de la corriente a suministrar.

Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	C _p [kcal/kg·°C]
Agua	Entrada	20	1
Agua	Salida	42	1
Presión [kg/cm ²]			1,033

$$- Q_{IQ6} = m \cdot C_{p_i} \cdot (42 \text{ °C} - 20 \text{ °C})$$

Ecuación 7.27 - Balance de energía para el agua en E-406.

Tabla 7.105 - Masa de agua a utilizar.

Nomenclatura	Valor
Q _{IQ6} [kcal/h]	-16826,10
C _p [kcal/kg·°C]	1,00
ΔT [°C]	22
Masa de agua [kg/h]	764,83



CAPÍTULO 8

DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

8. Diseño y adopción de equipos

8.1. Introducción

En este capítulo se pueden observar el desarrollo de cálculos matemáticos para el diseño y la adopción de equipos requeridos en el proceso de producción de ETAS.

Realizados conjuntamente con los datos obtenidos del balance de masa y energía, para una producción anual de 2700 toneladas de MEA.

Los diseños y adopciones se realizan utilizando como herramienta principal el simulador ChemCAD², posteriormente se hará una evaluación del diseño sugerido, además de la bibliografía correspondiente para cada equipo.

El agua utilizada para enfriar y/o condensar las corrientes proviene del pozo, luego, es llevada a las torres de enfriamiento.

Para proporcionarle calor a los equipos y/o corrientes, se utiliza vapor de media presión, proveniente de la caldera.

Seguidamente se detallan los equipos a diseñar:

- Reactor isotérmico (R-105).
- Reactor adiabático (R-106).

Los siguientes son los que se van adoptar:

- Tanques de almacenamiento (SV-306, T-101, T-312, T-403, T-407, T-408).
- Stripping (V-201).
- Evaporador (E-204).
- Deshidratador (C-208).
- Mezclador (ME-301).
- Condensador (E-302).
- Absorbedor (C-308).
- Torres de destilación (C-401, C-404).
- Intercambiadores de calor (E-205, E-212, E-309, E-402, E-405, E-406).
- Bombas (P-102, P-103, P-108, P-109, P-202, P-206, P-210, P-211, P-213, P-303, P-310, P-311, P-409, P-410, P-411, P-412).
- Ventiladores (K-214, K-215, K-304).
- Soplador (K-305).

8.2. Recepción y almacenamiento de materias primas

8.2.1. Balanza

El Parque Industrial y Logístico Paraná de Las Palmas, donde está localizada la planta de producción cuenta con una balanza de 100 toneladas. La cual es suficiente para nuestro requerimiento, debido a que los camiones que se ocupan del transporte de amoníaco y los contenedores de óxido de etileno varían entre 22 y 28 toneladas.

8.2.2. Adopción de tanque de almacenamiento de amoníaco (SV-306)

Cuando la planta trabaje en su máxima capacidad, según el balance de masa, semanalmente se utilizarán 21505,68 kg de amoníaco, lo que equivale a un volumen de 31,63 m³. Se propone reabastecer la planta, cada una semana, proporcionando así una autonomía de siete días por

² ChemCAD versión 6.1.3

cualquier inconveniente de abastecimiento. Al volumen de amoníaco se le suma un 20% correspondiente al margen de diseño.

Para la adopción de este equipo se le solicito a la empresa Aerotan S.A las características necesarias para el tanque bajo presión, proporcionándole la siguiente información:

- Acero al carbono de espesor 0,47 cm.
- Volumen: 40 m³.

En la Tabla 8.1 se muestran las dimensiones del tanque de amoníaco adoptado.

Tabla 8.1 - Dimensiones del tanque para almacenamiento de amoníaco.

Tanque de almacenamiento de amoníaco (SV-306)	
Fabricante	Aerotan S.A
Material de construcción	Acero al carbono
Capacidad máxima [m ³]	40,00
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	2,92
Altura [m]	6,00
Relación de esbeltez	~ 2,00
Temperatura [°C]	17,24
Presión [kg/cm ²]	7,74

Elaboración propia. Datos: Aerotan S.A.

Como medida de seguridad, en caso de pérdida o ruptura del tanque de almacenamiento, se debe colocar un recinto de hormigón armado alrededor del tanque, el volumen del mismo es suficiente para contener el líquido derramado. Para este caso las medidas son 6,92 m de ancho, 6,92 m de largo y una altura de 0,84 m.

8.2.3. Adopción de tanque almacenamiento óxido de etileno (T-101)

Según el balance de masa, se necesitan 77147,28 kg lo que corresponde a 85,81 m³ semanales de óxido de etileno, se plantea reabastecer la planta cada una semana, proporcionando así una autonomía de siete días por cualquier inconveniente de abastecimiento. Al volumen de óxido de etileno se le suma un 20% correspondiente al margen de diseño.

La forma más conveniente de almacenar el óxido de etileno es en estado líquido, eso se logra refrigerándolo con nitrógeno líquido, proveniente de la empresa Air Liquide, además del uso de un aislante para el taque. La masa de nitrógeno a utilizar se calcula en el capítulo posterior de servicios auxiliares.

Al igual que el caso anterior, la adopción de este equipo se realizó solicitando información a la empresa Aerotan S.A, proporcionándole la siguiente información:

- Acero inoxidable AISI 304.
- Volumen: 120 m³.

En la Tabla 8.2 se expresan las dimensiones del tanque de OE adoptado.

Tabla 8.2 - Dimensiones del tanque para almacenamiento de óxido de etileno.

Tanque de almacenamiento de óxido de etileno (T-101)	
Fabricante	Aerotan S.A
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad máxima [m ³]	120,00
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	3,60
Altura [m]	12,00
Relación de esbeltez	3,33
Temperatura [°C]	10,50
Presión [kg/cm ²]	1,03

Elaboración propia. Datos: Aerotan S.A.

Al igual que el amoníaco, se debe colocar un recinto de hormigón armado alrededor del tanque. Para este caso las medidas son 7,6 m de ancho, 7,6 m de largo y una altura de 2,08 m.

8.2.4. Adopción de tanque de almacenamiento de agua de proceso (T-312)

Por el balance de masa realizado en el capítulo anterior, el agua total circulante en el proceso es de 6164,36 kg/h de agua, dentro de los cuales 50,63 kg/h se recirculan de la corriente que sale del deshidratador para ingresar nuevamente en el mezclador de la zona 300.

Por lo tanto, se va a tener en cuenta en este tanque de almacenamiento el agua que se necesita como catalizador, mencionados anteriormente.

Esta corriente de agua solo se tiene en cuenta en la puesta a punto del proceso, debido a que una vez que esté en funcionamiento es recirculada.

En la Tabla 8.3 se observan las especificaciones del tanque a adoptar además del fabricante.

Tabla 8.3 - Dimensiones del tanque para almacenamiento de agua.

Tanque de almacenamiento de agua (T-312)	
Fabricante	Aerotan S.A
Material de construcción	Acero al carbono
Capacidad máxima [m ³]	150,00
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	4,50
Altura [m]	10,00
Relación de esbeltez	2,22
Temperatura [°C]	25,00
Presión [kg/cm ²]	1,033

Elaboración propia. Datos: Aerotan S.A.

8.3. Zona 100

Esta parte del proceso es donde se produce la reacción entre la solución amoniaca (22,36% p/p) y el OE. Como se detalló en capítulos anteriores se utilizan dos reactores, el primero es isotérmico donde reacciona el 80% del reactivo limitante y el segundo consta de un reactor adiabático donde se da por finalizada la reacción, obteniendo como producto las ETAS con mayor producción de MEA.

8.3.1. Diseño de reactor isotérmico (R-105)

El reactor que se va a utilizar es un flujo pistón el cual se caracteriza en que la corriente que ingresa posee una composición que varía con el tiempo, disminuyendo la concentración de reactante progresivamente por su paso dentro del reactor. A continuación, en la Figura 8.1 se muestra una imagen ilustrativa del reactor a diseñar.

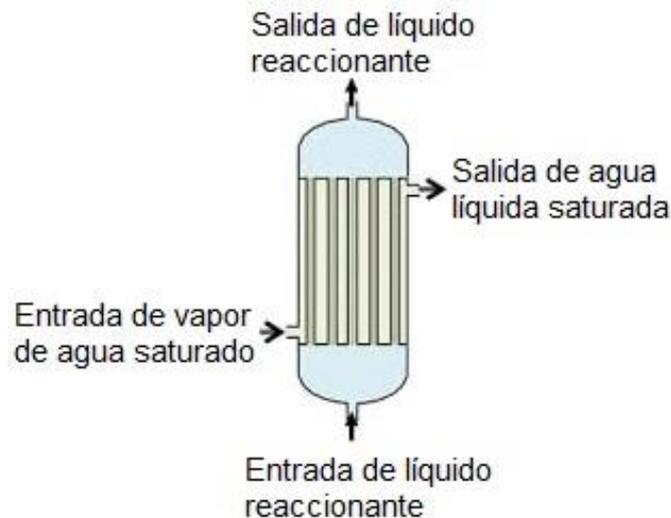


Figura 8.1 - Reactor tubular flujo en pistón.

El diseño se va a realizar en un equipo que consta de tubos y ánuos, de estructura similar a un intercambiador de calor de doble tubo.

Las reacciones llevadas a cabo son exotérmicas, debido a la gran masa de agua (catalizador) que acompaña a la corriente, el reactor adquiere un carácter endotérmico, por lo que se le debe otorgar energía, vapor saturado de media presión, para que la reacción ocurra bajo los parámetros establecidos.

A los tubos ingresa una solución amoniacal al 22,36% en peso, junto con el óxido de etileno, todo en estado líquido a una presión de 10,33 kg/cm². Por el ánulo circula vapor de agua saturado con una presión de 7,14 kg/cm².

➤ Cinética de la reacción

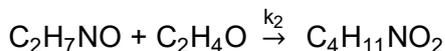
La ecuación cinética representa la velocidad de reacción y puede obtenerse, a partir de consideraciones teóricas o ser simplemente el resultado de un ajuste de datos experimentales.

La reacción se comporta como un proceso biomolecular irreversible con cinética de segundo orden.

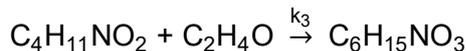
Una vez que ingresan los reactivos se producen tres reacciones competitivas paralelas - consecutivas, debido a la gran reactividad del OE, dando como producto MEA en mayor proporción, DEA y TEA, esto se puede observar en las Ecuación 8.1, Ecuación 8.2 y Ecuación 8.3 respectivamente.



Ecuación 8.1 - Reacción de formación de MEA.



Ecuación 8.2 - Reacción de formación de DEA.



Ecuación 8.3 - Reacción de formación de TEA.

Las ecuaciones cinéticas de las reacciones mostradas anteriormente son las Ecuación 8.4, Ecuación 8.5, Ecuación 8.6, Ecuación 8.7 y Ecuación 8.8.

$$-r_{\text{NH}_3} = -\frac{d[\text{NH}_3]}{dt} = -k_1 \cdot [\text{NH}_3] \cdot [\text{OE}]$$

Ecuación 8.4 - Cinética de desaparición del amoníaco.

$$-r_{\text{OE}} = -\frac{d[\text{OE}]}{dt} = -k_1 \cdot [\text{NH}_3] \cdot [\text{OE}] - k_2 \cdot [\text{MEA}] \cdot [\text{OE}] - k_3 \cdot [\text{DEA}] \cdot [\text{OE}]$$

Ecuación 8.5 - Cinética de desaparición del óxido de etileno.

$$r_{\text{MEA}} = \frac{d[\text{MEA}]}{dt} = k_1 \cdot [\text{NH}_3] \cdot [\text{OE}] - k_2 \cdot [\text{MEA}] \cdot [\text{OE}]$$

Ecuación 8.6 - Cinética de formación de MEA.

$$r_{\text{DEA}} = \frac{d[\text{DEA}]}{dt} = k_2 \cdot [\text{MEA}] \cdot [\text{OE}] - k_3 \cdot [\text{DEA}] \cdot [\text{OE}]$$

Ecuación 8.7 - Cinética de formación de DEA.

$$r_{\text{TEA}} = \frac{d[\text{TEA}]}{dt} = k_3 \cdot [\text{DEA}] \cdot [\text{OE}]$$

Ecuación 8.8 - Cinética de formación de TEA.

Todos los pasos de reacción tienen la misma energía de activación. Las constantes cinéticas de las reacciones de anteriores se muestran a continuación en la Ecuación 8.9, Ecuación 8.10 y Ecuación 8.11 respectivamente.

$$k_1 = (41 + 4 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2) \cdot 10^2 \cdot e^{-\frac{11000}{R \cdot T}}$$

Ecuación 8.9 - Coeficiente cinético de la reacción de MEA.

$$k_2 = (7,2 - 0,042 \cdot [\text{H}_2\text{O}]) \cdot k_1$$

Ecuación 8.10 - Coeficiente cinético de la reacción de DEA.

$$k_3 = (16 - 0,22 \cdot [\text{H}_2\text{O}]) \cdot k_2$$

Ecuación 8.11 - Coeficiente cinético de la reacción de TEA.

Las unidades de las se detallan a continuación:

$$k_1 = k_2 = k_3 = \left[\frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}} \right]$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \left[\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right]$$

$$E_a = \left[\frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right]$$

$$R = \left[1,987 \frac{\text{cal}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \right]$$

$$T = [\text{K}]$$

Para determinar el volumen de la solución reaccionante, Ecuación 8.14, se procede al cálculo de las constantes de velocidad, además se calcularon las concentraciones que se requieren en la Ecuación 8.13 para la obtención del tiempo espacial.

$$\tau = - \int_{[\text{OE}]_0}^{[\text{OE}]_f} \frac{d[\text{OE}]}{r_{\text{OE}}}$$

Ecuación 8.12 - Expresión del tiempo espacial.

$$\tau = - \int_{[\text{OE}]_0}^{[\text{OE}]_f} \frac{d[\text{OE}]}{k_1 \cdot [\text{NH}_3] \cdot [\text{OE}] + k_2 \cdot [\text{MEA}] \cdot [\text{OE}] + k_3 \cdot [\text{DEA}] \cdot [\text{OE}]}$$

Ecuación 8.13 - Cálculo del tiempo espacial.

$$V = \tau \cdot v$$

Ecuación 8.14 - Cálculo del volumen de la solución.

En la Tabla 8.4 se pueden observar los parámetros y valores de los cálculos.

Tabla 8.4 - Resultados de cálculos efectuados.

Parámetros	Valores
[H ₂ O]	35,81 mol/L
[OE] ₀	1,09 mol/L
[OE] _f	0,22 mol/L
[NH ₃]	10,91 mol/L
[MEA]	0,13 mol/L
[DEA]	0,05 mol/L
T	50,93 °C
k ₁	0,0196 L/mol·min
k ₂	0,1116 L/mol·min
k ₃	0,9066 L/mol·min
T	5,74 min
V	9555,80 L/h
V	914,17 L = 0,91 m ³

Elaboración propia.

➤ Diseño

Como se menciona, el diseño se hace como un intercambiador de doble tubo. Para esto se utiliza un programa de cálculo, MathCAD³, además de la bibliografía específica.

³ MathCAD 14

Los intercambiadores de calor de doble tubo están formados por dos tubos concéntricos. El reactivo fluye por el tubo interior, mientras que el servicio lo hace por el ánulo.

Esta especialmente diseñado para el calentamiento o enfriamiento de productos con baja y media viscosidad. Puede lograr un flujo de contracorriente puro, lo que permite que se logre un cruce de temperatura, por lo que el fluido frío puede calentarse por encima de la temperatura de salida del fluido caliente.

La tubería interior se conecta mediante una conexión en forma de U, que esta generalmente expuesta, no proporciona superficie de transferencia de calor. Cuando se arregla en dos pasos, la unidad se llama horquilla. La ventaja de este intercambiador es que proporciona superficie de transferencia de calor a bajo costo.

Con el balance de energía obtenido en el capítulo anterior, se procede a los siguientes cálculos.

- Promedio logarítmico de la diferencia de temperatura a contracorriente (MLDT).

Generalmente ambos fluidos experimentan variaciones de temperatura. Aún cuando dos fluidos pueden transferir calor en un aparato de tubos concéntricos, la diferencia relativa de los dos fluidos influye en el valor de la diferencia de temperatura. El cálculo de este se encuentra en la Ecuación 8.15.

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left[\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right]}$$

Ecuación 8.15 - Promedio logarítmico de la diferencia de temperatura a contracorriente.

- Coeficientes de película para fluidos.

Se eligen los diámetros del tubo y ánulo adecuados, se calculan las áreas (Ecuación 8.16, Ecuación 8.17) y con ello la velocidad de masa en ambos, Ecuación 8.18.

$$a_t = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Ecuación 8.16 - Área de flujo en el tubo.

$$a_a = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)}{4}$$

Ecuación 8.17 - Área de flujo en el ánulo.

$$G = \frac{Q_m}{a}$$

Ecuación 8.18 - Velocidad de masa.

Se deduce el número de Reynolds (adimensional) el cual indica si el flujo de fluido es laminar, transición o turbulento, Ecuación 8.19.

$$R_e = \frac{D \cdot G_p}{\mu}$$

Ecuación 8.19 - Número de Reynolds.

Para proceder a los valores de los coeficientes de película se obtiene primero matemáticamente el factor de transferencia de calor, J_H (Ecuación 8.20), este número

adimensional relaciona todas las propiedades del fluido junto con el coeficiente mencionado anteriormente.

$$J_H = \frac{h_i \cdot D}{k} \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{-1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0,14}$$

Ecuación 8.20 - Factor de transferencia de calor.

Una vez obtenido Re se puede obtener el valor de J_H a partir de las curvas de transferencia de calor.

Una vez obtenido este parámetro, haciendo uso de las Ecuación 8.21 y Ecuación 8.22 se puede cuantificar dichos coeficientes.

$$h_i = J_H \cdot \frac{k}{D} \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

Ecuación 8.21 - Coeficiente de película para fluidos en tubos.

$$h_o = J_H \cdot \frac{k}{D_e} \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

Ecuación 8.22 - Coeficiente de película para fluidos en ánulos.

El coeficiente de película en los tubos se calcula en base al diámetro interior, como la transferencia ocurre en el exterior de este se debe corregir su valor con la Ecuación 8.23.

$$h_{io} = h_i \cdot \frac{D_i}{D_e}$$

Ecuación 8.23 - Corrección del coeficiente.

- Coeficiente total de transferencia de calor limpio (U_C).

Permanece constante si la incrustación no altera la velocidad de la masa reduciendo el área de flujo del fluido, Ecuación 8.24.

$$U_C = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o}$$

Ecuación 8.24 - Coeficiente total de transferencia de calor limpio.

- Factor de obstrucción.

Cuando los aparatos de transferencia de calor han estado en servicio por algún tiempo, se les depositan incrustaciones y basura en la parte inferior y exterior de las tuberías, añadiendo dos resistencias más, que son incluidas en el cálculo de los coeficientes totales de transferencia. Para obviar esta eventualidad, es costumbre diseñar el equipo introduciendo una resistencia llamada factor de obstrucción, Ecuación 8.25.

$$R_d = R_{di} + R_{do}$$

Ecuación 8.25 - Factor de obstrucción.

- Coeficiente total de transferencia de calor de lodos o de diseño (U_D).

Proporciona las bases en la cual el equipo debe ser hecho en última instancia. Incluye la resistencia de lodos, Ecuación 8.26.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d$$

Ecuación 8.26 - Coeficiente total de transferencia de calor de diseño.

El arreglo elegido es 4x3, cuyas dimensiones son de ánulo y tubo, respectivamente en pulgadas. Se optó por este, debido a que es el más útil para generar la transferencia de calor necesaria.

Para el cálculo de las dimensiones del intercambiador se tuvo que definir un calor, este es la diferencia de entalpía generada en la reacción, datos calculados en el capítulo anterior.

En la Tabla 8.5 se observan las especificaciones del intercambiador de calor utilizado como reactor.

Tabla 8.5 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor		
Tipo de intercambiador	Doble tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Calentamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	10,33	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	51,52	
Datos de funcionamiento		
	Tubo	Ánulo
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Reactivos	Vapor de agua saturado
Flujo másico [kg/h]	8398,88	212,77
ΔT [°C]	43,89	-55,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,000025	0,000000426
Re	24440,00	56750,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	82,645	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	78,656	
Datos de construcción		
Diámetro del ánulo [m]	0,1143	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,089	
Diámetro interno de los tubos [m]	0,078	
Número de tubos	1	
Largo del tubo por horquilla [m]	12,19	
Número de intercambiadores en serie	7	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0006	
Área efectiva de transferencia [m ²]	21,43	
Calor especificado [kcal/h]	116830,55	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD.

Por medio de los datos de la Tabla 8.5 se obtienen 7 horquillas de 20 pies cada una, logrando así una longitud de transferencia de 280 pies (85,34 m). Sin embargo, el recorrido que se requiere para el reactor, calculado con el volumen y el diámetro interno de los tubos, debe ser de 188,70 m, para lograr así el tiempo de residencia obtenido. Por lo cual se opta por agregarle a las 7 horquillas, una distancia 103,36 m de tubo liso cumpliendo totalmente la función del reactor isotérmico. Para lograr la transferencia de calor necesaria se deben colocar de manera alternada las horquillas y los tubos lisos.

A los tubos lisos adicionales se los debe recubrir con un aislante, para así evitar pérdidas de calor. Se utiliza lana de vidrio con un espesor de 4 cm.

8.3.2. Diseño de reactor adiabático (R-106)

Las mismas reacciones que ocurren en el primer reactor se dan aquí, Ecuación 8.1, Ecuación 8.2 y Ecuación 8.3, consumiéndose totalmente el OE. Se le debe aportar calor a este reactor para que se den las reacciones debido a la gran cantidad de agua utilizada como catalizador.

Recordando del capítulo anterior, las maneras por las cuales se puede lograr que el reactor adquiera un carácter adiabático, se tenían dos opciones, recurrir a un aislante térmico que retire el calor en exceso, o utilizar vapor de agua saturado para llevar al reactor a la temperatura óptima de funcionamiento considerando las sustancias no reaccionantes.

Las demás condiciones como, el tiempo de residencia, volumen y concentraciones se modifican debido a los parámetros de operación.

En la Tabla 8.6 se muestran las características cinéticas del reactor, los datos fueron obtenidos de las Ecuación 8.9, Ecuación 8.10, Ecuación 8.11, Ecuación 8.12, Ecuación 8.13 y Ecuación 8.14.

Tabla 8.6 - Resultados de cálculos efectuados.

Parámetros	Valores
[H ₂ O]	36,34 mol/L
[OE] ₀	0,22 mol/L
[OE] _f	0 mol/L
[NH ₃]	10,43 mol/L
[MEA]	0,034 mol/L
[DEA]	0,014 mol/L
T	90 °C
k ₁	0,1269 L/mol·min
k ₂	0,7202 L/mol·min
k ₃	5,7656 L/mol·min
T	7 min
V	9414,90 L/h
V	1098,41 L = 1,10 m ³

➤ Diseño

Se utiliza el mismo intercambiador de doble tubo que para el reactor anterior. El arreglo de este es el 4x3 debido a que otorga mejor transferencia.

En la Tabla 8.7 se observan las especificaciones del intercambiador de calor que se utilizará como reactor.

Tabla 8.7 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor		
Tipo de intercambiador	Doble tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Calentamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	10,33	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔT_{ML} [°C]	21,35	
Datos de funcionamiento		
	Tubo	Ánulo
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Reactivos	Vapor de agua saturado
Flujo másico [kg/h]	8398,88	15,90
ΔT [°C]	7,28	-55
Caída de presión [kg/cm ²]	0,000012	0,00000008
Re	41600,000	273,30
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	23,475	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	23,143	
Datos de construcción		
Diámetro del ánulo [m]	0,1143	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,089	
Diámetro interno de los tubos [m]	0,078	
Número de tubos	1	
Largo del tubo por horquilla [m]	12,19	
Número de intercambiadores en serie	3	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0006	
Área efectiva de transferencia [m ²]	9,64	
Calor especificado [kcal/h]	8728,69	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD.

Con los valores que se pueden observar en la Tabla 8.7 un arreglo de 3 horquillas de 20 pies cada una, da una longitud de transferencia de 120 pies (36,57 m). No obstante, el recorrido que se requiere en el reactor para que se den las reacciones, en el tiempo de residencia de 7 min, es de 242,77 m.

Por lo cual se llega a la conclusión de que el reactor adiabático, consta de un intercambiador de calor de doble tubo (4x3) con 3 horquillas intercaladas con 206,19 m de tubo liso, recubiertos estos últimos con lana de vidrio de 4 cm de espesor.

8.4. Zona 200

Aquí se puede encontrar cinco equipos a adoptar, un stripping, evaporador, dos intercambiadores de calor y deshidratador. A continuación, se describen:

8.4.1. Adopción de la columna de stripping (V-201)

Es el primer equipo luego de los reactores, encargado de la recuperación de amoníaco y agua.

La adopción del equipo se realizó haciendo uso del simulador ChemCAD, consultando a la empresa AESA, las características de adopción son:

- Columna de 1 sección.
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 13.
- Alimentación, plato número 1.

En la Tabla 8.8 se pueden observar las especificaciones de adopción.

Tabla 8.8 - Especificaciones de la columna de stripping.

Stripping (V-201)	
Fabricante	AESA
Material	Acero inoxidable AISI 316
Condiciones de operación	
Temperatura de la cabeza [°C]	59,86
Temperatura del fondo [°C]	99,50
Calor de rehervidor [kcal/h]	652419,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,067
Cantidad total de platos	13
Altura de la torre [m]	7,93
Diámetro de la torre [m]	1,40
Plato de alimentación	1
Espaciado entre platos [m]	0,61
Factor de inundación [%]	80,00
Composición de cabeza [kg/h]	
Amoníaco	1641,08
Agua	351,40
MEA	Trazas
DEA	Trazas
TEA	Trazas
Composición del fondo [kg/h]	
Amoníaco	6,22
Agua	5812,96
MEA	321,43
DEA	168,22
TEA	97,57

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

El encargado de ceder la energía es el rehervidor V-201/R, que se detalla aquí debajo.

8.4.2. Adopción de rehervidor de columna de stripping (V-201/R)

El rehervidor, funciona por medio de un sistema cerrado en contracorriente con vapor saturado de media presión, con las condiciones impuestas en el capítulo 7.

En la Tabla 8.9 se observan las características de adopción. Al igual que los demás intercambiadores de calor, la empresa encargada de proveer este equipo es AESA.

Tabla 8.9 - Especificaciones del rehervidor.

Rehervidor de la columna de stripping (V-201/R)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Evaporación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,03	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔT_{ML} [°C]	36,26	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	Vapor de agua saturado	Mezcla de agua, amoníaco y ETAS
Flujo másico [kg/h]	1188,16	7639,72
ΔT [°C]	-55,00	0,87
Caída de presión [kg/cm ²]	0,02	0,31
Re	48964,50	5512,01
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	1334,57	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	1150,43	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,30	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,47	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	111	
Largo de los tubos [m]	3,66	
Paso por los tubos	2	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	23,77	
Área requerida [m ²]	20,49	
Calor calculado [kcal/h]	1150292,93	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.4.3. Adopción de evaporador (E-204)

El equipo se compone de dos partes, la primera consta de un intercambiador de calor encargado de aumentar la temperatura de la corriente entrante y así vaporizarla en su mayoría, luego sigue una cámara flash que se encarga de separar la corriente gaseosa de la líquida. El líquido saliente por la parte inferior debe contener un 20% en agua.

En la Tabla 8.10 se detalla el intercambiador con su respectivo fabricante y en la Tabla 8.11 se pueden observar las características del flash, que se provee por la empresa AESA.

Tabla 8.10 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Evaporación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,25	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔT_{ML} [°C]	36,25	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	Vapor de agua saturado	Mezcla de amoníaco, agua y ETAS
Flujo másico [kg/h]	6187,11	6504,30
ΔT [°C]	-55	40,89
Caída de presión [kg/cm ²]	0,02	0,30
Re	36228,82	4801,40
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	1259,76	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	1018,16	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,44	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,20	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	257	
Largo de los tubos [m]	6,10	
Paso por los tubos	1	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	92,05	
Área requerida [m ²]	74,39	
Calor calculado [kcal/h]	4203509,50	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

Tabla 8.11 - Especificaciones de la cámara flash.

Cámara flash	
Entrada	
Flujo másico [kg/h]	6504,30
Presión [kg/cm ²]	1,25
Densidad [kg/m ³]	0,6993
Viscosidad [kg/m·s]	0,00001
Temperatura [°C]	140
Salida de líquido	
Flujo másico [kg/h]	735,75
Presión [kg/cm ²]	1,25
Densidad [kg/m ³]	2,65
Viscosidad [kg/m·s]	0,0014
Temperatura [°C]	140
Salida de vapor	
Flujo másico [kg/h]	5768,55
Presión [kg/cm ²]	1,25
Densidad [kg/m ³]	0,65
Viscosidad [kg/m·s]	0,00001
Temperatura [°C]	140
Características	
Tipo	Elipsoidal
Diámetro interno [m]	1,07
Relación longitud/diámetro	1,83
Volumen total del recipiente [m ³]	2,06
Nivel máximo de líquido [m]	0,12
Nivel normal de líquido [m]	0,10
Distancia entre la alimentación y el nivel máximo del líquido [m]	0,46
Presión de diseño [kg/cm ²]	1,36
Espesor de la coraza [m]	0,006
Espesor del cabezal [m]	0,006
Velocidad máxima [m/s]	3,03
Material de la cámara	Acero al carbono

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.4.4. Adopción de intercambiador de calor (E-205)

En este equipo se busca condensar la corriente H, saliente del evaporador, para luego pasar a la zona de absorción. Su propósito se lleva a cabo bajo un circuito cerrado en contracorriente con agua de enfriamiento.

Con los datos de balance de masa y energía del capítulo anterior, se puede adoptar un condensador horizontal que cumpla las especificaciones mostradas en la Tabla 8.12.

Tabla 8.12 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor (E-205)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Condensación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,25	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	68,24	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	Agua amoniacal diluida
Flujo másico [kg/h]	155363,64	5768,55
ΔT [°C]	22,00	-75,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,26	0,27
Re	34264,00	42150,27
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	1253,38	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	1124,82	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,44	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,47	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	252	
Largo de los tubos [m]	3,05	
Paso por los tubos	2	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	44,53	
Área requerida [m ²]	39,96	
Calor calculado [kcal/h]	3808621,33	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.4.5. Adopción de deshidratador (C-208)

Esta torre es la encargada de retirar toda el agua presente en la corriente que abandona el evaporador para luego pasar a la zona de destilación y así facilitar la separación de las ETAS.

Seguidamente, en la Tabla 8.13 se pueden observar las características de adopción. Luego, en los apartados siguientes se desarrollan el condensador y rehervidor correspondiente. El fabricante de dicha torre al igual que las de destilación es AESA.

Tabla 8.13 - Especificaciones del deshidratador.

Deshidratador (C-208)	
Fabricante	AESA
Material	Acero inoxidable AISI 316
Condiciones de operación	
Temperatura de la cabeza [°C]	74,15
Temperatura del fondo [°C]	140,00
Calor de condensador [kcal/h]	-115373,00
Calor de rehervidor [kcal/h]	17182,90
Relación de reflujo	0,45
Masa reflujo [kg/h]	66,90
Caída de presión [kg/cm ²]	0,054
Cantidad total de platos	10
Altura de la torre [m]	6,10
Diámetro de la torre [m]	1,40
Plato de alimentación	5
Espaciado entre platos [m]	0,61
Factor de inundación [%]	80,00
Composición de cabeza [kg/h]	
Agua	148,53
MEA	0
DEA	0
TEA	0
Composición del fondo [kg/h]	
Agua	0
MEA	321,43
DEA	168,22
TEA	97,57

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.4.6. Adopción de condensador del deshidratador (C-208/C)

Se adopta de igual manera que los demás intercambiadores. Su funcionamiento es por medio de un sistema cerrado en contracorriente con agua de enfriamiento.

En la Tabla 8.14 se ven tabuladas las características del equipo a adoptar.

Tabla 8.14 - Especificaciones del condensador.

Condensador del deshidratador (C-208/C)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Condensación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,38	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	42,20	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	Vapor de agua
Flujo másico [kg/h]	5430,32	215,43
ΔT [°C]	22,00	0,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,22	0,04
Re	21559,00	9348,47
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	1146,02	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	985,57	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,20	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,20	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	28	
Largo de los tubos [m]	1,83	
Paso por los tubos	4	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	2,87	
Área requerida [m ²]	2,47	
Calor calculado [kcal/h]	138915,00	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.4.7. Adopción de rehervidor del deshidratador (C-208/R)

Este rehervidor, funciona con vapor saturado a contracorriente. La adopción es similar a los anteriores.

En la Tabla 8.15 se observan las características del equipo a adoptar.

Tabla 8.15 - Especificaciones del rehervidor.

Rehervidor del deshidratador (C-208/R)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Evaporación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,38	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	21,40	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Caliente	Caliente
Fluido	Vapor de agua saturado	ETAS
Flujo másico [kg/h]	40,58	590,08
ΔT [°C]	-55	53,50
Caída de presión [kg/cm ²]	0,01	0,01
Re	23370,43	159,45
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	993,82	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	745,97	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,15	
Pasos por la coraza	2	
Espaciado de los deflectores [m]	0,20	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	10	
Largo de los tubos [m]	2,44	
Paso por los tubos	4	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	1,34	
Área requerida [m ²]	1,00	
Calor calculado [kcal/h]	28401,72	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.4.8. Adopción de intercambiador de calor (E-212)

El agua saliente del deshidratador se separa en dos corrientes, la primera retorna el evaporador y la segunda se dirige al mezclador de la zona 300 para ocuparse de la absorción de amoníaco, pero primero debe enfriarse.

En la Tabla 8.16 se encuentran los datos del intercambiador a adoptar en AESA.

Tabla 8.16 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor (E-212)		
Tipo de intercambiador	Doble tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Enfriamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,38	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	14,69	
Datos de funcionamiento		
	Tubo	Ánulo
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	Agua
Flujo másico [kg/h]	113,22	50,63
ΔT [°C]	22,00	-49,15
Caída de presión [kg/cm ²]	0,001	0,001
Re	1211,00	242,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	66,10	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	46,06	
Datos de construcción		
Diámetro del ánulo [m]	0,078	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,048	
Diámetro interno de los tubos [m]	0,041	
Número de tubos	1	
Largo del tubo por horquilla [m]	12,19	
Número de horquillas	2	
Número de intercambiadores en serie	2	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	3,68	
Área requerida [m ²]	2,57	
Calor calculado [kcal/h]	3574,69	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.5. Zona 300

En esta zona, se cuenta con tanque agitado, un condensador y procedente absorción.

8.5.1. Adopción de mezclador (ME-301)

En este equipo se va a encontrar dos corrientes, una gaseosa (F) y una líquida (H) que se mezclan para ingresar al condensador como una sola (N). Para dicho objetivo se adopta un tanque agitado, con mezclador de agitación mecánica.

Se toma un tiempo de residencia de 3 segundos. El cálculo del volumen del tanque se realiza haciendo uso de la Ecuación 8.14, los parámetros y valores obtenidos se detallan en la Tabla 8.17.

Tabla 8.17 - Resultados de los cálculos efectuados.

Parámetros	Valores
Tiempo de residencia [s]	3
Flujo másico [kg/h]	7761,03
Densidad [kg/m ³]	2,8565
Viscosidad [kg/m·s]	0,0003534
Flujo volumétrico [m ³ /h]	2716,97
Volumen del tanque [m ³]	2,26
Relación de esbeltez	1,50
Longitud del tanque [m]	1,86
Diámetro del tanque [m]	1,24
Material	Acero inoxidable

Elaboración propia.

➤ Adopción del agitador

El sistema de agitación consta de una turbina de disco de seis palas rectas, concéntrico al eje del tanque, la que puede observarse en la Figura 8.2.

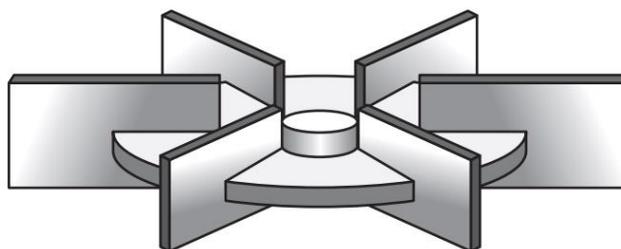


Figura 8.2 - Turbina de disco de seis palas rectas.

Si el agitador va montado verticalmente siempre se desarrolla una trayectoria de flujo tipo remolino, esto suele ser indeseable debido a que se atrapa aire, se desarrolla un vórtice considerable y ocurren otros efectos perjudiciales. Es por esto que se opta por la incorporación de cuatro placas deflectoras.

Los distintos factores de forma, Tabla 8.18, dependen del tipo y disposición del equipo. Las medidas necesarias de un tanque típico agitado, con turbina se muestran en la Figura 8.3.

Tabla 8.18 - Factores de forma.

Factores de forma para el diseño de un tanque agitado	
$S_1 = \frac{D_a}{D_t}$	$S_4 = \frac{W}{D_a}$
$S_2 = \frac{E}{D_a}$	$S_5 = \frac{J}{D_t}$
$S_3 = \frac{L}{D_a}$	$S_6 = \frac{H}{D_t}$

Elaboración propia.

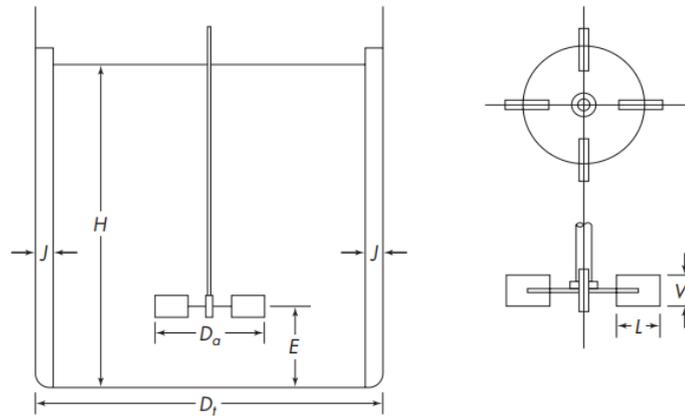


Figura 8.3 - Medidas de un agitador de turbina.

La potencia comunicada al fluido se calcula con el número de potencia, este último se obtiene de la Figura 8.4.

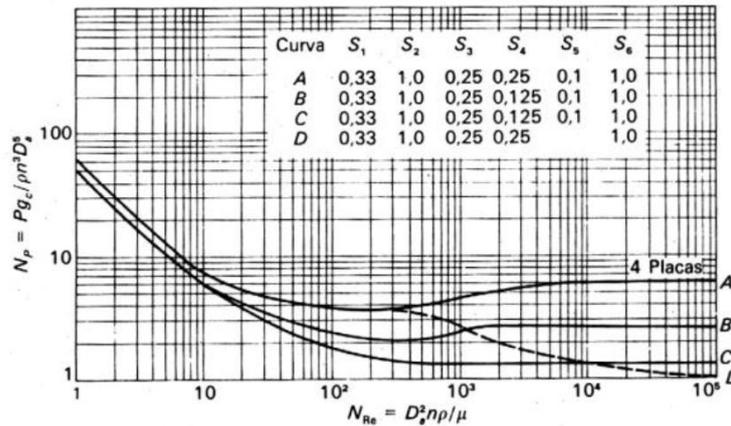


Figura 8.4 - Número de potencia versus número de Reynolds para turbinas de seis palas.

La curva A corresponde a palas verticales con $S_4=0,25$, la curva B es un rodete similar, pero con palas más estrechas con $S_4=0,125$. La curva C es para una turbina de palas y, por lo demás, similar a la correspondiente curva B. la curva D es un tanque sin placas deflectoras. La opción elegida es la curva A.

➤ Cálculo de la potencia del agitador:

Se realizan los cálculos a través de las Ecuación 8.27, Ecuación 8.28 y Ecuación 8.29. Los resultados se encuentran tabulados en la Tabla 8.19.

$$Da = S_1 \cdot D_t$$

Ecuación 8.27 - Cálculo del diámetro del agitador.

$$q = 0,92 \cdot n \cdot D_a^3 \cdot \left(\frac{D_t}{D_a}\right)$$

Ecuación 8.28 - Cálculo de la velocidad de giro del agitador.

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Ecuación 8.29 - Cálculo del número de Reynolds.

Tabla 8.19 - Resultados de los cálculos efectuados.

Parámetro	Resultado
Diámetro del agitador [m]	0,41
Velocidad angular [rps]	3,87
Número de Reynolds [Adimensional]	5336,00

Elaboración propia.

Con el número de Reynolds se busca el número de potencia, N_{Po} , en la Figura 8.4. En la Tabla 8.20 se pueden observar las características del tanque y agitador por adoptar.

$$N_{Po} = 6$$

$$P = \frac{N_{Po} \cdot n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho}{g_c}$$

Ecuación 8.30 - Cálculo de la potencia.

Tabla 8.20 - Características del tanque y agitador.

Parámetro	Resultado
D_a [m]	0,41
D_t [m]	1,24
E [m]	0,41
L [m]	0,1
W [m]	0,1
J [m]	0,12
H [m]	1,24
P [HP]	0,327

Elaboración propia.

La adopción del agitador se hace a la empresa TIMSA, en la Figura 8.5 se observa una imagen del agitador, las características de diseño y trabajo de este.

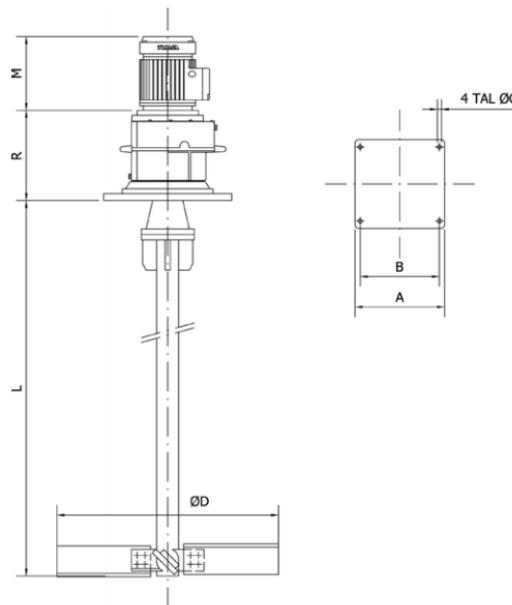


Figura 8.5 - Ilustración del agitador.

Fuente: TIMSA.

Tabla 8.21 - Especificaciones del agitador.

Agitador adoptado	
Modelo	HAT-08 03 R 04
Volumen máximo [m ³]	4
Potencia [HP]	2,95
Velocidad [RPM]	315
Caudal [m ³ /h]	1025
Dimensiones	
M [mm]	305
R [mm]	271
L [mm]	1500
D [mm]	400
Brida de fijación	HAT-08 03 R 04
A [mm]	250
B [mm]	210
C [mm]	11

Elaboración propia. Fuente: TIMSA.

8.5.2. Adopción de condensador (E-302)

Esta unidad fue simulada en dos partes, la primera consta de un intercambiador de calor encargado de bajar la temperatura de la corriente entrante, la segunda parte se trata de una cámara flash, en la cual, por la parte superior se obtiene vapor y líquido por la corriente inferior.

En la Tabla 8.22 se detalla el intercambiador con su respectivo fabricante y en la Tabla 8.23 se pueden observar las características del flash, que se provee por la empresa AESA.

Tabla 8.22 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Condensación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,00	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔT_{ML} [°C]	21,96	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	Solución amoniacal recuperada
Flujo másico [kg/h]	35048,66	7761,03
ΔT [°C]	22,00	-27,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,15	0,27
Re	10131,00	72153,79
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	757,87	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	641,29	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,39	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,47	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	192	
Largo de los tubos [m]	4,88	
Paso por los tubos	2	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	54,68	
Área requerida [m ²]	46,27	
Calor calculado [kcal/h]	909910,00	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

Tabla 8.23 - Especificaciones de la cámara flash.

Cámara flash	
Entrada	
Flujo másico [kg/h]	7761,03
Presión [kg/cm ²]	1,00
Densidad [kg/m ³]	35,97
Viscosidad [kg/m·s]	0,0004
Temperatura [°C]	70
Salida de líquido	
Flujo másico [kg/h]	7630,35
Presión [kg/cm ²]	1,00
Densidad [kg/m ³]	864,73
Viscosidad [kg/m·s]	0,0004
Temperatura [°C]	43
Salida de vapor	
Flujo másico [kg/h]	130,68
Presión [kg/cm ²]	1,00
Densidad [kg/m ³]	0,64
Viscosidad [kg/m·s]	0,00001
Temperatura [°C]	43
Características	
Tipo	Elipsoidal
Diámetro interno [m]	0,76
Relación longitud/diámetro	4,94
Volumen total del recipiente [m ³]	1,83
Nivel máximo de líquido [m]	1,93
Nivel normal de líquido [m]	1,61
Distancia entre la alimentación y el nivel máximo del líquido [m]	0,46
Presión de diseño [kg/cm ²]	1,20
Espesor de la coraza [m]	0,006
Espesor del cabezal [m]	0,006
Velocidad máxima [m/s]	1,12
Material de la cámara	Acero al carbono

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.5.3. Adopción de columna de absorción (C-308)

Para lograr la composición indicada de amoníaco ingresante al reactor se utiliza una columna de absorción, encargada de solubilizar el amoníaco en agua.

Según los datos del simulador, las características de adopción son las siguientes:

- Columna de 1 sección.
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad de platos: 10.

- Alimentación, plato número: 1, 3, 7, 9.
- Relación de reflujo: 0,018.

A continuación, en la Tabla 8.24 se detallan las características de la torre para la obtención de solución amoniacal.

Tabla 8.24 - Especificaciones de la columna de absorción.

Columna de absorción (C-308)	
Fabricante	AESA
Material	Acero al carbono
Condiciones de operación	
Temperatura de la cabeza [°C]	83,2
Temperatura del fondo [°C]	59,7
Calor de rehedidor [kcal/h]	71483,90
Relación de reflujo	0,018
Masa reflujo [kg/h]	142,36
Caída de presión [kg/cm ²]	0,052
Cantidad total de platos	10
Altura de la torre [m]	6,10
Diámetro de la torre [m]	1,40
Plato de alimentación	1, 3, 7, 9
Espaciado entre platos [m]	0,61
Factor de inundación [%]	80,00
Composición de cabeza [kg/h]	
Amoniaco	Trazas
Agua	Trazas
Composición del fondo [kg/h]	
Amoniaco	1775,31
Agua	6164,36

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.5.4. Adopción de rehedidor de la columna de absorción (C-308/R)

Este rehedidor, funciona con vapor saturado a contracorriente. La adopción es similar a los anteriores.

En la Tabla 8.25 se observan las características del equipo a adoptar.

Tabla 8.25 - Especificaciones del rehervidor.

Rehervidor de la columna de absorción (C-308/R)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Evaporación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	2,00	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔT_{ML} [°C]	81,66	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	Vapor de agua saturado	Solución amoniacal
Flujo másico [kg/h]	130,18	8083,51
ΔT [°C]	-55,00	2,82
Caída de presión [kg/cm ²]	0,04	0,34
Re	45493,22	20140,05
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	1501,92	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	1341,49	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,15	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,15	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	10	
Largo de los tubos [m]	1,22	
Paso por los tubos	4	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	0,66	
Área requerida [m ²]	0,59	
Calor calculado [kcal/h]	81316,00	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.5.5. Adopción del intercambiador de calor (E-309)

La solución amoniacal saliente de la columna de absorción debe enfriarse por medio de un intercambiador de calor, para poder llevarla a la temperatura correcta en su ingreso al reactor.

En la Tabla 8.26 se encuentran los datos del intercambiador a adoptar en AESA.

Tabla 8.26 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor (E-309)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero al carbono	
Objetivo	Enfriamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	2,00	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔT_{ML} [°C]	19,75	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	Solución amoniacal
Flujo másico [kg/h]	5001,50	7939,67
ΔT [°C]	22,00	-12,47
Caída de presión [kg/cm ²]	0,07	0,13
Re	3686,00	17021,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	512,96	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	448,31	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,25	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,25	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	73	
Largo de los tubos [m]	3,05	
Paso por los tubos	2	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	12,27	
Área requerida [m ²]	10,72	
Calor calculado [kcal/h]	124305,70	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6. Zona 400

La zona de destilación consta de dos torres, que su principal función es separar el producto esencial MEA, como los subproductos DEA y TEA.

Se explica a continuación el plato elegido para las columnas de destilación, luego se hará un breve resumen del fluido térmico a utilizar en los rehervidores. Debido a las altas temperaturas provenientes del fondo de la columna, se tiene que tener en cuenta el uso de un aislante térmico, también detallado aquí.

➤ Plato de tamiz

Para la adopción de las columnas de destilación se opta por una bandeja de tamiz o plato perforado debido a que ofrece la ventaja de un área de interfaz alta y turbulencia para una transferencia de masa de vapor-líquido eficiente, además se puede utilizar para una amplia gama de flujos y presenta bajo costo.

En funcionamiento normal, el flujo de vapor a través de las perforaciones, expande el líquido en una masa turbulenta y emergente llamada "espuma". Al moverse por el piso de la bandeja, esta masa proporciona turbulencia y un área interfacial alta para una transferencia de masa de vapor-líquido eficiente. En la Figura 8.6 se muestra el funcionamiento en estado estable de una bandeja de tamiz típica.

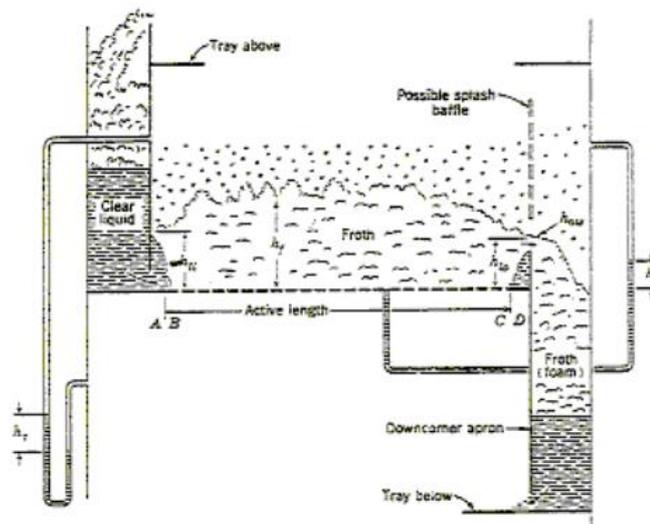


Figura 8.6 - Funcionamiento de un plato de tamiz.

El líquido desciende de la bandeja superior a través de un tubo de bajada y llega a la bandeja en el punto A. Entre los puntos A y B, el líquido esencialmente transparente se encuentra en flujo transversal, ya que esta parte de la bandeja no está perforada. La distancia entre A y B variará según las condiciones de diseño, pero a menudo es bastante corta. Por lo tanto, la aireación puede ocurrir inmediatamente adyacente a la plataforma del tubo de bajada. La altura del líquido claro h_i es entonces el equivalente al líquido en la masa aireada.

La parte activa de la bandeja se encuentra aproximadamente entre los puntos B y C. La densidad de la masa varía con la altura, siendo mayor cerca del piso de la bandeja.

La masa aireada se mueve a través de la bandeja y el colapso comienza cuando las perforaciones terminan en el punto C.

La formación de espuma secundaria ocurre normalmente en el tubo de bajada como resultado de salpicaduras de líquido y condiciones turbulentas generales.

➤ Fluido térmico

Debido a las altas temperaturas que requieren los fondos de las columnas de destilación, el vapor de media presión proporcionado por la caldera no alcanza la diferencia de temperatura necesaria para la transferencia de calor, por dicho motivo se decide trabajar con un fluido térmico (aceite térmico).

Existen en el mercado diferentes marcas de fluidos térmicos. La composición de los fluidos térmicos está basada en mezclas eutécticas. Los aceites térmicos o fluidos de transferencia de calor son ampliamente utilizados para transportar energía térmica en proceso de calentamiento indirecto. Se utilizan principalmente en aplicaciones de proceso de alta temperatura donde las temperaturas del líquido trabajan entre 150 y 400 °C. Son más seguros y más eficientes que el vapor.

En base a las temperaturas de servicio se selecciona para nuestro proceso el uso de Therminol 66, siendo el fabricante Eastman. Therminol 66 se compone de terfenilo modificado de color amarillo pálido translucido. El rango de temperatura de uso recomendado es, en fase líquida de (-3) a 345 °C.

➤ Aislante térmico

Es un método que consiste en recubrir una superficie con materiales aislantes, con la finalidad de proporcionar resistencia al flujo de calor y reducir la transferencia del mismo al exterior.

Entre las funciones de un sistema de aislamiento, se encuentran las siguientes:

1. Aumentar la eficiencia del sistema.
2. Protección personal, de equipos y estructuras.
3. Mantener y controlar la temperatura de procesos.
4. Protección contra incendios.
5. Reducción del ruido y la vibración.
6. Disminuye las alteraciones al medio ambiente.
7. Alta conveniencia económica.
8. Durabilidad y confiabilidad.

El espesor del aislante dependerá del tipo de aislamiento requerido, las propiedades de los materiales que se estén empleando, la temperatura del proceso y las dimensiones del equipo a aislar.

Se selecciona la lana de fibra de vidrio. Este aislante se forma a partir de vidrio fundido con materiales inorgánicos que se aglutinan con resinas orgánicas; es muy versátil debido a su gran eficiencia térmica, facilidad de montaje, elevada resistencia a ambientes corrosivos y livianos (baja densidad). Su rango de servicio térmico es entre (-40) a 540 °C.

La lana de vidrio es 100% reciclable, no contamina y es un producto atóxico, no cancerígeno y no es perjudicial para la salud. Lo que diferencia a la lana de vidrio de otros productos aislantes, es que es incombustible, no es inflamable, no genera humo ni gases nocivos y resiste altas temperaturas.

El calor de pérdida por metro de superficie se calcula mediante la Ecuación 8.31.

$$Q = \frac{\pi \cdot (T_s - T_a)}{\frac{2,3}{2 \cdot k_c} \cdot \log \frac{D_1}{D_s} + \frac{1}{h_a \cdot D_1}}$$

Ecuación 8.31 - Cálculo del calor de pérdida por metro de superficie.

Q = Pérdida de calor por metro de superficie, $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}} \right]$

T_s = Temperatura en el interior, [K]

T_a = Temperatura ambiente, [K]

k_c = Coeficiente de conductividad térmica, $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}\cdot\text{m}\cdot\text{K}} \right]$

D_1 = Diámetro exterior con aislante, [m]

D_s = Diámetro exterior, [m]

h_a = Coeficiente superficial de transferencia de calor, $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]$

Una vez obtenido el valor de Q, se procede al cálculo del calor de pérdida que debe ser sumado a la energía otorgada por el rehedidor de la columna para compensar la pérdida, a través de la Ecuación 8.32.

$$Q_p = Q \cdot h_t$$

Ecuación 8.32 - Cálculo del calor de pérdida horaria.

Q_p = Calor de pérdida, $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$

h_T = Altura de la torre, [m]

8.6.1. Adopción de columna de destilación (C-401)

Para el caso de la primera torre C-401 su destilado es la MEA, la cual se enfría y se almacena en las condiciones adecuadas para su venta directa.

Según los datos del simulador, las características de adopción son las siguientes:

- Columna de 1 sección.
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 6.
- Alimentación, plato número 4.
- Relación de reflujo: 0,60.

A continuación, en la Tabla 8.27 se detallan las características de la torre de destilación para la obtención de MEA de alta pureza.

Tabla 8.27 - Especificaciones de la columna de destilación.

Columna de destilación (C-401)	
Fabricante	AESA
Material	Acero inoxidable AISI 316
Condiciones de operación	
Temperatura de la cabeza [°C]	141,632
Temperatura del fondo [°C]	245,00
Calor de condensador [kcal/h]	-72552,50
Calor de rehervidor [kcal/h]	131617,00
Relación de reflujo	0,60
Masa reflujo [kg/h]	192,89
Caída de presión [kg/cm ²]	0,029
Cantidad total de platos	6
Altura de la torre [m]	3,66
Diámetro de la torre [m]	1,40
Plato de alimentación	4
Espaciado entre platos [m]	0,61
Factor de inundación [%]	80,00
Composición de cabeza [kg/h]	
MEA	321,12
DEA	3,24
TEA	Trazas
Composición del fondo [kg/h]	
MEA	0,31
DEA	164,98
TEA	97,57

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

La energía necesaria para el funcionamiento de la torre, tiene que ver con el condensador C-401/C y con el rehervidor C-401/R que se describen en las siguientes secciones.

➤ Cálculo del aislante térmico

Con el uso de Ecuación 8.31 y Ecuación 8.32, se obtienen los valores tabulados en la Tabla 8.28.

Tabla 8.28 - Aislante térmico.

Parámetros para el cálculo del aislante térmico	
Altura de la columna [m]	3,66
Pérdida de calor por metro de superficie (Q) [kcal/h·m]	931,37
Temperatura en el interior (T_s) [K]	518
Temperatura ambiente (T_a) [K]	298
Coeficiente de conductividad térmica (k_c) [kcal/h·m·K]	0,0342
Diámetro exterior (con aislante) (D_1) [m]	0,35
Diámetro exterior (D_s) [m]	0,31
Coeficiente superficial de transferencia de calor (h_a) [kcal/h·m ² ·K]	2,1
Espesor del aislante [cm]	4
Calor de pérdida (Q_p) [kcal/h]	3409,00

Elaboración propia.

8.6.2. Adopción de condensador de la primera torre de destilación (C-401/C)

Este condensador se diseña de igual manera que los demás intercambiadores, haciendo uso de la bibliografía y el simulador. Su funcionamiento es por medio de un sistema cerrado de agua de enfriamiento.

En la Tabla 8.29 se muestra el resultado de esta simulación, junto con los datos de construcción.

Tabla 8.29 - Especificaciones del condensador.

Condensador de la primera columna de destilación C-401/C		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Condensación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,39	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	92,46	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	MEA concentrada
Flujo másico [kg/h]	4920,59	517,26
ΔT [°C]	22,00	-7,70
Caída de presión [kg/cm ²]	0,03	0,02
Re	13380,00	44040,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	914,71	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	683,54	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,15	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,15	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	32	
Largo de los tubos [m]	1,52	
Paso por los tubos	2	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,009	
Área efectiva de transferencia [m ²]	1,44	
Área requerida [m ²]	1,44	
Calor calculado [kcal/h]	-108253,00	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.3. Adopción de rehervidor de la primera columna de destilación (C-401/R)

El rehervidor, funciona por medio de un sistema cerrado en contracorriente con un fluido térmico. Al igual que los demás casos, ChemCAD 6.1.3 es la principal herramienta de adopción.

En la Tabla 8.30 se reflejan las características de adopción del equipo.

Tabla 8.30 - Especificaciones del rehedidor.

Rehedidor de la segunda columna de destilación (C-401/R)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Evaporación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,39	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	49,55	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	Therminol 66	ETAS
Flujo másico [kg/h]	1827,10	1041,61
ΔT [°C]	-108,00	12,30
Caída de presión [kg/cm ²]	0,02	0,26
Re	7654,00	1465,51
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	246,55	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	226,01	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,254	
Pasos por la coraza	2	
Espaciado de los deflectores [m]	0,254	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	53	
Largo de los tubos [m]	3,66	
Paso por los tubos	4	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	10,91	
Área requerida [m ²]	10,00	
Calor calculado [kcal/h]	133322,00	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.4. Adopción de intercambiador de calor (E-402)

Para su correcto almacenamiento, la MEA debe tener una temperatura no superior a 35 °C, por lo cual debe enfriarse. El funcionamiento de este intercambiador es a contracorriente con un agua de enfriamiento.

En la Tabla 8.31 se adjuntan los datos de adopción, se utilizó un intercambiador de doble tubo debido al poco caudal que circula por él, además de obtener mejores resultados.

Tabla 8.31 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor (E-402)		
Tipo de intercambiador	Doble tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Enfriamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,39	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	45,76	
Datos de funcionamiento		
	Tubo	Ánulo
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	MEA concentrada	Agua de enfriamiento
Flujo másico [kg/h]	324,36	1053,00
ΔT [°C]	-106,632	22,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,01	0,02
Re	1471,00	4128,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	78,99	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	73,98	
Datos de construcción		
Diámetro del ánulo [m]	0,06	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,04	
Diámetro interno de los tubos [m]	0,03	
Número de tubos	1	
Largo del tubo por horquilla [m]	12,19	
Número de horquillas	4	
Número de intercambiadores en serie	4	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0.0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	6,43	
Área requerida [m ²]	6,02	
Calor calculado [kcal/h]	23250,96	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.5. Adopción de tanque de almacenamiento de monoetanolamina (T-403)

Cuando la planta trabaje en su máxima capacidad, según el balance de masa, semanalmente se producirán 57857 kg semanales de MEA, lo que equivale a un volumen de 56,72 m³. Al volumen de MEA se le suma un 20% correspondiente al margen de diseño.

Para la adopción de este equipo se le solicito a la empresa Aerotan S.A las características necesarias para el tanque, proporcionándole la siguiente información:

- Acero inoxidable AISI 316.
- Volumen: 70 m³.

En la Tabla 8.32 se muestran las dimensiones del tanque de MEA adoptado.

Tabla 8.32 - Dimensiones del tanque para almacenamiento de monoetanolamina.

Tanque de almacenamiento de MEA (T-403)	
Fabricante	Aerotan S.A
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Capacidad máxima [m ³]	70,00
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	2,80
Altura [m]	11,50
Relación de esbeltez	4,11
Temperatura [°C]	35
Presión [kg/cm ²]	1,03

Elaboración propia. Datos: Aerotan S.A.

8.6.6. Adopción de columna de destilación (C-404)

En esta segunda torre se obtienen los dos productos secundarios, la DEA por la corriente superior y la TEA por la corriente inferior. Estos productos luego se enfrían para su correcto almacenamiento.

Según los datos del simulador, las características de diseño de C-404 son las siguientes:

- Columna de 1 sección.
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 8.
- Alimentación, plato número 4.
- Relación de reflujo: 0,586.

A continuación, en la Tabla 8.33 se detallan las características de la torre de destilación para la obtención de DEA y TEA de alta pureza.

Tabla 8.33 - Especificaciones de la columna de destilación.

Columna de destilación (C-404)	
Fabricante	AESA
Material	Acero inoxidable AISI 316
Condiciones de operación	
Temperatura de la cabeza [°C]	235,50
Temperatura del fondo [°C]	300,00
Calor de condensador [kcal/h]	-41320,60
Calor de rehervidor [kcal/h]	49720,10
Relación de reflujo	0,59
Masa reflujo [kg/h]	97,84
Caída de presión [kg/cm ²]	0,039
Cantidad total de platos	8
Altura de la torre [m]	4,88
Diámetro de la torre [m]	1,40
Plato de alimentación	4
Espaciado entre platos [m]	0,61
Factor de inundación [%]	80,00
Composición de cabeza [kg/h]	
MEA	0,31
DEA	164,57
TEA	2,20
Composición del fondo [kg/h]	
MEA	Trazas
DEA	0,41
TEA	95,37

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

A continuación, se describen el condensador C-404/C y el rehervidor C-404/R, encargados del funcionamiento energético de la torre.

➤ Cálculo del aislante térmico

Con el uso de Ecuación 8.31 y Ecuación 8.32, se obtienen los valores tabulados en la Tabla 8.34.

Tabla 8.34 - Aislante térmico.

Parámetros para el cálculo del aislante térmico	
Altura de la columna [m]	5,60
Pérdida de calor por metro de superficie (Q) [kcal/h·m]	1164,00
Temperatura en el interior (T _s) [K]	573
Temperatura ambiente (T _a) [K]	298
Coeficiente de conductividad térmica (k _c) [kcal/h·m·K]	0,0342
Diámetro exterior (con aislante) (D _i) [m]	0,35
Diámetro exterior (D _s) [m]	0,31
Coeficiente superficial de transferencia de calor (h _a) [kcal/h·m ² ·K]	2,1
Espesor del aislante [cm]	4
Calor de pérdida (Q _p) [kcal/h]	5681,00

Elaboración propia.

8.6.7. Adopción de condensador de la segunda columna de destilación (C-404/C)

Este condensador, al igual que los demás, funciona por medio de un sistema cerrado de agua de enfriamiento.

Los datos de adopción se ven reflejados en la Tabla 8.35.

Tabla 8.35 - Especificaciones del condensador.

Condensador de la segunda columna de destilación (C-404/C)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Condensación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,40	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	186,53	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Frio	Caliente
Fluido	Agua de enfriamiento	DEA concentrada
Flujo másico [kg/h]	1865,12	264,92
ΔT [°C]	22,00	-2,80
Caída de presión [kg/cm ²]	0,29	0,003
Re	27630,00	19820,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	1147,26	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	634,72	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,15	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,15	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	10	
Largo de los tubos [m]	0,91	
Paso por los tubos	2	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,02	
Área efectiva de transferencia [m ²]	0,32	
Área requerida [m ²]	0,32	
Calor calculado [kcal/h]	-41320,60	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.8. Adopción de rehervidor de la segunda columna de destilación (C-404/R)

A continuación, en la Tabla 8.36 se observan los datos para la adopción. Similar al anterior funciona por medio de un sistema cerrado en contracorriente con un fluido térmico.

Tabla 8.36 - Especificaciones del rehervidor.

Rehervidor de la segunda columna de destilación (C-404/R)		
Tipo de intercambiador	Casco y tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Evaporación	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,40	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	23,74	
Datos de funcionamiento		
	Tubos	Coraza
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	Therminol 66	ETAS
Flujo másico [kg/h]	1406,47	440,65
ΔT [°C]	-53,00	3,70
Caída de presión [kg/cm ²]	0,10	0,10
Re	23827,00	130,43
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	402,33	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	379,30	
Datos de construcción		
Diámetro de la coraza [m]	0,254	
Pasos por la coraza	1	
Espaciado de los deflectores [m]	0,254	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,02	
Número de tubos	37	
Largo de los tubos [m]	3,048	
Paso por los tubos	8	
Arreglo	Triangular 30°	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	6,22	
Área requerida [m ²]	5,86	
Calor calculado [kcal/h]	59414,23	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.9. Adopción de intercambiador de calor (E-405)

Encargado de bajar la temperatura de la DEA proveniente de la corriente de destilado. Para su correcto almacenamiento, la DEA debe tener una temperatura no superior a 50 °C.

En la Tabla 8.37 se muestran las características del intercambiador a utilizar.

Tabla 8.37 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor (E-405)		
Tipo de intercambiador	Doble tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Enfriamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,40	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	90,40	
Datos de funcionamiento		
	Tubo	Ánulo
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	DEA concentrada	Agua de enfriamiento
Flujo másico [kg/h]	167,08	969,73
ΔT [°C]	-185,50	22,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,01	0,01
Re	1329,00	3995,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	56,56	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	48,31	
Datos de construcción		
Diámetro del ánulo [m]	0,06	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,04	
Diámetro interno de los tubos [m]	0,03	
Número de tubos	1	
Largo del tubo por horquilla [m]	12,19	
Número de horquillas	3	
Número de intercambiadores en serie	3	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	4,82	
Área requerida [m ²]	4,12	
Calor calculado [kcal/h]	24667,32	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.10. Adopción de tanque de almacenamiento de dietanolamina (T-407)

Según el balance de masa, se producen 30301,6 kg lo que corresponde a 27,77 m³ semanales de DEA. Al volumen se le suma un 20% correspondiente al margen de diseño.

Al igual que el caso anterior, la adopción de este equipo se realizó solicitando información a la empresa Aerotan S.A, proporcionándole la siguiente información:

- Acero inoxidable AISI 316.
- Volumen: 40 m³.

En la Tabla 8.38 se expresan las dimensiones del tanque de DEA adoptado.

Tabla 8.38 - Dimensiones del tanque para almacenamiento de dietanolamina.

Tanque de almacenamiento de dietanolamina (T-407)	
Fabricante	Aerotan S.A
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Capacidad máxima [m ³]	40,00
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	2,92
Altura [m]	6,00
Relación de esbeltez	~ 2
Temperatura [°C]	50
Presión [kg/cm ²]	1,03

Elaboración propia. Datos: Aerotan S.A.

8.6.11. Adopción de intercambiador de calor (E-406)

La TEA obtenida por la corriente inferior de la torre debe enfriarse hasta 40 °C para evitar coloraciones en su almacenamiento.

En la Tabla 8.39 se puede apreciar las características del intercambiador.

Tabla 8.39 - Especificaciones del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor (E-406)		
Tipo de intercambiador	Doble tubo	
Fabricante	AESA	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Objetivo	Enfriamiento	
Disposición de flujos	Contracorriente	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,41	
Régimen de trabajo	Continuo	
ΔTML [°C]	98,04	
Datos de funcionamiento		
	Tubo	Ánulo
Tipo de fluido	Caliente	Frio
Fluido	TEA concentrada	Agua de enfriamiento
Flujo másico [kg/h]	95,78	764,83
ΔT [°C]	-260,00	22,00
Caída de presión [kg/cm ²]	0,01	0,01
Re	475,00	3194,00
Uc [kcal/h·m ² ·°C]	47,55	
Ud [kcal/h·m ² ·°C]	35,58	
Datos de construcción		
Diámetro del ánulo [m]	0,06	
Diámetro externo de los tubos [m]	0,04	
Diámetro interno de los tubos [m]	0,03	
Número de tubos	1	
Largo del tubo por horquilla [m]	12,19	
Número de horquillas	3	
Número de intercambiadores en serie	3	
Factor de obstrucción (Rd) [kcal/h·m ² ·°C]	0,0002	
Área efectiva de transferencia [m ²]	4,82	
Área requerida [m ²]	3,61	
Calor calculado [kcal/h]	22490,12	

Elaboración propia. Fuente: ChemCAD.

8.6.12. Adopción de tanque de almacenamiento de trietanolamina (T-408)

A continuación, igual que en los casos anteriores, en la Tabla 8.40 se observa las características para el tanque de almacenamiento de TEA. El cual presenta una capacidad de 17562,62 kg semanales, equivalente a un volumen de 15,63 m³. Se contempla un margen de diseño del 20%.

Los datos registrados fueron obtenidos por Aerotan S.A, proporcionándole las siguientes características:

- Acero inoxidable AISI 316.
- Volumen: 20 m³.

En la Tabla 8.40 se muestran las dimensiones del tanque de trietanolamina adoptado.

Tabla 8.40 - Dimensiones del tanque para almacenamiento de trietanolamina.

Tanque de almacenamiento de trietanolamina (T-408)	
Fabricante	Aerotan S.A
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Capacidad máxima [m ³]	20,00
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	2,40
Altura [m]	4,50
Relación de esbeltez	1,88
Temperatura [°C]	40
Presión [kg/cm ²]	1,03

Elaboración propia. Datos: Aerotan S.A.

8.7. Adopción de bombas de proceso

En ciertas etapas del proceso productivo se requiere que el líquido fluya de un lugar a otro en una tubería. Para ello es necesario contar con una fuerza impulsora, que es suministrada por bombas.

El cálculo para la adopción de estos equipos se llevó a cabo utilizando como herramienta el programa de cálculo MathCAD además de la bibliografía correspondiente.

En la Tabla 8.41 se especifican todos los equipos a adoptar.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Tabla 8.41 - Resumen de las bombas por adoptar.

Bombas						
Código	Conexión entre equipos	Corriente	Denominación	Caudal [m ³ /h]	Temperatura [°C]	Tipo de bomba
P-102	T-101 con ME-104	A	Óxido de etileno	0,518	10,68	Centrífuga
P-103	E-309 con ME-104	B	Solución amoniacal	9,366	47,37	Centrífuga
P-108	ME-104 con R-105	C	Mezcla de agua amoniacal y óxido de etileno	9,903	46,11	Centrífuga
P-109	R-105 con R-106	D	Mezcla de agua, amoniaco, óxido de etileno y etanolaminas	10,438	90,00	Centrífuga
P-202	V-201 con ME-203	G	Mezcla de agua, amoniaco y etanolaminas	6,670	99,50	Centrífuga
P-206	E-205 con ME-301	H	Agua amoniacal diluida	5,845	65,00	Centrífuga
P-210	S-209 con ME-203	L	Agua	0,100	74,15	Centrífuga
P-211	C-208 con C-401	M	Etanolaminas	0,609	140,00	Centrífuga
P-213	E-212 con C-308	K	Agua	0,051	74,15	Centrífuga
P-303	E-302 con C-308	O	Solución amoniacal débil	8,824	43,00	Centrífuga
P-310	SV-306 con C-308	R	Amoniaco fresco	2,895	17,24	Centrífuga
P-311	C-308 con E-309	B	Solución amoniacal	9,528	59,70	Centrífuga
P-409	E-402 con T-403	S	Monoetanolamina concentrada	0,323	35,00	Centrífuga
P-410	C-401 con C-404	T	Mezcla de dietanolamina y trietanolamina	0,280	245,00	Centrífuga
P-411	E-405 con T-407	U	Dietanolamina concentrada	0,155	50,00	Centrífuga
P-412	E-406 con T-408	V	Trietanolamina concentrada	0,086	40,00	Centrífuga

Elaboración propia.

A continuación, se detalla la secuencia de cálculo para dimensionar la potencia de cada bomba:

1. Definir la disposición y distribución de los equipos y tuberías. Considerar el diámetro y la altura de los tanques, el nivel del líquido, altura de los puntos de carga y descarga, ubicación de las bombas y accesorios como válvulas, uniones, codos entre otros.
2. Estimar la longitud de los distintos tramos de tuberías.
3. Determinar la velocidad lineal de aspiración o succión del fluido y el diámetro óptimo de la tubería correspondiente, en función de las características hidrodinámicas y mecánicas del fluido. Las velocidades que se adoptan se encuentran tabuladas, para lo cual es necesario conocer la viscosidad del fluido.
4. Calcular el número Reynolds, Ecuación 8.33.

$$N_{Re} = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu}$$

Ecuación 8.33 - Número de Reynolds.

Donde v es la velocidad del fluido [m/s], ρ la densidad en [kg/m³], μ la viscosidad en [Pa·s] y D es el diámetro de la tubería [m].

5. Si el valor N_{Re} obtenido indica un régimen turbulento, se procede a determinar mediante los diagramas de Moody la rugosidad relativa e/D . Con este valor se obtiene f , el factor de fricción de Fanning, haciendo uso de otro diagrama. Si el N_{Re} indica régimen laminar se emplea la Ecuación 8.34.

$$f = \frac{64}{N_{Re}}$$

Ecuación 8.34 - Factor de fricción de Fanning.

6. Determinar la pérdida de carga por fricción mediante la Ecuación 8.35.

$$h_f = f \cdot \frac{(L_T)}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación 8.35 - Pérdida de carga.

Donde L_T es la longitud total de la tubería [m] que incluye la longitud de la cañería horizontal y la longitud equivalente de los accesorios que la componen (diagramas).

7. Se efectúan los mismos cálculos para de descarga o impulsión de la bomba, teniendo en cuenta la nomenclatura correspondiente, para obtener la carga total por fricción.
8. La carga total que ha de vencer la bomba, es decir, el trabajo desarrollado se calcula empleando la ecuación de Bernoulli, Ecuación 8.36.

$$W_B = \frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g_c} + \frac{h_f \cdot g}{g_c}$$

Ecuación 8.36 - Ecuación de Bernoulli.

Donde W_B es el trabajo mecánico desarrollado por la bomba [kg_f·m/kg], Δp la diferencia de presión entre los puntos de succión y descarga [kg_f/m²], Δz la diferencia de niveles [m], Δv la diferencia de velocidades [m/s], g la aceleración de la gravedad [m/s²] y g_c el factor de proporcionalidad de Newton [9,8 kg·m/kg_f·s²].

9. Por último, se estima la potencia mínima requerida por la bomba en [HP] (Ecuación 8.37), considerando el rendimiento mecánico del equipo.

$$P = \frac{W_B \cdot Q \cdot \rho}{\eta \cdot 76,04}$$

Ecuación 8.37 - Potencia mínima requerida.

En las secciones siguientes se detallan las bombas a adoptar, los datos específicos para el cálculo, resultados obtenidos, parámetros de selección y correspondiente equipo adoptado se encuentran en las Tabla 8.42 a Tabla 8.57.

8.7.1. Adopción de bomba (P-102)

Tabla 8.42 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-102)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,518	
Densidad [kg/m ³]	886,56	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0002868	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	22,60	54,32
Altura estática [m]	0,35	4,80
Diámetro interior [m]	0,01484	0,0856
Velocidad de flujo [m/s]	0,623	1,73
Número de Reynolds (Re)	47710,00	95430,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	1 válvula 2 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0265	0,025
Pérdida de carga (hf) [m]	1,442	60,559
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	171,758	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,384	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,01715 - 3/8	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/140	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	11,10	
Altura máxima de trabajo [m]	5,10	
Potencia [HP]	0,50	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.2. Adopción de bomba (P-103)

Tabla 8.43 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-103)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	9,366	
Densidad [kg/m ³]	847,75	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0003972	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	2,00	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	30,11	20,29
Altura estática [m]	0,95	4,80
Diámetro interior [m]	0,06787	0,0386
Velocidad de flujo [m/s]	0,621	1,864
Número de Reynolds (Re)	140300,00	269900,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0007	0,0012
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	1 válvula 1 codo de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0205	0,0215
Pérdida de carga (hf) [m]	0,349	4,748
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	107,652	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	4,163	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,07303 - 2 ½	0,04216 - 1 ¼
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-160/163	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	29,30	
Altura máxima de trabajo [m]	28,80	
Potencia [HP]	5,36	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.3. Adopción de bomba (P-108)

Tabla 8.44 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-108)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	9,903	
Densidad [kg/m ³]	848,15	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0003686	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	10,33	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	48,41	21,00
Altura estática [m]	4,00	0,70
Diámetro interior [m]	0,06787	0,0386
Velocidad de flujo [m/s]	0,675	1,97
Número de Reynolds (Re)	139900,00	269100,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0007	0,0012
Accesorios	1 válvula 3 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 2 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0205	0,021
Pérdida de carga (hf) [m]	0,561	4,80
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	2,479	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,101	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,07303 - 2 ½	0,04216 - 1 ¼
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/110	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	17,20	
Altura máxima de trabajo [m]	12,10	
Potencia [HP]	1,48	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.4. Adopción de bomba (P-109)

Tabla 8.45 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-109)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	10,438	
Densidad [kg/m ³]	804,63	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0002342	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	10,33	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	32,70	23,20
Altura estática [m]	0,70	0,70
Diámetro interior [m]	0,06787	0,0386
Velocidad de flujo [m/s]	0,692	2,077
Número de Reynolds (Re)	225800,00	434500,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0007	0,0012
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	1 válvula 2 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0195	0,021
Pérdida de carga (hf) [m]	0,361	5,303
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	6,081	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,249	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,07303 - 2 ½	0,04216 - 1 ¼
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/140	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	11,10	
Altura máxima de trabajo [m]	5,10	
Potencia [HP]	0,50	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.5. Adopción de bomba (P-202)

Tabla 8.46 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-202)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	6,67	
Densidad [kg/m ³]	960,55	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0002979	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,00	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	24,28	14,68
Altura estática [m]	1,30	2,55
Diámetro interior [m]	0,05642	0,03002
Velocidad de flujo [m/s]	0,648	2,115
Número de Reynolds (Re)	175100,00	323100,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,00078	0,0016
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	1 válvula 2 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0205	0,0225
Pérdida de carga (hf) [m]	0,341	4,538
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	9,045	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,282	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,06033 - 2	0,03340 - 1
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/121	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	9,00	
Altura máxima de trabajo [m]	3,40	
Potencia [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.6. Adopción de bomba (P-206)

Tabla 8.47 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-206)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	5,845	
Densidad [kg/m ³]	986,99	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0005636	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,25	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	28,53	60,68
Altura estática [m]	1,14	2,68
Diámetro interior [m]	0,05642	0,03002
Velocidad de flujo [m/s]	0,568	1,853
Número de Reynolds (Re)	95090,00	175500,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0008	0,0016
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	1 válvula 2 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,023	0,0215
Pérdida de carga (hf) [m]	0,449	17,924
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	20,331	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,571	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,06033 - 2	0,03340 - 1
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 40-125/142	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	24,70	
Altura máxima de trabajo [m]	5,40	
Potencia [HP]	0,74	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.7. Adopción de bomba (P-210)

Tabla 8.48 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-210)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,10	
Densidad [kg/m ³]	975	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0003874	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,38	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	10,05	38,52
Altura estática [m]	1,85	3,85
Diámetro interior [m]	0,00856	0,00856
Velocidad de flujo [m/s]	0,335	0,335
Número de Reynolds (Re)	23310,00	77710,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 1 codo de 90°	1 válvula 5 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,029	0,0255
Pérdida de carga (hf) [m]	1,17	43,803
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	57,373	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,027	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,01029 - 1/8	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/139	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	10,40	
Altura máxima de trabajo [m]	4,80	
Potencia [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.8. Adopción de bomba (P-211)

Tabla 8.49 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-211)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,609	
Densidad [kg/m ³]	963,4942	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0013	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,39	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	26,04	9,92
Altura estática [m]	0,85	2,9
Diámetro interior [m]	0,01484	0,00856
Velocidad de flujo [m/s]	0,7333	2,036
Número de Reynolds (Re)	11440,00	22880,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 3 codos de 90°	1 válvula 1 codo de 90°
Factor de fricción (f)	0,03	0,026
Pérdida de carga (hf) [m]	1,881	11,502
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	15,85	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,045	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,01715 - 3/8	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/121	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	9,00	
Altura máxima de trabajo [m]	3,40	
Potencia [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.9. Adopción de bomba (P-213)

Tabla 8.50 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-213)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,051	
Densidad [kg/m ³]	996,71	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0009227	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,38	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	6,65	103,93
Altura estática [m]	0,7	8,26
Diámetro interior [m]	0,00856	0,00856
Velocidad de flujo [m/s]	0,17	0,17
Número de Reynolds (Re)	10000,00	33350,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 1 codo de 90°	2 válvulas 4 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0318	0,0235
Pérdida de carga (hf) [m]	0,849	108,914
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	133,994	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,033	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,01029 - 1/8	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-160.1/177	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	10,60	
Altura máxima de trabajo [m]	8,70	
Potencia [HP]	0,74	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.10. Adopción de bomba (P-303)

Tabla 8.51 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-303)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	8,824	
Densidad [kg/m ³]	864,71	
Viscosidad [kg/m·s]	0,000443	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,00	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	30,15	34,76
Altura estática [m]	0,70	6,96
Diámetro interior [m]	0,06787	0,0386
Velocidad de flujo [m/s]	0,585	1,756
Número de Reynolds (Re)	128300,00	246900,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0007	0,0012
Accesorios	1 válvula 1 codo de 90°	1 válvula 5 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0208	0,0215
Pérdida de carga (hf) [m]	0,355	8,134
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	26,712	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,993	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,07303 - 2 ½	0,04216 - 1 ¼
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-250/236	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	11,20	
Altura máxima de trabajo [m]	14,80	
Potencia [HP]	1,48	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.11. Adopción de bomba (P-310)

Tabla 8.52 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-310)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	2,895	
Densidad [kg/m ³]	613,2	
Viscosidad [kg/m·s]	0,0001417	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	8,00	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	21,50	110,60
Altura estática [m]	0,35	1,10
Diámetro interior [m]	0,0386	0,01857
Velocidad de flujo [m/s]	0,576	2,248
Número de Reynolds (Re)	164200,00	277000,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0012	0,0018
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	2 válvulas 5 codos de 90° 1 válvula alivio
Factor de fricción (f)	0,022	0,024
Pérdida de carga (hf) [m]	0,463	57,077
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	58,708	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,508	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,04216 - 1 ¼	0,02134 - ½
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-160.1/177	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	10,50	
Altura máxima de trabajo [m]	8,40	
Potencia [HP]	0,74	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.12. Adopción de bomba (P-311)

Tabla 8.53 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-311)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	9,528	
Densidad [kg/m ³]	833,3	
Viscosidad [kg/m·s]	0,00003286	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	2,00	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	33,68	16,76
Altura estática [m]	0,85	0,70
Diámetro interior [m]	0,06787	0,04458
Velocidad de flujo [m/s]	0,632	1,896
Número de Reynolds (Re)	166700,00	320700,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0007	0,0012
Accesorios	1 válvula 3 codos de 90°	1 válvula 1 codo de 90°
Factor de fricción (f)	0,0205	0,021
Pérdida de carga (hf) [m]	0,390	3,831
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	4,489	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,174	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero al carbono	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,07303 - 2 ½	0,04216 - 1 ¼
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/139	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	10,40	
Altura máxima de trabajo [m]	4,80	
Potencia [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.13. Adopción de bomba (P-409)

Tabla 8.54 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-409)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,323	
Densidad [kg/m ³]	1005,48	
Viscosidad [kg/m·s]	0,01388	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,39	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	11,20	253,02
Altura estática [m]	0,73	11,50
Diámetro interior [m]	0,03002	0,01484
Velocidad de flujo [m/s]	0,102	0,388
Número de Reynolds (Re)	362,929	745,417
Rugosidad relativa (e/d)	0,0016	0,0018
Accesorios	1 válvula 1 codo de 90°	2 válvula 10 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,176	0,086
Pérdida de carga (hf) [m]	0,068	23,25
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	40,502	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,064	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,03340 - 1	0,01715 - 3/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-250/206	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	8,90	
Altura máxima de trabajo [m]	12,00	
Potencia [HP]	1,00	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.14. Adopción de bomba (P-410)

Tabla 8.55 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-410)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,228	
Densidad [kg/m ³]	938,82	
Viscosidad [kg/m·s]	0,000467	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,40	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	10,82	9,72
Altura estática [m]	0,95	3,10
Diámetro interior [m]	0,01148	0,00856
Velocidad de flujo [m/s]	0,526	0,935
Número de Reynolds (Re)	24820,00,	62060,00
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90°	1 válvula 2 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,029	0,026
Pérdida de carga (hf) [m]	0,945	11,27
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	14,782	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,019	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,01372 - 1/4	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-125.1/121	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	9,40	
Altura máxima de trabajo [m]	3,70	
Potencia [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.15. Adopción de bomba (P-411)

Tabla 8.56 - Especificaciones de la bomba.

Bomba P-411		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,155	
Densidad [kg/m ³]	1077,75	
Viscosidad [kg/m·s]	0,1044	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,40	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	9,50	236,88
Altura estática [m]	0,73	6,00
Diámetro interior [m]	0,01857	0,01148
Velocidad de flujo [m/s]	0,12	0,291
Número de Reynolds (Re)	33,045	84,981
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 2 codo de 90°	2 válvulas 9 codos de 90°
Factor de fricción (f)	1,937	0,753
Pérdida de carga (hf) [m]	0,989	238,662
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	250,815	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,204	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,02134 - 1/2	0,01372 - 1/4
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-160.1/172	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	9,40	
Altura máxima de trabajo [m]	6,90	
Potencia [HP]	0,50	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.7.16. Adopción de bomba (P-412)

Tabla 8.57 - Especificaciones de la bomba.

Bomba (P-412)		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,086	
Densidad [kg/m ³]	1112,89	
Viscosidad [kg/m·s]	0,2115	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	0,41	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	8,45	236,22
Altura estática [m]	0,73	5,00
Diámetro interior [m]	0,01484	0,00856
Velocidad de flujo [m/s]	0,103	0,287
Número de Reynolds (Re)	13,536	32,487
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 1 codo de 90°	2 válvulas 2 codos de 90°
Factor de fricción (f)	4,728	1,97
Pérdida de carga (hf) [m]	2,672	830,087
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	842,646	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,393	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,01715 - 3/8	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Código de equipo	NK 32-160/154	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	12,50	
Altura máxima de trabajo [m]	5,80	
Potencia [HP]	0,50	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

8.8. Adopción de ventiladores de proceso

Dentro del proceso de producción existe la necesidad de transportar corrientes gaseosas. Para ello, se presentan las unidades de ventiladores cuya función principal es dar el impulso necesario a las mismas.

En la Tabla 8.58 se pueden observar los distintos equipos a adoptar.

Tabla 8.58 - Resumen de los ventiladores por adoptar.

Ventiladores					
Código	Conexión entre equipos	Corriente	Denominación	Caudal [m ³ /h]	Tipo de ventilador
K-214	V-201 con ME-301	F	Solución amoniacal	3249,000	Centrífugo
K-215	E-204 con E-205	H	Agua amoniacal diluida	8903,000	Centrífugo
K-304	ME-301 con E-302	N	Solución amoniacal recuperada	2717,000	Centrífugo

Elaboración propia.

En las secciones siguientes, Tabla 8.59, Tabla 8.60 y Tabla 8.61, se detallan los ventiladores adoptados.

8.8.1. Adopción de ventilador (K-214)

Tabla 8.59 - Especificaciones del ventilador.

Ventilador (K-214)	
Datos de la corriente para la adopción	
Caudal volumétrico [m ³ /h]	3249,00
Temperatura [°C]	59,82
Presión [kg/cm ²]	1,00
Ventilador adoptado	
Modelo	CB-400
Firma	MaDeVa S.R.L
Tipo	Centrífugos Buffalos
Caudal de alimentación admisible [m ³ /h]	3600,00
Potencia de motor [HP]	1,00

Elaboración propia. Datos: MaDeVa S.R.L.

8.8.2. Adopción de ventilador (K-215)

Tabla 8.60 - Especificaciones del ventilador.

Ventilador (K-215)	
Datos de la corriente para la adopción	
Caudal volumétrico [m ³ /h]	8903,00
Temperatura [°C]	140,00
Presión [kg/cm ²]	1,25
Ventilador adoptado	
Modelo	CB-530
Firma	MaDeVa S.R.L
Tipo	Centrífugos Buffalos
Caudal de alimentación admisible [m ³ /h]	10200,00
Potencia de motor [HP]	3,00

Elaboración propia. Datos: MaDeVa S.R.L.

8.8.3. Adopción de ventilador (K-304)

Tabla 8.61 - Especificaciones del ventilador.

Ventilador (K-304)	
Datos de la corriente para la adopción	
Caudal volumétrico [m ³ /h]	2717,00
Temperatura [°C]	70,00
Presión [kg/cm ²]	1,00
Ventilador adoptado	
Modelo	CB-350
Firma	MaDeVa S.R.L
Tipo	Centrífugos Buffalos
Caudal de alimentación admisible [m ³ /h]	3300,00
Potencia de motor [HP]	0,50

Elaboración propia. Datos: MaDeVa S.R.L.

8.9. Adopción de soplador (K-305)

La corriente gaseosa proveniente del condensador debe dirigirse a la columna de absorción con un aumento de presión, para ello se debe adoptar un soplador, en la Figura 8.7 y Tabla 8.62 se especifica las características.



Figura 8.7 - Ilustración del soplador adoptador.

Fuente: KAESER Compresores.

Tabla 8.62 - Especificaciones del soplador.

Soplador (K-305)	
Datos de la corriente para la adopción	
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,2036
Temperatura de entrada [°C]	43,00
Presión [kg/cm ²]	2,00
Soplador adoptado	
Modelo	BB 52 C
Firma	KAESER Compresores
Presión diferencial máxima [kg/cm ²]	1,02
Caudal máximo [m ³ /h]	252
Capacidad de aspiración máxima [m ³ /h]	252
Potencia nominal máxima motor [HP]	10,06
Diámetro nominal de conexión DN	50
Medida con capota	
Ancho [m]	0,8
Profundidad [m]	0,79
Altura [m]	1,12
Peso máximo con capota [kg]	210

Elaboración propia. Datos: KAESER Compresores.

8.10. Diagrama de flujo final

En la Figura 8.8 se puede observar el diagrama de flujo final, donde se incluyen todos los equipos involucrados en la producción de monoetanolamina.

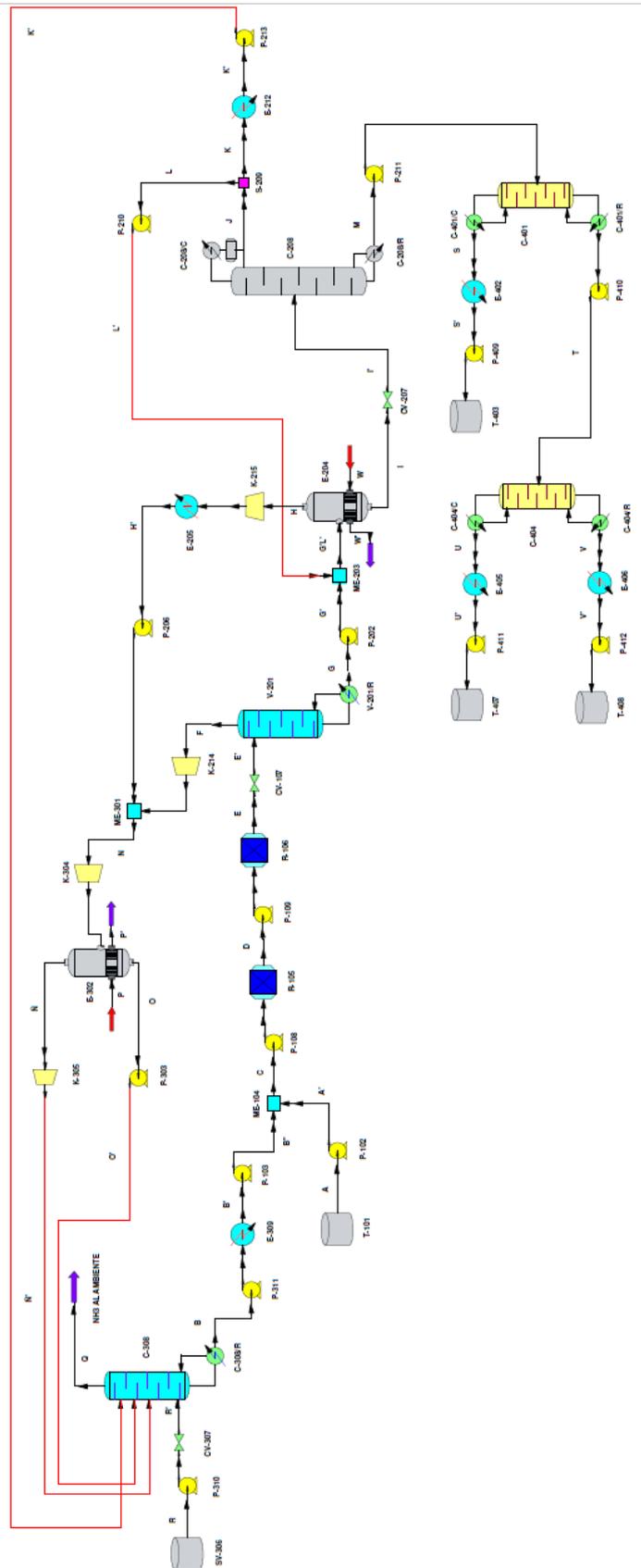


Figura 8.8 - Diagrama de flujo final.



CAPÍTULO 9

SERVICIOS AUXILIARES

9. Servicios auxiliares

9.1. Introducción

Para mantener en actividad una planta de producción son necesarios numerosos servicios auxiliares, en este capítulo se va hablar de los mismos, utilizados diariamente y anualmente en la producción de MEA. Estos son agua, gas natural, electricidad, vapor, fluido térmico, entre otros.

Además, se dimensionan y optan los equipos requeridos para el uso de estos servicios y su distribución.

Teniendo en cuenta las condiciones que se plantearon en capítulos anteriores, se diagrama un sistema para el abastecimiento de agua, una bomba de extracción subterránea, tanques de almacenamiento y sistemas de cañerías para su distribución.

Luego se adopta una caldera de media presión para satisfacer la demanda de vapor de agua saturado, así como también la que se utiliza para proveer el fluido térmico requerido.

Se calcula la demanda de gas natural. También se obtiene la cantidad de nitrógeno necesario para el almacenamiento del OE, su almacenamiento y condiciones.

9.2. Refrigeración con nitrógeno

Para el almacenamiento del óxido de etileno se necesita nitrógeno líquido como refrigerante, para permanecer en las condiciones requeridas. Este circula por medio de un serpentín en el interior del tanque de OE, una vez que se produce el cambio de fase se elimina al ambiente.

Para determinar la cantidad de nitrógeno necesario, se debe calcular el calor de pérdida con el medio ambiente, en el tanque de OE. En la Ecuación 9.1 se muestra el cálculo de este calor.

$$Q_{\text{pérd}} = m_{\text{OE}} \cdot C_{\text{plOE}} \cdot (T_{\text{ambiente}} - T_{\text{almacenamiento}})$$

Ecuación 9.1 - Calor disipado al ambiente.

Con este valor y el calor latente de vaporización del nitrógeno, se puede calcular el caudal del mismo debido al cambio de fase, Ecuación 9.2. En la Tabla 9.1 se muestran todos los valores obtenidos.

$$Q_{\text{pérd}} = m_{\text{N}_2} \cdot \lambda_V$$

Ecuación 9.2 - Cálculo de masa.

Tabla 9.1 - Resultados obtenidos.

Datos	Valores
m_{OE} [kg/día]	11021,04
T_{ambiente} [°C]	25
$T_{\text{almacenamiento}}$ [°C]	10,51
C_{plOE} [kcal/kg·°C]	0,4714
$Q_{\text{pérd}}$ [kcal/día]	75285,88
λ_V [kcal/kg]	39,21
m_{N_2} [kg/día]	1920

Elaboración propia.

9.2.1. Adopción de tanque de nitrógeno (T-501)

La adopción de este tanque se realiza igual que en los casos anteriores, en este caso particular, es un tanque criogénico, el cual cuenta con un aislante y un envolvente. La densidad del nitrógeno es 669,25 kg/m³, por lo cual el tanque debe contar con un volumen de 3 m³/día, Tabla 9.2. Teniendo en cuenta una autonomía de 6 días el volumen del tanque es de 18 m³. En la Figura 9.1 se puede ver una ilustración de este tanque.

Tabla 9.2 - Tanque de nitrógeno.

Tanque de almacenamiento de Nitrógeno (T-501)	
Fabricante	Ruvac Technology
Material del tanque interno	Acero inoxidable
Material del tanque externo	Acero al carbono
Material del aislante	Perlita
Capacidad máxima [m ³]	20
Temperatura [°C]	-170
Presión [kg/cm ²]	9,80
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	3,00
Altura [m]	6,60
Relación de esbeltez	2,20

Elaboración propia. Fuente: Ruvac Technology.



Figura 9.1 - Ilustración del tanque.

Fuente: Ruvac Technology.

9.3. Agua de enfriamiento

El agua es el medio de enfriamiento de muchas corrientes y etapas, esto se resuelve siendo recuperada y enfriada en torres de enfriamiento, las cuales se van a dimensionar sabiendo el caudal. En la Tabla 9.3 se detalla el consumo diario para cada equipo y al final el consumo total.

Tabla 9.3 - Consumo diario de agua de enfriamiento.

Etapas	Consumo diario de agua [m ³ /día]
Intercambiador de calor E-205	3728,71
Condensador C-208/C	130,33
Intercambiador de calor E-212	2,72
Condensador E-302	839,95
Intercambiador de calor E-309	120,03
Condensador C-401/C	118,10
Intercambiador de calor E-402	25,27
Condensador C-404/C	44,76
Intercambiador de calor E-405	23,27
Intercambiador de calor E-406	18,36
Pérdida de agua por evaporación (3% valor supuesto)	151,55
Caudal de agua adicional para compensar pérdidas	151,55
Agua total [m ³ /día]	5354,60
Agua total [kg/día]	5354600

Elaboración propia.

9.3.1. Adopción de la torre de enfriamiento

Para enfriar el agua proveniente de las etapas de intercambio de calor y poder recircularlas al proceso nuevamente, se utilizan las torres de enfriamiento. A continuación, se procede al cálculo de la energía absorbida por la torre (Q_{abs}), por medio de la Ecuación 9.3, mostrando en la Tabla 9.4 los resultados. La masa de agua a utilizar (m_{agua}) para el cálculo contempla las pérdidas, además del caudal adicional para compensarlas.

$$Q_{abs} = m_{agua} \cdot C_{p_a} \cdot \Delta T$$

Ecuación 9.3 - Energía absorbida en la torre.

Tabla 9.4 - Cálculo de la energía absorbida.

Nomenclatura	Valor
Cp del agua [kcal/kg·°C]	1
Temperatura de entrada [°C]	42
Temperatura de salida [°C]	20
ΔT	-22
Masa de agua [kg/día]	5354600
Q_{abs} [kcal/día]	-117801200

Elaboración propia.

Se consultó a la empresa SINAX, se verificó según los catálogos que presenta y el caudal que se requiere, que se van a adoptar dos torres de enfriamiento del tipo compactada fabricada

con PRFV y pileta de recolección, Figura 9.2 y Figura 9.3. Cuentan con ventiladores axiales que poseen palas de material plástico o aluminio permitiendo ajustar el ángulo de ataque a fin de lograr un punto de operación más eficiente con el consecuente ahorro de energía. Las dimensiones se muestran en la Tabla 9.5.



Figura 9.2 - Torres de enfriamiento 1.

Fuente: SINAX SA

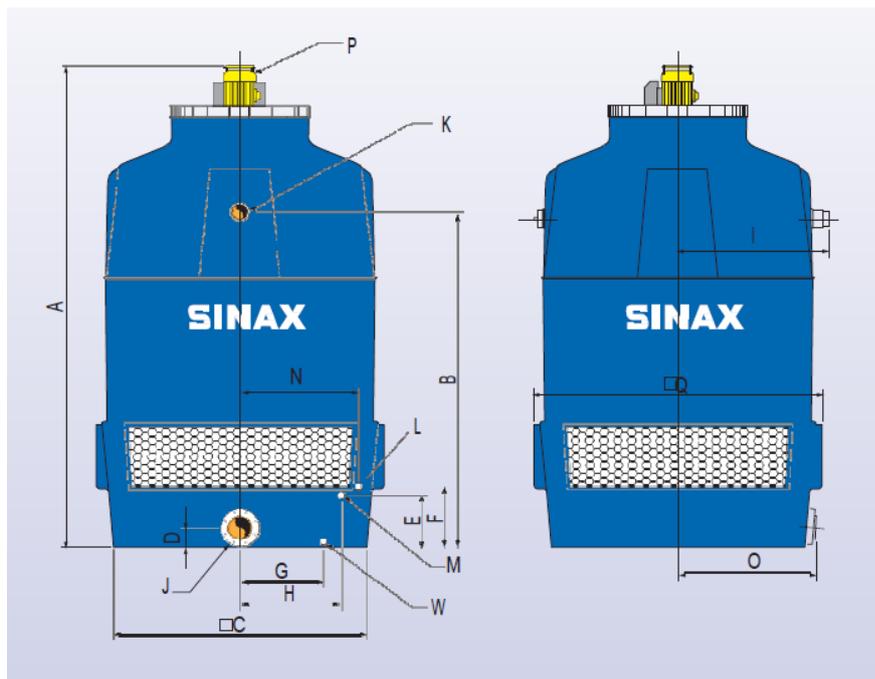


Figura 9.3 - Torres de enfriamiento 2.

Fuente: SINAX SA.

Tabla 9.5 - Adopción de las torres de enfriamiento CT-502 y CT-503.

Datos	Valor
Proveedor	SINAX SA
Modelo	EWK 1260
Potencia [HP]	20
Peso en operación [kg]	9665
Peso neto [kg]	2665
Caudal de trabajo [m ³ /h]	115
Cantidad de equipos	2

Elaboración propia. Datos: SINAX SA

Aquí debajo en la Tabla 9.6 se puede ver las dimensiones de la torre, de acuerdo a los parámetros marcados en la Figura 9.3.

Tabla 9.6 - Dimensiones del equipo.

Dimensiones de la torre de enfriamiento							
A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	E [m]	F [m]	G [m]	H [m]
4,85	3,19	4,15x2,93	0,18	0,39	0,45	0,80	0,80
I [m]	J [pulg]	K [pulg]	L [pulg]	M [pulg]	N [m]	O [m]	Q [m]
1,66	2x8	4x4	2x1	2x2	2,00	1,49	4,28x3,06

Elaboración propia. Datos: SINAX SA.

9.3.2. Diagrama de enfriamiento

En la Figura 9.4 se muestra el diagrama de abastecimiento de agua de enfriamiento.

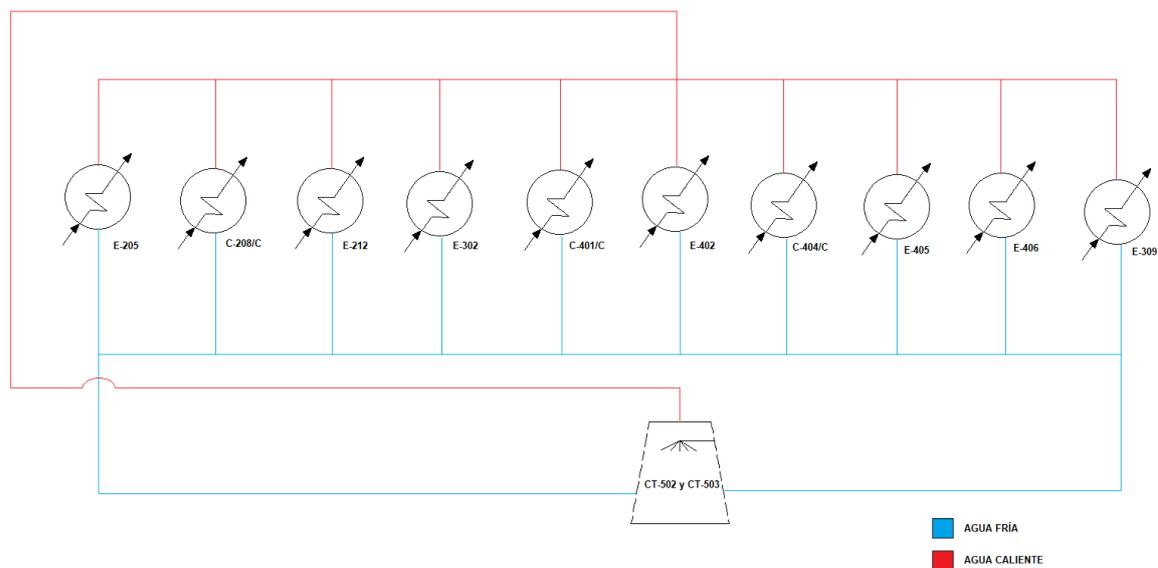


Figura 9.4 - Diagrama de abastecimiento de agua de enfriamiento.

9.3.3. Adopción de bombas y cañerías

En las Tabla 9.7 a Tabla 9.12 siguientes se muestran las adopciones de bombas que transportan el agua de enfriamiento para el ingreso a los equipos.

Tabla 9.7 - Adopción P-509.

Bomba P-509		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	40,00	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	101,69	79,19
Altura estática [m]	4	5
Diámetro interior [m]	0,15917	0,06787
Velocidad de flujo [m/s]	0,512	2,653
Número de Reynolds (Re)	149700	219100
Rugosidad relativa (e/d)	0,00026	0,00061
Accesorios	1 válvula 3 codos de 90°	2 válvulas 7 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0182	0,019
Pérdida de carga (hf) [m]	0,46	9,454
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	11,331	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	2,208	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,16628 - 6	0,07303 - 2 ½
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 40-125/116	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	42,50	
Altura manométrica [m]	12,5	
Potencia máx. de la bomba [HP]	2,95	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.8 - Adopción P-510.

Bomba P-510		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	161,00	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	152,54	308,28
Altura estática [m]	2,05	2,05
Diámetro interior [m]	0,26378	0,15917
Velocidad de flujo [m/s]	0,764	2,059
Número de Reynolds (Re)	245700	498800
Rugosidad relativa (e/d)	0,000176	0,000265
Accesorios	1 válvula 1 codos de 90° 1 conexión en T	3 válvulas 10 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0166	0,0162
Pérdida de carga (hf) [m]	0,383	13,782
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	14,583	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	11,435	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,27305 - 10	0,16628 - 6
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 80-160/151	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	180,90	
Altura manométrica [m]	21,5	
Potencia máx. de la bomba [HP]	20,11	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.9 - Adopción P-511.

Bomba P-511		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	5,97	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	28,80	71,18
Altura estática [m]	2,55	2,15
Diámetro interior [m]	0,04458	0,03002
Velocidad de flujo [m/s]	0,907	1,894
Número de Reynolds (Re)	43430	100200
Rugosidad relativa (e/d)	0,00095	0,0014
Accesorios	1 válvula 1 conexión en T	2 válvulas 6 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0245	0,0235
Pérdida de carga (hf) [m]	0,604	22,981
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	23,603	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,687	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,04826 - 1 ½	0,0334 - 1
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-160/173	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	14,70	
Altura manométrica [m]	8,20	
Potencia máx. de la bomba [HP]	1,00	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.10 - Adopción P-512.

Bomba P-512		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	2,83	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	19,33	49,81
Altura estática [m]	2,55	2,15
Diámetro interior [m]	0,03002	0,01857
Velocidad de flujo [m/s]	0,899	2,201
Número de Reynolds (Re)	30060	64020
Rugosidad relativa (e/d)	0,0014	0,0018
Accesorios	1 válvula 1 conexión en T	2 válvulas 5 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,027	0,0258
Pérdida de carga (hf) [m]	0,645	27,633
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	28,296	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,391	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,0334 – 1	0,02134 - 1/2
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-125.1/140	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	10,70	
Altura manométrica [m]	4,80	
Potencia máx. de la bomba [HP]	0,50	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.11 - Adopción P-513.

Bomba P-513		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	5,97	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	77,49	19,37
Altura estática [m]	2	1,51
Diámetro interior [m]	0,04458	0,03002
Velocidad de flujo [m/s]	0,907	1,894
Número de Reynolds (Re)	43430	100200
Rugosidad relativa (e/d)	0,00095	0,0014
Accesorios	2 válvulas 4 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 4 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0245	0,0235
Pérdida de carga (hf) [m]	1,625	6,254
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	7,806	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,227	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,04826 - 1 ½	0,0334 - 1
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-125.1/121	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	9,00	
Altura manométrica [m]	3,40	
Potencia máx. de la bomba [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.12 - Adopción P-514.

Bomba P-514		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	223,108	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	164,03	115,56
Altura estática [m]	3,42	4
Diámetro interior [m]	0,26378	0,15917
Velocidad de flujo [m/s]	1,058	2,854
Número de Reynolds (Re)	245700	498800
Rugosidad relativa (e/d)	0,00016	0,00028
Accesorios	1 válvula 4 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 4 codos de 90° 2 conexiones en T
Factor de fricción (f)	0,0168	0,0167
Pérdida de carga (hf) [m]	0,417	5,326
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	6,74	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	7,324	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,27305 – 10	0,16628 - 6
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 125-200/196-180	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	250,60	
Altura manométrica [m]	9,00	
Potencia máx. de la bomba [HP]	10.06	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

En las Tabla 9.13 a Tabla 9.17 se observan las bombas correspondientes a la salida de agua de enfriamiento.

Tabla 9.13 - Adopción P-515.

Bomba P-515		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	40,00	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	188,55	54,5
Altura estática [m]	1,4	4,3
Diámetro interior [m]	0,15917	0,06787
Velocidad de flujo [m/s]	0,512	2,653
Número de Reynolds (Re)	149700	219100
Rugosidad relativa (e/d)	0,00026	0,00061
Accesorios	2 válvulas 7 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 2 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0182	0,019
Pérdida de carga (hf) [m]	0,852	6,506
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	10,676	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	2,08	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,16628 - 6	0,07303 - 2 ½
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 40-125/116	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	42,50	
Altura manométrica [m]	12,50	
Potencia máx. de la bomba [HP]	2,95	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.14 - Adopción P-516.

Bomba P-516		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	161,00	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	459,50	110,03
Altura estática [m]	1,85	4,3
Diámetro interior [m]	0,26378	0,15917
Velocidad de flujo [m/s]	0,764	2,059
Número de Reynolds (Re)	245700	498800
Rugosidad relativa (e/d)	0,000176	0,000265
Accesorios	3 válvulas 8 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 2 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0166	0,0162
Pérdida de carga (hf) [m]	1,154	4,919
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	8,94	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	7,011	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,27305 - 10	0,16628 - 6
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 125-250/269	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	202,00	
Altura manométrica [m]	9,30	
Potencia máx. de la bomba [HP]	10,06	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.15 - Adopción P-517.

Bomba P-517		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	3,60	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	106,16	113,17
Altura estática [m]	2	4,3
Diámetro interior [m]	0,0386	0,01857
Velocidad de flujo [m/s]	0,899	2,201
Número de Reynolds (Re)	37940	64020
Rugosidad relativa (e/d)	0,0012	0,0018
Accesorios	3 válvulas 6 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 4 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0258	0,0258
Pérdida de carga (hf) [m]	2,683	68,734
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	68,184	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	1,196	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,04216 - 1 ¼	0,02134 - 1/2
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-250/236	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	11,20	
Altura manométrica [m]	14,8	
Potencia máx. de la bomba [HP]	1,48	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.16 - Adopción P-518.

Bomba P-518		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	0,766	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	111,68	30,34
Altura estática [m]	4	0,7
Diámetro interior [m]	0,01857	0,00856
Velocidad de flujo [m/s]	0,594	2,555
Número de Reynolds (Re)	19210	30870
Rugosidad relativa (e/d)	0,0018	0,0018
Accesorios	1 válvula 3 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 3 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0291	0,028
Pérdida de carga (hf) [m]	6,289	37,883
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	41,29	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,154	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,02134 – ½	0,01029 - 1/8
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-160.1/137	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	7,60	
Altura manométrica [m]	4,30	
Potencia máx. de la bomba [HP]	0,34	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.17 - Adopción P-519.

Bomba P-519		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	223,108	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	153,18	87,61
Altura estática [m]	4,3	0,37
Diámetro interior [m]	0,26378	0,15917
Velocidad de flujo [m/s]	1,058	2,854
Número de Reynolds (Re)	245700	498800
Rugosidad relativa (e/d)	0,00016	0,00028
Accesorios	1 válvula 2 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 2 codos de 90° 1 conexión en T
Factor de fricción (f)	0,0168	0,0167
Pérdida de carga (hf) [m]	0,389	4,038
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	0,914	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,994	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,27305 – 10	0,16628 - 6
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 150-200/218-200	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	248,30	
Altura manométrica [m]	4,50	
Potencia máx. de la bomba [HP]	4,02	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

9.4. Servicio de agua

El parque industrial PLIZ, cuenta con un suministro de agua potable que va a ser utilizada para usos generales como baños, administración, laboratorio, etc. Por otra parte, el agua requerida para enfriamiento en el proceso se va a obtener de perforaciones subterráneas, la cual es bombeada y almacenada para su uso.

El consumo total de este recurso está determinado por:

- Agua para cubrir pérdidas en torres de enfriamiento.
- Agua requerida en caso de incendios.

9.4.1. Agua requerida en caso de incendios

En casos de emergencia se cuenta con un tanque de agua de 2000 litros cuyo único fin es mantener la seguridad en caso de incendio.

9.4.2. Agua para cubrir pérdidas en torres de enfriamiento

El consumo de agua de enfriamiento es requerido por condensadores e intercambiadores de calor de las distintas etapas del proceso, como se vio en la Tabla 9.3. Estas cantidades se consideran un gasto constante, esto abarca un porcentaje del 3% con respecto al total de agua.

9.4.3. Adopción de tanque de almacenamiento para el agua

Se decide la adopción de 3 tanques, uno correspondientes en caso de incendios (T-504) y los otros 2 se deben a las pérdidas que pudieran producirse en la torre de enfriamiento (T-505, T-506).

- Tanque de almacenamiento correspondiente en caso de incendios T- 504.

En la Tabla 9.18 se muestra las características del tanque destinado a posibles incendios.

Tabla 9.18 - Adopción del tanque T- 504.

Datos de T-504	
Fabricante	Duraplas SRL
Material de construcción	Polietileno
Posición del tanque	Horizontal
Capacidad máxima [m ³]	2
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo [m]	1,25
Altura [m]	1,86
Largo [m]	1,80

Elaboración propia. Datos: Duraplas SRL.

- Tanques de almacenamiento de agua para pérdidas en las torres de enfriamiento T-505 y T-506.

Como se mencionó, el agua requerida para el tanque es el 3% del total, considerada como pérdidas, por lo cual aquí debajo se observa el caudal de agua a almacenar.

$$\text{Cantidad de agua} = 5354,60 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 0,03 = 151,55 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Esta cantidad de agua es obtenida de la perforación subterránea del parque industrial, a una profundidad de 100 metros y una temperatura de 18 °C. El método de adopción del tanque es igual al realizado en el capítulo 8.

Considerando una autonomía de 1 día, se tiene un volumen de 300 m³, en la Tabla 9.19 se puede ver las distintas características del tanque adoptado.

Tabla 9.19 - Adopción de los tanques T-505 y T-506.

Datos de T-505 y T-506	
Fabricante	Bricher
Material de construcción	Resina poliéster insaturada, PRFV
Posición del tanque	Vertical
Capacidad máxima [m ³]	150,00
Cantidad de tanques requeridos	2
Diámetro externo [m]	4,00
Altura [m]	13,00
Relación de esbeltez	3,25

Elaboración propia. Datos: Bricher.

9.5. Vapor saturado

El vapor de agua saturada que se va a utilizar a la entrada está a 6,91 atm y a una temperatura de 165 °C, y sale luego como agua saturada líquida, a una presión de 1,41 atm y 110 °C. En la Tabla 9.20 se puede ver los equipos que requieren de este servicio.

Tabla 9.20 - Características del vapor saturado a utilizar.

Equipos	Calor [kcal/h]	Masa de vapor [kg/h]
Reactor isotérmico R-105	116830,55	212,77
Reactor adiabático R-106	8728,69	15,90
Rehervidor V-201/R	652419,00	1188,16
Evaporador E-204	3397340,00	6187,11
Rehervidor C-208/R	21280,10	48,58
Rehervidor C-308/R	71483,90	130,18
Total	4268082,24	7782,70

Elaboración propia.

9.5.1. Adopción de la caldera de vapor

La caldera (SG - 507) a adoptar es de media presión, se recurre a la empresa Fontanet, que cuenta con calderas diseñadas para quemar combustibles líquidos pesados o livianos y/o gaseosos.

Realizan un moderno diseño de calderas humotubulares de tres pasos efectivos de gases, fondo húmedo, elevados coeficientes de transmisión del calor y alto rendimiento térmico. Este tipo de caldera es la muy conveniente para la generación de vapor de uso industrial, ésta se puede observar en la Figura 9.5 el diagrama que lo representa.

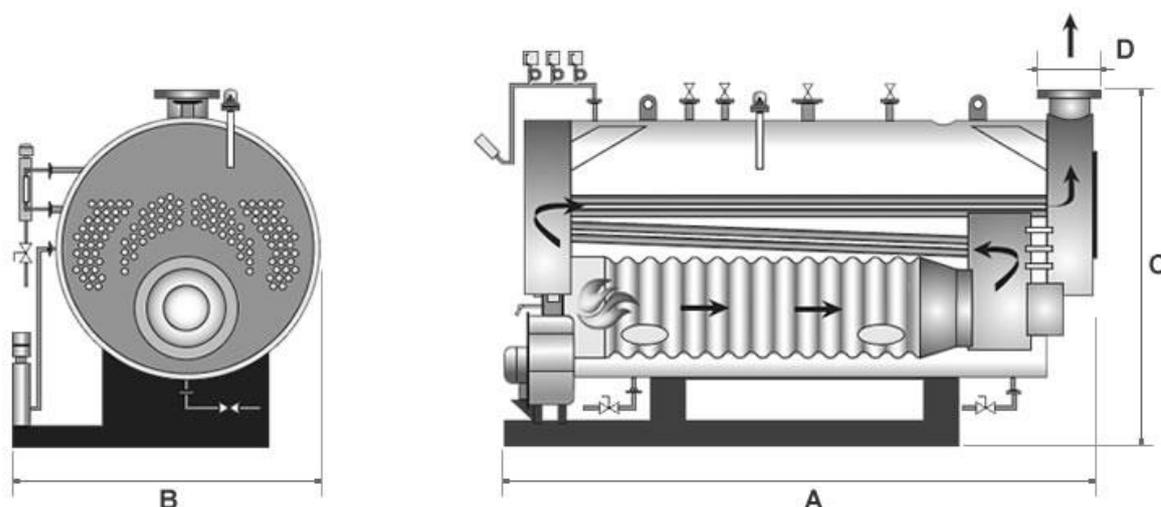


Figura 9.5 - Representación de la caldera de vapor saturado.

Contiene un 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. Además, posee un margen de seguridad generoso entre el hogar y el nivel de agua, que permite una operación más segura.

También contiene fondo húmedo con cámara de retorno de gases totalmente refrigerada sin parte refractaria. Bocas de inspección y limpieza, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables. Construcción tipo paquete, con todos los equipos auxiliares incorporados, sistema que permite un rápido montaje y puesta en marcha luego de realizar conexiones de agua, combustible, vapor y electricidad. En la Tabla 9.21 se pueden ver todas las características de la adopción.

Tabla 9.21 - Adopción de la caldera de vapor saturado.

Datos de SG-507	
Fabricante	Fontanet
Modelo	LNR 640
Tipo	Humotubular con tres pasos, fondo húmedo
Construcción	Tipo paquete
Combustibles	Líquido y/o gas
Capacidad térmica [kcal/h]	4600000
Producción de vapor [kg/h]	8100 - 9100
Presión de trabajo [atm]	7
Detalles de construcción	
A - Largo total [m]	7,15
B - Ancho total [m]	3,75
C - Alto total [m]	3,40
D - Diámetro de chimenea [m]	0,75

Elaboración propia. Datos: Fontanet

9.5.2. Balance de masa para determinar pérdidas de agua

Se debe realizar un balance de masa en la caldera para tener en cuenta el retorno de condensados y las pérdidas que pueden ocurrir, y así determinar el agua de reposición. Esto se puede ver en la Tabla 9.22.

Tabla 9.22 - Pérdidas de agua.

Datos						
Consumo de vapor [kg/día]	186784,8					
Retorno de condensados [kg/h]	R-105	R-106	V-201/R	E-204	C-208/R	C-308/R
	5106,48	381,6	28515,84	148490,64	1165,92	3124,32
Pérdidas de retorno (10%)	510,648	38,16	2851,584	14849,06	116,592	312,432
Reposición de agua [kg/día]	18678,48					

Elaboración propia.

9.5.3. Adopción de bombas y cañerías

La caldera opera en circuito cerrado con pérdidas calculadas recientemente, la alimentación es realizada por la bomba P-520 que recircula los condensados al generador de vapor, Tabla 9.23.

Tabla 9.23 - Adopción de la bomba y cañerías.

Bomba P-520		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	8,26	
Densidad [kg/m ³]	1000	
Viscosidad [kg/ms]	0,001	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	255,98	16,7
Altura estática [m]	2,5	0,5
Diámetro interior [m]	0,05642	0,03002
Velocidad de flujo [m/s]	0,803	2,619
Número de Reynolds (Re)	54300	100200
Rugosidad relativa (e/d)	0,00072	0,0014
Accesorios	3 válvulas 13 codos 90° 4 conexiones en T	1 válvula 1 codo 90°
Factor de fricción (f)	0,023	0,0238
Pérdida de carga (hf) [m]	4,03	5,461
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	7,908	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,318	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,06033 - 2	0,0334 - 1
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-125.1/140	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	10,70	
Altura manométrica [m]	4,80	
Potencia [HP]	0,50	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Las cañerías por utilizar son del material acero inoxidable, con un diámetro de ¾ de pulgadas. Permitiendo así que no exceda la velocidad máxima de 30 m/s.

9.5.4. Diagrama de abastecimiento de vapor

En la Figura 9.6 se puede observar el diagrama de abastecimiento.

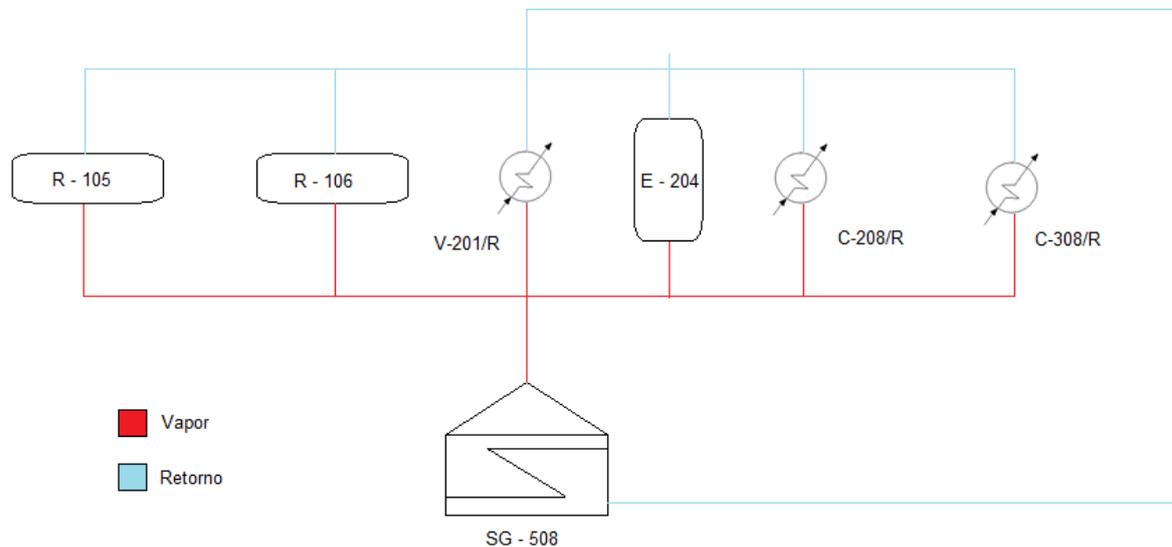


Figura 9.6 - Diagrama de abastecimiento de vapor.

9.6. Fluido térmico

En el capítulo anterior se mencionó que el calor que se requiere para el funcionamiento de los reboiler's de las torres de destilación se debe entregar por medio de un fluido térmico en un circuito cerrado.

En dicho circuito el fluido térmico pasa a través del intercambiador de calor por los tubos otorgando el calor necesario para evaporar una cantidad necesaria de ETAS.

A continuación, se explica la composición del sistema mencionado y los fluidos que se emplean en el mismo.

9.6.1. Diseño del equipo de calentamiento

El circuito cerrado se compone de:

- Calentador de aceite térmico.
- Bomba que recircula el aceite térmico.
- Elementos auxiliares: Válvulas de interrupción, filtros, válvulas de regulación, etc.
- Seguridades e instrumentación.
- Tanque de expansión de aceite.
- Fluido térmico.
- Consumidor de energía final.

9.6.2. Elección del fluido térmico

Como se mencionó antes, existen diferentes marcas de fluido térmico en el mercado. Los aceites térmicos o fluidos de transferencia de calor son ampliamente utilizados para transportar energía térmica en proceso de calentamiento indirecto. Se utilizan principalmente

en aplicaciones de proceso de alta temperatura donde las temperaturas del líquido trabajan entre 150 y 400 °C. En la Tabla 9.24 se observan los distintos tipos.

Tabla 9.24 - Fluidos térmicos.

Fluido térmico	Temperatura de servicio [°C]
Diphyl DT	330
Diphyl KT	350
Diphyl	398
Dowtherm A	400
Dowtherm G	371
Dowtherm LF	343
Dowtherm Q	329
Essotherm 650	320
Marlotherm L	350
Marlotherm N	300
Marlotherm S	329
Mobiltherm 603	290
Therminol SP	315
Therminol 66	332
Therminol 59	315
Therminol 75	360
Therminol VP-1	385
Shell Thermia Oil E	310

Elaboración propia.

En base a las temperaturas que requieren nuestros equipos, el aceite elegido es el Therminol 66, fabricado por Eastman Chemical.

Therminol 66 es un fluido sintético de transferencia de calor altamente estable de alto rendimiento que ofrece una vida útil prolongada y tasas de recarga muy bajas, lo que resulta en costos de funcionamiento reducidos y tiempo de inactividad mínimo para operaciones a temperaturas de hasta 345 °C. Diseñado para su uso en sistemas que operan a presión atmosférica o cerca de ella, ofrece ahorros potenciales tanto en costos de capital como operativos. En la Tabla 9.25 se muestran las propiedades.

Tabla 9.25 - Therminol 66.

Propiedades	
Apariencia	Líquido amarillo pálido translucido
Composición	Terfenilo modificado
Temperatura global máxima [°C]	343,33
Temperatura de ebullición normal [°C]	358,89
Punto de inflamación [°C]	183,89
Punto de ignición [°C]	212,22
Temperatura de autoignición [°C]	399
Viscosidad Cinemática a 260 °C [kg/m·s]	$6,30 \cdot 10^{-7}$
Densidad a 25 °C [kg/m ³]	1005,34
Capacidad calorífica [kcal/h·m·°C]	0,321
Presión de vapor a 150 °C [kg/cm ²]	0,12

Elaboración propia. Datos: Eastman Chemical.

Los aceites térmicos tienen una vida útil aproximadamente de 3 a 5 años, se van degradando con el tiempo y uso. Cuando se degradan, pierden sus características originales, se carbonizan y se incrustan dentro de los tubos, poniendo en peligro la vida útil del intercambiador de calor. Es recomendable llevar a cabo un estricto control sobre la calidad de estos, sacando muestras del fluido en circulación constante y enviándolas a analizar semestralmente con el proveedor de este, para que indique el grado de pureza del mismo. Con este control se podrá percatar de la necesidad del cambio del aceite térmico.

Normalmente, los fluidos que soportan una mayor temperatura son también los que tienen una mayor vida útil en condiciones normales.

9.6.3. Adopción de caldera

El fluido térmico se va a utilizar para las dos torres de destilación, requiriendo una caldera que trabaje con una capacidad calorífica mínima de 40000 kcal/h y máxima de 130000 kcal/h. En la Figura 9.7 se puede observar la representación de la caldera y sus respectivas partes.

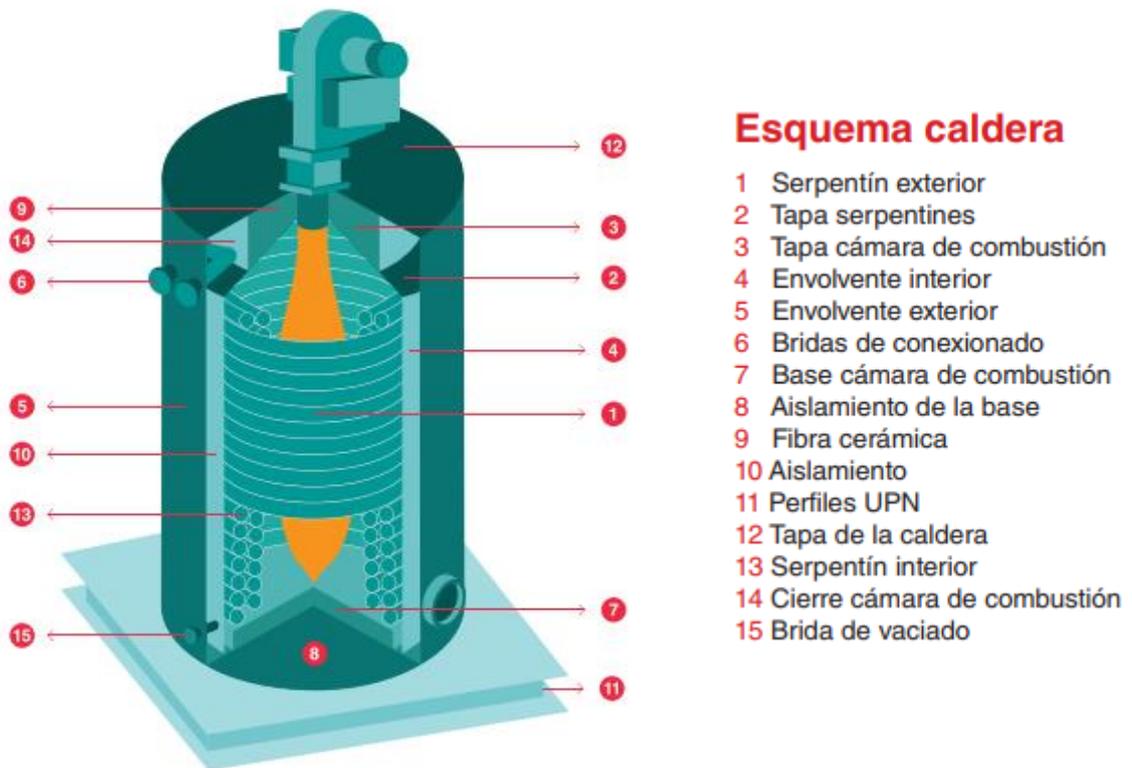


Figura 9.7 - Esquema de la caldera.

Fuente: Pirobloc SA.

La caldera (SG - 508) seleccionada es de la empresa Pirobloc SA, seguidamente, en la Tabla 9.26 y en la Figura 9.8 se muestran las dimensiones del modelo elegido. En la Figura 9.9 se puede observar una foto a escala real.

Tabla 9.26 - Dimensiones de la caldera.

Modelo	Potencia Calorífica [kcal/h]	A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	A' [m]	C' [m]
GFT - 010	100000 - 150000	1,5	1,525	1,585	0,954	-	-

Elaboración propia. Fuente: Pirobloc SA.

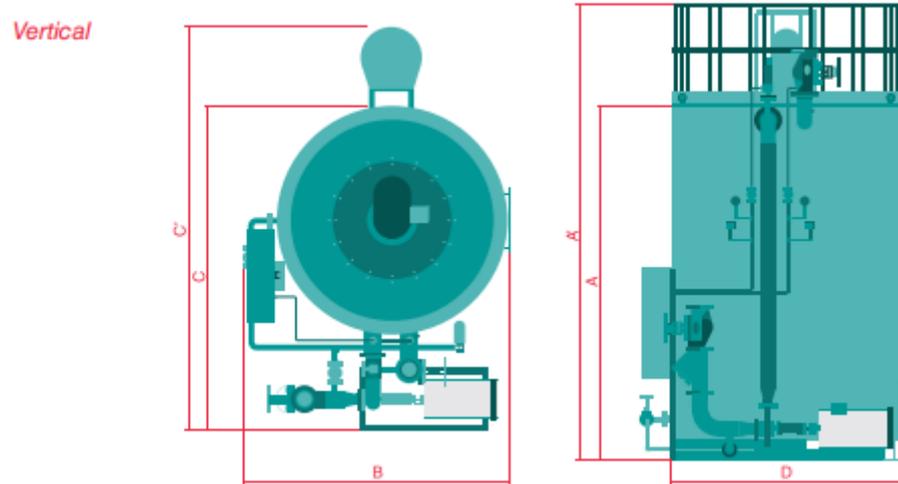


Figura 9.8 - Ilustración de la caldera vertical.

Fuente: Pirobloc SA.



Figura 9.9 - Imagen real.

Fuente: Pirobloc SA.

9.6.4. Diagrama de abastecimiento de fluido térmico

A continuación, se muestra el diagrama de abastecimiento, en la Figura 9.10.

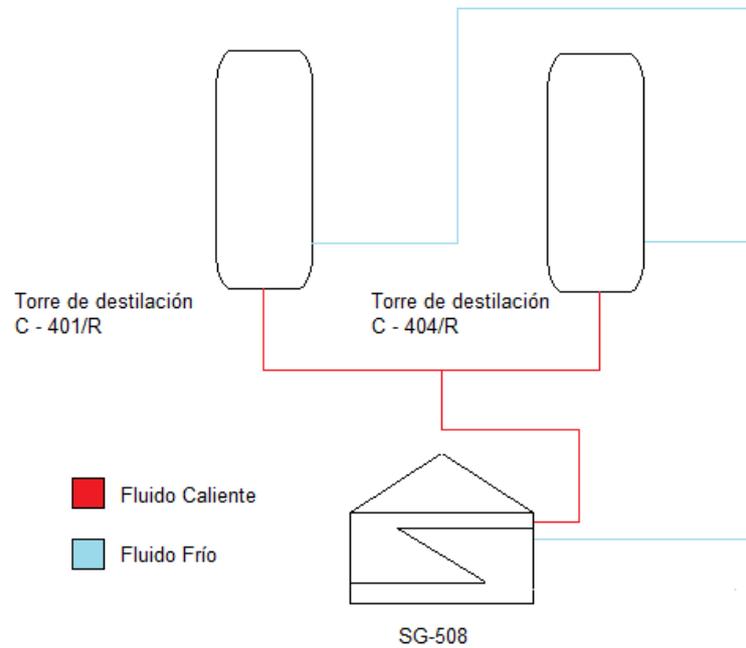


Figura 9.10 - Diagrama de abastecimiento de fluido térmico.

9.6.5. Adopción de bombas y cañerías

A continuación, en las Tabla 9.27 y Tabla 9.28 se adoptan las cañerías y bombas a utilizar para el transporte de dicho fluido.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Tabla 9.27 - Adopción de P-521.

Bomba P-521		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	4,071	
Densidad [kg/m ³]	794,32	
Viscosidad [kg/ms]	0,000395	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	91,63	87,81
Altura estática [m]	0,95	1,3
Diámetro interior [m]	0,0386	0,01857
Velocidad de flujo [m/s]	0,775	3,025
Número de Reynolds (Re)	76300	128700
Rugosidad relativa (e/d)	0,00118	0,0018
Accesorios	2 válvulas 8 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 4 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0235	0,0245
Pérdida de carga (hf) [m]	2,109	46,26
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	49,137	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,74	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,04216 - 1 ¼	0,02134 - 1/2
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrifuga - NK 32-125.1/100	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	15,10	
Altura manométrica [m]	10,10	
Potencia máx. de la bomba [HP]	1,00	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

Tabla 9.28 - Adopción de P-522.

Bomba P-522		
Datos del sistema para el cálculo		
Caudal volumétrico [m ³ /h]	4,071	
Densidad [kg/m ³]	794,32	
Viscosidad [kg/ms]	0,000395	
Presión de trabajo [kg/cm ²]	1,033	
	Lado de aspiración	Lado de impulsión
Longitud total [m]	84,2	94,54
Altura estática [m]	0,7	1,3
Diámetro interior [m]	0,0386	0,01857
Velocidad de flujo [m/s]	0,775	3,025
Número de Reynolds (Re)	76300	128700
Rugosidad relativa (e/d)	0,00118	0,0018
Accesorios	2 válvulas 5 codos de 90° 1 conexión en T	1 válvula 5 codos de 90°
Factor de fricción (f)	0,0235	0,0245
Pérdida de carga (hf) [m]	1,938	49,806
Parámetros obtenidos para la bomba		
Trabajo desarrollado [m]	52,762	
Eficiencia	0,75	
Potencia [HP]	0,795	
Sistema de tuberías		
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10	
Diámetro exterior [m] y nominal	0,04216 - 1 ¼	0,02134 - 1/2
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos Argentina	
Tipo y código de equipo	Centrífuga - NK 32-125.1/100	
Capacidad volumétrica máxima [m ³ /h]	15,10	
Altura manométrica [m]	10,10	
Potencia máx. de la bomba [HP]	1,00	

Elaboración propia. Fuente: MathCAD. Datos: Grundfos Argentina.

9.7. Servicio de gas

El parque industrial Paraná de las palmas cuenta con una estación reguladora de presión y cañerías para la distribución interna de gas natural.

En el proceso de producción de MEA el gas se utiliza como combustible para las calderas y en menor medida en laboratorios, cocinas, calefacción, etc. Debido a esto en los cálculos solo se va a tener en cuenta el uso en las calderas, ya que los demás son insignificantes.

Para el cálculo diario de consumo de gas se usa la Ecuación 9.4.

$$C_G = \frac{C_E}{P_{CG} \cdot \eta}$$

Ecuación 9.4 - Consumo de gas natural.

Donde:

- C_G : es el consumo de gas en el proceso [$m^3/día$].
- C_E : consumo de energía [$kcal/día$].
- P_{CG} : poder calorífico del gas natural [$kcal/m^3$].
- η : rendimiento (supuesto).

En la Tabla 9.29 se detallan los valores de consumo y demás datos.

Tabla 9.29 - Consumo de gas natural.

Parámetros	Valores
Consumo de energía en la caldera (C_E) [$kcal/día$]	$1,14 \cdot 10^8$
Poder calorífico del gas natural (P_{CG}) [$kcal/m^3$]	9270
Rendimiento (η)	80%
Consumo de gas natural (C_G) [$m^3/día$]	15372,17

Elaboración propia.

Se redondea el consumo de gas natural a $15400 m^3/día$, considerando el consumo en administración y oficinas.

La cañería principal de distribución de gas natural en toda la planta es de acero, con un diámetro de 2 pulgadas. La cañería de derivación a la caldera de vapor es de $1\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro nominal, al igual que para la caldera de fluido térmico. Mientras que para la distribución en las instalaciones es de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro y de acero.



CAPÍTULO 10

CONTROL DE CALIDAD

10. Control de calidad

10.1. Introducción

El control de calidad comprende la implementación de programas, herramientas, técnicas y mecanismos que garantizan la calidad del producto como así también, la productividad de la planta. El proceso de control se encarga de verificar los estándares de calidad a lo largo de las diferentes etapas de producción, desde la materia prima, pasando por la fase intermedia y finalizando en el producto terminado.

En el presente capítulo se establecerán los diferentes controles que se le realizarán a las variables de proceso. Se describirán los métodos y técnicas de análisis necesarios en cada una de las etapas, y se dejarán establecidos los registros que se utilizarán en cada punto de control. En el caso de que el valor medido no se ajuste al deseado, se deberán tomar medidas correctivas al respecto.

10.2. Plan de control de calidad según las normas

La adopción de un sistema de gestión de calidad es una decisión estratégica para la organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible (ISO, Organización Internacional de Normalización).

Los beneficios potenciales para una organización de implementar un sistema de gestión de calidad basado en la Norma ISO 9001 son:

- a. La capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente, los legales y reglamentarios aplicables.
- b. Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente.
- c. Abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos.
- d. La capacidad de demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados.

Las variables a controlar son obtenidas por diferentes técnicas de laboratorio, estas son:

- T-01 "Determinación de densidad específica".
- T-02 "Determinación de pureza".
- T-03 "Determinación de viscosidad dinámica".

Algunos parámetros, como la temperatura, presión y caudal están reguladas por el control automático de procesos (CA).

En el Anexo I, se especifican las técnicas de laboratorio.

10.3. Control de calidad de las materias primas

Todas las materias primas utilizadas en el proceso deben ser monitoreadas. La misma debe estar certificada por el proveedor, por lo tanto, el control se realiza para corroborar el cumplimiento de los valores informados.

Las variables a analizar serán aquellas que puedan llegar a provocar algún desvío en los parámetros establecidos. Las técnicas a aplicar para todas las materias primas serán la determinación de densidad específica, determinación de pureza y viscosidad dinámica.

En la Tabla 10.1 se observa un plan de control a seguir para las materias primas.

Tabla 10.1 - Plan de control de materias primas.

Plan de control de calidad de materias primas							
Materia prima	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
Amoníaco	Temperatura	17,24 ± 0,05 °C	Termómetro	MP/Lab-01	Analista de laboratorio	Por lote	Rechazar el lote
	Presión	8 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	MP/Lab-01			
	Densidad específica	0,613 a 20 °C	T-01	MP/Lab-01			
	Pureza	99,6 ± 1,00 %	T-02	MP/Lab-01			
Óxido de etileno	Temperatura	10,51 ± 0,05 °C	Termómetro	MP/Lab-01	Analista de laboratorio	Por lote	Rechazar el lote
	Presión	1,033 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	MP/Lab-01			
	Densidad específica	0,887 a 20 °C	T-01	MP/Lab-01			
	Pureza	99,8 ± 1,00 %	T-02	MP/Lab-01			

10.3.1. Amoníaco

Se especifican los diferentes parámetros de control al amoníaco que ingresa a la planta, límites aceptados, técnicas utilizadas, frecuencia de control, responsabilidades y registros asignados.

Cuando los resultados se desvían de los límites de especificación, el analista de laboratorio debe notificar al área de producción para que se tomen las medidas correctivas correspondientes.

Para el caso del ingreso, una vez que el amoníaco posee las aprobaciones de calidad se debe registrar su entrada a la planta.

En el Anexo II se detallan dichos registros.

10.3.2. Óxido de etileno

Previa a la descarga de esta materia prima que es importada, se debe controlar el remito y constatar los datos de protocolo de análisis de carga con los límites de calidad establecidos, y posteriores registros de análisis.

Una vez realizada la descarga se debe dejar registrado el ingreso del lote de óxido de etileno.

En el Anexo II se encuentran los registros aquí nombrados.

10.4. Control de calidad de productos terminados

Conocer las especificaciones y características del producto que se fabrica es indispensable, no solo para la selección del mercado y la exigencia de los clientes, sino que también es de gran importancia para el control periódico del rendimiento del proceso.

Los parámetros analizados para el cumplimiento de los estándares de calidad incluyen apariencia, temperatura, presión, densidad específica, viscosidad, pH y pureza; realizados para todos los productos.

En la Tabla 10.2 se describe el plan de control de calidad.

Tabla 10.2 - Plan de control de productos terminados.

Plan de control de calidad de productos terminados							
Productos	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
MEA	Apariencia	Líquido claro transparente	Inspección visual	M/Lab-02	Analista de laboratorio	4 hs.	Rechazar el lote
	Temperatura	35 ± 0,05 °C	Termómetro	M/Lab-02			
	Presión	1,033 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	M/Lab-02			
	Densidad específica	1,02 a 20 °C	T-01	M/Lab-03			
	Pureza	99 ± 1,00 %	T-02	M/Lab-03			
	Viscosidad dinámica	0,023 a 20 °C	T-03	M/Lab-03			
DEA	Apariencia	Líquido claro	Inspección visual	D/Lab-04	Analista de laboratorio	4 hs.	Rechazar el lote
	Temperatura	50 ± 0,05 °C	Termómetro	D/Lab-04			
	Presión	1,033 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	D/Lab-04			
	Densidad específica	1,091 a 20 °C	T-01	D/Lab-05			
	Pureza	98,50 ± 1,00 %	T-02	D/Lab-05			
	Viscosidad dinámica	0,39 a 30 °C	T-03	D/Lab-05			
TEA	Apariencia	Líquido ligeramente amarillo	Inspección visual	T/Lab-06	Analista de laboratorio	4 hs.	Rechazar el lote
	Temperatura	40 ± 0,05 °C	Termómetro	T/Lab-06			
	Presión	1,033 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	T/Lab-06			
	Densidad específica	1,124 a 20 °C	T-01	T/Lab-07			
	Pureza	99,57 ± 1,00 %	T-02	T/Lab-07			
	Viscosidad dinámica	0,39 a 30 °C	T-03	T/Lab-07			

10.4.1. Monoetanolamina

Es el producto de mayor importancia en este proyecto, su análisis se realiza cada 4 hs. Las determinaciones realizadas y resultados obtenidos son registradas en el M/Lab-01. Cuando algún o algunos de los valores obtenidos están desviados de los límites especificados, el analista de laboratorio debe notificar al supervisor de producción para que tome las acciones correspondientes.

Cada vez que un tanque de producción de MEA es completado debe ser muestreado, con los resultados de laboratorio obtenidos se genera un protocolo de análisis correspondiente a cada partida.

En el Anexo II se detallan los registros.

10.4.2. Dietanolamina

Como subproducto de esta producción, se le deben realizar los mismos análisis. Una vez completado los tanques de DEA deben muestrearse y generar el certificado de análisis, expuestos en el Anexo II.

10.4.3. Trietanolamina

Se procede de igual manera que los demás productos, se realizan los análisis correspondientes, se registran dichos resultados y se genera el certificado para cada tanque de TEA terminado, Anexo II.

10.5. Control de calidad del proceso de producción

Se implementa un sistema de control automático en los distintos equipos, poniendo énfasis en aquellos puntos considerados como críticos que pueden afectar la calidad del producto o funcionamiento de la planta. Esto tiene como resultado un estricto control de las variables del proceso, implicando buenos resultados en la calidad del producto final.

El operario de planta es el encargado de llevar a cabo los controles de proceso, mientras que el analista de laboratorio realiza el muestreo y determinaciones en las etapas intermedias del proceso que requieran un control.

En la sección siguiente, se detallan los parámetros a inspeccionar, sus valores óptimos y sus correspondientes tolerancias para las etapas de mayor importancia del proceso.

10.5.1. Plan de control de calidad del proceso

Todos los controles que se le realizan al proceso son detallados en un "Plan de control de proceso", en donde se describen las variables que se deben controlar en cada una de las etapas del proceso, como así los límites de especificación, la frecuencia en que se debe realizar, los responsables de la realización, y las acciones preventivas y/o correctivas que se deben tomar en caso de un desvío.

En la Tabla 10.3 se puede observar dicho plan de control de proceso. Sus registros se encuentran en el Anexo III.

Siendo:

- Temperatura = T
- Presión = P
- Caudal másico = F
- Concentraciones = Expresadas entre corchetes.

Los desvíos de la calidad encontrados durante el proceso se corrigen inmediatamente, esto evita el reprocesamiento de un producto defectuoso, lo que implica un ahorro de tiempo, así como también económico.

Tabla 10.3 - Plan de control de proceso de producción.

Plan de control de calidad del proceso de producción de monoetanolamina									
Equipo	Corriente	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva	
ZONA 100									
T-101	A	T	10,68 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-08	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo	
		P	10,33 ± 0,05	CA					
R-105	C	T	46,11 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-08	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo	
		P	10,33 ± 0,05	CA					
		[NH ₃]	21,14 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-09	Analista laboratorio	Cada 4 hs.		
		[OE]	5,46 ± 1,00%	T-02					
R-106	D	T	90,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-08	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo	
		P	10,33 ± 0,05	CA					
		[OE]	1,09 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-09	Analista laboratorio	Cada 4 hs.		
		T	97,28 ± 0,05 °C	CA					
V-201	F	P	10,33 ± 0,05	CA	P/Reg-08	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo	
		[MEAs]	3,83 ± 1,00%	T-02					
		[OE]	0%	T-02					
		T	59,86 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h		
P	1,00 ± 0,05	CA							
V-201	G	[NH ₃]	82,36 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-11	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	Verificar condiciones operativas del equipo	
		[MEAs]	Trazas	T-02					
		T	99,50 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h		
		P	1,00 ± 0,05	CA					
ZONA 200									

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Equipo	Corriente	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
E-204	H	T	140,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	1,25 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
		[NH ₃]	0,11 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-11	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	
	[MEA]	0%	T-02					
	I	T	140,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	
		P	1,25 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
[H ₂ O]		20,18 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-11	Analista laboratorio	Cada 4 hs.		
E-205	H'	T	65,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	1,24 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
C-208	J	T	74,15 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,38 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
		F	148,53 ± 10 kg/h	CA				
	M	T	140,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	
		P	0,38 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
		[MEA]	54,73 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-11	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	
[H ₂ O]	0%	T-02						
S-209	L	F	97,90 ± 10 kg/h	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		T	74,15 ± 0,05 °C	CA				
	K	F	50,63 ± 10 kg/h	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	
E-212	K'	T	25,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-10	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,38 ± 0,05 kg/cm ²	CA				

Equipo	Corriente	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
ZONA 300								
ME-301	N	T	70,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	1,00 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
		F	7761,03 ± 10 kg/h	CA				
E-302	Ñ	[NH ₃]	22,22 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-13	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	Verificar condiciones operativas del equipo
		T	43,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	
	O	P	1,00 ± 0,05 kg/cm ²	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		T	43,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	
		P	1,00 ± 0,05 kg/cm ²	CA	PC/Lab-13	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	
		[NH ₃]	20,00 ± 1,00%	T-02	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	
SV-306	R	T	17,23 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	8,00 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
C-308	B	T	59,70 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	2,00 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
		F	7939,67 ± 10 kg/h	CA				
E-309	B'	[NH ₃]	22,36 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-13	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	Verificar condiciones operativas del equipo
		T	47,14 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-12	Operario planta	Cada 1 h	
		P	2,00 ± 0,05 kg/cm ²	CA				

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Equipo	Corriente	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
ZONA 400								
C-401	S	T	141,63 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,39 ± 0,5 kg/cm ²	CA				
		F	324,36 ± 10 kg/h	CA				
	[IMEA]	99,00 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-15	Analista laboratorio	Cada 4 hs.		
	T	T	245,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	
		P	0,39 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
[IMEA]		0,13 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-15				Analista laboratorio
E-402	S'	T	35,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,39 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
T-403	S'	T	35,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,39 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
C-404	U	T	235,50 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,40 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
		F	167,08 ± 10 kg/h	CA				
	[DEA]	98,50 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-15	Analista laboratorio	Cada 4 hs.		
	V	T	300,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	
		P	0,40 ± 0,05 kg/cm ²	CA				

Equipo	Corriente	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
C-404	V	F	95,78 ± 10 kg/h	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		[TEA]	99,57 ± 1,00%	T-02	PC/Lab-15	Analista laboratorio	Cada 4 hs.	
E-405	U'	T	50,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,40 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
E-406	V'	T	40,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,41 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
T-407	U'	T	50,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,40 ± 0,05 kg/cm ²	CA				
T-408	V'	T	40,00 ± 0,05 °C	CA	P/Reg-14	Operario planta	Cada 1 h	Verificar condiciones operativas del equipo
		P	0,41 ± 0,05 kg/cm ²	CA				



CAPÍTULO 11

OBRAS CIVILES

11. Obras civiles

11.1. Introducción

En este capítulo se va a plantear las características constructivas generales para la producción de ETAS, la planta se encuentra ubicada en el Parque Industrial y Logístico Paraná de las Palmas ubicado en la localidad de Zárate, provincia de Buenos Aires. El terreno a utilizar se halla al sureste, en la calle 22. Con salida a la Avenida Santa Fe, Autopista Ruta Nacional N° 9 (5000 metros) y puerto Terminal Zárate (2000 metros). El predio cuenta con una superficie total aproximada de 20000 m², en el cual se van a instalar todos los sectores con los que cuenta la fábrica y se detallan a continuación:

- Portería.
- Recepción.
- Laboratorio.
- Carga y descarga.
- Estacionamiento.
- Oficinas administrativas, directivas, sala de conferencias.
- Cocina, comedor.
- Baños y vestuarios.
- Zona de reacción.
- Zona de recuperación.
- Zona de absorción.
- Zona de destilación.
- Tanques de almacenamiento.
- Servicios auxiliares.
- Taller de mantenimiento.

El parque en cuestión cuenta con los servicios incluidos de energía eléctrica provistos por la Cooperativa eléctrica de Zárate, agua potable y subterránea, gas natural y distribución interna, red de comunicaciones (telefonía y fibra óptica), control de ingreso y seguridad. El acceso a la entrada es por Avenida Santa Fe y la salida por el Camino de la Costa Brava.

La planimetría correspondiente a este proyecto se encuentra en el Anexo IV.

11.2. Descripción general del establecimiento

El terreno seleccionado dentro del predio se encuentra con orientación al sur, como se observa en la Figura 11.1; por lo tanto, tiene acceso por la calle 22 y salida por la calle 2.



Figura 11.1 - Localización del terreno dentro del Parque Industrial.

Fuente: Pliz.

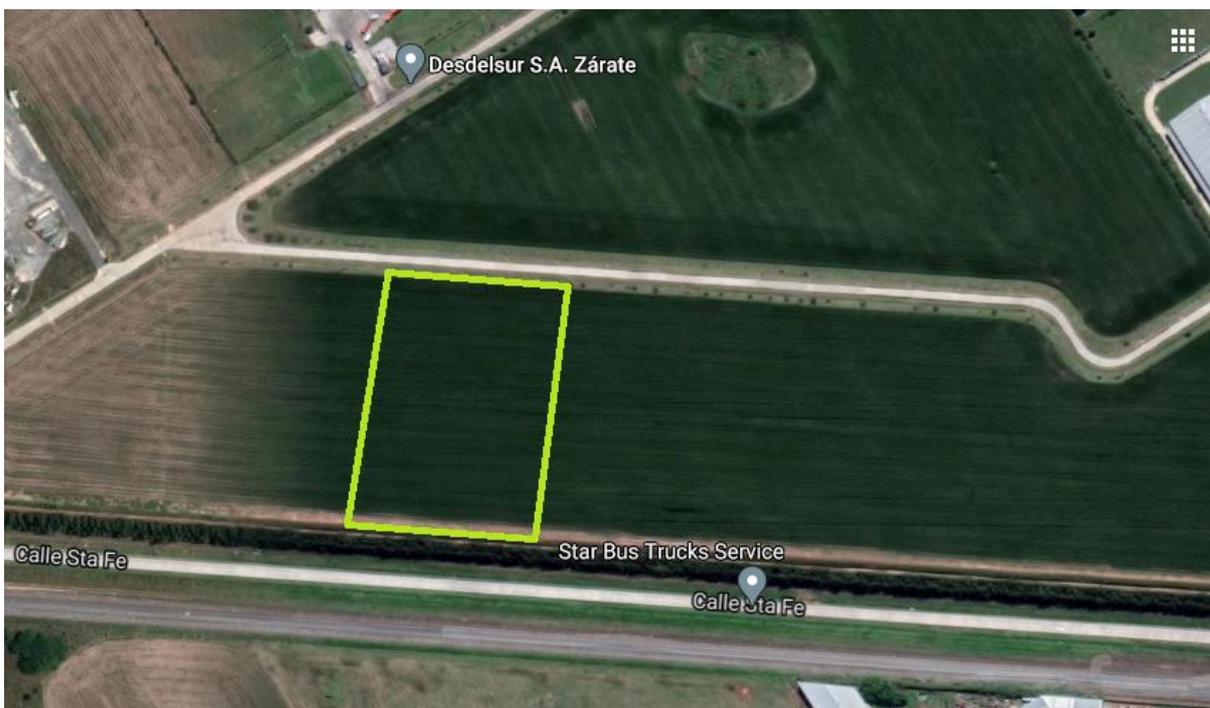


Figura 11.2 - Perímetro del terreno.

Fuente: Google Maps.

El predio del parque industrial cuenta con un perímetro arbolado, dando un entorno agradable a la vista, y encuadrado en un concepto ecológico, así mismo, se le agrega alambre olímpico, con terminación de alambre de púas de tres líneas. Tendrá una altura de 2 metros y una extensión de 600 metros, teniendo en cuenta las dimensiones mostradas en la Figura 11.2.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Para el desplazamiento correcto, de vehículos y personal, dentro del predio se instalarán calles internas pavimentadas y señalizadas.

Cabe señalar, que además de la luminaria de las calles internas y cada uno de los sectores y/o construcciones, el paisaje se ve afectado por estructura metálica que sostienen las tuberías de transporte de fluidos, servicios auxiliares, productos, etc. Las cuales deberán tener una altura adecuada que permita el paso de camiones y demás trasportes, sin interferir. Dicho esto, se fijan 4,50 metros de elevación.

Las áreas que se encuentran al aire libre van a ser, carga y descarga, estacionamiento, servicios auxiliares, zona de destilación, almacenamiento de materia prima y productos. El resto se encontrará bajo techo. Varias zonas se unificarán para ahorrar espacio e infraestructura. Mientras que sectores como oficinas, baños, comedores y seguridad, se aislarán de la zona de producción.

A continuación, en la Tabla 11.1 se detallan las características indicadas, y en la Figura 11.3 se observa la distribución general.

Tabla 11.1 - Sectorización de la planta.

Edificios	Sectores	Área [m ²]	Área total [m ²]
I	Portería (13)	15,00	15,00
II	Laboratorio (A)	24,00	24,00
III	Recepción (C)	15,00	118,50
	Oficinas administrativas (D)	45,00	
	Oficinas directivas (B)	13,50	
	Sala de conferencias (E)	45,00	
IV	Carga y descarga (11)	1125,00	1725,00
	Estacionamiento (12)	600,00	
V	Cocina y comedor (F)	60,00	110,00
	Baños y vestuarios (G y H)	50,00	
VI	Zona de reacción (1)	204,70	204,70
VII	Zona de recuperación (2)	345,58	345,58
VIII	Zona de absorción (3)	144,80	144,80
IX	Zona de destilación (4)	333,25	333,25
X	Tanques de materias primas (10)	599,49	599,49
XI	Tanques de productos (9)	134,40	134,40
XII	Servicios auxiliares (5)	481,40	747,79
	Caldera de vapor (8)	235,81	
	Caldera de fluido térmico (7)	30,58	
XIII	Taller de mantenimiento (6)	24,00	24,00
Total construido [m ²]			4526,51

Elaboración propia.

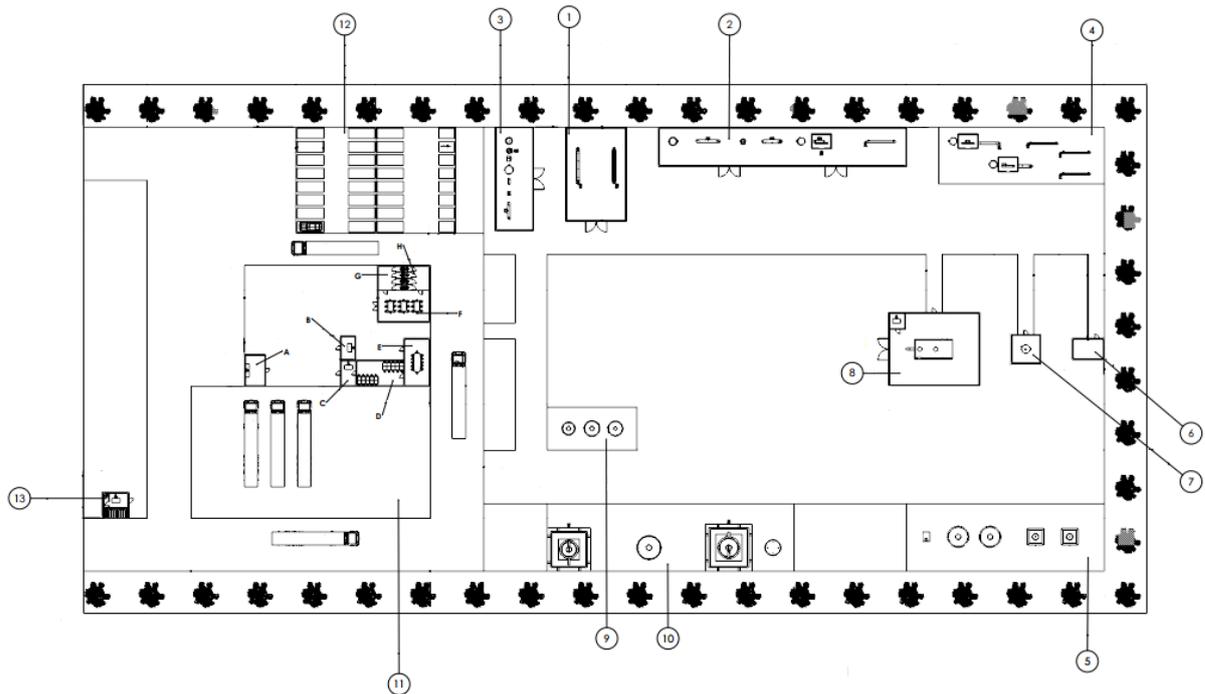


Figura 11.3 - Distribución de los sectores.

11.3. Edificio I

Al ingreso del predio, por la calle 22 se encuentra el puesto de seguridad con una barrera al paso. El mismo se encarga del control interno de la empresa, se controla la entrada y salida del personal, proveedores, clientes y visitas.

Este edificio presenta un área de 15 m^2 ($5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$), con una altura de 3 m. Construida con ladrillos block de hormigón de $20 \times 20 \times 40 \text{ cm}$ y techo de loza con pintura impermeabilizante. En su interior se encuentra un escritorio, un baño y una computadora para llevar los registros necesarios, Figura 11.4.

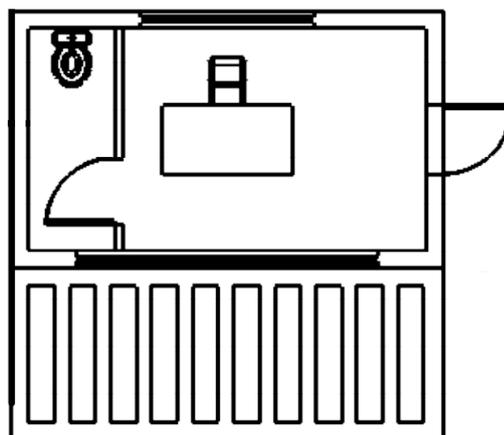


Figura 11.4 - Portería.

11.4. Edificio II

Luego de pasar por el puesto de seguridad, se encuentra el laboratorio, destinado a la realización de pruebas estándares de calidad, tanto de materia prima como producto

terminado. Contando con una superficie de 24 m² (4 m de ancho, 6 m de largo y 3 m de alto), Figura 11.5.

Las paredes son de ladrillos block de hormigón y un techo flotante de durlock. Los pisos se recubren con mosaicos granítico, debido a su alta resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

El laboratorio posee:

- Sistema de ventilación para la renovación de aire mediante rejillas con mallas metálicas que impide el ingreso de insectos.
- Área de lavado de equipos y vajillas.
- Área de equipo y de realización de los métodos de control.
- Espacio provisto de refrigeración, baños y cocina.

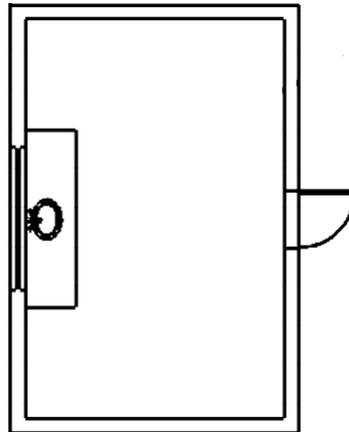


Figura 11.5 - Laboratorio.

11.5. Edificio III

En la Figura 11.6 se pueden observar dicha estructura, detallada en las siguientes secciones.

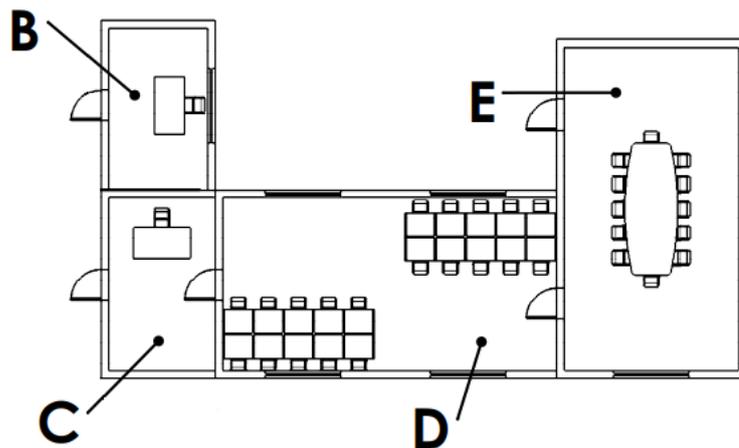


Figura 11.6 - Edificio III.

11.5.1. Recepción (C)

Es la entrada principal hacia las oficinas, cuenta con las siguientes medidas, 3 m de ancho, 5 m de largo y 3 m de alto. Hacia derecha se encuentran las oficinas directivas.

El sector está construido de ladrillo block de hormigón, con un espesor de 20 x 20 x 40 cm y un techo de hormigón con viguetas.

11.5.2. Oficinas administrativas (D) y oficinas directivas (B)

Cuenta con oficinas encargadas de la logística, administración, calidad, producción, comercio exterior, marketing, etc. Separadas por box realizadas con placas de durlock.

La edificación de las oficinas administrativas posee una altura 3 m construidos con ladrillos block de hormigón de 20 x 20 x 40 cm y techo de loza con pintura impermeabilizante, tiene un ancho de 5 m y un largo de 9 m.

La estructura de las oficinas directivas tiene un área de 3 m de ancho y 4,5 m de largo, las paredes cuentan con una altura de 3 m, en cuanto a los materiales son los mismos que las demás oficinas.

11.5.3. Sala de conferencias (E)

En esta sección hay una mesa con sillas, donde se van a llevar a cabo las reuniones que se requieran por la institución. Cuenta con los materiales adecuados para llevarla a cabo. Tiene un ancho de 5 m, un largo de 9 m y una altura de 3 m y posee las mismas características constructivas que las demás salas.

11.6. Edificio IV

11.6.1. Carga, descarga y estacionamiento

En el ingreso a la planta se encuentra una zona de carga y descarga de camiones que cuenta con una superficie de 1125 m² (45 m x 25 m). Siguiendo el recorrido se encuentra el estacionamiento que presenta un sector para bicicletas y motocicletas y otro sector para automóviles, ocupando un área de 600 m².

Para el sector de bicicletas y motocicletas se considera una capacidad de 10 unidades, con un espacio individual de 6 m². En tanto al sector de automóviles se considera un ancho 2,5 m y un largo de 5 m, teniendo una capacidad de 24 vehículos, Figura 11.7.

Las características constructivas del sector son:

- Se encuentra señalizado.
- Posee luminaria pertinente.
- La estructura es de hierro y con el objeto de proteger a los vehículos se colocan tornos impermeables.

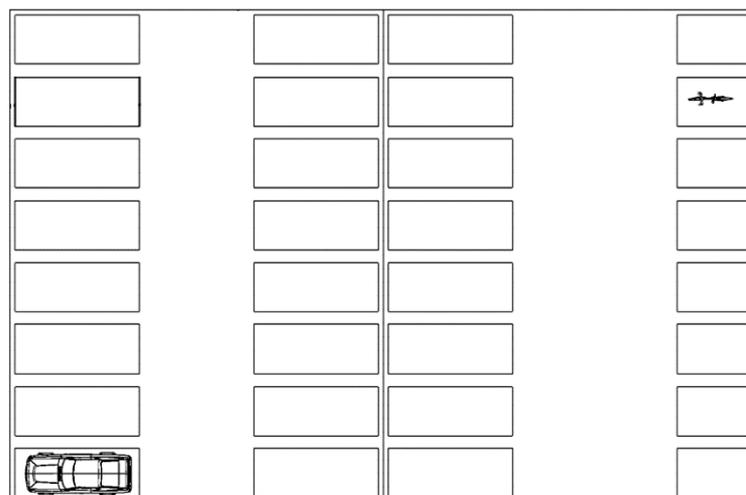


Figura 11.7 - Estacionamiento vehículos.

11.7. Edificio V

En la Figura 11.8 se muestra la infraestructura de este edificio.

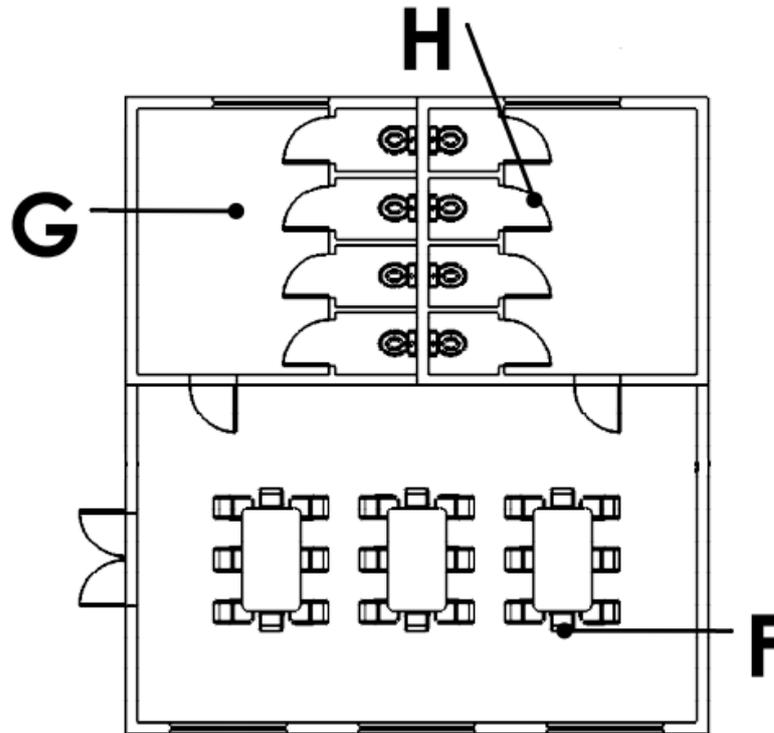


Figura 11.8 - Edificio V.

11.7.1. Cocina y comedor (F)

A la derecha de las oficinas se encuentra este edificio, el cual tiene una superficie de 60 m², con 6 m de ancho y 10 m de largo, para dicho sector. Está construido de ladrillos block de hormigón de 20 x 20 x 40 cm con una altura de 3 m y un techo de hormigón con viguetas.

Está equipado con mesas, sillas, heladera, microondas, mobiliario que incluye bajo mesada y los utensilios necesarios.

11.7.2. Baños y vestuarios (G y H)

Se encuentra de manera contigua al comedor. Entre los sanitarios de hombres y mujeres, representan 5 m de ancho y 10 m de largo. Contando con las siguientes características:

- Paredes hechas con ladrillos bloque de hormigón de 20 x 20 x 40 cm y 3 m de altura.
- Pisos con mosaicos graníticos.
- Instalación electricidad, agua y gas natural.
- El techo es de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante.
- Terminaciones con revoque grueso, fino y pintura látex en todo el espacio.
- Aberturas de aluminio.
- Recubrimiento con azulejos hasta los 1,6 m de altura.

El vestidor debe estar equipado con un casillero metálico por empleado, con dos compartimientos, uno donde pueden dejar sus pertenencias o ropa de calle y el otro donde puedan guardar su uniforme de trabajo.

11.8. Edificio VI

11.8.1. Zona de reacción

Cuenta con techo parabólico cubierto con chapa de acero galvanizada, paredes de ladrillo bloque de 19 x 19 x 39 cm, revoque grueso y fino, pintura látex y pisos de hormigón con endurecimiento de superficie. Cubriendo un área de 204,70 m² (11,50 m x 17,80 m). Altura del techo 6,5 m, Figura 11.9.

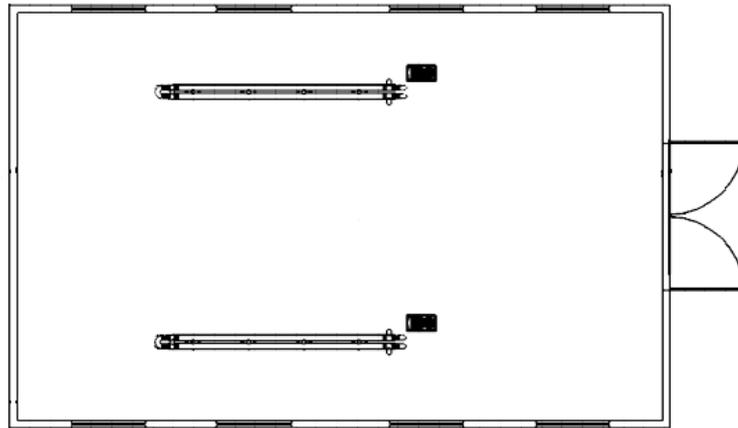


Figura 11.9 - Zona de reacción.

11.9. Edificio VII

11.9.1. Zona de recuperación

La misma cuenta con un techo de 10 metros, que cubre el total de los equipos, desde el stripping (V-201) hasta el intercambiador (E-212), cubriendo un área de 345,58 m², un ancho de 7,40 m y 46,70 m de largo. Figura 11.10. Las características edilicias a respetar son:

- Techo parabólico cubierto con chapa de acero galvanizada.
- Paredes de ladrillo bloque de 19 x 19 x 39 cm.
- Revoque grueso y fino.
- Pintura látex.
- Pisos de hormigón con endurecimiento de superficie.

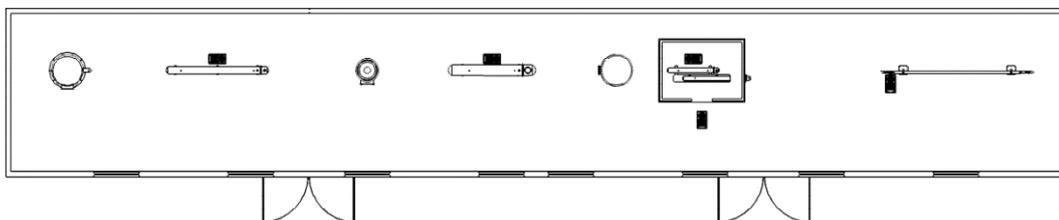


Figura 11.10 - Zona de recuperación.

11.10. Edificio VII

11.10.1. Zona de absorción

Es el sector donde se produce la solución amoniacal, todos los equipos se encuentran bajo un techo de 8,60 metros. Siendo este parabólico cubierto con chapa de acero galvanizada, paredes de ladrillo bloque de 19 x 19 x 39 cm, revoque grueso y fino, pintura látex y pisos de hormigón con endurecimiento de superficie. Así mismo, presenta un área de 144,80 m² (20,00 m x 7,24 m), Figura 11.11.

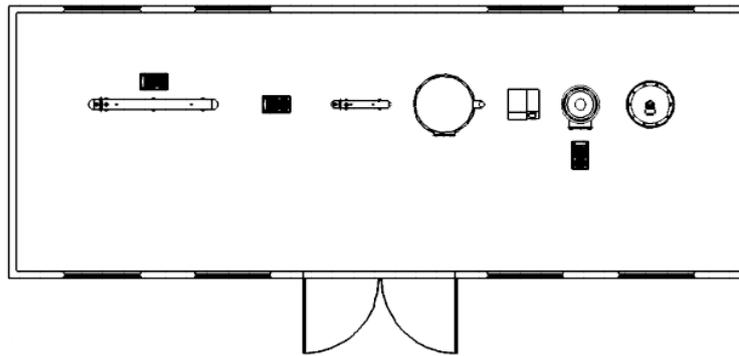


Figura 11.11 - Zona de absorción.

11.11. Edificio IX

11.11.1. Zona de destilación

Las torres de destilación se encuentran al aire libre, de igual manera, contienen pisos de hormigón en un área total de 333,25 m² (31,00 m x 10,75 m), Figura 11.12.

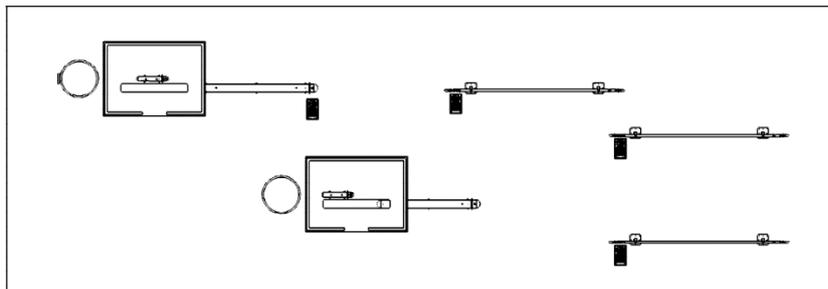


Figura 11.12 - Zona de destilación.

11.12. Edificio X

11.12.1. Tanques de materias primas

Los tanques pertenecientes al OE y NH₃ van a contar con una pileta recolectora en caso de derrames o rotura, de manera que pueda contener el líquido presente en él y no provocar daños ni reacciones violentas. Se coloca una medianera de hormigón de 7,60 m de ancho, 7,60 m de largo y 2,28 m de alto, para el caso de OE; para el amoníaco las medidas son 6,92 m de ancho, 6,92 m de largo y 1,08 m de alto.

Se disponen pisos de hormigón con endurecimiento de superficie, separados 30 m cada tanque como indica la norma y un área de 599,49 m², Figura 11.13.

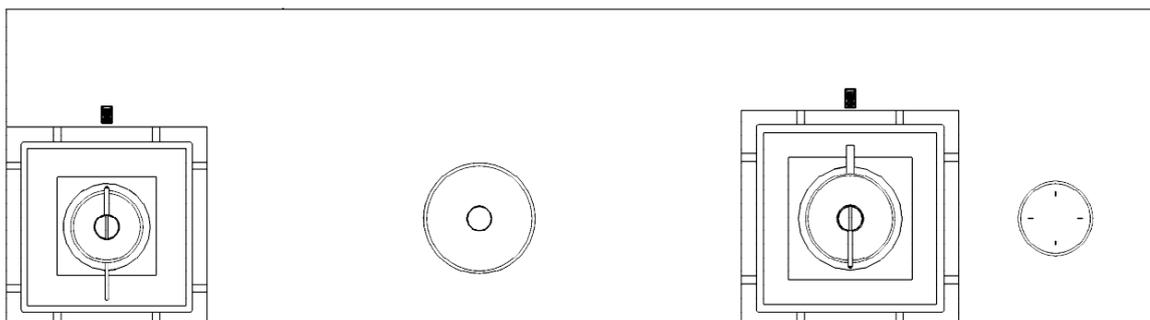


Figura 11.13 - Tanques de materias primas.

11.13. Edificio XI

11.13.1. Tanques de productos

Los tres tanques de ETAS se encuentran separados una vez y media con respecto al más grande, de centro a centro. Están a la intemperie, pero posee un piso de hormigón con endurecimiento de superficie, el área es 134,40 m², Figura 11.14.

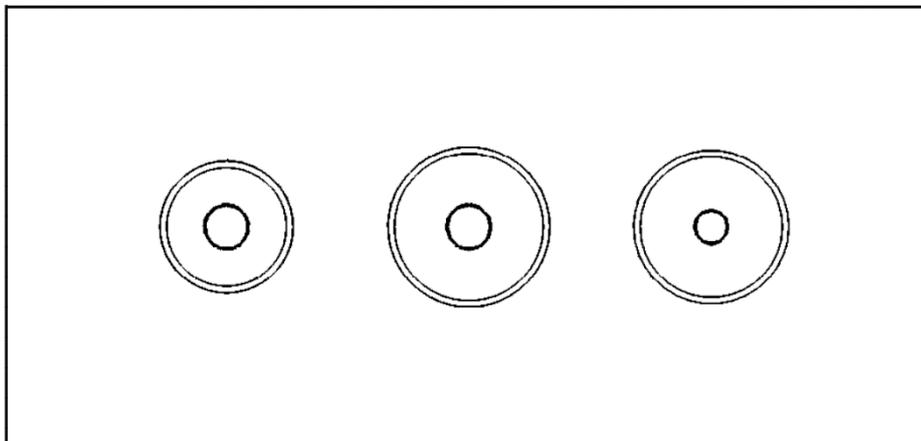


Figura 11.14 - Tanques de productos.

11.14. Edificio XII

11.14.1. Servicios auxiliares

Dentro de la parte de servicios auxiliares que se encuentra al aire libre, se tiene el tanque de incendios, los tanques de agua y las torres de enfriamiento, Figura 11.15.

Al igual que la zona de tanque de almacenamiento, el piso es del mismo material, con un ancho de 19,92 m y un largo de 37,26 m.

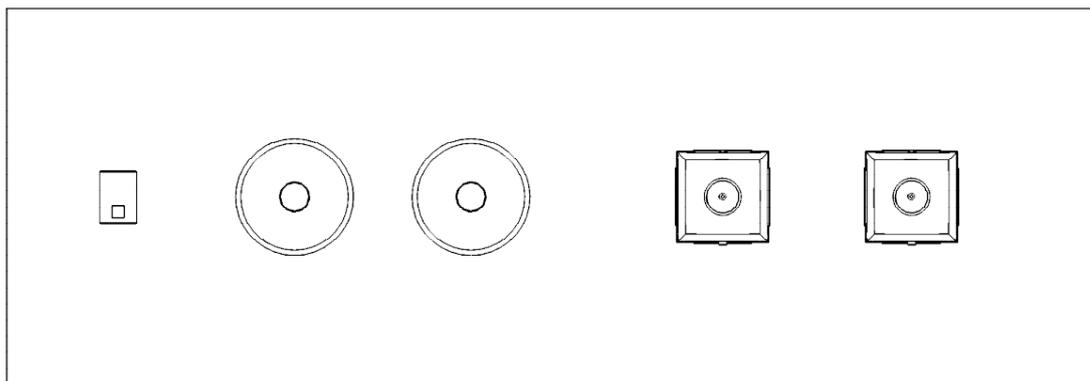


Figura 11.15 - Servicios auxiliares.

11.14.2. Caldera de vapor

El tamaño de la sala va a depender del volumen que ocupa la caldera, para este caso de vapor las dimensiones son 13,75 m de ancho, 17,15 m de largo y una altura de 6,00 m. añadiendo así 5,00 m de la caldera a cada pared. Por requisitos de seguridad, este dispone de una construcción de baja resistencia mecánica, ya que, en caso de explosión se pretende que esta produzca que el techo vuele.

Se instalan ventilaciones a 0,30 m del suelo y 0,5 m del techo. Para los orificios se utilizan 5 cm² por kW de consumo térmico. Además, se coloca una oficina del calderista, la misma se encuentra en el interior de la sala con un área de 3 m x 3 m, Figura 11.16.

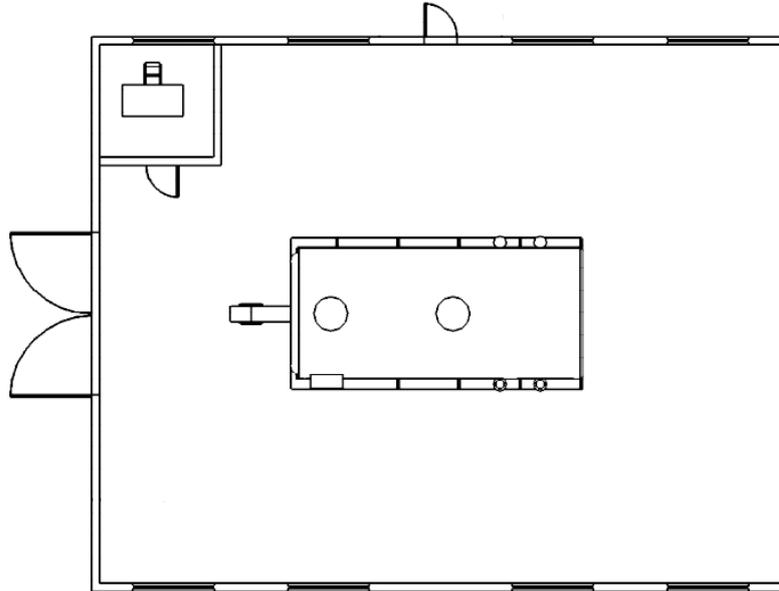


Figura 11.16 - Sala caldera de vapor.

11.14.3. Caldera de fluido térmico

Las condiciones del lugar son similares a la caldera de vapor, cambiando solamente las medidas. Siendo 5,53 m de ancho, 5,53 m de largo y 4 m de alto. Dejando 2 metros de cada lado partiendo del equipo, Figura 11.17.

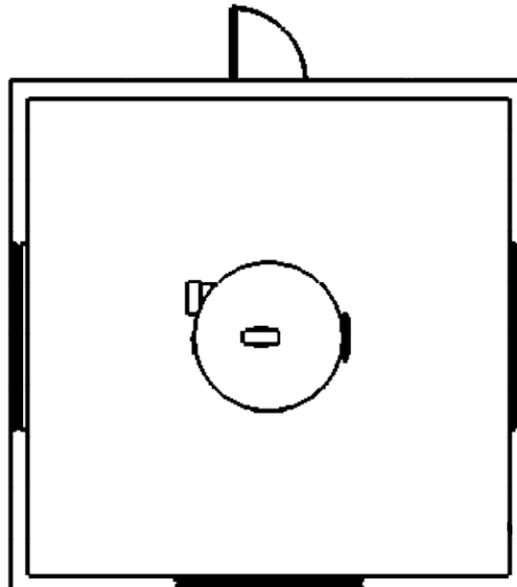


Figura 11.17 - Sala caldera de fluido térmico.

11.15. Edificio XIII

11.15.1. Taller de mantenimiento

Se provee un espacio de 4,00 m de ancho por 6,00 m de largo y 6,00 m de alto, suficiente para ubicar las herramientas necesarias. Las características constructivas son techo parabólico cubierto con chapa de acero galvanizada, paredes de ladrillo bloque de 19 x 19 x 39 cm, revoque grueso y fino, pintura látex y pisos de hormigón con endurecimiento de superficie, Figura 11.18.

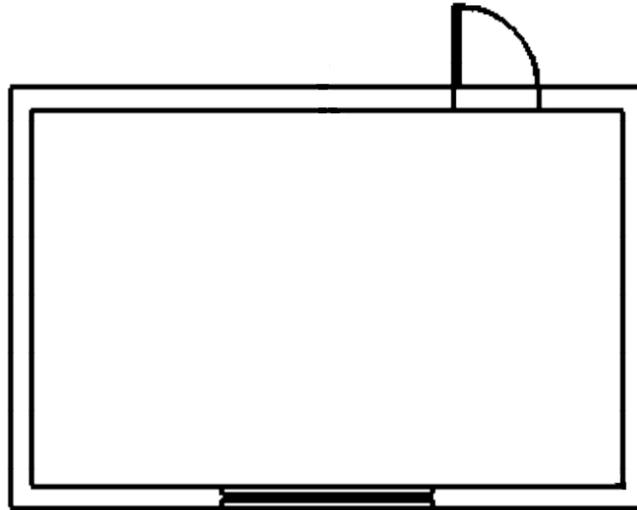


Figura 11.18 - Taller de mantenimiento.



CAPÍTULO 12

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

12. Instalaciones eléctricas

12.1. Introducción

En el siguiente capítulo se describirá de manera general las características de las instalaciones eléctricas y el consumo de los equipos utilizados en el proceso.

También se realizan los cálculos para determinar los requerimientos de consumo energético de iluminación y equipos correspondientes.

En el diseño, se adaptan las normas IRAM de manera de garantizar la correcta seguridad del personal, reducir costos y calidad del personal.

Los circuitos de alumbrado emplean corriente alterna monofásica de 220 V, mientras que en los circuitos de fuerza motriz la corriente utilizada es alterna trifásica de 380 V.

12.2. Descripción de una instalación eléctrica

A continuación, se detallarán los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

12.2.1. Conductores eléctricos

Son materiales cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja, realizan la conducción de la energía eléctrica desde donde se produce hasta donde se va a utilizar. Aquí debajo, en la Figura 12.1 se puede visualizar.

Los metales habitualmente usados para la fabricación de cables son de cobre, aluminio o aleaciones de este último. Poseen un alambre central de material conductor, cuya sección está determinada por la corriente a conducir y limitada por el calentamiento y la caída de tensión que provoca. Externamente, poseen una cubierta de aislante térmica y eléctrica, compuesta de material plástico, principalmente de policloruro de vinilo (PVC), que tiene la desventaja de endurecerse y volverse frágil a bajas temperaturas y ablandarse a altas, pero tiene la ventaja de retomar sus propiedades físicas a temperaturas normales.



Figura 12.1 - Conductores eléctricos.

12.2.2. Bandejas portacables

Son dispositivos que se emplean para contener a los conductores, Figura 12.2, de manera que estos queden protegidos contra deterioro mecánico, contaminación y a su vez protejan a la instalación contra incendios. En la planta se utilizan canalizaciones del tipo escalera y ducto ya que las estructuras son metálicas y algunas de hormigón prefabricado.



Figura 12.2 - Bandeja portacables tipo escalera.

12.2.3. Tableros

Contienen los dispositivos necesarios para la operación, rastreo, protección y control de todas las instalaciones eléctricas. Permite la correcta distribución de la corriente eléctrica a todos los sectores de la industria. Deben construirse con materiales metálicos o plásticos que sean: no inflamables, no higroscópicos, que posean resistencia mecánica para soportar cargas y una baja constante dieléctrica.

Éstos están formados por aparatos de maniobra, con llaves o conmutadores, aparatos de protección, como fusibles y llaves automáticas, aparatos de medición, como medidores de energía, amperímetros, voltímetros, etc. Son generalmente paneles verticales colocados dentro de cajas, Figura 12.3. La altura a la cual están ubicados debe permitir las operaciones de una persona. Los tableros, clasificados desde el punto de vista de su operación son:

- Tablero principal: opera toda la instalación.
- Tablero seccional: opera circuitos.
- Tablero subseccional: opera solo una parte del circuito.



Figura 12.3 - Tablero eléctrico.

12.2.4. Tomacorrientes

Es todo lugar donde se consume energía eléctrica, Figura 12.4. Se calcula la potencia requerida para los tomacorrientes fijando los W de salida. Para oficinas y usos generales se usarán tomacorrientes para 150 y 300 W, mientras que en la zona de producción es de 2000 W.



Figura 12.4 - Toma corrientes.

12.2.5. Transformadores

Es un elemento eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. Está instalado en la subestación eléctrica y desde ahí se distribuye la electricidad hacia toda la planta.

12.2.6. Dispositivos de protección

Los circuitos eléctricos pueden tener fallas que provoquen daños letales al organismo. Es por ello que las instalaciones eléctricas cuentan con diversos sistemas de protección para garantizar la seguridad y la integridad de los usuarios y de las infraestructuras.

En una disposición industrial las carcasas de los equipos eléctricos, los accionamientos de los aparatos, los armazones de estructura y las partes metálicas de los cables deben estar conectados a tierra. La puesta a tierra debe tener este tipo de conexión las carcasas de los equipos eléctricos, los accionamientos de los aparatos eléctricos, los armazones de estructura y las partes metálicas de los cables.

12.2.7. Iluminación

Una buena iluminación presenta ventajas tanto para el trabajador como para la empresa. En el caso del trabajador, conserva su capacidad visual, evita la fatiga ocular y disminuye los accidentes. A la empresa le proporciona un aumento en la producción, disminuye el número de errores, facilita la limpieza y el mantenimiento, mejora la utilización del espacio, etc.

Para seleccionar la iluminación adecuada es necesario determinar: La tarea visual o tipo de trabajo que se va a desarrollar, la cantidad, la calidad y el tipo de iluminación de acuerdo con la tarea visual y los requerimientos de seguridad y comodidad, el equipo de alumbrado o luminarias que proporcionen la luz requerida.

Más adelante se da un detalle de la cantidad y los tipos de luminaria a utilizar tanto en las partes interiores como en las exteriores de todo el proceso.

12.2.8. Iluminación de emergencia

Se debe suministrar iluminación a vías de evacuación, escaleras y en los casos de interrupción de servicio normal. Debe tomar energía de una conexión independiente y distinta a la del servicio principal y ser capaz de mantener la intensidad de 5 luces por lo menos durante una hora.

12.2.9. Pararrayos

Es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a las personas o construcciones.

12.3. Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso

En la siguiente Tabla 12.1 se detallan los consumos de potencia de cada equipo ya sea por día, mensual y anual, considerando las horas de funcionamiento en un ciclo de producción de 350 días.

Tabla 12.1 - Consumo de energía.

Equipo		Potencia [kW]	Funcionamiento [h/día]	Consumo [kWh/día]	Consumo anual [kWh/año]
Bombas	P-102	0,37	1,128	0,42	147
	P-103	4,00	7,68	30,72	10752
	P-108	1,10	13,82	15,20	5320
	P-109	0,37	0,94	0,35	122,5
	P-202	0,25	17,76	4,44	1554
	P-206	0,55	5,76	3,17	1109,50
	P-210	0,25	0,2304	0,06	21
	P-211	0,25	1,632	0,41	143,50
	P-213	0,55	0,1152	0,06	21
	P-303	1,10	18,96	20,86	7301
	P-310	0,25	6,72	1,68	588
	P-311	0,25	22,08	5,52	1932
	P-409	0,75	0,864	0,65	227,50
	P-410	0,25	0,576	0,14	49
	P-411	0,37	0,384	0,14	49
	P-412	0,37	0,1656	0,06	21
	P-509	2,20	24,00	52,80	18480
	P-510	15,00	24,00	360,00	126000
	P-511	0,75	24,00	18,00	6300
	P-512	0,37	24,00	8,88	3108
	P-513	0,25	24,00	6,00	2100
	P-514	7,50	24,00	180,00	63000
	P-515	2,20	24,00	52,80	18480
	P-516	7,50	24,00	180,00	63000
	P-517	1,10	24,00	26,40	9240
	P-518	0,25	24,00	6,00	2100
P-519	3,00	24,00	72,00	25200	
P-520	0,37	24,00	8,88	3108	
P-521	0,75	24,00	18,00	6300	
P-522	0,75	24,00	18,00	6300	
Ventiladores	K-214	0,75	21,66	16,25	5687,50
	K-215	2,24	20,95	46,93	16425,50
	K-304	0,37	19,76	7,31	2558,50
	K-305	7,50	1,94	14,55	5092,50
Agitador	ME-301	2,20	0,02	0,04	14
Potencia total		66,14	Consumo diario y anual	1176,71	411850

Elaboración propia.

Con el fin de proporcionar la electricidad necesaria para la planta y los equipos se coloca una subestación transformadora de 1200 kW por día.

12.4. Requerimiento de iluminación

El nivel mínimo de iluminación requerida por los diversos espacios físicos de la planta está calculado en base a los requisitos de las normas IRAM, las cuales se muestran en la siguiente Tabla 12.2.

Tabla 12.2 - Niveles mínimos de iluminación.

Clase de actividad visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)
Visión ocasional solamente	100
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	300 a 750
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1500 a 3000
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000 a 10000
Tipo de edificio, local y tarea visual	
Circulación general	100
Iluminación general sobre escaleras y pasarelas	200
Sobre equipos	400
Laboratorio de ensayo y control	600
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
Panel de control	600
Sala de calderas	600
Baños	150
Comedor	200
Oficinas	600

Elaboración propia. Fuente norma IRAM-AADL J 20-06.

Para obtener el nivel de iluminación necesario y deseado para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones que poseen los mismos y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realice en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2) y surge del cociente de flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada (m^2).

12.5. Adopción de tipos de luminarias para iluminación

Las lámparas necesarias para iluminación se adoptan teniendo en cuenta los siguientes factores: el consumo energético, la economía de instalación, el mantenimiento que debe realizarse como así también el nivel de iluminación, las dimensiones del sector y la exposición al medio ambiente. En la Tabla 12.3 se especifican el tipo de lámpara adoptado para cada zona.

Tabla 12.3 - Adopción de luminarias en cada sector.

Sector	Tipo de lámpara
Zonas cubiertas: Zona 100, Zona 200, Zona 300, salas de caldera, etc.	Modelo: Factor led 100 Potencia nominal: 100 W Flujo luminoso: 13000 lm Rendimiento lumínico: 130 lm/W Duración: >70000hs
Zona a la intemperie: Zona 400, tanque de MP, tanques de ETAS, torres de enfriamiento, estacionamiento, etc.	Modelo: Reflector led 180 Potencia nominal: 180 W Flujo luminoso: 23400 lm Rendimiento lumínico: 130 lm/W Duración: >70000hs
Oficinas cerradas, portería, laboratorio, baños, vestuarios, comedor, etc.	Modelo: Factor ecoglix 40 Potencia nominal: 40 W Flujo luminoso: 5200 lm Rendimiento lumínico: 130 lm/W Duración: >50000hs

Elaboración propia. Fuente: Glixleds illuminate.

12.5.1. Cálculo del número de luminarias internas

De acuerdo al nivel de luminaria de cada sector se procede al cálculo de la cantidad de lámparas a utilizar. Para las luminarias que solo se encenderán de noche, funcionaran entre las 18:00 y 6:00 hs respectivamente. Para ello se utiliza la Ecuación 12.1.

$$N^{\circ} \text{ de Lámparas} = \frac{E \cdot S}{F_m \cdot F_u \cdot I_l}$$

Ecuación 12.1 - Cantidad de lámparas.

Dónde:

- E: nivel de iluminación (lux).
- S: superficie del sector a iluminar (m²).
- F_m: factor de mantenimiento.
- F_u: factor de utilización.
- I_l: flujo luminoso de la lámpara (lumen).

El factor de mantenimiento está relacionado con el ensuciamiento de la iluminación, lo cual se ve reflejado en una disminución de la intensidad de iluminación. Este factor, se designa según los diversos sectores de las empresas siendo este de un 90% para lugares donde hay baja polución en luminarias de interior y de un 80% para luminarias de exterior. Cuando la polución en el medio exterior es importante se utiliza un factor del 60%, cuando es moderada de un 70%, y, cuando es reducida, de un 80%.

El factor de utilización nos da el rendimiento de las luminarias ubicadas en los sectores analizados, y se obtiene una vez obtenido el índice local, la Ecuación 12.2. Con ese dato y la Tabla 12.4, ofrecida por el fabricante, saco Fu.

Tabla 12.4 - Factores de uso.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)																											
		Factor de reflexión del techo																											
		0.8			0.7			0.5			0.3			0															
		Factor de reflexión de las paredes																											
												0.5			0.3			0.1			0.3			0.1			0		
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58																
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67																
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72																
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77																
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81																
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85																
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88																
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89																
	$D_{max} = 0.7 H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92															
	f_m .70 .75 .80	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94															

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Ecuación 12.2 - Índice local.

Dónde:

- K: índice del local.
- a: largo de la superficie.
- b: ancho de la superficie.
- h: altura de las lámparas.

También, se debe conocer, el nivel de reflectancia de las paredes y el techo. Para ello, se adopta un factor de reflexión de 0,5 para techo y 0,5 para las paredes, considerando que serán de un color claro.

A continuación, se presenta una Tabla 12.5 en donde se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

Tabla 12.5 - Cantidad de luminarias internas.

Sector	E (lux)	S (m ²)	K	F _u	F _m	I _i (lm)	Nº de lámparas calculadas	Nº de lámparas adoptadas
Portería de planta	100	15,00	0,9375	0,7744	0,90	5200	0,414	1
Recepción	500	15,00	0,9375	0,7744	0,90	5200	2,069	3
Laboratorio	1500	24,00	1,33	0,8528	0,90	5200	9,020	10
Oficinas	500	103,50	1,373	0,8592	0,90	5200	12,87	13
Cocina/ comedor	200	60,00	2,0833	0,9233	0,90	5200	2,777	3
Baños y vestuarios	200	50,00	1,67	0,8928	0,90	5200	2,393	3
Zona 100	200	204,70	2,33	0,9336	0,90	13000	3,764	4
Zona 200	200	345,58	1,06	0,793	0,90	13000	7,194	8
Zona 300	200	144,80	1,51	0,88	0,90	13000	2,603	3
Caldera de fluido térmico	200	30,58	1,2624	0,8416	0,90	13000	0,627	1
Caldera de vapor	200	235,81	2,9351	0,9572	0,90	13000	4,211	5
Taller de mantenimiento	500	24,00	0,6	0,65	0,70	13000	2,029	3
Total de luminaria interna								57

Elaboración propia.

12.5.2. Cálculo del número de luminarias externas

Las instalaciones que se encuentran al aire libre, junto con las vías de circulación y estacionamientos, deberán contener reflectores led 180, citados anteriormente en la Tabla 12.3.

Se utiliza el siguiente método para determinar la cantidad a incorporar del mismo. Primero se calcula el flujo luminoso total (Φ), Ecuación 12.3.

$$\Phi = \frac{N_i \cdot S}{K}$$

Ecuación 12.3 - Flujo luminoso total.

Donde:

- N_i: nivel de iluminación deseado.
- S: superficie a iluminar.
- K: coeficiente de utilización.

Tomando como pérdidas de flujo luminoso por condiciones ambientales, se adopta un valor de K entre 0,20 y 0,35. Una vez que se tiene el valor de la ecuación anterior, se procede a la Ecuación 12.4, para obtener la cantidad de reflectores por cada zona, expresado en la Tabla 12.6.

$$N_{\text{reflectores}} = \frac{\Phi}{\Phi_i}$$

Ecuación 12.4 - Cantidad de reflectores.

Donde:

- Φ_i : flujo de cada luminaria.

Tabla 12.6 - Cantidad de luminarias externa.

Sector	Nivel de iluminación	S [m ²]	Φ_i [lm]	Número de reflectores
Carga y descarga	200	1125,00	23400	32
Estacionamiento	100	600,00	23400	9
Zona 400	200	333,25	23400	9
Tanques de materia prima	200	599,488	23400	17
Tanques de producto	200	134,40	23400	4
Servicios auxiliares	200	481,40	23400	14
Vías de circulación	100	6113,01	23400	87
Total luminaria externa				172

Elaboración propia.

12.5.3. Consumo total de energía eléctrica del sistema de iluminación

Aquí debajo, en la Tabla 12.7, se observan los consumos diarios y anuales de las luminarias en cada uno de los sectores.

Tabla 12.7 - Consumo energético del sistema de iluminación.

Sector	Nº de lámparas	Potencia [kW]	Frecuencia [h/día]	Consumo diario [kWh/día]	Consumo anual [kWh/año]
Portería de planta	1	0,04	12	0,48	168
Recepción	3	0,04	8	0,96	336
Laboratorio	10	0,04	24	9,6	3360
Oficinas	13	0,04	8	4,16	1456
Cocina/ comedor	3	0,04	8	0,96	336
Baños y vestuarios	3	0,04	24	2,88	1008
Carga y descarga	32	0,18	12	69,12	24192
Estacionamiento	9	0,18	12	19,44	6804
Zona 100	4	0,10	24	9,6	3360
Zona 200	8	0,10	24	19,2	6720
Zona 300	3	0,10	24	7,2	2520
Zona 400	9	0,18	24	38,88	13608
Tanques de materia prima	17	0,18	12	36,72	12852
Tanques de producto	4	0,18	12	8,64	3024
Servicios auxiliares	14	0,18	12	30,24	10584
Caldera de fluido térmico	1	0,10	24	2,4	840
Caldera de vapor	5	0,10	24	12	4200
Taller de mantenimiento	3	0,10	8	2,4	840
Vías de circulación	87	0,18	12	187,92	65772
Total				462,80	161980

Elaboración propia.

12.6. Consumo total de energía eléctrica en la planta

El consumo total de energía eléctrica de la planta, que contempla el consumo de los equipos involucrados en la producción y servicios auxiliares, como así las luminarias, se encuentra descrito en la siguiente Tabla 12.8.

Tabla 12.8 - Consumo total de energía eléctrica de la planta.

Tipo de consumo	Consumo diario (kW/día)	Consumo anual (kW/año)
Equipos	1176,71	411850
Iluminación	462,80	161980
Total	1639,51	573830

Elaboración propia.



CAPÍTULO 13

CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

13. Control automático de procesos

13.1. Introducción

El control automático de procesos es una manera de mantener las variables controladas, dentro del punto de control, a pesar de las diversas perturbaciones que puede ocurrir. Las razones por las cual se implementa en la industria:

- Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo.
- Mantener la calidad del producto en un nivel continuo y con un costo mínimo.
- Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

El proceso productivo completo se diseña pensando en un sistema de control proporcional - integral - derivativo (PID), estos se emplean en procesos donde las constantes del tiempo son largas.

13.2. Control automático

Como se dijo anteriormente se define como una manera de mantener la variable controlada en el punto de control, el trabajo se realiza mediante dispositivos, generalmente electrónicos, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de este y al recibir la señal de la variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada, estabilizando el sistema de control.

El sistema de control consta de cuatro componentes básicos, ellos son:

- Sensor, es el elemento primario.
- Transmisor, elemento secundario.
- Controlador, es el cerebro del sistema de control.
- Elemento final de control, es el que actúa.

El sensor puede ser un termopar, un dispositivo de resistencia térmica, termómetros de sistema de lleno, termisores, etc. Es el encargado de medir la variable a considerar, 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. Éste último recibe la señal, la compara con el valor deseado, y según el resultado de comparación, decide que hacer para mantener el valor requerido. Con base a esto, manda una señal al elemento final de control, el cual actúa.

13.2.1. Zona 400 - Torres de destilación

Los parámetros encargados de la regulación de un tren de destilación son, caudal, temperatura, presión, composición, calores añadidos al rehervidor y calor retirado en la cabeza de a columna, condensador; siendo no menos importantes los caudales de destilado y productos obtenidos.

Como se vió anteriormente, en el capítulo de balance de masa y energía, la zona es la encargada de la separación de las ETAS.

- Secuencia de arranque y parada

La mezcla de ETAS libre de agua ingresa a C-401 a través de la bomba P-211, proveniente de la zona anterior. Antes de ingresar a la columna se encuentra un caudalímetro FT-01 encargado de medir el flujo de entrada, el mismo posee un lazo de control con el variador de frecuencia VF-01, que le permite regular el caudal de entrada. Además, se cuenta con un sensor de temperatura TT-01 el cual indica la temperatura de la corriente de alimentación.

Ambas torres cuentan con transmisor de presión, conectado por medio de un lazo de control a una válvula manual, esta se encarga de regular el caudal para obtener la presión deseada. Para el caso de la primera torre estos elementos son, PT-01 y V-01. Para la segunda, PT-02 y V-06. Además, cuentan con sensores de nivel alto (LSH) y de nivel bajo (LSL), conectados a una bomba. Cuando se enciende el nivel bajo comienza el arranque de la bomba, de lo contrario para el nivel alto, se detiene. Estos componentes para C-401 son, LSL-01, LSH-01 y P-211. Para C-404, LSH-03, LSL-02 y P-410.

El destilado de la primera columna cuenta con un transmisor de temperatura TT-02 conectado a una válvula V-02 que regula el caudal de la corriente S1, para obtener la temperatura deseada a la salida.

Tanto antes como después del intercambiador E-402, se cuenta con un caudalímetro FT-02 y FT-03, estableciendo un lazo de control con VF-02 y VF-03, regulando así la bomba P-413 y P-409.

Lo importante del equipo E-402 es la temperatura de la corriente de salida, para que sea la establecida deberá contar con un TT-03 conectada a V-03, que permite variar el caudal del agua de enfriamiento.

En el almacenamiento de MEA (T-403) se colocó un sensor de nivel alto LSH-02 conectado a V-04, que indica el llenado del tanque para que la válvula sea cerrada.

El fondo de la columna C-401 cuenta con un transmisor de temperatura TT-04 conectado a una válvula V-05 que regula el caudal de la corriente T2, para obtener la temperatura deseada a la salida.

El producto obtenido por la cabeza de C-404 es regulado por la válvula V-07 que establece un lazo de control con TT-05. Para el caso de la TEA, obtenida por el fondo son V-10 y TT-07.

Las bombas P-414 y P-415 son encargadas de llevar los subproductos a los intercambiadores de calor E-405 y E-406, para disminuir su temperatura. Los caudalímetros FT-05 y FT-07 son encargados de informar a VF-05 y VF-07 una alteración en dicha corriente y regularlo a través de las bombas.

Estos intercambiadores al igual que para la MEA, poseen una válvula V-08 y V-11 encargadas de mantener la temperatura de la corriente de salida en el valor indicado, medidas a través de TT-06 y TT-08.

Previo al almacenamiento en T-407 y T-408 se establece un lazo de control entre los caudalímetros y variadores de frecuencia, FT-06 con VF-06; FT-08 con VF-08, que modifican la potencia de las bombas, P-411 y P-412. Conjuntamente se cuenta con un sensor de nivel alto LSH-04 conectado a V-09 para la DEA, LSH-05 junto con V-12 para TEA, que indica el llenado del tanque para que la válvula sea cerrada.

➤ P&D

A continuación, se detalla en la Figura 13.1, para la zona de destilación del proceso de obtención de MEA.

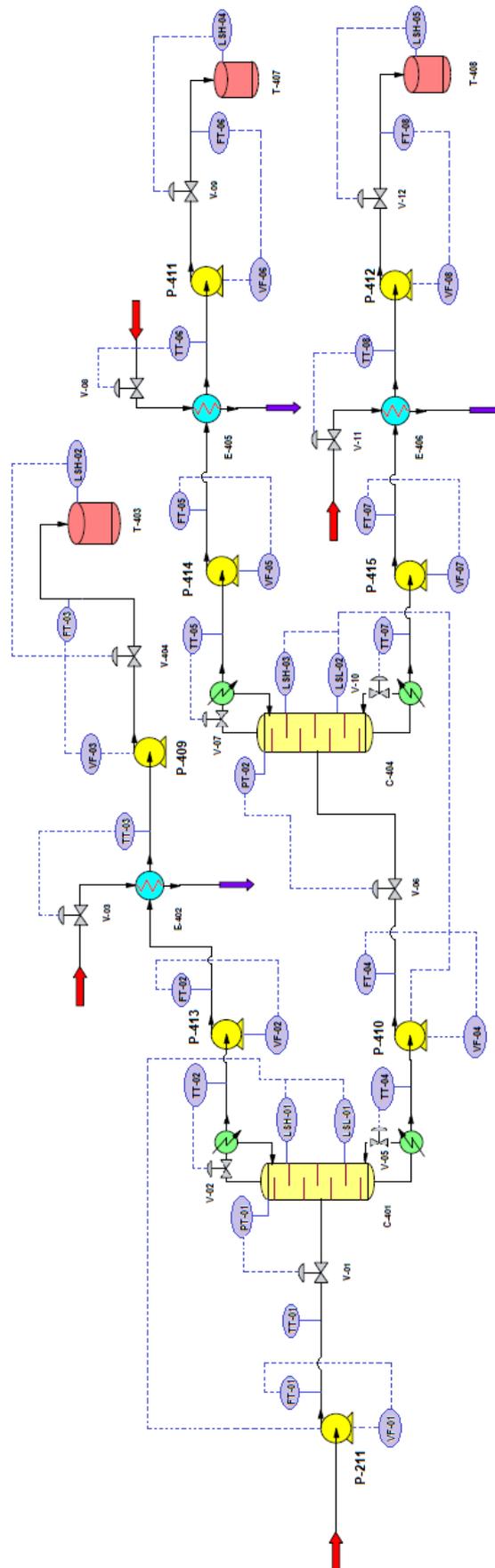


Figura 13.1 - P&D de la zona 400.

13.3. Hojas de especificación de instrumentos

13.3.1. Transmisor de presión

En la Figura 13.2 se puede observar el transmisor de presión a utilizar, este presenta las características de la Tabla 13.1. Además, se utiliza para productos altamente corrosivos y calientes. Las ventajas que tiene son:

- Fácil adaptación gracias a las diversas opciones de configuración.
- Medición fiable hasta temperaturas de 400 °C.
- Mediciones íntegras, independiente de la formación de espuma o las estructuras del depósito.



Figura 13.2 - Transmisor de presión con sello separador químico.

Fuente: Vega.

Tabla 13.1 - Transmisor de presión.

Control automático de procesos			
GENERAL	1	Nombre	PT-01
	2	Servicio	Medición
	3	Ubicación	Sección 400
	4	Función	Medir la presión
SENSOR	5	Tipo de sensor	Analógico
	6	Orientación	Vertical
	7	Material	Acero inoxidable
	8	Rango de medición	1 - 1019 kg/cm ²
	9	Máxima presión	1019 kg/cm ²
	10	Conexión a proceso	Roscada / brida
	11	Rango de temperatura	-90 °C a 400 °C
	12	Voltaje de alimentación	24 volt
TRANSMISOR	13	Señal de salida	Analógica 4-20 mA
	14	Indicación local	Si
PRIMERA TORRE (PT-01)			
SERVICIO	15	Fluido	ETAS
	16	Densidad	963,49 kg/m ³
	17	Viscosidad	0,0013 kg/m·s
	18	Presión máxima	0,40 kg/cm ²
	19	Temperatura máxima	245 °C
SEGUNDA TORRE (PT-02)			
SERVICIO	20	Fluido	DEA, TEA y restos de MEA
	21	Densidad	938,82 kg/m ³
	22	Viscosidad	0,000467 kg/m·s
	23	Presión máxima	0,41 kg/cm ²
	24	Temperatura máxima	300 °C

Elaboración propia. Fuente: Vega.

13.3.2. Válvula On-Off

Las válvulas de globo son ideales para ciclos rápidos, resistentes a altas temperaturas y eficaces en aplicaciones de regulación. Se utilizan con frecuencia para el control de vapor y en el tratamiento de agua y aguas residuales, pueden utilizarse en una gran variedad de aplicaciones dentro de los procesos industriales, en la Figura 13.3 se puede observar su forma.



Figura 13.3 - Válvula de globo On-Off.

Fuente: Spirax sarco.

En la Tabla 13.2 se puede observar las características de una de las válvulas adoptadas.

Tabla 13.2 - Válvulas de globo On-Off.

Control Automático de Procesos			
GENERAL	1	Nombre	V-01
	2	Servicio	Control de caudal de las ETAS
	3	Ubicación	Corriente M'
	4	Diámetro Línea	4 pulg
	5	Función	Control de caudal que ingresa en C-401
	6	Sector	Destilación
CUERPO	7	Tipo de Válvula	On - Off
	8	Conexión / Extremos	Bridado
	9	Material interno	Acero inoxidable
	10	Materia externo	Acero inoxidable
ACTUADOR	11	Tipo de Actuador	Neumático
	12	Fluido Motor	Aire comprimido
	13	Presión Fluido Motor	6,12 kg/cm ²
	14	Voltaje	24 volt
	15	Transmisor	Analógico
CONDICIONES OPERATIVAS	16	Flow units	kg/m ³
	17	Fluido Motor	ETAS
	18	Caudal Máximo	700 kg/h
	19	Caudal Operativo	587,22 kg/h
	20	Caudal Mínimo	500 kg/h
	21	Presión Entrada	0,39 kg/cm ²
	22	Presión Salida	0,40 kg/cm ²
	23	Temp. Max./Operación	245 °C
	24	Densidad	963,49 kg/m ³
	25	Viscosidad	0,0013 kg/m·s
	26	% sólidos en suspensión	0

Elaboración propia. Fuente: Spirax sarco.

- Cantidad de válvulas: 12 (V-01, V-02, V-03, V-04, V-05, V-06, V-07, V-08, V-09, V-10, V-11, V-12).

13.3.3. Transmisor de temperatura

Las funciones que cumple un transmisor de temperatura son aislar, amplificar, filtrar sonido, linealizar y convertir la señal de entrada a una señal estandarizada de control. Se representa en la Figura 13.4, en la Tabla 13.3 se muestran las características de los instrumentos adoptados.

Ventajas del modelo adoptado:

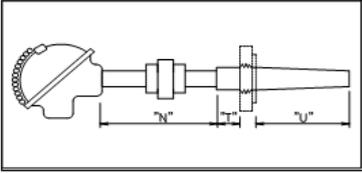
- Uso flexible: detección local de valores medidos en pantalla digital.
- Carcasa resistente de dos cámaras en aluminio fundido a presión o acero inoxidable.
- Fácil manejo: terminales de prueba para lectura directa de la señal de salida sin interrumpir el bucle de corriente.
- Funcionamiento sin obstáculos: el sensor de montaje remoto evita que el transmisor se caliente, es inmune a las vibraciones y oscilaciones gracias a los largos tubos de cuello y las tuberías de protección.



Figura 13.4 - Transmisor de temperatura.

Fuente: Siemens.

Tabla 13.3 - Transmisor de temperatura.

Control Automático de Procesos								
1. Transmisor <input checked="" type="checkbox"/> Termostato <input type="checkbox"/> CABEZAL			9. Conexión a proceso Bridado/roscado					
2. Roscado <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>			10. Conexión Eléctrica 2-Hilos <input checked="" type="checkbox"/> 3-Hilos <input type="checkbox"/> 4-Hilos <input type="checkbox"/>					
3. Antiexplosivo <input type="checkbox"/> Clase _____ Seguridad Intrínseca <input checked="" type="checkbox"/> Clase _____			11. Alimentación 24 V <input checked="" type="checkbox"/> 12 V <input type="checkbox"/> _____					
4. Material ACERO INOXIDABLE Con. Proceso _____			TERMOPOZO - VAINA					
ELEMENTO DE MEDICION			12. No Incluida <input checked="" type="checkbox"/> Incluida <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>					
5. Platino <input checked="" type="checkbox"/> Nickel <input type="checkbox"/> Otro _____			13. Material: 304AISI <input checked="" type="checkbox"/> 316AISI <input type="checkbox"/>					
6. Rango Resistencia 0° - 100 OHMS			14. Conexión a proceso: ½ in. <input checked="" type="checkbox"/> ¾ in. <input type="checkbox"/> BSP <input type="checkbox"/>					
7. Temperatura Ver cuadro debajo			OTROS					
8. Material Acero inoxidable O.D. _____			a) _____ b) _____					
								
Tag N°	Tipo	Ubicación	Dimensiones Pozo		Rango (°C)	Longitud	Sector	Observaciones
			"U"	"T" + "N"				
Zona 400								
TT-01	Analogico	Corriente M'	150 mm	A definir por proveedor	50-140	150	Destilación	ETAS
TT-02	Analogico	Corriente S	150 mm	A definir por proveedor	100-145	150	Destilación	MEA con DEA
TT-03	Analogico	Corriente S"	150 mm	A definir por proveedor	140-30	150	Destilación	MEA con DEA
TT-04	Analogico	Corriente T	150 mm	A definir por proveedor	200-250	150	Destilación	DEA y TEA
TT-05	Analogico	Corriente U	150 mm	A definir por proveedor	200-250	150	Destilación	DEA con trazas de TEA
TT-06	Analogico	Corriente U"	150 mm	A definir por proveedor	200-40	150	Destilación	DEA con trazas de TEA
TT-07	Analogico	Corriente V	150 mm	A definir por proveedor	200-300	150	Destilación	TEA
TT-08	Analogico	Corriente V"	150 mm	A definir por proveedor	300-40	150	Destilación	TEA

Elaboración propia. Fuente: Siemens.

13.3.4. Transmisor de caudal

Un caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido.

El SITRANS FM MAG 6000 I y el SITRANS FM MAG 6000 I Ex de, son transmisores de caudal basados en microprocesador que se pueden utilizar en los entornos industriales más duros. En la Figura 13.5 y en la Tabla 13.4 se muestran las condiciones.

Ventajas:

- Control de lotes avanzado incorporado.
- Carcasa robusta de aluminio fundido a presión de dos cámaras, adecuada para aplicaciones potencialmente explosivas.
- Función de dosificación incorporada.
- Exactitud 0,2% ± 1 mm/s.

- Módulo de comunicación agregado para una fácil integración con su aplicación, proporcionando una solución totalmente integrada en toda la planta, etc.



Figura 13.5 - Transmisor de caudal.

Fuente: Siemens.

Tabla 13.4 - Transmisor de caudal.

Control Automático de Procesos						
GENERAL	1	Nombre		FT-01		
	2	Tipo de Caudalímetro		Másico		
	3	Función		Medición		
	4	Servicio		Medir el caudal de ETAS		
	5	Ubicación		Corriente M'		
	6	Sector		Destilación		
CONEXIÓN A PROCESO	7	Diámetro Cañería		3 pulg		
	8	Material Cañería		Aluminio fundido		
	9	Conexión / extremo		Bridada		
CONDICIONES DE PROCESO	10	FLUIDO	Fluido		ETAS	
	11		Caudal Normal		587,22 kg/h	
	13		Máx. Temp.	Min. Temp.	100 °C	300 °C
	14		Máx. Pres.	Min. Pres.	0,35 kg/cm ²	0,40kg/cm ²
	15		Densidad		963,49 kg/m ³	
	16		Viscosidad		0,0013 kg/m·s	
TRANSMISOR	17	Voltaje para funcionamiento		24 volt		
	18	TRANSM	Señal de Salida		4-20 mA	
	19		Indicador Local		si	

Elaboración propia. Fuente: Siemens.

Cantidad de transmisores: 8 (FT-01, FT-02, FT-03, FT-04, FT-05, FT-06, FT-07, FT-08).

13.3.5. Transmisor de nivel

Se encargan de medir el nivel alto y bajo dentro de la torre y los tanques. En la Figura 13.6 se muestra su imagen y en la Tabla 13.5 las características adoptadas.

La serie SITRANS LG son transmisores de radar de onda guiada para medición continua de nivel, nivel e interfaz y volumen de líquidos como sólidos. No se ven afectados por los cambios en las condiciones del proceso, las altas temperaturas, presiones y el vapor.



Figura 13.6 - Transmisor de nivel.

Fuente: Siemens.

Tabla 13.5 - Transmisor de nivel.

Control Automático de Procesos			
GENERAL	1	Nombre	LSH-01 / LSL-01
	2	Servicio	Medición
	3	Ubicación	Primera torre de destilación
	4	Función	Medir el nivel de C-401
	5	Sector	Destilación
SENSOR	6	Tipo de sensor	Radar de onda guiada
	7	Orientación	Horizontal
	8	Material	Acero inoxidable
	9	Rango de longitud	0,30 a 75 m
	10	Conexión a proceso	Roscada
	11	Voltaje	24 volt
TRANSMISOR	12	Señal de salida	Analógico
	13	Rango	4-20 mA
SERVICIO	14	Fluido	ETAS
	15	Densidad	963,49 kg/m ³
	16	Viscosidad	0,0013 kg/m·s
	17	Presión alta	0,40 kg/cm ²
	18	Temperatura alta	245 °C

Elaboración propia. Fuente: Siemens.

Cantidad de elementos: 2 de nivel bajo (LSL-01, LSL-02) y 5 de nivel alto (LSH-01, LSH-02, LSH-03, LSH-04, LSH-05).

13.3.6. Variador de frecuencia

El compacto SINAMICS V20 es el convertidor de frecuencia para secuencias de movimiento sencillas. Se caracteriza por sus cortos tiempos de puesta en marcha, su fácil manejo y sus funciones de ahorro de energía. El convertidor con sus nueve tamaños cubre el rango de potencia de 0,12 kW a 30 kW.

A continuación, en la Figura 13.7 se muestra la representación del mismo y en la Tabla 13.6 las condiciones del instrumento adoptado.



Figura 13.7 - Variador de frecuencia.

Fuente: Siemens.

Tabla 13.6 - Variador de frecuencia.

Control automático de procesos			
GENERAL	1	Nombre	VF-01
	2	Tipo de variador	Digital
	3	Función	Modificar la potencia de la bomba
	4	Servicio	Variador de frecuencia
	5	Ubicación	Corriente M
	6	Sector	Destilación
CONEXIÓN A PROCESO	7	Corriente de salida	2,1 A - 9,6 A
	8	Conexión de entrada	220 Volt - 380 Volt
	9	Voltaje para funcionamiento	220 Volt
SALIDA	10	Tipo de salida	Triple
	11	Frecuencia de salida	0 - 300 Hz

Elaboración propia. Fuente: Siemens.

Cantidad de aparatos: 8 (VF-01, VF-02, VF-03, VF-04, VF-05, VF-06, VF-07, VF-08).



CAPÍTULO 14

SEGURIDAD INDUSTRIAL

14. Seguridad industrial

14.1. Introducción

La seguridad e higiene industrial es un conjunto de medidas que se aplican con el fin de prevenir accidentes laborales y minimizar sus consecuencias. Actualmente, las empresas, contratan y forman profesionales en el área de seguridad e higiene industrial lo cual les brinda la posibilidad de organizar y planear diferentes formas de protección para los trabajadores en sus tareas diarias y para la seguridad de la empresa en general.

El aspecto central de la higiene industrial y la seguridad laboral es la protección de la vida y la salud del trabajador, el entorno familiar y el desarrollo de la comunidad. Los procedimientos de higiene y cobertura industrial cubren la identificación, evaluación y control de los agentes nocivos y los factores de riesgo en el lugar de trabajo y, en determinadas circunstancias, la modificación de la integridad física y psicológica del lugar de trabajo de las personas.

En el presente capítulo se detallan las normativas sobre seguridad tanto en la industria como en el personal de trabajo y se adoptan los elementos de seguridad para la protección y la seguridad de las personas internas y externas a la industria.

14.2. Marco legal

La legislación industrial resulta imprescindible para el ingeniero que intervenga en proyectos industriales. Esta condiciona de manera decisiva el diseño de una planta de producción, desde el enfoque en la seguridad de personas, bienes y medio ambiente.

El desarrollo del diseño de la planta de producción de monoetanolamina, se basa en el panorama legislativo vigente en nuestro país. En lo que respecta a seguridad industrial; estas leyes son:

- Ley de seguridad e higiene en el trabajo N° 19587/72, y su decreto 351/79.
- Ley de riesgos de trabajo N° 24557/95.

Conjunto a las leyes se pueden encontrar recomendaciones y exigencias establecidas por organizaciones internacionales que se ocupan de la seguridad industrial.

14.3. Política de higiene y seguridad

La empresa debe establecer un lugar de trabajo sano y seguro, trabajo en conjunto de todas las áreas de la planta a fin de favorecer un desarrollo seguro y sostenible, desplegando las prácticas necesarias respecto a la seguridad e higiene industrial.

El objetivo de esta última consiste en mejorar la calidad de vida y contribuir a un desarrollo seguro y sostenible.

Es de suma importancia que participen todos los integrantes de la empresa. Para ello, la gerencia se compromete a generar conciencia sobre la importancia de los aspectos que incluye una planta segura, cuyo personal está involucrado en realizar prácticas correctas y seguras en todas las secciones del establecimiento.

14.4. Gestión de higiene y seguridad

La responsabilidad sobre cuestiones relacionadas con higiene y seguridad de la planta recaerá sobre el técnico de HS&MA tercerizado.

El personal contratado es el encargado de proteger la vida, preservar y mantener la integridad, tanto psicológica como física, de los trabajadores y de las personas que se encuentren vinculadas con el ciclo de vida del producto y también la realización de las prácticas

relacionadas con la protección del medio ambiente. Para lograr todo esto, los responsables de higiene y seguridad deben involucrarse profundamente con el proceso productivo y el personal de fábrica.

El área de HS&MA se encarga de la anticipación, identificación, evaluación y control de riesgos que se originen en el ámbito de trabajo; así como también de brindar soluciones y mejoras para disminuir los riesgos de siniestros.

14.5. Responsabilidades del técnico de higiene y seguridad

Le corresponde al técnico junto con el directorio de la empresa elaborar e implantar un sistema de reglamentaciones generales y particulares, que conforman el Manual de Higiene y Seguridad de la empresa, el cual se divide por sectores en función de las distintas actividades de esta.

Este manual está basado en las recomendaciones y exigencias internacionales, adaptadas a las particularidades del país. Por lo tanto, las disposiciones propias de la empresa se encuentran en concordancia con la legislación vigente nacional e internacional.

Es responsabilidad del encargado del departamento de higiene y seguridad garantizar que todos los empleados conozcan los puntos del manual y es responsabilidad de los trabajadores cumplir con estas reglamentaciones.

Cualquier incumplimiento es sancionado y dichas sanciones son previamente establecidas por el departamento de higiene y seguridad junto con la gerencia de la empresa.

14.6. Estructura de HS&MA

La estructura de la empresa y personal está conformada según lo establecido en el capítulo Organización de la Empresa, donde se detalla el organigrama de toda la planta.

14.6.1. Proceso

Los diseñadores son responsables de remarcar las áreas de proceso donde los peligros potenciales exceden a las expectativas normales de riesgo en la planta.

Proceso, temperaturas máximas y mínimas, presiones máximas y mínimas, reacciones peligrosas, materias tóxicas y peligrosas, materias corrosivas.

El proceso productivo de monoetanolamina se encuentra detallado en el capítulo correspondiente a Selección y Descripción del Proceso de Producción. En aquel capítulo se detallan las condiciones de proceso, destacándose aquellas que significan mayores riesgos. A continuación de esta sección se encuentran las planillas de datos de todas las sustancias que se manipulan durante la producción, ya sea que se trate de materias primas, productos y servicios.

14.6.2. Diseño de equipos

Las recomendaciones para el diseño detallado de los equipos deben ser semejantes a las hechas para el diseño del proceso, detalladas en la Tabla 14.1.

Tabla 14.1 - Consideraciones para el diseño de equipos.

Diseño de equipos
Temperatura máxima de diseño
Presiones máximas de diseño
Protecciones frente a partes móviles del equipo
Aislamiento acústico
Aislamiento para protección personal
Aislamiento para protección personal
Soportes a prueba de fuego

Elaboración propia. Fuente: Ley 19587.

14.6.3. Obras civiles y estructurales

Los edificios deben satisfacer códigos locales y nacionales de construcción que incluyen requerimientos específicos de seguridad. Además, las unidades pueden llegar a requerir medidas adicionales de seguridad, las cuales se deben tener presentes, Tabla 14.2.

Tabla 14.2 - Consideraciones sobre obras civiles y estructurales.

Obras civiles y estructurales
Seguridad en espacios interiores
Materiales de construcción
Seguridad en materiales de construcción
Sectorización de la planta
Emplazamiento de edificios
Diseño frente a terremotos
Diseño considerando la carga máxima de viento
Cargas de diseño para equipos y tuberías
Cargas máximas combinadas
Equipo para elevación de piezas
Protección contra el fuego de las estructuras
Caminos interiores

Elaboración propia. Fuente: Ley 19587.

En el capítulo de obras civiles se indican los aspectos indicados en la tabla anterior. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de definir como se construirán todas las estructuras que comprende la totalidad de la planta.

14.6.4. Electricidad

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño incluyen también aspectos eléctricos de seguridad, dispuestos en la Tabla 14.3.

Tabla 14.3 - Consideraciones sobre electricidad.

Electricidad
Dimensionado de cables
Protección frente a fallos
Puesta a tierra
Protección de los cables contra el fuego
Generación de energía de emergencia

Elaboración propia. Fuente: Ley 19587.

Las instalaciones eléctricas, equipos y conexiones de la planta de producción se encuentran detallada en el capítulo correspondiente a Instalaciones Eléctricas. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta en lo que respecta a la higiene y seguridad de la planta al momento de hacer este tipo de instalaciones.

14.6.5. Protección contra incendios

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen, Tabla 14.4.

Tabla 14.4 - Consideraciones sobre protección contra incendios.

Protección contra incendios
Sistemas de agua contra incendios
Sistemas de agua de reserva
Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios
Extintores contra incendios
Alarmas de incendio

Elaboración propia. Fuente: Ley 19587.

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del director de proyecto (especialista en higiene y seguridad) asegurarse de que dicha protección esté contemplada en el diseño y posteriormente en la práctica.

14.6.6. Seguridad en la construcción de la planta

La etapa de construcción de instalaciones es aquella en que se materializan los proyectos procedentes de la etapa de diseño.

Esta etapa es ejecutada por una empresa, contratada a tal fin. Proporcionando características particulares, considerando la seguridad en la construcción de las instalaciones.

La seguridad en la construcción tiene dos vertientes a considerar por separado:

- Seguridad en los propios trabajos de construcción: la dispersión de mandos y responsabilidades que se deriva de la actuación de la empresa contratista dentro del ámbito de la empresa propietaria obliga a una coordinación adecuada de información, actuación y mando; esto incluye:
 - a. Notificación de los procedimientos de seguridad en la construcción a los contratistas.

- b. Nombramiento de uno o varios supervisores de seguridad con atribuciones para emitir y controlar los permisos, así como para detener los trabajos en caso oportuno y hasta que se adopten las medidas de seguridad pertinentes.
 - c. Emisión y control de permisos para la ejecución de trabajos de cierta peligrosidad.
 - d. Aseguramiento eficiente y verdadero por los contratistas sobre los riesgos de accidente y de daños a terceros.
 - e. Consideración de todos los riesgos derivados de los propios trabajos y del entorno en que se llevan a cabo los mismos.
- Seguridad y control de calidad en la construcción: la calidad de la obra ejecutada y la fidelidad a un diseño correcto influyen de manera importante en la seguridad de la operación y mantenimiento futuro de las instalaciones. Ello hace que un control cuidadoso de dicha calidad sea un complemento imprescindible a un proyecto bien hecho.

14.6.7. Seguridad en la operación

La seguridad en la operación constituye una continuidad de la seguridad en el diseño; ya que la probabilidad de que un suceso peligroso ocurra no depende únicamente de las características técnicas del proceso y de los controles de seguridad, sino también de aspectos operativos y organizativos del control de riesgos tales como son las actitudes de los mandos y de los operarios, de los errores humanos, de un mantenimiento inadecuado, del conocimiento y comprensión escasos por los operarios.

14.6.8. Seguridad en el mantenimiento

Debido a las agresiones (desgastes, corrosiones, envejecimientos) que sufren diferentes partes de la instalación por su uso y por la acción de factores internos y externos, se pueden producir averías que originan condiciones inseguras. Por ello es evidente que el mantenimiento eficaz contribuye a la seguridad de instalaciones y operaciones de manera importante.

En nuestra planta, se implementan dos tipos de mantenimiento, los cuales son complementarios entre sí; estos son:

- Mantenimiento correctivo: intervención correctora de las averías con rapidez, eficiencia y precauciones (seguridad en la propia acción correctora). Para este tipo de mantenimiento es que se dispondrá de una cantidad determinada estadísticamente de repuestos en existencia.
- Mantenimiento preventivo: se efectuarán inspecciones periódicas de todos los elementos de las instalaciones, con frecuencias mínimas o ajustadas a los análisis estadísticos de deterioros, con el fin de que la reparación o sustitución de aquéllos se efectúe antes de que la rotura se declare. Cuando la avería pueda llegar a tener consecuencias serias para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

El mantenimiento de la planta está a cargo de personal especializado en el tema según lo establecido en el capítulo de Organización Industrial de la empresa.

14.6.9. Seguridad en prevención, defensa y actuación

Debido a causas imprevisibles o de fuerza mayor, y a no efectuarse la prevención con una eficiencia de 100%, debe aceptarse que el riesgo pueda manifestarse en forma de incidentes o siniestros.

Si bien hasta aquí se han considerado, en cada sector de la planta en particular, una amplia cantidad de medidas necesarias para evitar diversos tipos de riesgos; cumpliendo con todas las condiciones impuestas por la ley vigente. Sin embargo, lo realizado no quedaría completo sin el agregado de lo que a continuación se desarrolla; esto es prevención, defensa y actuación frente a siniestros, en particular frente al fuego, lo que es de destacar debido a las características del proceso productivo (equipos y sustancias).

14.7. Industria química

En este tipo de industrias los peligros son constantes por la relación directa a los químicos que se usan. Estos pueden presentarse en las 3 principales fases, durante todo el desarrollo de un producto, estas son las siguientes:

- **Elaboración:** es en donde más ocurren accidentes, por ser el proceso donde más se está cerca con los componentes químicos, en donde cualquier intoxicación podría dañar a la persona si no se tienen los cuidados y protección segura.
- **Almacenamiento:** el stock de materiales químicos, o materias primas hace que provoque algún accidente o riesgo, al pasar un producto químico, a otro sitio y se llegara a contaminar la persona por no tener el uniforme correspondiente
- **Limpieza:** el riesgo aquí es inminente si no se tiene el cuidado necesario para el usuario. La persona correspondiente tiene que usar los productos de limpieza necesarios, a la hora de dar mantenimiento a los componentes, pero si no se usa un uniforme correspondiente la persona podría enfermarse por los fuertes productos químicos que se usan, para limpieza, saneamiento y purga.

Una persona que trabaja en este tipo de sectores abarca una gran seguridad personal, porque todo el cuerpo está cubierto de grandes riesgos que se presentan por la directa relación con sustancias químicas y tóxicas para el cuerpo humano.

Las principales causas de los accidentes son las salpicaduras químicas que pueden ocurrir por ejemplo si explotan tuberías o depósitos bajo presión o durante el desmontaje de las canalizaciones y de las válvulas. Es importante que se cuente con el completo uniforme y sobre todo que se encuentre en las perfectas condiciones de calidad, y limpieza.

14.8. Sustancias de proceso

En esta sesión se detallan las propiedades y características de las sustancias involucradas en el proceso productivo. Se describirá cada sustancia, tanto de proceso como de servicios auxiliares, en el Anexo III, utilizando las fichas técnicas de datos de seguridad de distintos fabricantes certificados.

Las sustancias manipuladas en el proceso de producción de monoetanolamina, así como también las sustancias de servicios utilizadas, por orden alfabético, son:

- Agua
- Amoníaco
- Dietanolamina
- Monoetanolamina
- Nitrógeno (refrigerante)
- Óxido de etileno
- Therminol 66 (fluido térmico)
- Trietanolamina

14.9. Protección individual

La seguridad e higiene en un establecimiento, previo a utilizar los elementos de protección personal, consta de los siguientes pasos a la hora de resolver un riesgo identificado:

- Eliminar la fuente que genera el problema de seguridad.
- Sustituir el problema en caso de que no se pueda eliminar.
- Aislar el problema en caso de no poderse sustituir.

Los elementos que son utilizados o sujetos por el trabajador en la industria, para protegerlo de uno o varios riesgos y aumentar su seguridad o el cuidado de la salud en el trabajo, se denominan Elementos de Protección Personal y son indispensables para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados.

Los mismos deben ser provistos por el empleador y en algunas categorías tienen que estar certificados por uno de los dos únicos entes certificadores reconocidos por la Secretaría de Comercio en la Argentina: IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), Internacional Quality Certifications y UL (Underwriters Laboratories) (Resolución SRT N° 299, 2011).

Los elementos de protección personal deben proporcionar la máxima comodidad y alta eficiencia para que el usuario no sufra un accidente. Los equipos no deben restringir los movimientos del empleado, sino contribuir a la seguridad del individuo durante su trabajo.

Por lo tanto, deben ser fabricados de acuerdo con las normas de construcción nacionales e internacionales, que verifican todos los procesos de fabricación y determinan si están contruidos con los materiales correctos. Su uso correcto y permanente durante el trabajo en plantas industriales es fundamental.

La Resolución SRT N° 299/2011 crea el formulario de registro de entrega de elementos de protección personal y ropa de trabajo que debe ser completado por el responsable de higiene y seguridad o por la ART según corresponda, y suscripto por el trabajador.

En la Figura 14.1 se representa un ejemplo de la indumentaria y los elementos que debe poseer el personal en una fábrica.



Figura 14.1 - Elementos de protección personal.

Fuente: Bioseif.

Aunque no hay que descartar que los individuos ajenos a la empresa también deban llevar sus elementos de protección para evitar accidentes. Dichos elementos se describen a continuación.

En industrias químicas es recomendable usar, casco, ropa de algodón, protección auditiva, y alguna mascarilla de respiración o comúnmente llamada equipo de escape.

Es importante recordar que los elementos de protección personal no eliminan los riesgos, solo los minimizan, teniendo cada elemento limitaciones de uso. Y que dichos elementos, no son intercambiables con los demás trabajadores de la planta. Además, se debe limpiar y desinfectar el equipo, inspeccionarlo periódicamente, y almacenarlo en forma adecuada.

La función básica de un equipo de protección personal es la de establecer una barrera entre el usuario del equipo y el producto agresivo. La elección de la protección estará determinada por la peligrosidad del agente, el tiempo de exposición, el nivel de contacto.

En las siguientes secciones se muestran, según la zona del cuerpo a proteger, el equipo de protección que será utilizado por el trabajador. La norma IRAM que establece las características de cada elemento de protección personal dependerá no solo del elemento de protección específico, sino también de las características apropiadas que se requieran para cada trabajador en particular.

14.9.1. Protección corporal

La ropa de trabajo utilizada tendrá las siguientes características:

- Ser de tela flexible, permitiendo una fácil y rápida limpieza, así como la desinfección de la misma en forma adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.

- Debe ajustarse bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.
- Se eliminan o reducen en lo posible elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones partes vueltas hacia arriba y cordones; por razones higiénicas y para evitar enganches.
- Se prohíbe el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional, como ser: corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos.
- En ocasiones especiales la ropa de trabajo será de tela impermeable, incombustible, de abrigo resistente a sustancias agresivas; y siempre que sea necesario, se dotará al trabajador de delantales, mandiles, petos, chalecos, fajas, cinturones anchos y otros elementos que puedan ser necesarios.

14.9.2. Protección craneana

Su uso es personal y obligatorio, se cambiará al sufrir algún impacto violento, Figura 14.2.



Figura 14.2 - Protección craneana.

Con el casco de seguridad el trabajador se protege de:

- Caídas de objetos.
- Golpes en la cabeza.
- Proyección violenta de objetos.
- Contactos eléctricos.

14.9.3. Protección ocular y/o facial

Cuando haya riesgo para los ojos, por proyecciones o salpicaduras, es obligatorio el uso de gafas o pantallas de seguridad adecuadas, Figura 14.3.



Figura 14.3 - Protección ocular y/o facial.

Su uso se requiere si está expuesto a:

- Proyección de partículas sólidas y/o líquidos.
- Exposición a radiaciones nocivas (soldadura oxiacetilénica o eléctrica, etc.)
- Exposición a atmósferas contaminadas.

Tipos de protectores:

- Anteojos de seguridad.
- Antiparras.

- Protectores faciales.
- Protectores oculares y/o faciales para trabajos de soldadura y corte.

14.9.4. Protección respiratoria

Se debe utilizar protección respiratoria cuando la concentración de polvo, de diferentes gases y/o vapores presentes en el aire supere los valores estipulados en la legislación vigente. Su elección dependerá del tipo de contaminante, el tiempo de exposición y las características del trabajo a realizar, Figura 14.4.



Figura 14.4 - Protección respiratoria.

En todos los casos asegúrese que, la máscara se adapte bien a su rostro (no use barba); los elementos o cartuchos filtrantes se encuentren en buen estado y hayan sido inspeccionados regularmente.

Se puede hacer una clasificación de la siguiente manera:

1. Dependientes del medio ambiente.
 - Barbijos.
 - Respiradores.
 - Mascara facial.
2. Independientes del medio ambiente.
 - Equipo autónomo portátil (utilizan filtros) de circuito cerrado o de circuito abierto.
 - Equipo de succión (suministra aire) pulmonar o forzado.
 - Equipo de aire comprimido provenientes de cilindro o provenientes de compresor.

14.9.5. Protección de pies

Los zapatos de seguridad son de uso obligatorio, Figura 14.5.



Figura 14.5 - Protección de pies.

Ellos protegen de:

- Caída de elementos pesados y objetos punzantes.
- Pinchaduras.
- Cables o conexiones eléctricas expuestas.
- Manipulación de productos químicos o hidrocarburos.

Tipos:

- Zapatos.
- Botines.
- Botas de seguridad (con puntera y/o suela de acero).

Para el caso de los electricistas, sólo en el caso de trabajar bajo tensión, zapatos dieléctricos (sin puntera y/o suela de acero ni hojalillos de acero).

14.9.6. Protección de manos y brazos

Se deben utilizar guantes de seguridad de acuerdo al tipo de tarea que se vaya a emprender, Figura 14.6.



Figura 14.6 - Protección de manos y brazos.

Como cuando se esté expuesto a peligros de:

- Contacto con sustancias peligrosas.
- Cortes y raspaduras severas.
- Quemaduras químicas o térmicas.
- Trabajar con circuitos eléctricos o cerca de ellos (en éste caso los guantes deben ser dieléctricos).

Además, tener en cuenta que:

- Se debe mantener las manos alejadas de cualquier carga en movimiento.
- Nunca atar el cable guía de una carga al cuerpo o las manos.
- Si está trabajando con máquinas-herramientas no utilice anillos ni pulseras.
- Para clavar un elemento a golpes de maza, sostener a éste con alguna pinza o soporte para no golpearse las manos.

14.9.7. Protección auditiva

Si se llevan a cabo operaciones que generan un nivel de ruido elevado es necesario hacer uso de protecciones auditivas. Usarlas correctamente rebaja el nivel de ruido que llega al oído y por consiguiente el nivel del riesgo de lesión. Para que resulten eficaces, los protectores auditivos deben ser llevados durante todo el tiempo que dure la exposición, Figura 14.7.



Figura 14.7 - Protección auditiva.

Tipos más comunes de protección auditiva:

- Insertores: se insertan dentro del conducto auditivo externo. Su nivel de atenuación oscila en el rango de los 25 db.
- Cobertores o de Copa: cubren todo el pabellón de oído y la zona ósea. El nivel de atenuación es de hasta 45 db.
- Desechables: son aquellos que duran solo una jornada de trabajo y luego de usarlo se tiran. Se fabrican de lana, algodón, cera, etc.

14.9.8. Protección en altura

Se utiliza cinturón o arnés de seguridad cuando se trabaje en techos, azoteas y en todo lugar que no cuenten con barandas perimetrales, se realice tareas en andamios, durante el montaje y desmontaje de éstos, se trabaje en armaduras de acero en altura, o en silletas y se efectúe todo tipo de tareas por encima de 1,8 m sin baranda de protección, Figura 14.8.



Figura 14.8 - Protección en altura.

También cuando el Servicio de Higiene y Seguridad, el empleador o la ART lo consideren necesario.

El sistema anti caídas debe ser amarrado a un elemento resistente, revisándose frecuentemente el elemento de amarre y el mosquetón. Sin este requisito no se deberá iniciar el trabajo.

14.10. Carteles y señalización

La señalización adecuada en los diversos ambientes de trabajo es fundamental tanto para mejorar las condiciones laborales, así como para actuar en forma rápida, organizada y eficaz frente a una situación de riesgo. El realizar una campaña de señalización en la empresa, no elimina riesgos, sino que es un complemento que tiende a evitar o reducir la cantidad de accidentes dentro de esta.

Al respecto, la legislación establece las señales que deben estar presentes en la industria. Estas pueden ser ópticas, olfativas, táctiles o acústicas. Las ópticas son aquellas que resultan de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo o pictograma, atribuyéndoseles un significado determinado. Cada color y forma posee un significado propio a fin de que las distintas personas puedan identificarlas, y son estas las principales señales que se utilizarán en la planta.

A continuación, en las siguientes secciones se muestran las señales que se pueden llegar a visualizar en la planta industrial y lo que representa cada una de estas.

14.10.1. Señales de información

Proporciona información necesaria para realizar una tarea determinada y para informar de los peligros que pueden existir en un determinado lugar de trabajo. Imagen blanca, contraste blanco y fondo de color verde. Detalladas en la Tabla 14.5.

Tabla 14.5 - Señales de información.

Señal	Significado
	<p>Botiquín: esta señal informa donde está situado el botiquín por si se sufre algún tipo de lesión, que debe estar completo para poder curar lesiones de poca gravedad.</p>
	<p>Flecha abajo: esta señal indica las posibles salidas de socorro; pueden estar situadas en cualquier lugar de la fábrica y en cualquier dirección.</p>
	<p>Salida: esta señal indica cual es la salida de emergencia o socorro.</p>

Elaboración propia.

14.10.2. Señales de prohibición

Son aquellas cosas que no se pueden realizar, que están prohibidas. Estas señales son de especial importancia ya que impiden el acceso o la realización de algún acto en un lugar, para que no se corran riesgos. Poseen forma redonda con pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45° respecto a la horizontal) rojos; el rojo deberá cubrir como mínimo el 35% de la superficie de la señal, detalladas en la Tabla 14.6.

Tabla 14.6 - Señales de prohibición.

Señal	Significado
 PROHIBIDO APAGAR CON AGUA	<p>Prohibido apagar con agua: indica que no se puede apagar el fuego con agua, ya que podría producirse algún daño humano o material.</p>
 PROHIBIDO BEBER AGUA	<p>Prohibido beber agua: indica que no se puede beber agua, ya que podría estar contaminada, pudiendo ser apta para uso industrial pero no para consumo humano.</p>
 PROHIBIDO EL PASO DE PEATONES	<p>Prohibido el paso de peatones: indica que está prohibido el paso de peatones por la zona, ya que se corren riesgos de algún accidente.</p>
 PROHIBIDO FUMAR	<p>Prohibido fumar: indica que está prohibido fumar en el lugar, ya que el fumar puede generar un siniestro.</p>
 PROHIBIDO FUMAR Y ENCENDER FUEGO	<p>Prohibido fumar y encender fuego: indica que además de estar prohibido fumar en el lugar, también está prohibido hacer fuego en el sitio, ya que ambos pueden ocasionar un siniestro, y como consecuencia daños irreparables.</p>
 ALTO SOLO PERSONAL AUTORIZADO	<p>Prohibido el acceso sin autorización: indica que no se puede acceder a la zona, y que el ingreso está restringido para la entrada solo de personal autorizado.</p>

Elaboración propia.

14.10.3. Señales de advertencia

Indican algún peligro que se puede tener o algo que puede ocurrir si no se va con precaución; advierten de algún riesgo. Son de forma triangular, pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal), bordes negros. Las señales son descritas en la Tabla 14.7.

Tabla 14.7 - Señales de advertencia.

Señal	Significado
	<p>Alta tensión: esta señal indica que existe riesgo de que pase por el cuerpo una tensión muy elevada y genere como consecuencia la muerte.</p>
	<p>Atención: esta señal indica que manejarse con precaución porque existe algún tipo de riesgo; sin embargo no especifica el riesgo a que se está expuesto.</p>
	<p>Vehículo industrial: esta señal indica la presencia de algún vehículo industrial en el lugar en que se está.</p>
	<p>Riesgo tóxico: esta señal indica la presencia de sustancias tóxicas en el ambiente laboral.</p>
	<p>Riesgo cáustico: esta señal indica la presencia de sustancias corrosivas en el ambiente laboral.</p>
	<p>Riesgo de incendio: esta señal indica que puede provocarse un incendio muy fácilmente.</p>
	<p>Riesgo de explosión: esta señal indica que puede provocarse una explosión muy fácilmente.</p>
	<p>Riesgo eléctrico: esta señal indica que en lugar hay corriente eléctrica, y, por lo tanto, peligro de descarga.</p>

Elaboración propia.

14.10.4. Señales de obligación

Proporciona información acerca de lo que se debe cumplir en forma obligatoria en el lugar de trabajo o en un lugar específico. Contraste blanco y color de la señal azul. En la Tabla 14.8 se especifican estas señales.

Tabla 14.8 - Señales de obligación.

Señal	Significado
	<p>Uso de calzado de seguridad: informa que es obligatorio llevar el calzado apropiado para el lugar.</p>
	<p>Uso de casco: informa que es obligatorio llevar casco.</p>
	<p>Uso de guantes: informa que es obligatorio el uso de guantes.</p>
	<p>Uso de protección contra caídas: informa que es obligatorio llevar algo que haga de protección contra caídas de gran altura.</p>
	<p>Uso de protección del cuerpo: informa que es obligatorio el uso de un mono para trabajar.</p>
	<p>Uso de protección de oídos: informa que es obligatorio el uso de alguna protección auditiva.</p>
	<p>Uso de protección de la vista: informa que es obligatorio el uso de gafas para protección de los ojos.</p>

 <p>DEBERACIÓN DE UTILIZAR PROTECCIÓN FACIAL</p>	<p>Uso de protección facial: informa que es obligatorio el uso máscara para la cara.</p>
 <p>VÍA OBLIGATORIA PARA PEATONES</p>	<p>Vía obligatoria para peatones: informa que el lugar en el que se está o se va a transitar es exclusivo para peatones y que ningún tipo de transporte puede circular por el mismo.</p>

Elaboración propia.

14.10.5. Señales de lucha contra incendios

Proporciona información sobre elementos de lucha contra incendios. Con forma rectangular o cuadrada, pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal), detalladas en la Tabla 14.9.

Tabla 14.9 - Señales de lucha contra incendios.

Señal	Significado
 <p>BOCA DE INCENDIO</p>	<p>Boca de incendio: esta señal enseña donde está situada la boca de incendio más próxima.</p>
 <p>EXTINTOR</p>	<p>Extintor: esta señal muestra donde está ubicado el extintor más próximo; la flecha indica que el extintor se encuentra debajo de ella.</p>

Elaboración propia.

También se determinan las zonas de circulación de operarios, transportadores y equipos de emergencia, así como las zonas de proceso, con franjas de color amarillo que indiquen dirección y sentido de circulación en pasillos y caminos. Es fundamental destacar en todos los casos los cruces, desviaciones u obstáculos donde puedan encontrarse elementos de transporte, contarán con indicación del peligro mediante franjas anchas de color amarillo. El pintado de cañerías cumplirá con los requisitos instaurados en la Norma IRAM 2507, Figura 14.9.

COLOR	IRAM		SIGNIFICADO
Naranja Internacional	02-1-040		Vapor de agua
Verde Claro	01-1-120		Agua fría
Amarillo	05-1-020		Combustibles líquidos y gases
Bermellón	03-1-080		Elementos de protección c/ncendios
Gris Industrial	09-1-060		Productos incensivos
Castaño	07-1-120		Vacio
Azul Industrial	08-1-070		Aire comprimido
Negro	11-1-060		Electricidad
Verde Claro con franjas Naranja Internacional			Agua caliente
Gris Industrial con franjas Naranja Internacional			Productos peligrosos

Figura 14.9 - Pintado de cañerías.

14.11. Protección colectiva

La protección colectiva la componen todas las medidas de protección pasiva consideradas en las diversas áreas; aquí se detallan los equipos y agentes extintores existentes en la planta. El tipo de equipo a utilizar dependerá del tipo de fuego que se pueda llegar a generar de acuerdo a las sustancias manipuladas en el proceso, en la Figura 14.10, Figura 14.11 y Figura 14.12 se observan los equipos protectores.



Figura 14.10 - Matafuego manual.



Figura 14.11 - Matafuego manual rodante.



Figura 14.12 - Matafuego móvil.

En la Figura 14.13 se observa la forma correcta de como instalar un matafuego. Se ubica en lugares que sean visibles y que tengan fácil acceso, de forma que se puedan tomar rápidamente en caso de incendio. Se debe evitar lugares oscuros cuya visualización sea dificultosa.

Por general, estos equipos son instalados sobre una pared o columna a través de un soporte fijado a la misma sobre el cual se cuelga el equipo. Detrás del matafuego se coloca la correspondiente chapa baliza, que tiene como objetivo indicar la ubicación del mismo y las clases de fuego para los cuales son aptos.

El equipo tiene que estar instalado de tal forma que la placa de accionamiento de la válvula quede a 1,70 m del piso; en el mismo deberá pintarse una bandada de color rojo de 5 cm de ancho, dejando 20 cm a cada lado del matafuego y extendiéndola hasta 50 cm de pared. Además, se colocarán carteles indicadores por sobre la chapa baliza a una altura tal que sea avisado a la distancia y por sobre los objetos que pueden obstaculizar la visual del equipo.

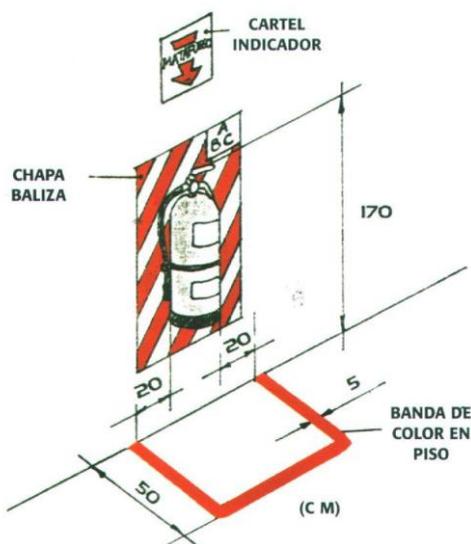


Figura 14.13 - Forma correcta de instalar un extintor.

Fuente: Ley 24557.

14.11.1. Protección contra incendios

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen.

Las consideraciones sobre protección contra incendios son:

- Sistemas de agua contra incendios.
- Sistemas de agua de reserva.
- Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios.
- Extintores contra incendios.
- Alarmas de incendio.

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del técnico asegurarse de que dicha protección este plasmada en el diseño y posteriormente en la práctica.

14.11.2. Procedimiento de extinción de un posible incendio

Al descubrirse un incendio se procede del siguiente modo y en el orden que se establece:

1. Ubicar el foco del incendio.
2. Alejar materiales explosivos, inflamables o combustibles del lugar del incendio.
3. Determinar qué material se quema para proceder a apagar el fuego con los elementos apropiados.
4. Establecer la proporción del incendio para disponer la cantidad de elementos necesarios.
5. Pedir colaboración si ello fuera necesario.

Al atacar el fuego se deben tener en cuenta las siguientes acciones:

- a. Cortar la corriente eléctrica en el sector.
- b. Cortar toda corriente de aire en caso de ser posible.

- c. Atacar el fuego lo más cerca posible, con viento a favor de modo de aprovechar al máximo la capacidad del elemento extintor.
- d. Desde la menor distancia posible, dirigir el chorro sobre la base del fuego y no al centro, barriendo en zigzag y en lo posible alrededor del incendio para atacarlo por todos los costados.
- e. Encerrar el fuego para evitar su propagación.
- f. Utilizar el material indispensable con el máximo rendimiento, teniendo en cuenta que cada extintor o boca de incendio abastece a una zona que no debe quedar desprotegida en ningún momento, salvo que sea por una razón bien justificada.
- g. Actuar siempre con serenidad.

El personal de la empresa ha de estar capacitado para reaccionar ante casos de incendio. Las personas mejores capacitadas serán las que deban actuar en el momento del incendio. Las demás estarán en condiciones de aprender las maniobras necesarias cuando las cargas de los matafuegos estén a punto de vencer.

14.11.3. Plan de emergencia y evacuación

Existe en la planta un plan de emergencia de conocimiento general por la totalidad del personal. Dicho plan es llevado a cabo en caso de ocurrencia de una emergencia.

En caso de una eventualidad tal, se tiene que llamar desde cualquier teléfono de planta habilitado para tal fin, citando la emergencia observada, lugar y nombre de quien habla. Los teléfonos estarán conectados con los responsable a cargo, ellos se encargan de brindar rápidamente la asistencia necesaria; además desde estos teléfonos se pueden realizar llamadas de emergencia al exterior de la fábrica.

Ante tales circunstancias las personas han de resguardarse en lugares seguros y a la espera de instrucciones. En ningún caso deberán acercarse al lugar del siniestro.

Cuando las personas presentes en el predio escuchen tres toques prolongados de sirena, deben dirigirse a la salida de emergencia más alejada del sector del siniestro.

Para llevar a cabo la evacuación es que se dispone de un plan de evacuación, también de conocimiento general. Este plan incluirá lo siguiente:

- Reconocimiento del sonido de la alarma.
- Plano indicativo de salidas de principales y secundarias.
- Designio de las personas encargadas de dar aviso a los bomberos.
- Abandono total de las actividades y salida del recinto en forma segura, rápida y en silencio.
- Punto establecido de reunión fuera del edificio.

Se cuenta con un plan alternativo, para el caso en que no se pudiera cumplir con el plan original. Tanto para el cumplimiento del plan original como del alternativo, es que se lleva a cabo simulacros de evacuación (incluidos en la capacitación de personal), de forma tal de asegurarse que el personal sepa cómo lograr una buena evacuación, ordenada y eficaz, cuando las circunstancias así lo requieran.

14.11.4. Sistema de alarma

La planta está equipada con un sistema de alarma contra incendio compuesto de los elementos que se muestran en la Tabla 14.10.

Tabla 14.10 - Sistema de alarma.

Equipo	Campo de aplicación
	<p>Alarma contra incendios: conectada a un grupo electrógeno de modo que quede asegurado su funcionamiento.</p>
	<p>Sistema de aspersión automática de agua.</p>
	<p>Detectores de humo: ubicados en los recintos cerrados de la planta; activan la alarma contra incendios.</p>

Elaboración propia. Fuente: Ley 24557.

14.12. Selección y capacitación

Con el propósito de complementar las medidas técnicas implementadas en la empresa y con el fin de que las normas de uso interno sean aplicadas en forma correcta, es que la empresa selecciona los empleados de acuerdo a sus aptitudes físicas y psíquicas y se desarrolla programas de capacitación para adiestrar a todo el personal sobre lo concerniente a higiene y seguridad en los puestos de trabajo y en la planta en general.

Por lo tanto, la selección e ingreso de personal la efectúa en forma conjunta y coordinada, el técnico de higiene y seguridad, servicios de medicina y otras dependencias relacionadas. Esto se hace teniendo en relación con los riesgos de las respectivas tareas, operaciones y manualidades profesionales.

Al respecto, es de incumbencia del servicio de medicina, lo detallado en el siguiente punto determinando de tal modo la aptitud de un empleado en relación a la tarea a desempeñar.

En cuanto a la capacitación del personal, se lo adiestrará como se dijo anteriormente, basándose en material educativo gráfico, medios audiovisuales, avisos y carteles. Dicho adiestramiento se concreta en:

1. Cursos teóricos:
 - Operaciones.

- Seguridad general.
 - Defensa contra incendios (prevención y extinción).
 - Primeros auxilios.
 - Planes de emergencia.
 - Mantenimiento.
2. Entrenamiento práctico:
- Ejercicios de extinción contra el fuego.
 - Simulacros de emergencia.
 - Simulacros de primeros auxilios.

Las jornadas de capacitación se realizan en todos los niveles jerárquicos de la empresa.

La empresa efectúa acuerdos con la compañía de seguros, para que sea esta quien través de medios y personas puestos a tal disposición, se haga cargo de impartir los cursillos y el entrenamiento relativos a la seguridad

14.12.1. Servicio de medicina laboral

La Ley N° 19587/72 impone a los empleadores y a los trabajadores en general, la obligación de cumplir con la normativa vigente sobre higiene y seguridad en el trabajo. En lo que respecta a servicio de medicina, se respeta lo establecido en los artículos correspondientes, a saber:

- Servicio de medicina.
- Exámenes médicos.
- Responsabilidad de asesoramiento (higiene y seguridad en los ambientes laborales).

El servicio es desarrollado por profesionales médicos contratados por la empresa o en centros habilitados por la autoridad sanitaria. Dichos profesionales deben cumplir con los requisitos de la especialidad laboral, además, corresponde justificar su condición con el registro que los habilita.

La empresa consta de una sala con un botiquín de primeros auxilios y se capacita a los trabajadores sobre el manejo del mismo y cómo reaccionar ante los posibles accidentes relacionados con las sustancias que se manejan en la industria. Para accidentes de mayor envergadura la empresa recurre al servicio de una prestación médica externa.

14.12.2. Parada de planta

Frente a una emergencia puede llegar a ser necesaria una parada de planta. Para llevar a cabo este propósito es que todos los equipos de la planta cuenten con dispositivos automáticos que aseguren la interrupción del suministro de fluido cuando se produzca alguna anomalía, la planta completa cesa su actividad en caso de que se inicie un incendio.



CAPÍTULO 15

ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

15. Organización Industrial

15.1. Introducción

Una empresa se define como el conjunto de personas y bienes que actuando organizadamente persiguen un objetivo en común, ya sea la producción de bienes o servicios, con el fin de obtener un beneficio económico. Para lograr este objetivo es necesaria una estructura funcional que permita un desarrollo eficaz de las tareas que deben realizarse.

En el presente capítulo se define el tipo de personal adoptado, se describen las diferentes áreas que integran la empresa, las funciones de cada puesto de trabajo y se elabora un organigrama donde se especifican los niveles de jerarquía dentro de la misma. Además, se realiza un esquema de horarios previsto por cada empleado.

15.2. Tipo de sociedad comercial

La Ley de Sociedades Comerciales (LSC) 19550 de la República Argentina contempla una gran variedad de tipos societarios. Los más utilizados en nuestro país son la sociedad anónima (S.A.) y la sociedad de responsabilidad limitada (S.R.L.).

La forma jurídica adoptada para esta empresa es la de sociedad anónima, donde la responsabilidad de cada socio o accionista es proporcional al capital que haya aportado. Por eso, este tipo de sociedad representa una seguridad financiera alta respecto de las demás, debido a que sus socios deberán responder, como máximo, con el capital aportado.

Este tipo de sociedad presenta muchas ventajas, entre ellas pueden mencionarse:

- Libertad: los socios pueden comercializar libremente sus acciones y la Sociedad puede cotizarlas en la bolsa de valores.
- Protección: dado que los socios tienen una responsabilidad limitada, sus bienes personales están protegidos.
- Flexibilidad: puede constituirse con un número variable de socios, pudiendo en algunos países incluso ser de uno solo (Sociedad Anónima Unipersonal).

15.3. Organización de la empresa

Previamente se lleva a cabo una clasificación por niveles jerárquicos, los cuales determinan las responsabilidades que posee cada uno de los empleados. Teniendo como objetivos los siguientes puntos:

- Cada empleado tiene que contar con los conocimientos técnicos para poder llevar a cabo su función.
- Definir una cultura empresarial.
- Establecer reglas y políticas de trabajo.

15.3.1. Organización interna

La organización interna está dividida en departamentos, todos poseen un jefe que responde a la gerencia general. Para el área de higiene y seguridad se contrata a un tercero debido a que la planta cuenta con una cantidad de empleados menor a 150, por lo cual no se considera este departamento. En la Figura 15.1 se muestra el organigrama interno.

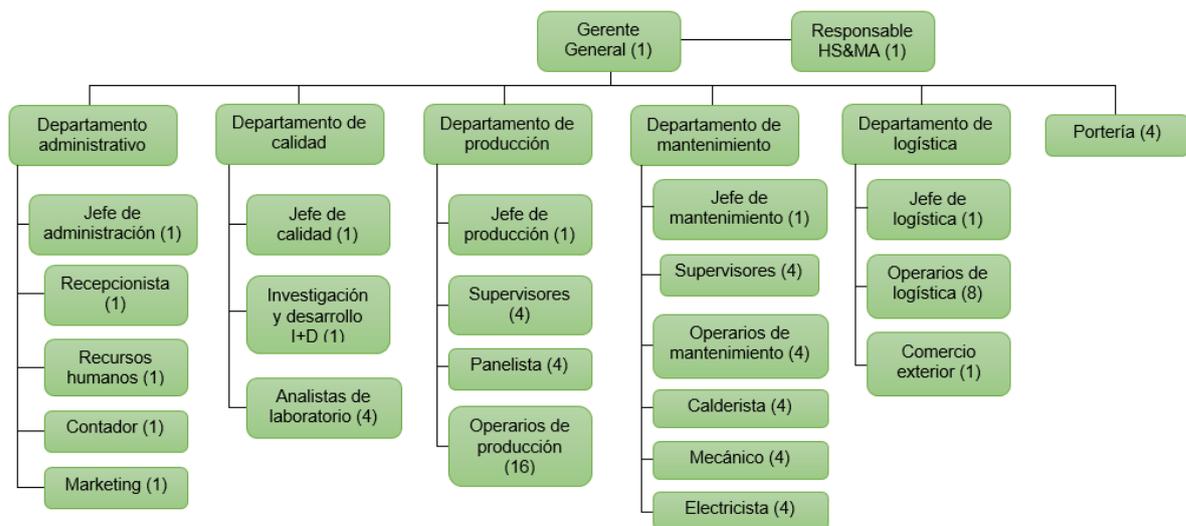


Figura 15.1 - Organigrama de la empresa.

Elaboración propia.

15.4. Descripción de los puestos de trabajo

15.4.1. Gerente general

Es la máxima autoridad de la planta, las principales funciones son desarrollar, definir y hacer cumplir los objetivos organizacionales, además planifica el crecimiento de la empresa a corto y largo plazo. Otras de las características que lo distingue son:

- Dirige y controla las funciones administrativas.
- Supervisa y hace que se cumplan las funciones que debe realizar cada personal, analizando la eficiencia en el desempeño.
- Asegura el cumplimiento de las normas, reglamentos, políticas e instructivos internos, como así también los que son establecidos por las entidades de control y regulación.
- Ejerce su rol sobre los demás departamentos y obtiene información de los mismos, para llevar a cabo la toma de decisiones.
- Cultiva su representación legal y participa en todas las reuniones con Asociaciones, Cámaras, Ministerio y demás instituciones públicas y privadas.
- Controla y supervisa los reportes financieros, comparando los resultados reales con los presupuestados. Al igual que los costos y rentabilidad de la empresa.
- Inspecciona los índices y costos de producción, planes y programas de producción.

15.4.2. Departamento de administración

Encargado de la organización dinámica de la empresa, haciendo cumplir los objetivos de la misma. Además, es el representante a la hora de establecer relaciones entre clientes, proveedores, mercado económico y fuentes financieras.

Este departamento está compuesto por el jefe administrativo, responsable de recursos humanos, contador y licenciado en marketing.

1. Jefe administrativo

Debe coordinar, supervisar y controlar la ejecución de los procedimientos administrativos y contables que rigen el funcionamiento interno de la organización; realizar altas y

actualizaciones de cuentas de proveedores y clientes, inscripciones y trámites ante organismos oficiales, evaluación crediticia de clientes; confeccionar balances mensuales e informes periódicos a solicitud de la gerencia; realizar el control y seguimiento de gastos.

2. Recepcionista

Dicha persona se encarga de recibir a la gente que ingresa a la planta, responder a sus preguntas, contestar los teléfonos, coordinar las agendas, entre otros.

3. Responsable de recursos humanos

Sus tareas principales son, fomentar una relación de cooperación entre directivos y trabajadores para evitar enfrentamientos derivados por una relación jerárquica tradicional. Así como, promover la participación entre todos los trabajadores para que se comprometan con los objetivos de la empresa. Establecer el monto del salario, mediante el proceso de negociación entre la empresa y los sindicatos de trabajadores. Asimismo, ser el encargado del proceso de reclutamiento, selección e ingreso del personal.

4. Contador

Es el que formula estados financieros e investiga para dar soluciones a los problemas referentes a la falta de información para el registro contable. También identifica y analiza los ingresos, egresos y gastos que se dan en la empresa, informando periódicamente todos los resultados obtenidos al gerente comercial.

Prepara y ordena la información financiera y estadística para la toma de decisiones de las autoridades superiores. Se encarga del control y seguimiento de los gastos generados y es el encargado de liquidación de sueldos.

5. Licenciado en marketing

Promociona el producto en el mercado, realiza un estudio de este para definir el precio del producto final.

15.4.3. Departamento de calidad

Encargado de establecer límites de variación en los atributos y variables del producto, e informar su estado dentro de esos límites. Comprende las funciones de desarrollo de métodos de control, control de medidas, inspección y ensayos, reclamos de clientes y recuperación de materiales rechazados o fuera de uso.

1. Jefe de calidad

Su tarea principal consiste en definir la metodología para el control de los parámetros de calidad en el producto en proceso, la materia prima y el producto final. También se encarga de organizar las tareas del laboratorio, informar a la gerencia general, departamento comercial y departamento de producción, sobre los resultados de los análisis de calidad de los productos elaborados, organizar y supervisar las tareas desarrolladas por sus subordinados. Algunas de sus ocupaciones son:

- Desarrollar e implementar procedimientos internos y certificación de normas, para lo cual debe trabajar juntamente con las áreas vinculadas.
- Controlar que las variables de proceso estén dentro de lo previsto, de lo contrario reportar al jefe de planta.
- Contar con equipamiento específico que funcione correctamente y esté calibrado según los patrones establecidos.

- Responsabilizarse del entrenamiento y capacitación de su personal.
- Garantizar que se estén utilizando las materias primas adecuadas y verificar que las actividades de su área se realicen de acuerdo a lo establecido.
- Tener registro de todos los procedimientos realizados, así como también de los análisis de materias primas y productos.
- Solicitar toma de muestras en campo y analizar las determinaciones con el objeto de verificar desvíos en las condiciones de proceso.
- Administrar documentación técnica y mantenerla actualizada, en especial de la base de datos del laboratorio.

2. Investigación y desarrollo (I+D)

Encargado de dirigir y coordinar las actividades relacionadas con el análisis y desarrollo de productos de la empresa. Lleva a cabo tanto acciones relacionadas con la actualización de los productos existentes de la empresa, como el desarrollo y evaluación de nuevos productos.

Este profesional tiene que estar al día de las tendencias de los mercados para poder detectar las oportunidades de negocio para la empresa. Además, tiene que colaborar con los demás departamentos de la empresa para poder estudiar bien las necesidades relacionadas con la innovación productiva.

Las principales tareas de este profesional son:

- Planificar, dirigir y coordinar las actividades de I+D, para crear procedimientos, productos, conocimientos o modos de utilización de materiales nuevos o perfeccionados.
- Planear el programa general de I+D de la empresa, definir las metas de los proyectos y fijar sus presupuestos.
- Dirigir y gestionar las actividades del personal de I+D.
- Coordinar y controlar el desarrollo de proyectos en centros de investigación externos supervisando plazos, costes y calidad.
- Establecer y gestionar presupuestos, controlar los gastos y asegurar la utilización eficiente de los recursos.

3. Analistas de laboratorio

Ejecutan los controles fisicoquímicos y microbiológicos de materias primas, productos terminados, corrientes de procesos y equipos de la planta, las tareas que aporten a la investigación y desarrollo. Mantienen el orden y la limpieza del laboratorio.

15.4.4. Departamento de producción

Comprende todo lo relacionado con el desarrollo de los métodos y planes más económicos para la fabricación del producto, coordinación de la mano de obra, obtención y organización de los materiales, instalaciones, herramientas y servicios, fabricación de productos y entrega del mismo terminado e informes al área de comercialización. Es su responsabilidad cumplir con los estándares de calidad y seguridad determinados, con el fin de obtener un producto acorde a las exigencias del mercado.

1. Jefe de producción

- Encargado de planificar la producción asegurando el cumplimiento de los planes establecidos.
- Coordina equipos de trabajo.

- Verifica la calidad, cantidades y las características de los materiales de construcción a su cargo.
 - Controla que los operarios trabajen de manera eficiente.
 - Asegura que se cumplan las condiciones de instalación, puesta en marcha y mantenimiento preventivo de equipos.
 - Verifica la calidad técnica de los trabajos que se ejecutan, además, dirige las personas que los lleva a cabo dichas técnicas.
2. Supervisores
- Encargado de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario.
 - Planificar el trabajo del día, estableciendo prioridades y manejando efectivamente los recursos disponibles.
 - Controlar a los operarios, a los cuales debe impartir órdenes claras y precisas, favoreciendo el buen clima laboral, motivándolos para que realicen su tarea correctamente.
 - Informar al jefe de planta cualquier desviación o problema ocurrido.
3. Panelista
- Control de operaciones en modo automático y remoto desde la sala de control.
 - Arranque y parada de planta en modo normal, emergencias o pruebas.
 - Vigilancia de parámetros de operación e identificación de estado crítico de alarmas de los sistemas en operación.
4. Operarios de producción
- Se encargan del manejo y el correcto desempeño de los equipos que tienen a su cargo.
 - Cumplir con las tareas que le son asignadas con las normas establecidas por sus superiores, además de asegurar una correcta limpieza de su zona de trabajo y controlan las distintas variables puestas en juego en el proceso, permitiendo que la planta logre un correcto accionar.
 - Completar los registros, informar desperfectos para ser llevados al área de mantenimiento y poner en evidencia a su superior ante la ocurrencia de desviaciones en la calidad del producto.

15.4.5. Departamento de mantenimiento

Esta sección tiene como finalidad supervisar el mantenimiento de las instalaciones, reparación de equipos, estimando el tiempo y los materiales necesarios para realizarlo.

Se planifica, coordina y controla el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, así como también de los sistemas eléctricos que se utilizan en las instalaciones.

1. Jefe de mantenimiento

Debe establecer en forma conjunta con el encargado de producción, un plan de mantenimiento anual y mensual de los sistemas eléctricos, mecánicos y edificios. Sus actividades son:

- Verificar la calidad, cantidades y características de los materiales de construcción que se utilizan en cada sección de la planta.
- Controlar la correcta ejecución de las tareas de montaje.

- Comprobar especificaciones técnicas del equipamiento que se va a adquirir, colaborando con la decisión de la compra.
- Asegurar que se cumplan las condiciones en: instalación, puesta en marcha y mantenimiento preventivo de los equipos; conservando manuales y las garantías de cada equipo.
- Confirmar la calidad técnica de los trabajos que se ejecutan y dirigir a las personas que los llevan a cabo y dirigen estos.
- Planificar los mantenimientos.

2. Supervisor de mantenimiento

Al igual que los supervisores de producción, son los encargados de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Es el encargado de la supervisión, mantenimiento, reparación de las instalaciones y equipos.

3. Operarios de mantenimiento

Deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc.

15.4.6. Departamento de logística

Encargado de realizar las compras de materias primas e insumos que se utilizan en las distintas partes de la empresa, fijándose las políticas de supply chain (cadena de abastecimiento y suministros) de las mismas. Su función está en constante relación con los departamentos de producción, administración y fundamentalmente con los proveedores de la empresa.

Comprende, también, el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados. Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto, embalajes y el movimiento de los productos desde el lugar de almacenamiento hasta el punto de utilización o consumo. Encierra, además, las funciones de almacenamiento de producto, expedición y servicio postventa.

1. Jefe de logística

Deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Cumplir con los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Crear relaciones comerciales con clientes y/o proveedores.
- Establecer la política de precios del producto final.
- Definir e implementar planes de acción para reducir costos, plazos de entrega y mantener stocks necesarios para responder a las exigencias del cliente.
- Negociar y gestionar la compra y entrega de materias primas e insumos.
- Verificar el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabajar junto con el área administrativa de la planta en la redacción de órdenes de compra.
- Gestionar el abastecimiento de materiales menores: ropa de trabajo, repuestos para maquinarias, entre otros.
- Realizar el seguimiento de la distribución del producto final.
- Realizar informes de costos.
- Realizar mensualmente el stock de la planta, coordinando información con otros sectores.

2. Operario de logística

Cada operario involucrado en esta área deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Envasado de las materias primas en sus respectivos tanques de almacenamiento y trasvase de los productos de proceso a los tanques cisterna de transporte.
- Organización del depósito, control de stock.
- Control de peso de materia prima en camiones ingresantes y de producto terminado de camiones salientes en la balanza.

3. Licenciado en comercio exterior

Es el encargado de:

- Realizar estudios o investigaciones de mercado que permitan descubrir oportunidades comerciales, concretando eficazmente las operaciones de importación y exportación, realizando toda la operatoria aduanera, contratando servicios de transporte internacional y, en general, coordinando en forma integral y sistémica, todas las operaciones del comercio internacional.
- Tareas de análisis de costos de importación de productos y servicios, análisis de mercado, análisis sectorial y regional, análisis y fijación de precios, estudios de mercados, proyecciones de oferta y demanda en mercado internacional.
- Tareas de planificación, coordinación, ejecución, control de todas las actividades y tareas del sector exportador e importador.

15.5. Organización de la producción y turnos de trabajo

La planta funciona 350 días al año, realizando una parada de 15 días para un mantenimiento general. Al tratarse de una producción continua, ciertos puestos deben contar con empleados 24 horas, es por ello por lo que se opta por Horarios Rotativos (HR). Los horarios se dividen de la siguiente manera:

Turno 1 - Mañana: 6:00 a 14:00 hs.

Turno 2 - Tarde: 14:00 a 22:00 hs.

Turno 3 - Noche: 22:00 a 6:00 hs.

Turno 4: Franco.

Cada turno está formado por:

- Analista de laboratorio.
- Supervisor de producción.
- Operario de absorción.
- Operario de reacción.
- Operario de recuperación.
- Operario de destilación.
- Panelista.
- Supervisor de mantenimiento.
- Mecánico.
- Electricista.
- Calderista.
- Operarios de logística.
- Seguridad.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Nota: El turno nocturno no posee operario de logística.

En cuanto a la jefatura de cada uno de los departamentos y otros puestos específicos, se manejan con un horario al que se define como Horario Extendido (HE) el cual inicia a las 08:00 hs hasta las 17:00 hs, teniendo 1 hora de almuerzo, de lunes a viernes, teniendo como franco el sábado y el domingo.

Existe además otro horario en la industria, el cual es para los operarios de logística, adaptándose a las leyes de circulación de camiones, por lo que se trabajan solo en turno mañana (Lunes a Sábado) y turno tarde (Lunes a Viernes) al cual se denominó como Horario de Carga (HC).

El responsable de higiene y seguridad al no pertenecer al personal fijo de la empresa debe cumplir 8 hs mensuales.

En la siguiente Tabla 15.1 se representa al personal completo de la planta.

Tabla 15.1 - Personal de la planta.

Área	Puesto	Horario	Cantidad de empleados
Gerencia General	Gerente	HE	1
Calidad	Jefatura	HE	1
	I + D	HE	1
	Analista	HR	4
Producción	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HE	4
	Panelista	HR	4
	Operario de absorción	HR	4
	Operario de reacción	HR	4
	Operario de recuperación	HR	4
	Operario de destilación	HR	4
Mantenimiento	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HR	4
	Operario de mantenimiento	HR	4
	Calderista	HR	4
	Mecánico	HR	4
	Electricista	HR	4
Administración	Jefatura	HE	1
	Recursos humanos	HE	1
	Contador	HE	1
	Marketing	HE	1
	Recepcionista	HE	1
Logística	Jefatura	HE	1
	Operario de logística	HC	8
	Comercio exterior	HE	1
Portería	Seguridad	HR	4
HS&MA	Técnico	8hs/mes	1
Total de empleados			73

Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Los turnos correspondientes a los operarios son de 8 hs por día, distribuyéndose de la siguiente manera:

Turno 1, turno 2 y turno 3, con un régimen de trabajo de 7 días de turno mañana, 2 franco (7/2), 7 días de turno tarde, 2 franco (7/2), 7 días de turno noche, 3 franco (7/3). En la Tabla 15.2 se muestran las distribuciones.

Tabla 15.2 - Plan de horario de trabajo por operario.

Día	V,S,D,L,M,M,J	V	S	D	L,M,M,J,V,S,D	L	M	M,J,V,S,D,L,M	M	J	V,S,D,L,M,M,J
	Turno 1 - Mañana				Turno 3 - Noche			Turno 2 - Tarde			Turno 1 - Mañana
Operario											
1	6:00 a 14:00	F	F	F	22:00 a 6:00	F	F	14:00 a 22:00	F	F	6:00 a 14:00
2	6:00 a 14:00	F	F	F	22:00 a 6:00	F	F	14:00 a 22:00	F	F	6:00 a 14:00
3	6:00 a 14:00	F	F	F	22:00 a 6:00	F	F	14:00 a 22:00	F	F	6:00 a 14:00
4	6:00 a 14:00	F	F	F	22:00 a 6:00	F	F	14:00 a 22:00	F	F	6:00 a 14:00

Elaboración propia.



CAPÍTULO 16

ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

16. Estudio económico financiero

16.1. Introducción

En un proyecto económico, es de mayor importancia conocer la rentabilidad y sobre todo la viabilidad de este. Cada vez que se lleva a cabo un proyecto debe invertirse un capital significativo, que se espera recuperar junto con ganancias propias de la actividad. El rendimiento de este debe ser sustancial, de lo contrario es preferible la inversión en otros negocios dentro del mercado.

El estudio económico – financiero y la evaluación son las últimas etapas del proyecto. Luego serán las etapas mencionadas, en los capítulos anteriores, las que van a determinar la inversión total necesaria, el plazo en el cual dicha inversión se recupera, la viabilidad y rentabilidad desde el punto de vista monetario.

Este capítulo cuenta con los siguientes objetivos:

- Estimar la inversión y sus componentes principales, para darle valor al crédito necesario para cubrirlo.
- Cálculo y análisis de los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes de la producción como son, costos de materias primas, mano de obra, servicios, financieros, entre otros.
- Estimar los ingresos anuales por venta de ETAS.
- Deducir el punto de equilibrio, que determina la capacidad para la cual la empresa comienza a obtener ganancias.
- Determinar el estado de resultados que permite conocer si la empresa luego de cancelar los costos totales e impuestos obtiene utilidades netas positivas.
- Cálculo de indicadores económicos, VAN, la TIR y el PRI.
- Realizar un análisis de sensibilidad que permita deducir las condiciones en las que la empresa sigue siendo rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo.
- Establecer si el proyecto es viable analizando todos los ítems anteriores.
- Conclusiones y sugerencias para los aspectos débiles del proyecto.

16.2. Inversión

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos, diferidos y fondos de maniobra, necesarios para inicial las operaciones de la empresa. En la Figura 16.1 se muestra la inversión con sus aristas más importantes y las categorías que la componen.

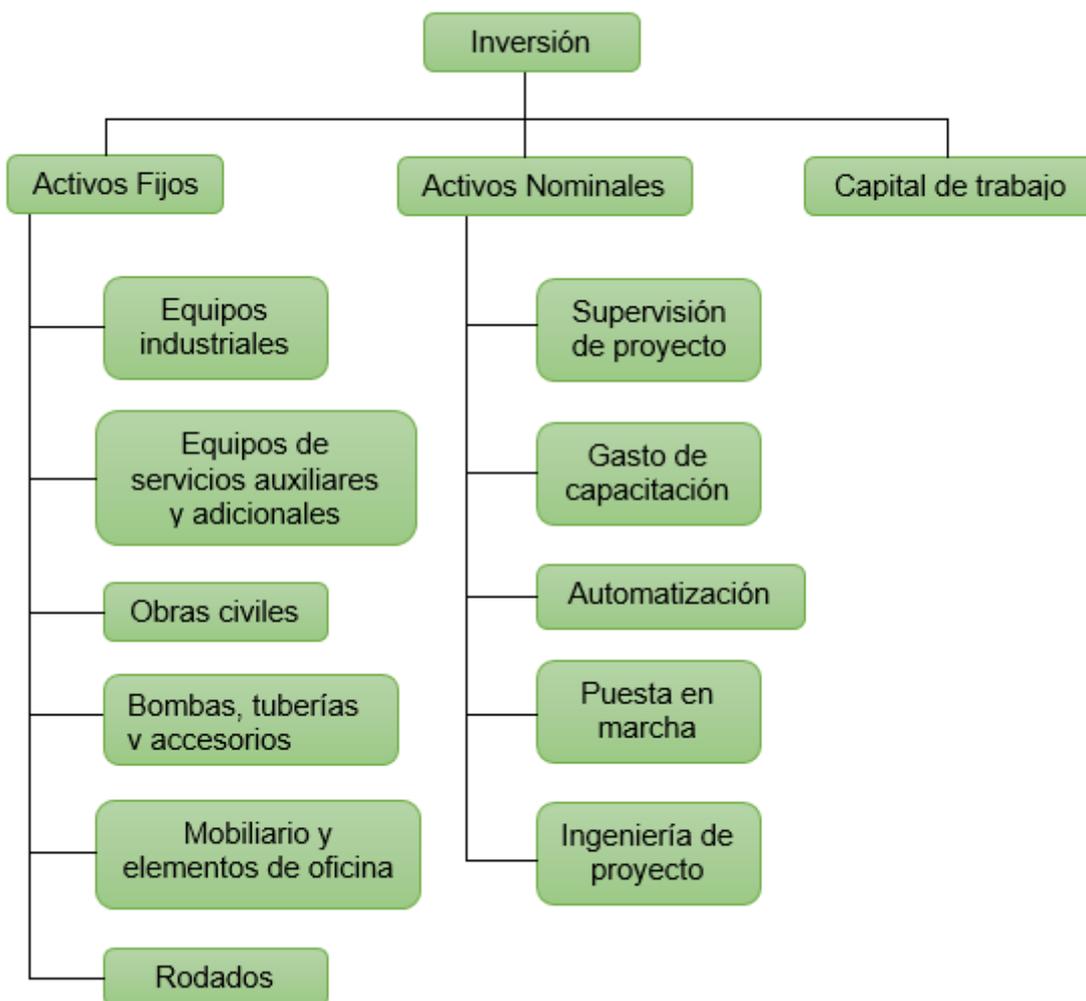


Figura 16.1 - Categorización de la inversión inicial del proyecto.

16.2.1. Activos fijos

Llamados también tangibles, son aquellos bienes de propiedad de la empresa, como terrenos, edificios, maquinarias, equipos, mobiliarios, vehículos de transporte, herramientas y otros. Se llaman fijos porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de ellos, sin que esto ocasione problemas en la actividad productiva.

Para efectos contables, los activos fijos, están sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso. En la determinación de los costos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 09/04/21 del Banco de la Nación Argentina fue de \$92,45.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en nuestro país perciben el 21% de impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera tienen una reducción del 50%, es decir, 10,5%.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor de un 1,5%.

16.2.1.1. Obras civiles

La planta de MEA se ubica en la localidad de Zárate, provincia de Buenos Aires, el costo del terreno es \$2.496,15 el m². Los costos de construcción son obtenidos de la página del colegio de arquitectos de la provincia de Buenos Aires. En la Tabla 16.1 se pueden observar los

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

valores obtenidos por edificio y el área de cada uno. Las instalaciones eléctricas se consideran un 5% de las obras de infraestructura.

Tabla 16.1 - Presupuesto de obras civiles.

Rubro	Sup [m ²]	Costo unitario [\$/m ²]	Costo [\$]
Terreno	20000,00	2.496,15	49.923.000
Obras de infraestructura			
Laboratorio	24	46.073,54	1.105.765
Zona de reacción	204,7	34.187,30	6.998.140
Zona de recuperación	345,58	34.187,30	11.814.447
Zona de absorción	144,8	34.187,30	4.950.321
Zona de destilación	333,25	4.500,00	1.499.625
Tanques de materias primas	599,49	4.500,00	2.697.705
Tanques de productos	134,4	4.500,00	604.800
Servicios auxiliares	481,4	4.500,00	2.166.300
Caldera de vapor	235,81	34.187,30	8.061.707
Caldera de fluido térmico	30,58	34.187,30	1.045.448
Taller de mantenimiento	24	34.187,30	820.495
Instalaciones industriales			
Portería	15	46.073,54	691.103
Recepción	15	46.073,54	691.103
Oficinas administrativas	45	46.073,54	2.073.309
Oficinas directivas	13,5	46.073,54	621.993
Sala de conferencias	45	46.073,54	2.073.309
Carga y descarga	1125	2.250,00	2.531.250
Estacionamiento	600	2.250,00	1.350.000
Cocina y comedor	60	46.073,54	2.764.412
Baños y vestuarios	50	46.073,54	2.303.677
Cerco perimetral	1200	4.176,00	5.011.200
Instalaciones eléctricas			2.088.238
Pavimentos internos	6113,01	1.650,00	10.086.467
Subestación transformadora			1.710.325
Total			125.684.140

16.2.1.2. Equipos industriales, auxiliares y accesorios

En esta sección se pueden ver todos los equipos que intervienen en la producción de MEA, tanto de proceso, como de servicios auxiliares, accesorios y cañerías. Los precios fueron recopilados de las distintas empresas, fabricantes y distribuidores que se encuentran en nuestro país, Duraplas SRL, Bricher, Pirobloc SA, Markowicz SA, SINAX SA, Air liquide, AESA SA, Inquimex SACI, PLIZ, entre otros.

Se considera un costo de fletes de 1,5% del costo unitario del equipo, mientras que el IVA representa el 10,5% debido a que son bienes de capital, Tabla 16.2. Los gastos de tuberías y accesorios se consideran un 2% del total de equipos.

Tabla 16.2 - Costo de equipos industriales, auxiliares y accesorios.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Denominación Técnica	N° de unidades	Precio Total [\$]	Flete [\$]	Costo total + flete [\$]	IVA (10,5%)
Tanque SV-306	1	1.081.665	16.225	1.097.890	115.278
Tanque T-101	1	12.943.000	194.145	13.137.145	1.379.400
Tanque T-312	1	3.929.125	58.937	3.988.062	418.746
Tanque T-501	1	7.987.680	119.815	8.107.495	851.287
Tanque T-505 / T-506	2	4.622.500	69.338	4.691.838	492.643
Tanque T-504	1	58.244	874	59.117	6.207
Tanque T-403	1	3.254.240	48.814	3.303.054	346.821
Tanque T-407	1	1.627.120	24.407	1.651.527	173.410
Tanque T-408	1	1.220.340	18.305	1.238.645	130.058
Reactor R-105	1	832.050	12.481	844.531	88.676
Reactor R-106	1	693.375	10.401	703.776	73.896
Stripping V-201	1	13.808.388	207.126	14.015.514	1.471.629
Evaporador E-204	1	1.790.294	26.854	1.817.149	190.801
Intercambiador E-205	1	674.885	10.123	685.008	71.926
Deshidratador C-208	1	20.801.250	312.019	21.113.269	2.216.893
Intercambiador E-212	1	206.626	3.099	209.725	22.021
Mezclador ME-301	1	462.250	6.934	469.184	49.264
Condensador E-302	1	776.580	11.649	788.229	82.764
Columna de absorción	1	20.801.250	312.019	21.113.269	2.216.893
Intercambiador E-309	1	342.065	5.131	347.196	36.456
1° Columna de dest.	1	12.018.500	180.278	12.198.778	1.280.872
2° Columna de dest.	1	16.641.000	249.615	16.890.615	1.773.515
Intercambiador E-402	1	413.252	6.199	419.450	44.042
Intercambiador E-405	1	344.376	5.166	349.542	36.702
Intercambiador E-406	1	344.376	5.166	349.542	36.702
Reboiler V-201/R	1	331.433	4.971	336.405	35.322
Reboiler C-208/R	1	36.980	555	37.535	3.941
Reboiler C-308/R	1	27.735	416	28.151	2.956
Reboiler C-401/R	1	379.045	5.686	384.731	40.397
Reboiler C-404/R	1	385.239	5.779	391.018	41.057
Condensador C-208/C	1	110.940	1.664	112.604	11.823
Condensador C-401/C	1	36.980	555	37.535	3.941
Condensador C-404/C	1	27.735	416	28.151	2.956
Bombas de mayor pot.	7	2.738.836	41.083	2.779.918	291.891
Bombas de menor pot.	23	6.272.733	94.091	6.366.823	668.516
Caldera de vapor	1	2.403.700	36.056	2.439.756	256.174
Caldera de fluido	1	2.311.250	34.669	2.345.919	246.321
Torres de enfriamiento	2	4.252.700	63.791	4.316.491	453.232
Ventiladores	3	14.089.380	211.341	14.300.721	1.501.576
Soplador	1	6.656.400	99.846	6.756.246	709.406
Tuberías y accesorios	2% eq.	3.354.710	50.321	3.405.031	357.528
Total costo de equipos		171.090.227	2.566.353	173.656.580	18.233.941

16.2.1.3. Mobiliario y elementos de oficina

En esta sección se consideran todos aquellos elementos que van estar vinculados de forma directa con el proceso, son indispensables para el desarrollo del mismo. El costo unitario de cada elemento abarca el flete. En la Tabla 16.3 se detallan los valores de este rubro.

Tabla 16.3 - Costo de mobiliario y elementos de oficina.

Artículo	Unidades	Precio Unitario [\$]	Costo Total [\$]	IVA (21%)
Computadora de escritorio	15	37.130,00	556.950,00	116.959,50
Proyector	1	11.850,00	11.850,00	2.488,50
Notebook	2	30.020,00	60.040,00	12.608,40
Ventilador de techo	2	5.530,00	11.060,00	2.322,60
Aire acondicionado	6	28.440,00	170.640,00	35.834,40
Calefactor	7	12.640,00	88.480,00	18.580,80
Escritorio	17	3.160,00	53.720,00	11.281,20
Escritorio recepción	1	3.950,00	3.950,00	829,50
Mesa de sala de conferencia	1	10.270,00	10.270,00	2.156,70
Mesa de comedor	5	11.060,00	55.300,00	11.613,00
Sillas	55	3.555,00	195.525,00	41.060,25
Armario	5	5.135,00	25.675,00	5.391,75
Heladera	3	33.180,00	99.540,00	20.903,40
Cocina industrial	1	25.280,00	25.280,00	5.308,80
Microondas	4	14.220,00	56.880,00	11.944,80
Baños	4	7.900,00	31.600,00	6.636,00
Duchas	4	4.187,00	16.748,00	3.517,08
Lockers	30	1.712,00	65.000,00	13.650,00
Mesada para laboratorio	1	15.800,00	15.800,00	3.318,00
Banquetas	2	553,00	1.106,00	232,26
Televisor	1	27.650,00	27.650,00	5.806,50
Total			1.583.064,00	332.443,44

16.2.1.4. Rodados

Dentro de los rodados necesarios por la empresa, tanto sea para transporte de mercadería, reparación de tuberías, cambios de equipos, entre otros; se consideran 3 transpaletas manuales hidráulicas de 3000 kg de carga, cuyo precio unitario es \$46.000. Además, un utilitario tipo furgón, de \$335.519,54; cuyo valor fue obtenido de la Cámara de Comercio del Automotor (CCA). En la Tabla 16.4 se adjuntan los montos.

Tabla 16.4 - Costo de Rodados.

Artículo	Unidades	Precio Unitario [\$]	Costo total [\$]	IVA (21%)
Transpaleta	3	46.000,00	138.000,00	28.980,00
Utilitario VAN	1	335.519,54	335.519,54	70.459,10
Costo total			473.519,54	99.439,10

16.2.1.5. Automatización

Los costos del mismo se consideran un 5% con respecto a los costos de equipos y accesorios. Representando el valor de \$8.554.511.

16.2.1.6. Resumen de activos fijos

En la Tabla 16.5, se adjunta el resumen de inversión en activos fijos junto con el Gráfico 16.1 donde se aprecia los porcentajes que ocupa cada uno.

Tabla 16.5 - Resumen de activos fijos.

Activos Fijos		Costo [\$]	%
Obras civiles	Terreno e inmueble	49.923.000	16,11
	Infraestructura	41.764.753	13,47
	Instalaciones industriales y auxiliares	33.996.386	10,97
Equipos e instrumentos	Maquinaria y equipos	171.090.227	55,20
	Flete	2.566.353	0,83
	Automatización (% del total de equipos)	8.554.511	2,76
Otros gastos	Rodados	473.520	0,15
	Muebles y útiles	1.583.064	0,51
Total		309.951.814	100,00

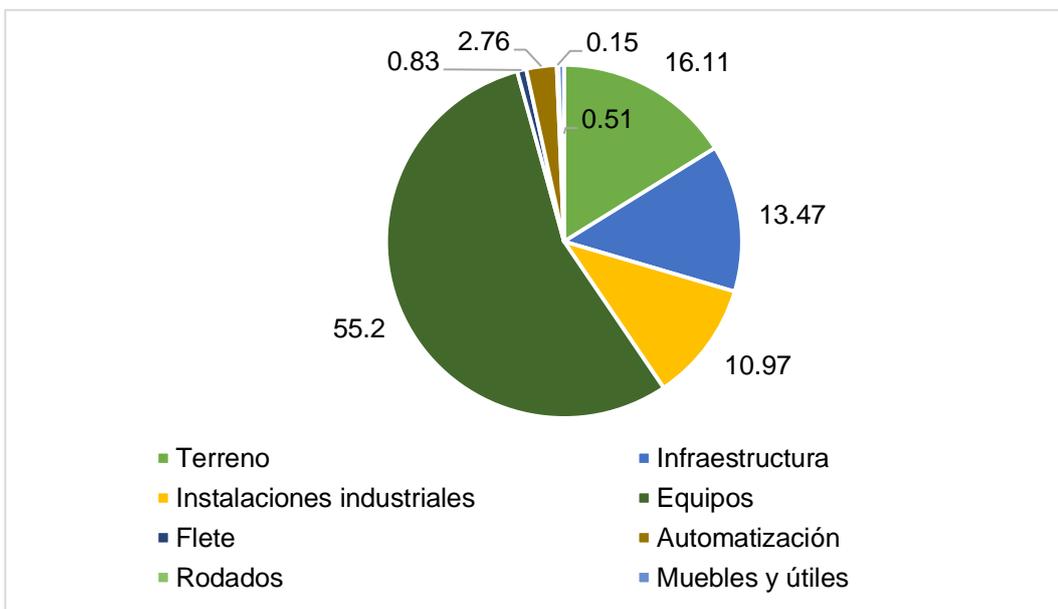


Gráfico 16.1 - Representación de resumen de activos fijos.

16.2.2. Activos nominales

Los activos nominales o intangibles es el conjunto de bienes propiedad de la empresa, necesarios para su funcionamiento, y que incluyen: patentes de inversión, marcas, diseños comerciales, nombres comerciales, gastos preoperativos, de instalación y puesta en marcha, contrato de servicios, capacitaciones, etc. A continuación, se detallan los que se tienen en cuenta en este proyecto.

1. Supervisión del proyecto

El costo del mismo es el 2% de los activos fijos, realizando las tareas de dirección y administración de todas las obras a realizar.

2. Capacitación

Cada empleado de la planta debe contar con la capacitación necesaria de acuerdo a su área, contar con el conocimiento y las herramientas requeridas para realizar un correcto trabajo. El primer año se realiza para todo el personal, mientras que luego solo los que se encuentran en la zona de producción. El costo es del 3% con respecto al total de inversiones fijas.

3. Ingeniería de proyecto

En cuanto a los gastos de planeación se considera el 3% de activos fijos. El montaje e instalación de equipos el 5% de estos. Los imprevistos son el 1% del total.

4. Seguros e impuestos

Para luego calcular la inversión es necesario sumar el valor fijo de seguro e impuestos inicial. Este tipo de costos se considera el 2,5% del total de activos fijos.

5. Puesta en marcha

El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado, el cual es igual al tiempo de puesta en marcha más la venta del producto. El tiempo de puesta en marcha es de 7 días, contando con la calibración de equipos y puesta en régimen. Obtenido del total de costo de producción en dichos días, más la cantidad de amoníaco y agua en exceso hasta lograr el régimen adecuado. Dando un valor de \$19.185.286.

16.2.2.1. Resumen de activos nominales

Se puede ver a través de la Tabla 16.6 y el Gráfico 16.2 el resumen de esta inversión de activos nominales.

Tabla 16.6 - Resumen de activos nominales.

Activo nominal	Estimador	Base de calculo	Importe	%
Supervisión del proyecto	2%	309.951.815,00	6.199.036,30	8,10
Capacitaciones	3%	309.951.815,00	9.298.554,45	12,15
Gastos de planeación	5%	309.951.815,00	15.497.590,75	20,25
Montaje e instalación de equipos	5%	309.951.815,00	15.497.590,75	20,25
Gastos imprevistos	1%	309.951.815,00	3.099.518,15	4,05
Puesta en marcha			19.185.286,00	25,07
Seguros e impuestos	2,5%	309.951.815,00	7.748.795,38	10,13
Total activos nominales			76.526.371,78	100,00

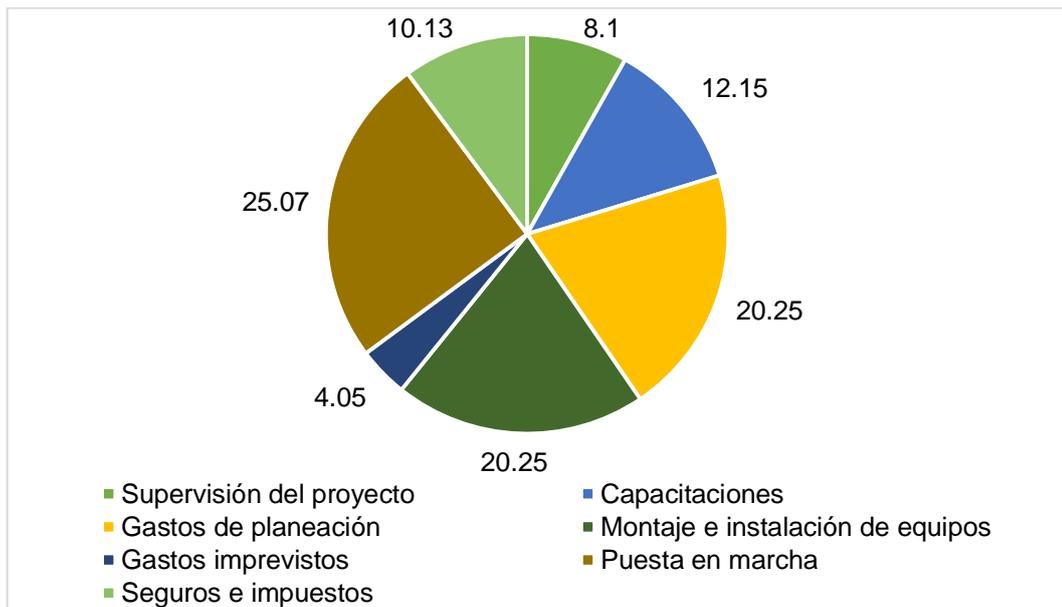


Gráfico 16.2 - Representación de resumen de activos nominales.

16.2.3. Capital de trabajo

Desde el punto de vista práctico, está representado por el capital adicional (distinto de la inversión de activo fijo y diferido) con que hay que contar para que empiece a funcionar una empresa; financiando la primera producción antes de que comience a generar ingresos. Se toma un ciclo productivo de 10 días.

Aunque el capital de trabajo también es una inversión inicial, tiene una diferencia con respecto a los anteriores activos nombrados, y radica en la naturaleza circulante. Mientras que la inversión fija y nominal pueden recuperarse mediante depreciación y amortización, la inversión de capital no puede recuperarse por este medio, la empresa resarcirá de él a corto plazo. El valor de este es \$11.829.901.

16.2.4. Inversión necesaria

Una vez que se cuenta con todos los datos anteriores, se puede sacar la inversión necesaria para iniciar el proyecto y comenzar con la actividad, Tabla 16.7 y Gráfico 16.3. El capital se va a obtener a través de financiación externa.

Tabla 16.7 - Inversión necesaria.

Categoría	Costos [\$]	%
Activos Fijos	309.951.815,00	66,80
Activos Nominal	76.526.372,00	16,49
Capital de trabajo	11.829.901,00	2,55
IVA (21%)	47.715.751,00	10,28
IVA (10,50%)	17.964.474,00	3,87
Total	463.988.313,00	100,00

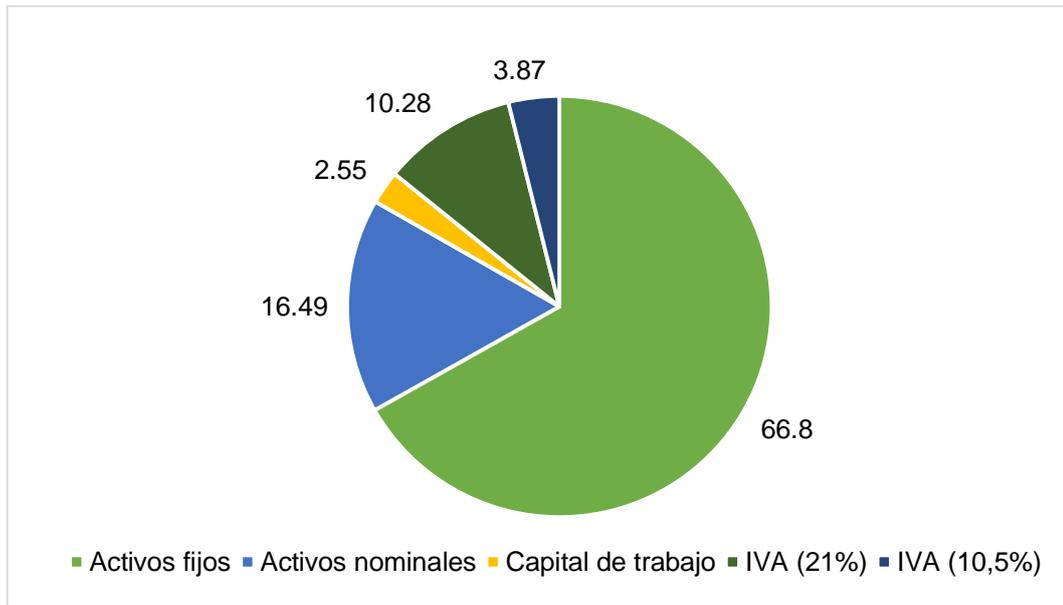


Gráfico 16.3 - Inversión necesaria.

16.3. Costos totales de producción

Los costos de producción son los gastos requeridos para mantener un proyecto, la línea de proceso y equipos en funcionamiento. Se dividen de la siguiente manera, Figura 16.2:

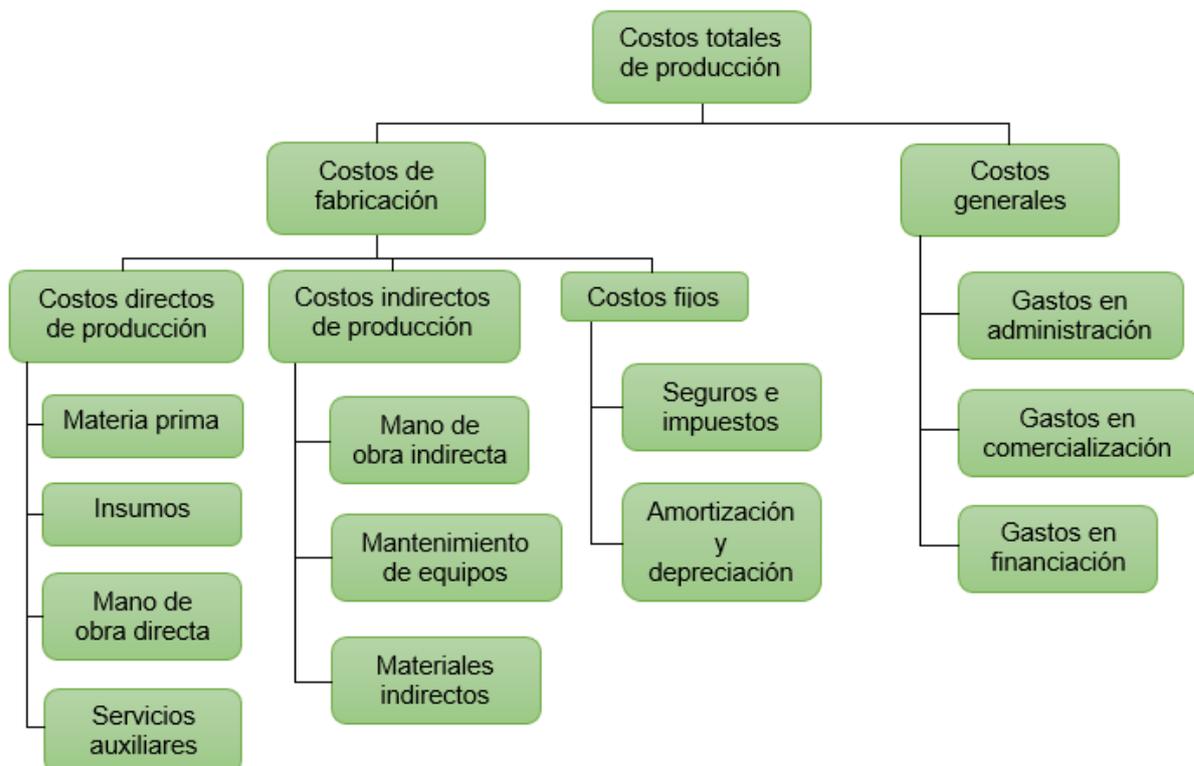


Figura 16.2 - Costos totales de producción.

16.3.1. Costos directos de producción

Son parte de los costos de fabricación, intervienen de manera directa en la producción de ETAS, afectando el precio final de las mismas.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Dentro de ellos se puede ver la materia prima, insumos, mano de obra directa y servicios auxiliares.

a. Materia prima

Para la producción de ETAS se necesita amoníaco fresco y óxido de etileno, Tabla 16.8.

El amoníaco es comprado a la empresa Inquimex SACI que realiza la distribución desde la planta de Profertil SA, por lo cual el precio fue otorgado por dicha empresa, teniendo un costo de flete del 10%.

El óxido de etileno se decidió importarlo desde Estados Unidos hasta el puerto Terminal Zárate, el precio fue obtenido de la página de INDEC para el año correspondiente. El flete se considera 5%.

Tabla 16.8 - Costos anuales de MP.

Materia prima	Cantidad requerida [t]	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	Costo total [\$]
Amoníaco fresco	1076	46.225,00	4.623,00	49.760.071,00
Óxido de etileno	3861	184.900,00	9.245,00	713.948.335,00
Total Materia prima			13.868,00	763.708.406,00

b. Insumos

Se cuenta con nitrógeno que se utiliza para refrigerar el OE y mantenerlo de forma líquida. Otorgado por la empresa Air liquide.

Para las torres de destilación se utiliza el fluido térmico Therminol 66, el precio se consultó a la compañía Eastman.

Ambos insumos se encuentran representados en la Tabla 16.9.

Tabla 16.9 - Costos anuales de Insumos.

Insumo	Cantidad requerida [t]	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	Costo total [\$]
Nitrógeno	672	49,00	5,00	32.932,00
Therminol 66	7	402.158,00	40.216,00	2.855.318,00
Total de Insumos			40.221,00	2.888.250,00

c. Mano de obra directa

Incluye aquellas personas que trabajan en relación directa con el proceso de producción, Tabla 16.10. El importe que se paga por hora se establece en base al Convenio Colectivo de Trabajo N°123/90. El valor del costo total anual de MO directa incluye las cargas sociales, consideradas como un 45% del valor nominal y el aguinaldo.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Tabla 16.10 - Costo total mano de obra directa.

Área/sector	Cargo	Cantidad de personal	Jornal por hora	Aguinaldo	Cargas sociales	Costo anual
Absorción	Operario	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Reacción	Operario	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Recuperación	Operario	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Destilación	Operario	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Producción	Panelista	4	229,84	214.517,33	1.254.926,40	4.043.651,73
Calidad	Analista	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Mantenimiento	Operario	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Mantenimiento	Calderista	4	212,17	198.021,60	1.158.426,36	3.732.707,16
Total Mano de obra directa						30.172.601,85

d. Servicios auxiliares

Dentro de este ítem se encuentra el gas, la electricidad y el agua. El gas es distribuido por la empresa Naturgy Argentina, el consumo se calcula en función de la tarifa y se toma constante en la semana. La electricidad suministrada por la Cooperativa Eléctrica de Zárate, se aplican las tarifas correspondientes que se adjuntan en la Tabla 16.11.

Tabla 16.11 - Costos anuales de Servicios auxiliares.

Servicios auxiliares	Unidad	Cantidad requerida [t]	Precio unitario	Costo total [\$]
Gas	m ³	5.390.000,00	1,01513	5.471.524,00
Electricidad	kW/h	411.850,00	0,32000	131.792,00
Total costo de servicios auxiliares				5.603.316,00

e. Resumen de costos directos de producción

A continuación, en la Tabla 16.12 y Gráfico 16.4 se resumen los costos directos referidos a la producción de MEA, en el transcurso de un año con su porcentaje correspondiente.

Tabla 16.12 - Resumen de costos directos de producción.

Costos directos de producción	Costo total	%
Materias primas	763.708.406,00	95,18
Insumos	2.888.250,00	0,36
Mano de obra directa	30.172.601,85	3,76
Servicios auxiliares	5.603.316,00	0,70
Total	802.372.573,85	100,00

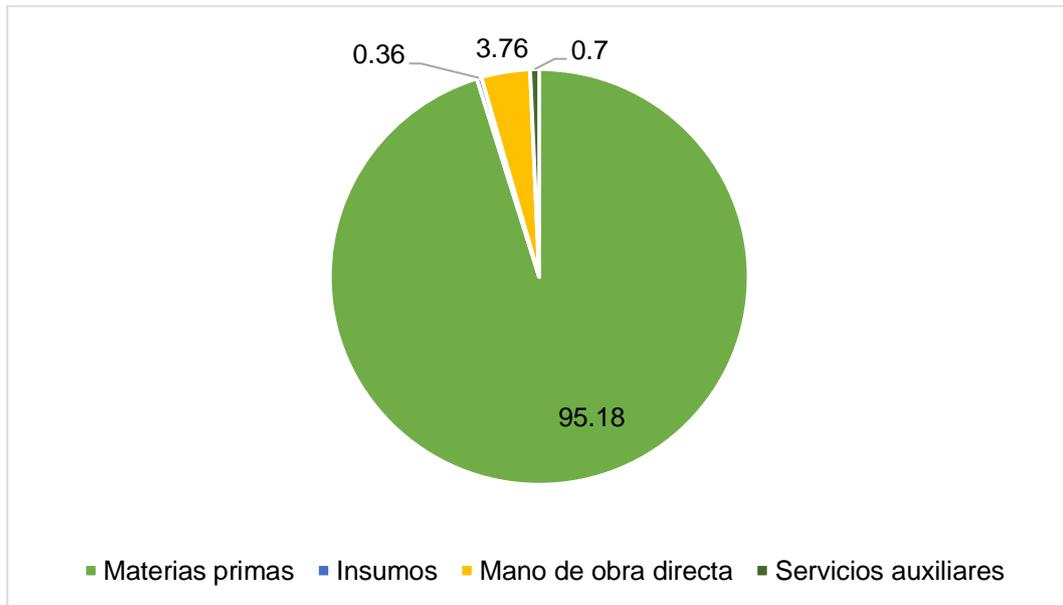


Gráfico 16.4 - Representación del resumen de costos directos.

16.3.2. Costos indirectos de producción

Son aquellos gastos que debe realizar una empresa para lograr la producción establecida. Costos que, si bien no se pueden repercutir ni medir de forma proporcional al producto final, son igualmente necesarios para el correcto funcionamiento de la empresa.

A. Mano de obra indirecta

Se puede clasificar en tres categorías: la MO indirecta afectada a producción, personal comercial, personal administrativo y jerárquico. En las Tabla 16.13, Tabla 16.14 y Tabla 16.15 se puede observar los distintos costos. Mientras que en la Tabla 16.16 el valor total referido a ello.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Tabla 16.13 - Costos de mano de obra indirecta afectada a producción.

Área/Sector	Cargo	Cantidad de personal	Rem. Mensual	Aguinaldo	Cargas Sociales	Costo anual
Calidad	I + D	1	37.341,22	37.341,22	218.446,11	703.881,92
Mant.	Mecánico	4	41.830,32	167.321,28	978.829,49	3.154.006,13
Mant.	Electricista	4	41.830,32	167.321,28	978.829,49	3.154.006,13
HS&MA	Técnico	1	1.991,92	1.991,92	11.652,73	37.547,69
Logística	Operario	8	40.735,87	325.886,98	906.438,81	6.142.969,50
Portería	Seguridad	4	32.902,80	131.611,20	769.925,52	2.480.871,12
Absorción	Supervisor	1	40.451,84	40.451,84	236.643,26	762.517,18
Reacción	Supervisor	1	40.451,84	40.451,84	236.643,26	762.517,18
Recuperación	Supervisor	1	40.451,84	40.451,84	236.643,26	762.517,18
Destilación	Supervisor	1	40.451,84	40.451,84	236.643,26	762.517,18
Mant.	Supervisor	4	40.451,84	161.807,36	946.573,06	3.050.068,74
Total Mano de obra indirecta						21.773.419,95

Tabla 16.14 - Costos de personal de comercialización.

Área/Sector	Cargo	Cantidad de personal	Rem. mensual	Aguinaldo	Cargas Sociales	Costo anual
Venta	Comercio exterior	1	46.092,72	46.092,72	269.642,41	868.847,77
Venta	Marketing	1	46.092,72	46.092,72	269.642,41	868.847,77
Total personal de comercialización						1.737.695,54

Tabla 16.15 - Costos de personal administrativo y jerárquico.

Área/Sector	Cargo	Cantidad de personal	Rem. Mensual	Aguinaldo	Cargas Sociales	Costo anual
Gerencia	Gerente general	1	52.693,29	52.693,29	308.255,75	993.268,52
Adm.	Recepcionista	1	39.530,63	39.530,63	231.254,19	745.152,38
Jefatura	Jefa de producción	1	47.471,25	47.471,25	277.706,81	894.833,06
	Jefe de mantenimiento	1	47.471,25	47.471,25	277.706,81	894.833,06
	Jefe de logística	1	43.822,24	43.822,24	256.360,10	826.049,22
	Jefa de calidad	1	43.822,24	43.822,24	256.360,10	826.049,22
	Jefa de administración	1	47.471,25	47.471,25	277.706,81	894.833,06
Adm.	Recursos humanos	1	46.092,72	46.092,72	269.642,41	868.847,77
Adm.	Contadora	1	46.092,72	46.092,72	269.642,41	868.847,77
Total personal administrativo y jerárquico						7.812.714,06

Tabla 16.16 - Costo total de mano de obra indirecta.

Total de mano de obra indirecta	31.323.830
--	-------------------

B. Resumen de costos indirectos de producción

Seguidamente, en la Tabla 16.17 y el Gráfico 16.5 se adjuntan la recopilación de datos.

Tabla 16.17 - Resumen de costos indirectos de producción.

Categoría	Monto [\$]	%
MO indirecta afectada a producción	21.773.419,95	69,51
Personal de comercialización	1.737.695,54	5,55
Personal jerárquico y administrativo	7.812.714,06	24,94
Total costos indirectos de producción	31.323.829,55	100,00

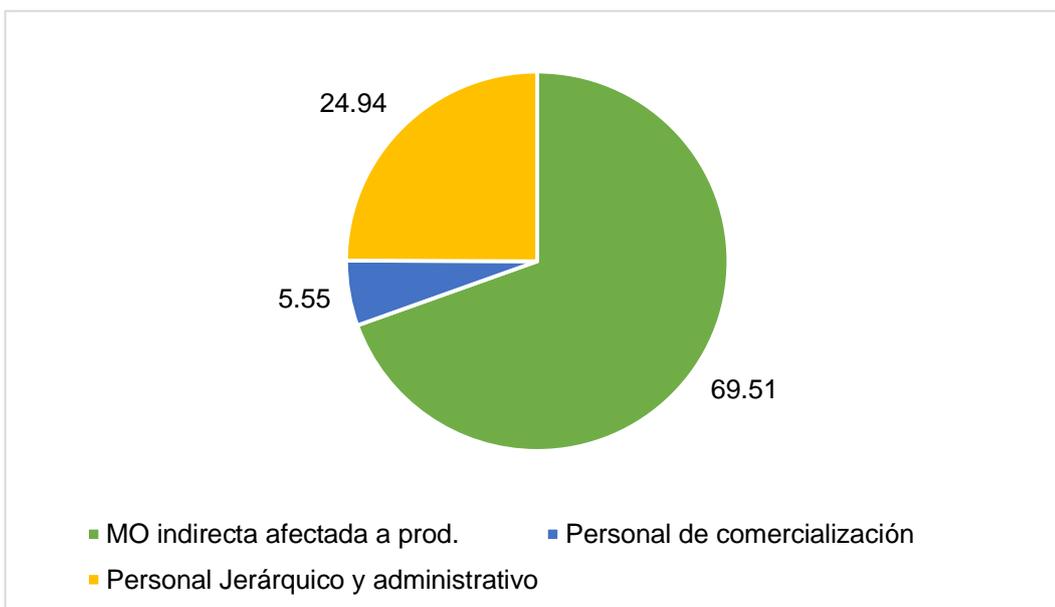


Gráfico 16.5 - Representación del resumen de costos indirectos.

16.3.3. Costos fijos indirectos

Se incluyen costos como: administración, comercialización, amortización, financiación y depreciación de los activos e impuestos.

16.3.3.1. Amortización y depreciaciones

La depreciación tiene la misma connotación que amortización, el primero se aplica a los activos fijos, ya que con el uso de estos pierden valor a lo largo del tiempo; en cambio, la segunda se emplea a los activos diferidos, debido a que no disminuye el precio con los años, por lo que el termino amortización significa el cargo anual que se hace para recuperar la inversión.

Esto puede deberse a tres razones:

- Razón física: desgaste con el uso.
- Razón funcional: al paso del tiempo.
- Vejez.

Los costos de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión.

Según el decreto N° 873/1997, la vida útil de los bienes es la siguiente.

- Edificios: 50 años.
- Instalaciones: 10 años.

- Muebles y útiles: 10 años.
- Maquinarias y equipos: 10 años.
- Rodados: 5 años.

Fijada la vida útil de cada rubro, se expresan en la Tabla 16.18.

Tabla 16.18 - Depreciación/amortización anual.

Categoría	Inversión realizada	Tasa (%)	Depreciación / Amortización anual [\$]
Terreno	49.923.000,00	3,33%	1.664.100
Infraestructura	41.764.753,00	10%	4.176.475
Instalaciones industriales y auxiliares	33.996.386,00	10%	3.399.639
Maquinarias y equipos industriales	171.090.227,00	5%	8.554.511
Automatización	8.554.511,00	10%	855.451
Rodados	473.520,00	20%	94.704
Muebles y útiles	1.583.064,00	20%	316.613
Total			19.061.493

16.3.3.2. Seguros e impuestos

La Ley N° 13.656 de Promoción Industrial de la Provincia de Buenos Aires, otorgan a las empresas que se radiquen en Parque industriales, importantes beneficios y exenciones impositivas de hasta el 100% de los impuestos provinciales, por un período de hasta 10 años:

- El impuesto a los ingresos brutos.
- El impuesto inmobiliario.
- El impuesto de sellos.

Esto se encuentra reflejado en el ítem 4, descripto más arriba en activos nominales.

16.3.3.3. Resumen de costos fijos indirectos

A través de la Tabla 16.19 y el Gráfico 16.6 se puede ver el resumen de estos costos.

Tabla 16.19 - Resumen de costos fijos indirectos.

Categoría	Costo [\$]	%
Depreciación/amortización	19.061.493,00	71,10
Seguros e impuestos	7.748.795,38	28,90
Total	26.810.288,38	100,00

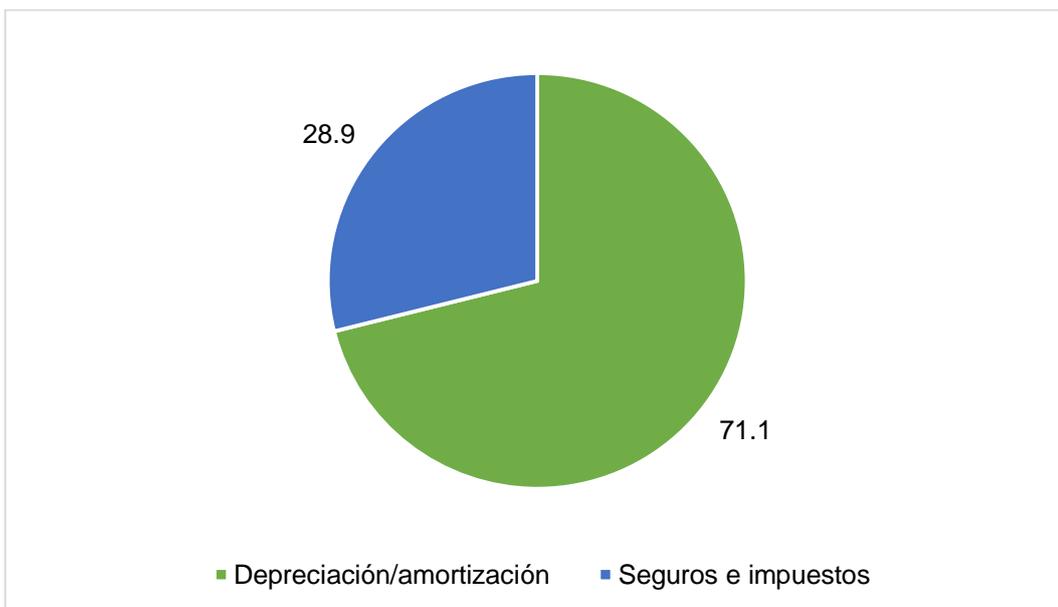


Gráfico 16.6 - Resumen de costos fijos indirectos.

16.3.4. Costos generales

Aquí se encuentran los gastos de administración, de comercialización y financiación. Pero solo se van a mostrar los dos primeros, el costo de financiación se aplica en la sección de Estado de Resultado. Estos se estiman que son entre 0,5% y 0,1% del costo total anual de producción. En la Tabla 16.20 se muestran los valores para el año 10 y en el Gráfico 16.7 los porcentajes que representa cada gasto.

Tabla 16.20 - Gastos generales de administración y comercialización.

Costos año 10	Gastos de administración	Gastos de comercialización	%
Costos fijos	251.927,00	50.385,00	83,33
Costos variables	4.067.716,00	813.543,00	16,67
Total	4.319.643,00	863.928,00	100,00

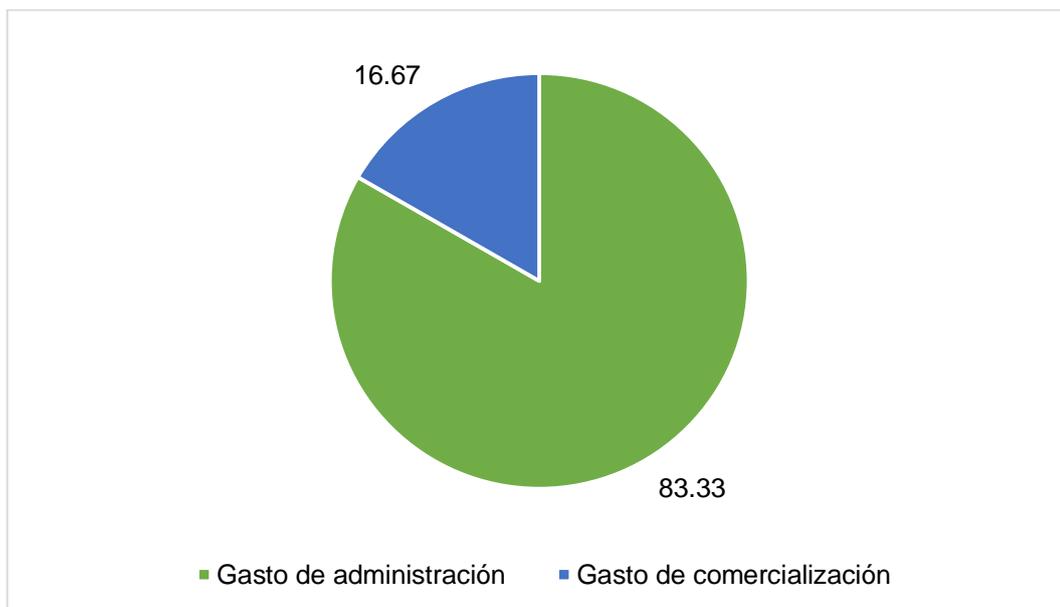


Gráfico 16.7 - Gastos generales.

16.4. Costo unitario

Es el valor monetario para producir un kilogramo de ETAS, a cierto volumen de producción. Se calcula como el costo de producir todos los bienes (costos fijos + costos variables) entre el número de bienes producidos, este último costo distribuido para cada ETA de acuerdo a la relación estequiométrica. Las unidades del costo unitario son \$/kg, la Ecuación 16.1 nos ayuda a calcularlo y la Tabla 16.21 arroja los resultados.

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costos fijos} + \text{Costos variables}}{\text{Total de unidades}} = \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Total de unidades}}$$

Ecuación 16.1 - Calculo de costo unitario.

Tabla 16.21 - Costo unitario de ETAS en el año 10.

Producto	Costo total de producción [\$]	Volumen de producción [kg]	Costo Unitario [\$/kg]
MEA	923.533.571,00	2.700.000,00	342,049
DEA	79.725.914,00	1.413.000,00	56,421
TEA	46.242.167,00	819.600,00	56,421

16.5. Ingreso por venta

Es el importe de dinero percibido por las ventas del producto en cuestión. De acuerdo al estudio de mercado realizado en capítulos anteriores y a investigaciones en la página de INDEC, se obtiene el precio de MEA de pureza 99% a un valor de \$224,65 por kilogramo, DEA a 98,50% de pureza con un importe de \$237,13 por kilogramos y TEA al 99,57% a un precio de \$249,61 por kilogramo.

Este monto se considera constante a lo largo de los 10 años, debido a que en este período no varía las cantidades producidas ni vendidas. Se pueden observar estos valores en la Tabla 16.22.

Tabla 16.22 - Ingreso anual por venta de ETAS.

Producto	Cantidad [kg]	Precio unitario [\$/kg]	Ingreso anual [\$]
MEA	2.700.000,00	224,654	606.564.450
DEA	1.413.000,00	237,140	335.082.078
TEA	819.600,00	249,615	204.581.458
Total de ingreso por venta			1.146.227.986

16.6. Financiación del proyecto

Una empresa está financiada cuando ha pedido capital en préstamos para cubrir cualquiera de sus necesidades. En este proyecto de producción de Monoetanolamina, el capital que se dispone para la inversión es aportado por el Banco de la Nación Argentina con una TNA de 35% y sistema de amortización francés.

El sistema de amortización francés es aquel mediante el cual el prestatario se compromete a pagar unas cuotas periódicas constantes, que incluyen capital e intereses. Estas cuotas se calculan siguiendo una regla financiera.

Mediante este procedimiento de cálculo, se obtiene una cuota de amortización constante en cada período. De esta forma, siempre se paga la misma cantidad, si el préstamo se concedió a un tipo de interés fijo. Existe una variante cuando el interés es variable, referenciado con un indicador, que normalmente es el interés interbancario de referencia de cada país. En este caso, las cuotas son constantes en los períodos de tiempo en que este indicador no varía.

El cálculo de la cuota se realiza con la siguiente Ecuación 16.2.

$$\text{Valor de la cuota} = \frac{\frac{\text{TNA}}{100}}{1 - \left(1 + \frac{\text{TNA}}{100}\right)^{-n}} \cdot \text{INV}$$

Ecuación 16.2 - Valor de la cuota.

Donde:

- n: número de cuotas (10 años)
- INV: monto de la inversión [\$]

En la Tabla 16.23 se puede observar el modo de financiamiento acordado, junto con la inversión necesaria y demás condiciones, arrojando el valor de la Ecuación 16.2.

Tabla 16.23 - Resumen financiero.

Modo de financiamiento	
Monto inversión:	463.988.313,26
TNA:	35%
Nº de cuotas:	10
Valor de cuota:	170.895.396,00
IVA:	21%
Tasa de seguro:	0,15
Sistema utilizado:	Francés

Las cuotas a realizar en los 10 años se muestran en la Tabla 16.24.

Tabla 16.24 - Pagos anuales del Sistema Francés.

Cuota	Capital	Interés	IVA	Seguro	Cuota
1	8.499.486,29	162.395.909,64	34.103.141,02	695.982,47	205.694.519,43
2	11.474.306,49	159.421.089,44	33.478.428,78	683.233,24	205.057.057,96
3	15.490.313,76	155.405.082,17	32.635.067,26	666.021,78	204.196.484,97
4	20.911.923,58	149.983.472,35	31.496.529,19	642.786,31	203.034.711,44
5	28.231.096,83	142.664.299,10	29.959.502,81	611.418,42	201.466.317,17
6	38.111.980,72	132.783.415,21	27.884.517,19	569.071,78	199.348.984,91
7	51.451.173,98	119.444.221,96	25.083.286,61	511.903,81	196.490.586,35
8	69.459.084,87	101.436.311,06	21.301.625,32	434.727,05	192.631.748,30
9	93.769.764,57	77.125.631,36	16.196.382,59	330.538,42	187.422.316,94
10	126.589.182,17	44.306.213,76	9.304.304,90	189.883,77	180.389.584,58
Total		1.244.965.646,05	261.442.785,67	5.335.567,05	1.975.732.312,05

16.7. Evaluación económica

El estudio de evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto. Una vez concentrada toda la información se aplican métodos de estimación que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su probable rendimiento durante su vida útil.

Dentro de los índices de estimación de rentabilidad se puede encontrar los tres más usados que son:

- VAN: Valor Actual Neto.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- PRI: Período de Recupero de la Inversión.

Primeramente, se va a evaluar el Estado de Resultados de dicho proyecto, luego se procede a calcular los indicadores.

16.7.1. Estado de resultados

El estado de resultados, también llamada cuenta de resultados o cuenta de pérdidas y ganancias, recoge los ingresos y gastos que ha tenido una empresa durante un período de tiempo.

Nos indica como los ingresos se transforman en beneficios según se le restan los gastos. Ayuda a tener una visión rápida de cuales han sido los gastos más importantes para la empresa. De esta manera se puede apreciar donde sería más fácil recortar para ahorrar costes innecesarios.

Los ingresos son las cantidades directas de dinero que ha obtenido la empresa por la venta de sus productos o servicios, mientras que los gastos son las cuantías de dinero en las que ha tenido que incurrir la empresa para conseguir esa entrada de dinero.

Se deben tener en cuenta una serie de conceptos antes de proceder:

- Ingresos por ventas: se entiende por los importes de facturación recibidos por la venta de bienes en un período dado.
- Costos de producción de lo vendido: cuando una empresa fabrica un bien, el proceso productivo genera unos costes conforme este avanza. Éstos se componen principalmente de la mano de obra atribuible a la producción, el costo de los materiales

- empleados y de los gastos generales que genera el proceso productivo. Dicho de otra manera, es lo que le cuesta a la empresa producir ese bien.
- Resultado operativo: diferencia entre ingresos por ventas y coste de ventas, indicando que gana la empresa, en bruto, con el producto vendido.
 - Gastos administrativos: son los que no se pueden vincular directamente con la actividad económica que desarrolla la empresa, dentro de los procesos de fabricación, producción o ventas. Dicho de otra manera, son los gastos que tiene una sociedad debido a la gestión realizada para el buen progreso de su actividad económica.
 - Gastos comerciales: son aquellos que posibilitan el proceso de ventas de los bienes o servicios de una empresa a sus clientes. Es decir, surgen como consecuencia de colocar los mismos en el mercado.
 - Gastos financieros: todos aquellos en los que incide una empresa como consecuencia del uso de capitales puestos a su disposición. Toda empresa que acuda a la financiación ajena, como es nuestro caso, por entidades bancarias tendrá estas partidas en sus resultados.
 - Depreciaciones/amortizaciones: la depreciación tiene la misma connotación que amortización, el primero se aplica a los activos fijos, ya que con el uso de los mismos pierden valor a lo largo del tiempo; en cambio, la segunda se emplea a los activos diferidos, debido a que no disminuye el precio con los años, por lo que el termino amortización significa el cargo anual que se hace para recuperar la inversión.
 - Resultado sin impuestos: efecto de sustraerle al resultado operativo las depreciaciones, gastos administrativos, de comercialización y de financiación.
 - Impuesto a las ganancias: se considera el 35% de la utilidad antes del impuesto.
 - Flujo neto de efectivo: es la diferencia matemática entre los ingresos y gastos en efectivo de cada período. El flujo de efectivo es el informe financiero, pero el flujo neto es la cantidad de dinero que resulta al final de un período determinado.

En las Tabla 16.25, Tabla 16.26 y Tabla 16.27 se detalla los resultados para un período de 10 años de actividad del proyecto. En el Gráfico 16.8 se puede ver la representación de barra de este.

Tabla 16.25 - Estado de resultados año 1 al 3.

Año	AÑO I	AÑO II	AÑO III
Ingresos por venta	1.065.567.498	1.074.686.379	1.083.397.712
Costos de prod. de lo vendido	828.773.784	815.731.778	821.600.498
RESULTADO OPERATIVO	236.793.714	258.954.601	261.797.214
Gastos administrativos	4.143.869	4.078.659	4.108.002
Gastos comerciales	828.774	815.732	821.600
Gastos financieros	205.694.519	205.057.058	204.196.485
Depreciación/amortización	19.061.493	19.061.493	19.061.493
RESULTADO SIN IMPUESTOS	7.065.059	29.941.659	33.609.633
Depreciación/amortización	19.061.493	19.061.493	19.061.493
Impuesto a las ganancias	9.144.293	17.151.103	18.434.894
FLUJO NETO DE EFECTIVO	16.982.259	12.790.556	15.174.739

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Tabla 16.26 - Estado de resultados año 4 al 6.

Año	AÑO IV	AÑO V	AÑO VI
Ingresos por venta	1.092.737.347	1.101.652.454	1.110.567.560
Costos de prod. de lo vendido	827.892.497	833.898.497	839.904.497
RESULTADO OPERATIVO	264.844.850	267.753.956	270.663.063
Gastos administrativos	4.139.462	4.169.492	4.199.522
Gastos comerciales	827.892	833.898	839.904
Gastos financieros	203.034.711	201.466.317	199.348.985
Depreciación/amortización	19.061.493	19.061.493	19.061.493
RESULTADO SIN IMPUESTOS	37.781.290	42.222.755	47.213.158
Depreciación/amortización	19.061.493	19.061.493	19.061.493
Impuesto a las ganancias	19.894.974	21.449.487	23.196.128
FLUJO NETO DE EFECTIVO	17.886.316	20.773.268	24.017.030

Tabla 16.27 - Estado de resultados año 7 al 10.

Año	AÑO VII	AÑO VIII	AÑO IX	AÑO X
Ingresos por venta	1.119.482.667	1.128.397.773	1.137.737.409	1.146.227.986
Costos de prod. de lo vendido	845.910.497	851.916.496	858.208.496	863.928.496
RESULTADO OPERATIVO	273.572.170	276.481.277	279.528.912	282.299.490
Gastos administrativos	4.229.552	4.259.582	4.291.042	4.319.642
Gastos comerciales	845.910	851.916	858.208	863.928
Gastos financieros	196.490.586	192.631.748	187.422.317	180.389.585
Depreciación/ amortización	19.061.493	19.061.493	19.061.493	19.061.493
RESULTADO SIN IMPUESTOS	52.944.627	59.676.536	67.895.851	77.664.841
Depreciación/ amortización	19.061.493	19.061.493	19.061.493	19.061.493
Impuesto a las ganancias	25.202.142	27.558.310	30.435.071	33.854.217
FLUJO NETO DE EFECTIVO	27.742.485	32.118.226	37.460.781	43.810.624

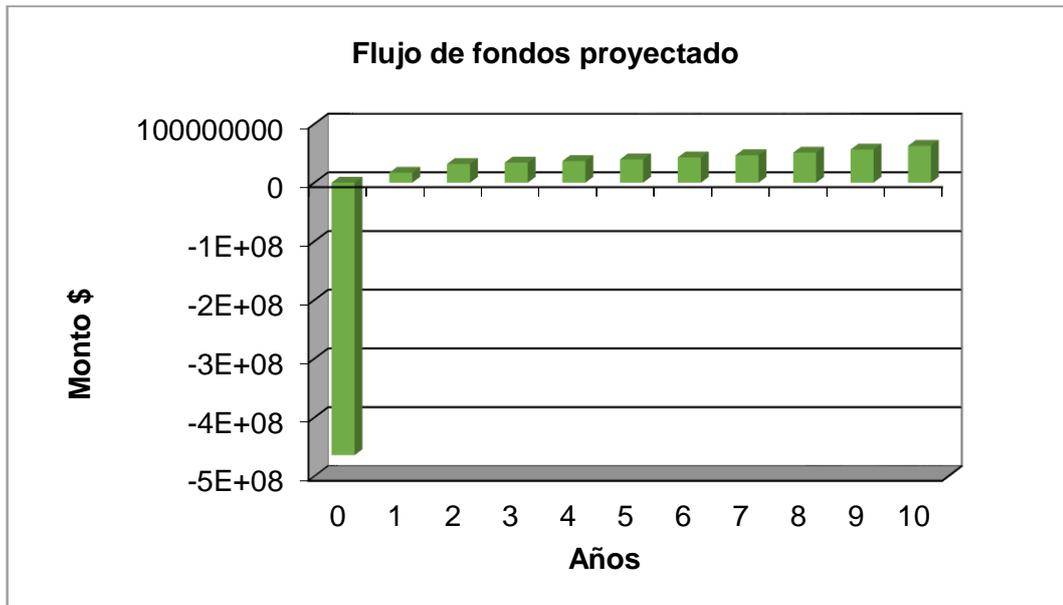


Gráfico 16.8 - Flujo neto efectivo.

16.7.2. Indicadores

1) VAN: Valor Actual Neto

Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder.

La rentabilidad mínima que un inversionista espera obtener de una inversión es la TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento), en este caso particular se toma el 35%, correspondiente a la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Para el cálculo se utiliza la Ecuación 16.3.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + TMAR)^n}$$

Ecuación 16.3 - Calculo de VAN.

Donde:

- I_0 : inversión inicial en $t = 0$.
- n : número de períodos de tiempo.
- FNE_n : flujo de dinero en cada período.

Los proyectos se clasifican según la rentabilidad como sigue:

- $VAN > 0$, el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generara beneficios.
- $VAN = 0$, el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$, generará pérdidas por lo que tendrá que ser rechazado dicho propósito.

Tabla 16.28 - Valor Actual Neto.

Indicador	Valor
VAN	-\$375.604.562,00

Como se observa en la Tabla 16.28 el valor es negativo por lo cual el proyecto no es viable.

2) TIR: Tasa Interna de Retorno

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Para el cálculo se utiliza la Ecuación 16.4.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n}$$

Ecuación 16.4 - Calculo de TIR.

Donde:

- I_0 : inversión inicial en $t = 0$.
- n : número de períodos de tiempo.
- FNE_n : flujo de dinero en cada período.

El criterio de selección será el siguiente:

- $TIR > TMAR$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que se obtiene es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida.
- $TIR = TMAR$, se está en una situación similar como cuando $VAN = 0$. La inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- $TIR < TMAR$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que se le pide a la inversión.

En la Tabla 16.29 se observa que el valor obtenido es menor a la TMAR propuesta por el banco, por ende, no es aceptable, no alcanzando la rentabilidad mínima.

Tabla 16.29 - Tasa Interna de Retorno.

Indicador	Valor
TIR	-1,53%

3) PRI: Período de Recupero de la Inversión realizada.

Es un indicador que mide en cuanto tiempo se recuperará el total del dinero invertido a valor presente. Puede revelar con precisión, en años, meses, días, la fecha en la cual será cubierta.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Ecuación 16.5 - Calculo de PRI.

Donde:

- a : año inmediato anterior en que se recupera la inversión.
- b : inversión inicial.
- c : flujo de efectivo acumulado en el año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.
- d : flujo de efectivo en el año que se recupera la inversión.

Al ser este proyecto no rentable no se puede establecer un período de recuperación para dicha inversión.

4) Relación beneficio/costo

Es el cociente entre el valor actualizado de los beneficios del proyecto (ingresos) y el valor actualizado de los costos (egresos), a una tasa de actualización igual a la TMAR.

De acuerdo con este criterio, la inversión en un proyecto productivo es aceptable si el valor de la relación beneficio/costo es mayor o igual que uno. En la Tabla 16.30 se muestra que el resultado obtenido es menor a 1.

Tabla 16.30 - Beneficio/costo.

Indicador	Valor
Beneficio/costo	0,936

16.7.3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la VAN, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo con esto, se analiza la variación de la VAN con la desviación del precio de venta, costos de MO, gas, materia prima y TNA; siendo las principales variables que influyen en las utilidades.

Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la VAN con los cambios de las variables antes mencionadas.

- Variación de la VAN con respecto a la variación de Precio MP.

En el Gráfico 16.9 se muestra que cuando el precio de la materia prima disminuye un 30% o más, la VAN comienza a ser positiva, generando ganancias.

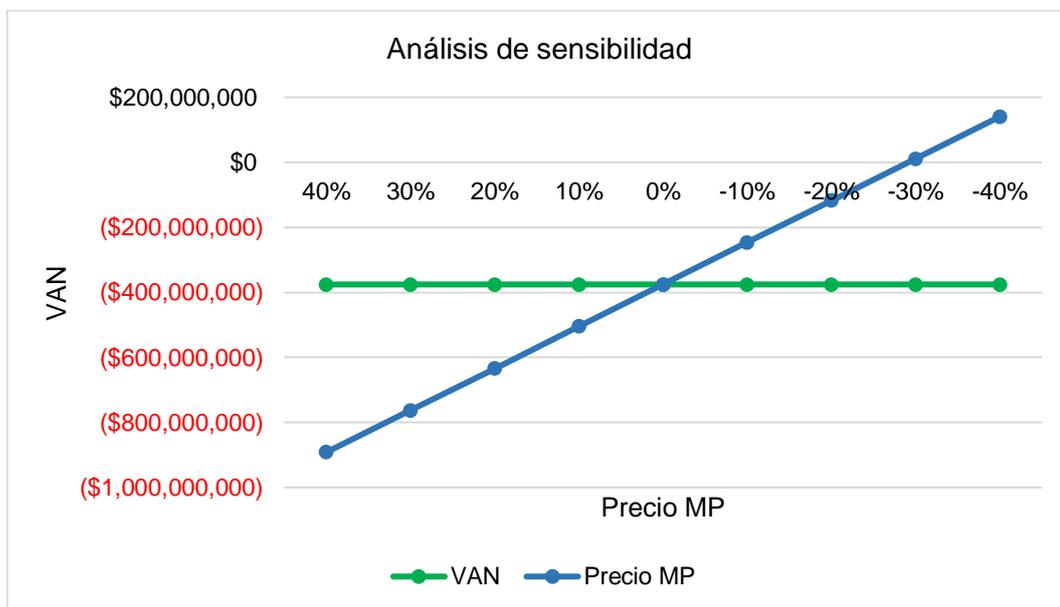


Gráfico 16.9 - Variación de la VAN con respecto a la variación de Precio MP.

- Variación de la VAN con respecto al precio de venta de etanolaminas.

En el Gráfico 16.10 se puede comprobar que para obtener una rentabilidad del proyecto, el precio de venta de productos debe aumentar como mínimo un 20%.

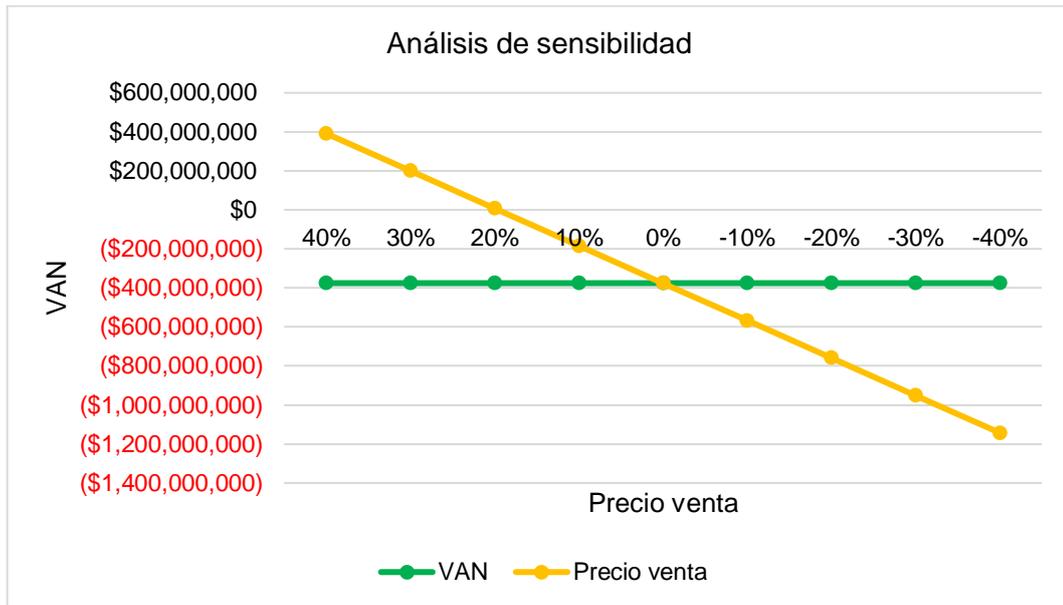


Gráfico 16.10 - Variación de la VAN con respecto a la variación de Precio Venta.

- Variación de la VAN con respecto a la variación de gas.

El Gráfico 16.11 refleja que una disminución en el gas, aumenta el valor actual neto, pero no presenta viabilidad.

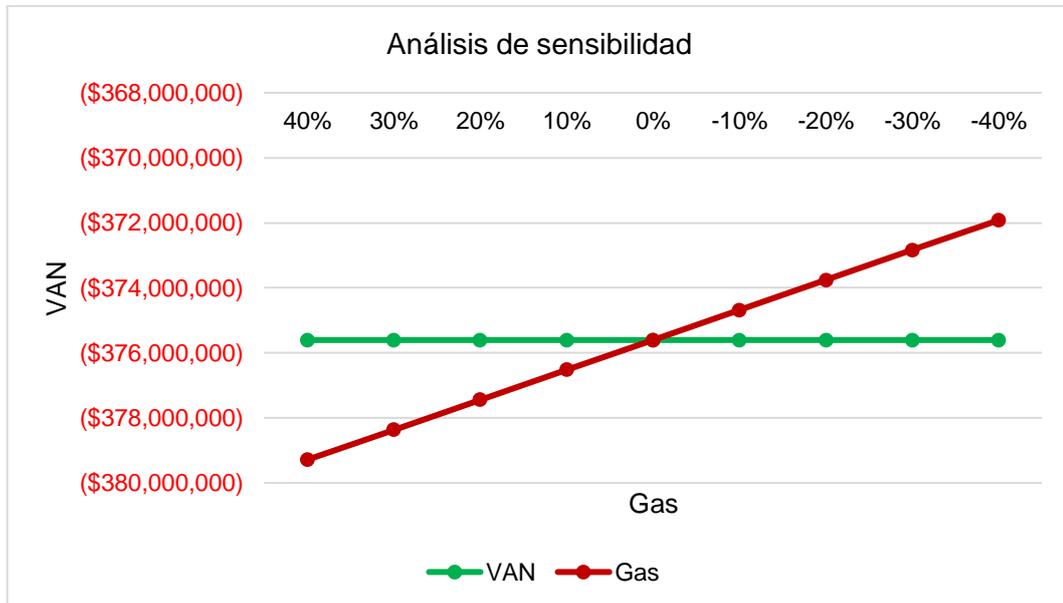


Gráfico 16.11 - Variación de la VAN con respecto a la variación de Gas.

- Variación de la VAN con la mano de obra.

Al igual que el caso anterior, una variación en este mejora pero no es condición suficiente para ser rentable, Gráfico 16.12.

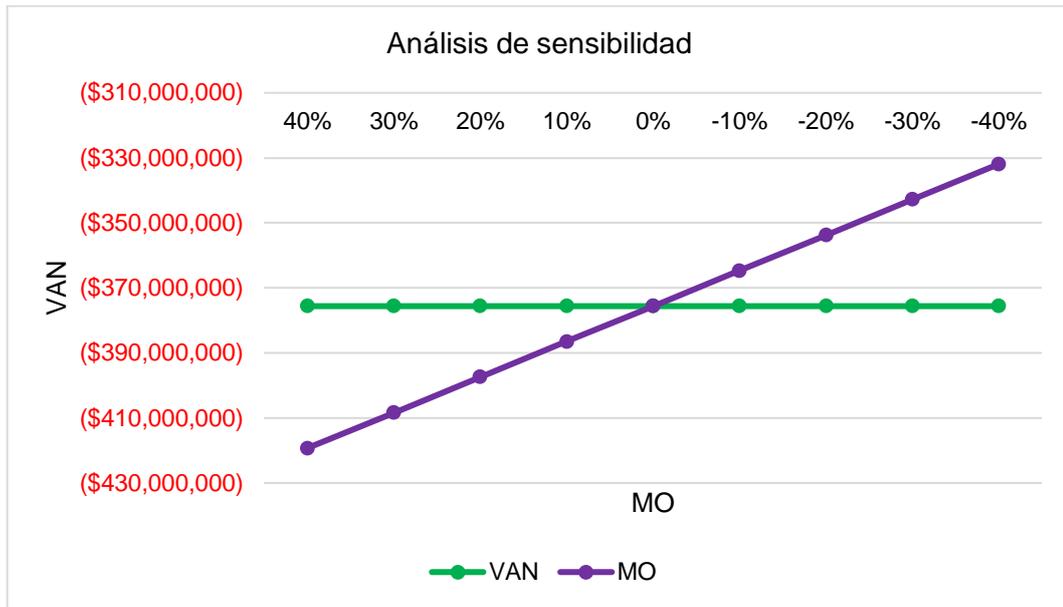


Gráfico 16.12 - Variación de la VAN con respecto a la variación de MO.

➤ Variación de la VAN con la TNA.

La variable que más influye en este proyecto es la TNA, se puede ver en los Gráfico 16.13 y Gráfico 16.14 que a distintos valores de tasa nominal anual que varían desde el 5 – 45%, va afectando la VAN y, por consiguiente, la TIR. Para una TNA menor al 15%, el proyecto comienza a ser rentable.

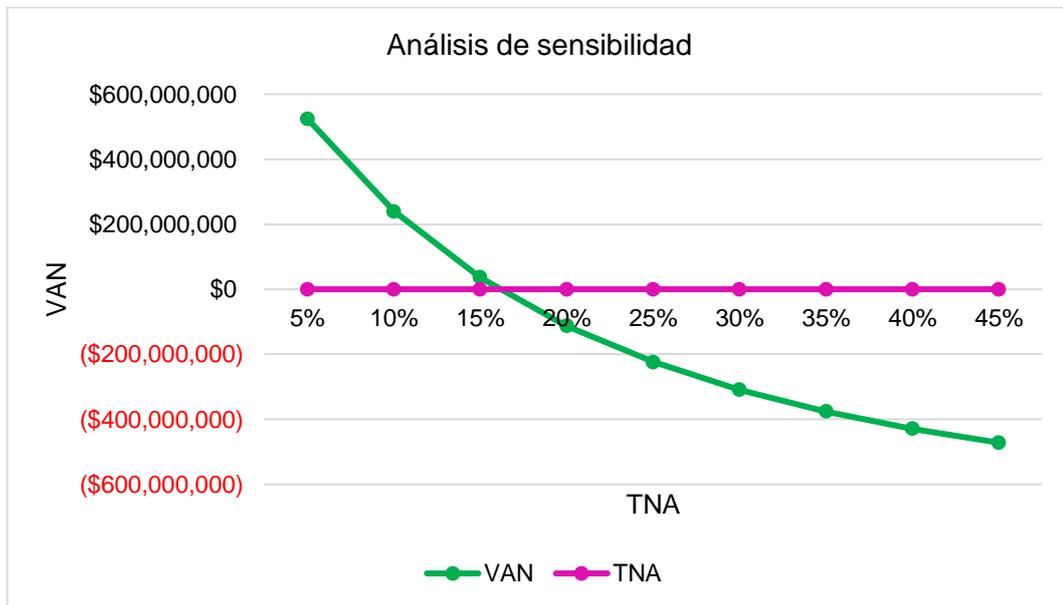


Gráfico 16.13 - Variación de la VAN con respecto a la variación de TNA.

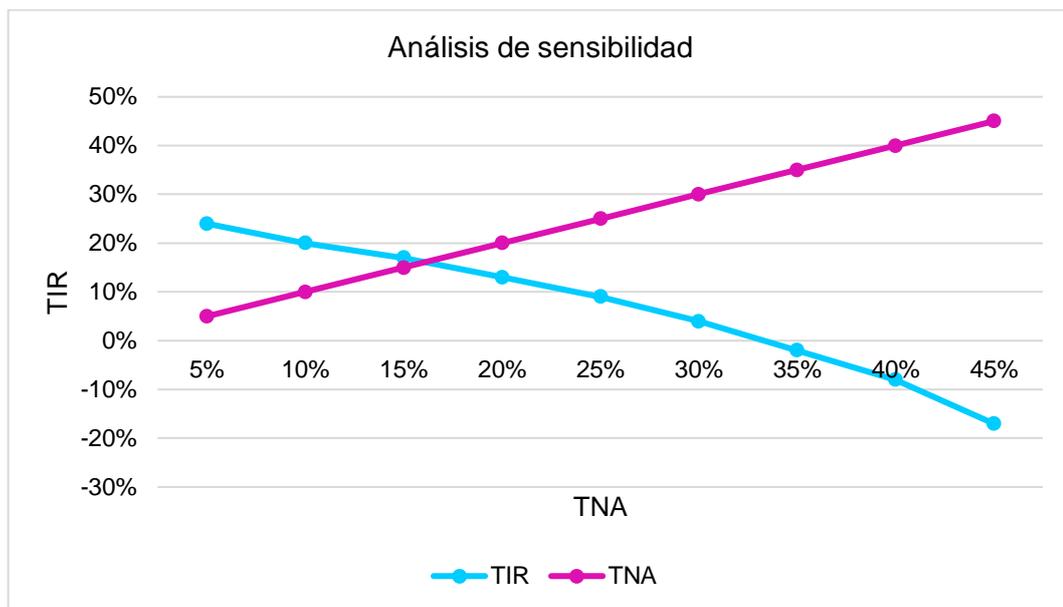


Gráfico 16.14 - Variación de la TIR con respecto a la variación de TNA.

16.8. Conclusión del estudio económico financiero

El análisis económico financiero para la producción de Monoetanolamina a partir de Amoníaco y Óxido de etileno, requiere una inversión inicial de \$463.988.313,26, los cuales son financiados a través de un crédito otorgado por el Banco de la Nación Argentina, con una tasa nominal anual fija del 35% y en un período de pago de 10 años.

El mismo no se considera viable, es decir, sin rentabilidad y genera pérdidas. En otro contexto económico más favorable del país, la TNA llegaría a cubrir los gastos de inversión, que están representados por el 67% de activos fijos, entre ellos el valor más influyente es el costo de maquinarias y equipos.

En cuanto al análisis de costos, los productos tienen un precio de venta bajo, con lo cual al aumentarse podría mejorarse la rentabilidad.

El indicador beneficio/costo no llega a ser 1, que es el aceptable. La relación entre el costo unitario de los productos y el precio de venta no están tan próximos, pero aun así, los ingresos obtenidos por toneladas vendidas son menores con respecto al costo necesario para producirlas.

La TIR es inferior a la TMAR, dando no aceptable; la VAN arroja resultado negativo y sin período de recupero de la inversión.

Una hipótesis que genere rentabilidad es suponer una TMAR del 15%, este valor genera una TIR del 17%, una VAN de \$36.794.761 y un periodo de recupero de 4,86 años.

Seguidamente, se adjuntan los análisis de sensibilidad correspondientes a una TNA del 15%:

➤ VAN vs. Precio MP

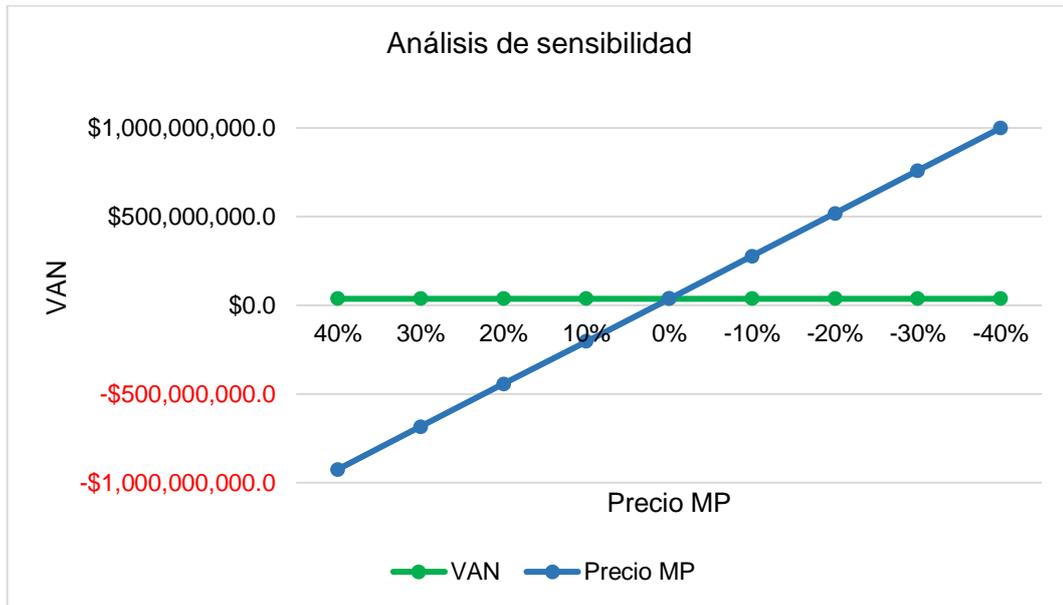


Gráfico 16.15 - Análisis de sensibilidad, VAN vs. Precio MP.

➤ VAN vs. Precio de ventas

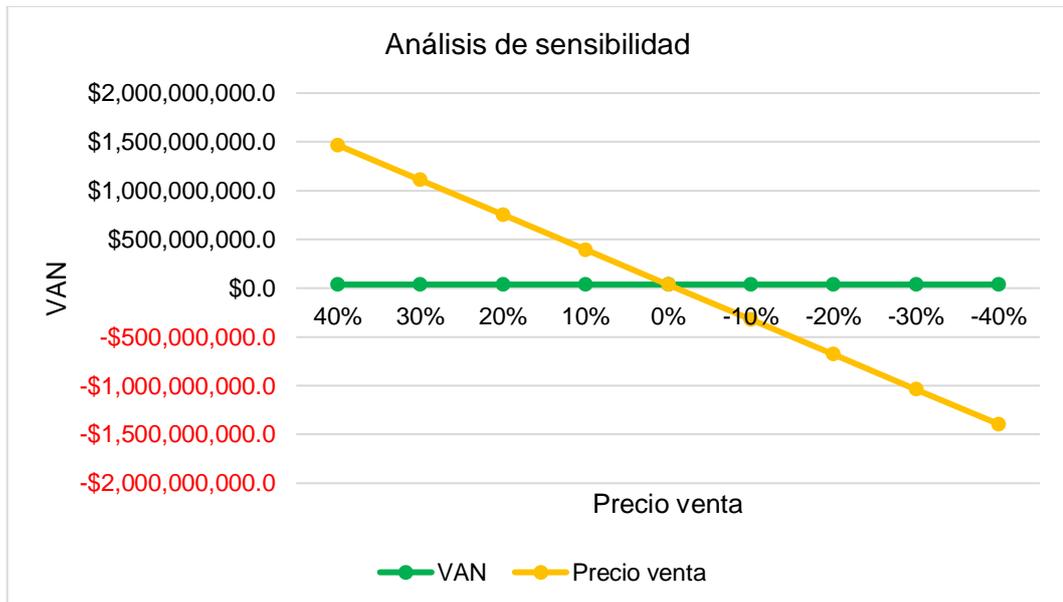


Gráfico 16.16 - Análisis de sensibilidad, VAN vs. Precio de ventas.

➤ VAN vs. Mano de obra

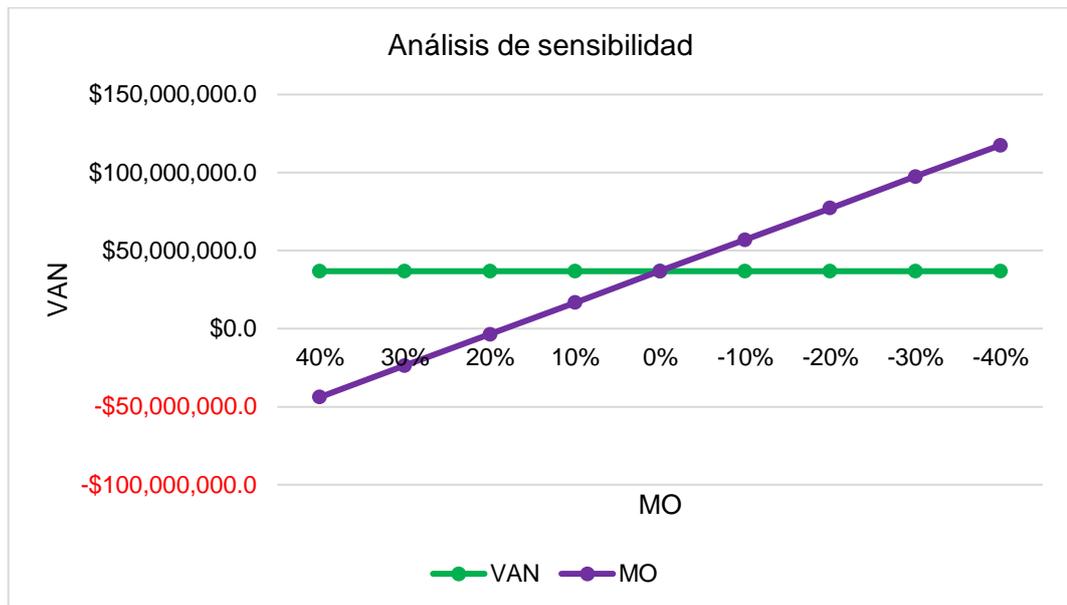


Gráfico 16.17 - Análisis de sensibilidad, VAN vs. MO.

➤ VAN vs. Gas

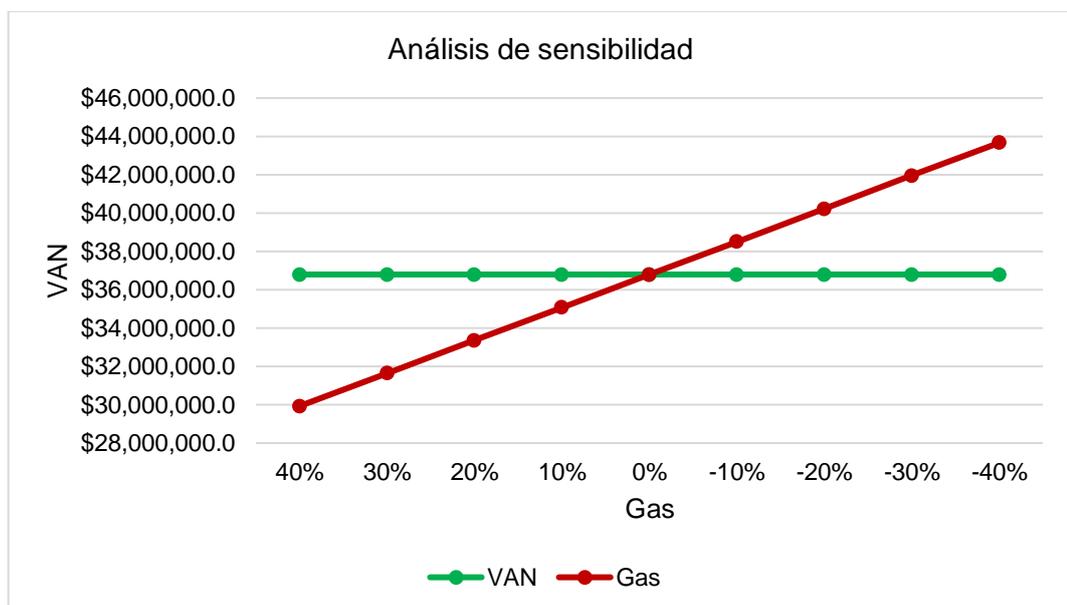


Gráfico 16.18 - Análisis de sensibilidad, VAN vs. Gas.

Se puede ver a través del Gráfico 16.15, que un aumento en el precio de la materia prima genera pérdidas, y una disminución en el precio de venta, Gráfico 16.16, refleja la misma situación.

En cuanto a la mano de obra, Gráfico 16.17, solo se permite un aumento de hasta el 10% sin perder viabilidad.

El Gráfico 16.18 señala que una variación no influye en la rentabilidad del proyecto.

CONCLUSIONES

- Una vez concluido el proyecto se puede decir que se lograron los objetivos planteados inicialmente.
- Teniendo en cuenta el estudio de mercado, se concluye que las proyecciones sobre el consumo de Monoetanolamina y subproductos, son crecientes para los próximos años, sumado el hecho de que no hay producción industrial nacional. La instalación de una planta industrial es una buena oportunidad siempre que se cuente en el país con un sistema económico que pueda solventar los gastos de inversión.
- El amoníaco es una de las materias primas más disponibles en el mercado y su producción presenta una tendencia creciente. En cuando al óxido de etileno puede que con el paso del tiempo se produzca a nivel nacional, sin necesidad de importar y eso rebajaría costos.
- La selección del proceso se llevó a cabo teniendo en cuenta patentes que involucraban la mayoría de las condiciones de operación, resultando fácil la comprensión de este, sin necesidad de tener que analizar datos a escala piloto.
- Como se analizó en el capítulo económico-financiero, los resultados obtenidos no fueron favorables, los indicadores, TIR, VAN y PRI, demuestran que no es conveniente invertir en un proyecto como este, en un futuro cercano.

BIBLIOGRAFÍA

- Aczel & Cía. Amoníaco. Solución Integral. (2019). Obtenido de <http://www.aczelamoníaco.com/>
- AESA SA ingeniería. (abril de 2021). Obtenido de <http://www.aesa.com.ar/>
- Agencia de sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (2020). Obtenido de ATSDR: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs137.html
- Air liquide. (abril de 2021). Obtenido de <https://www.airliquide.com/es/argentina>
- Bahía Producción. (2020). *Producción Bahía Blanca Parque Industrial*. Obtenido de <http://produccion.bahia.gob.ar/parque-industrial/>
- Biopack, marca de sistemas analíticos SA. (2019). Obtenido de <https://www.biopack.com.ar/>
- BIOSEIF. (2021). *BIOSEIF*. Obtenido de https://www.bioseif.com.ar/calzado--prod--183?gclid=Cj0KCQjwyN-DBhCDARIsAFOELTkvaflGYgDiYJtzAhy1Kvdp02i1x1YT8pW3sRIFLM3jbC3jM-h2TsYaAgW2EALw_wcB
- Bricher. (abril de 2021). Obtenido de <https://bricher.com.ar/>
- Bunge. (2019). Obtenido de <http://www.bungeargentina.com/>
- Cámara del comercio automotor (CCA). (abril de 2021). Obtenido de <https://cca.org.ar/lista-de-precios/>
- Carlos A. Smith, A. B. (1991). *Control automático de procesos*. México: Noriega limusa.
- Centauro Alpha SRL. (2019). Obtenido de <https://www.centauroalpha.com.ar/>
- Certificación, I. A. (2021). *IRAM*. Obtenido de <https://www.iram.org.ar/>
- Certifications, I. Q. (2021). *IQC*. Obtenido de <http://www.iqcmx.org/>
- Chemical ingredients and solutions. (2019). Obtenido de <http://cis-sa.com.ar/>
- Cicarelli laboratorios. (2019). Obtenido de <http://cicarelli.com/>
- Cicloquímica. (2019). Obtenido de <http://www.cicloquimica.com/>
- Colegio de arquitectos de la provincia de Buenos Aires distrito 5. (abril de 2021). Obtenido de <https://www.capba5.com.ar/home>
- Consejo al día. (2020). Obtenido de https://consejoaldia.com/que-es-la-trietanolamina-y-en-que-se-utiliza/#Es_toxica_la_trietanolamina
- Convenio colectivo de trabajo N°123/90. (s.f.). Obtenido de <https://www.trabajo.gba.gov.ar/documentos/convenios/c123-90.pdf>
- Cooperativa eléctrica de Zárate. (s.f.). Obtenido de <https://www.cezarate.com.ar/>
- Duraplas SRL. (2021). Obtenido de <https://www.duraplas-argentina.com/>
- Eastman Chemical. (2021). Obtenido de <https://www.eastman.com/Pages/Home.aspx>
- ECURED: *enciclopedia cubana*. (2020). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Dietanolamina#Descripci.C3.B3n>

- Fontanet calderas y tanques.* (2021). Obtenido de <http://www.calderasfontanet.com.ar/es>
- Gioacchino Cocuzza, C., & Gianni Torreggiani, B. A. (1979). *Italia Patente nº 943.498.*
- Grundfos Argentina.* (2021). Obtenido de <https://www.grundfos.com/ar>
- GTM. (2017). Obtenido de <http://www.gtmchemicals.com/>
- Humanos, M. d. (2021). *Información Legislativa.* Obtenido de InfoLEG: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/17612/norma.htm>
- Humanos, M. d. (2021). *Información Legislativa.* Obtenido de InfoLEG: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/17612/norma.htm>
- Humanos, M. d. (2021). *Información Legislativa.* Obtenido de InfoLEG: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=27971>
- Infoleg.* (2021). Obtenido de ANEXO IV, Iluminación y color: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/30000-34999/32030/dto351-1979-anexo4.htm>
- Infoleg.* (2021). Obtenido de Decreto 873/97: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/45000-49999/45484/norma.htm#:~:text=Decreto%20873%2F97%20del%2001%2F09%2F97&text=Modificase%20el%20Decreto%20N%C2%BA%20627,en%20la%20mencionada%20norma%20legal.&text=Contratos%20Asimilados%20a%20Opera>
- Inquimex SACI.* (ABRIL de 2021). Obtenido de <https://inquimex.com.ar/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2019). Obtenido de <https://www.indec.gob.ar/>
- International Labour Organization.* (2020). Obtenido de ICSC: <https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listCards3>
- International Trade Center. (2019). Obtenido de <http://www.intracen.org/>
- Intratec.* (2020). Obtenido de <https://www.intratec.us/analysis/report-preview?report=meae11a&referer=pcrpb>
- ITC MIE-APQ 1.* (2021). Obtenido de <http://www.apici.es/wp-download/legislacion/ITCMIEAPQ1.pdf>
- KAESER. (2021). *KAESER Compresores.* Obtenido de <https://ar.kaeser.com/>
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer.* New York: McGraw-Hill Book Co., Inc.
- Laboratories, U. (2021). *UL.* Obtenido de <https://www.ul.com/>
- Laquim SA. Químicos. Agroquímicos. (2019). Obtenido de <http://www.laquim.com.ar/>
- Laquimar SACIF. (2019). Obtenido de <http://laquimar.com.ar/>
- Lennart, V., & Lennart, C. (1986). *Gotemburgo, Suecia Patente nº 10102-43-9.*
- Levenspiel, O. (1986). *Chemical Reaction Engineering.* Otter Rock: John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Lideres en luminaria led.* (s.f.). Obtenido de Glixleds illuminate: <https://glixleds.com.ar/>

- Markowicz SA Calderas argentinas. (s.f.). Obtenido de https://calderasargentinas.com.ar/?gclid=Cj0KCCQjwppSEBhCGARIsANIs4p6U1vvCl3AjqNXqDb2qQujfp0MntRMK9OKU7bLj5TpfIP_NgD7VvkUYaAjomEALw_wcB
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (1973). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Ministerio de Justicia y Derechos humanos. (s.f.). Obtenido de Información legislativa: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/25553/texact.htm>
- Nameco SRL, auxiliares industriales. (2019). Obtenido de <http://www.nameco.com.ar/>
- Naturgy Argentina. (ABRIL de 2021). Obtenido de <https://www.naturgy.com.ar/ar/1285084496929/inicio.html>
- Ocon, J. y. (1974). *Problemas de ingeniería química. Operaciones básicas*. España: Aguilar.
- Parque industrial y logístico Paraná de las palmas. (s.f.). Obtenido de PLIZ: <https://www.pliz.com.ar/>
- Perry, R. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pirobloc SA. (s.f.). Obtenido de <https://www.pirobloc.com/>
- Profertil SA, vida para nuestra tierra. (2019). Obtenido de <https://www.profertil.com.ar/>
- Promoción industrial Ley N°13.656. (Abril de 2021). Obtenido de Gobierno de la Provincia de Buenos Aires: https://www.pliz.com.ar/cpt/promocion_ind.pdf
- Puerto de Bahía Blanca. (2020). *Puerto Bahía Blanca*. Obtenido de <https://puertobahia blanca.com/>
- Qué es el amoniaco. (2020). Obtenido de https://www.amoniaco.org/#Propiedades_quimicas
- Química Oeste SA. (2019). Obtenido de <https://www.quimicaoeste.com.ar/>
- Ruehl, C., Hou, C., Lee, P., & Armstrong, L. (1997). *Reino Unido Patente n° 403*.
- Ruvac Technology. (s.f.). Obtenido de <https://ruvac.com.ar/>
- S.A, A. (2020). *Aerotan. Tanques de almacenamiento*. Obtenido de <http://www.aerotan.com.ar/>
- S.R.L, M. (2021). *MaDeVa*. Obtenido de <https://www.madeva.com.ar/empresa.php>
- SAPAG, C. (1989). *Preparativos y evaluacion de proyectos, segunda edicion*. Naucalpan de Juárez, México: Mcgraw-Hill interamericana de México .
- SIEMENS. (2021). Obtenido de https://new.siemens.com/ar/es.html?gclid=Cj0KCCQiA3Y-ABhCnARIsAKYDH7sNHJ8WvWHoqKLpNtAHVJvFKfyzRrUCFHMuFGEjIWfuq0lpa4PnhRsaAgzPEALw_wcB
- SINAX SA. (abril de 2021). Obtenido de <https://www.sinax.com.ar/>
- Sintorgan reactivos analíticos. (2019). Obtenido de <https://www.sintorgan.com/>
- Spirax Sarco Argentina. (2021). Obtenido de <https://www.spiraxsarco.com/global/es-AR>
- Sulfur SA, industria química. (2019). Obtenido de <http://www.sulfur.com.ar/>

Terminal Zárate. (2020). *Terminal Zárate Puerto*. Obtenido de <http://www.terminalzarate.com.ar/>

The Linde Group. (2019). Obtenido de <https://www.the-linde-group.com/en/index.html>

TIMSA. (2021). *TIMSA - Técnica e ingeniería de mezclas*. Obtenido de <https://www.timsa.com/>

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 7th Edition. (2011).

VEGA. (s.f.). Obtenido de <https://www.vega.com/es>

Warring, R. H. (1977). *Selección de bombas. Sistemas y aplicaciones*. Barcelona, España: Labor.

Zahedi, G., Amraei, S., & Biglari, M. (2009). *Malasia Patente nº 1504-1511*.



ANEXO I

TÉCNICAS DE ANÁLISIS

ANEXO I – Técnicas de análisis

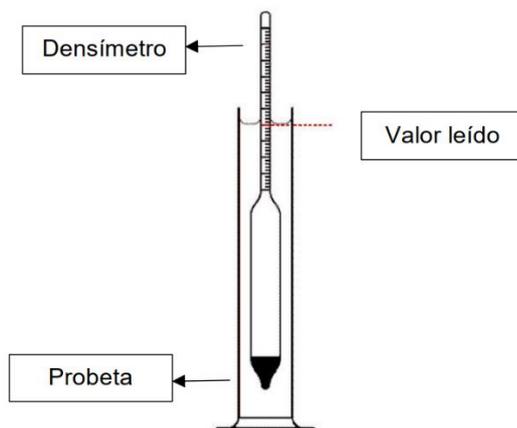
TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Técnica T-01 Determinación de la densidad

Una variación en la materia prima, indicada por un cambio en la densidad, podría tener un resultado perjudicial para el funcionamiento o la calidad del producto final. La medición de la densidad de materias primas y productos, puede usarse para confirmar la pureza del material. Si se ha adulterado una sustancia con una alternativa más económica, la densidad medida del material compuesto será diferente de la de la sustancia pura.

El método más ampliamente usado es el de la técnica de empuje que usa el principio de Arquímedes, el cual afirma que: un cuerpo sumergido en un fluido manifiesta una pérdida de peso aparente igual al peso del fluido que desplaza. Este antiguo principio, que data del año 200 a. C. aproximadamente, es el que, precisamente, se usa hoy en día para determinar la densidad de forma gravimétrica. Por tanto, una medición exacta de la densidad depende en gran medida de la exactitud de los valores de peso.

Para líquidos, el densímetro se introduce verticalmente y con cuidado en el líquido, y se deja en reposo hasta que flote libre y verticalmente. A continuación, se observa en la escala graduada en el vástago del densímetro su nivel de hundimiento en el líquido; esa es la lectura de la medida de la densidad relativa del líquido.



Técnica T-02 Determinación de composición y/o grado de pureza de un compuesto, mediante cromatografía gaseosa

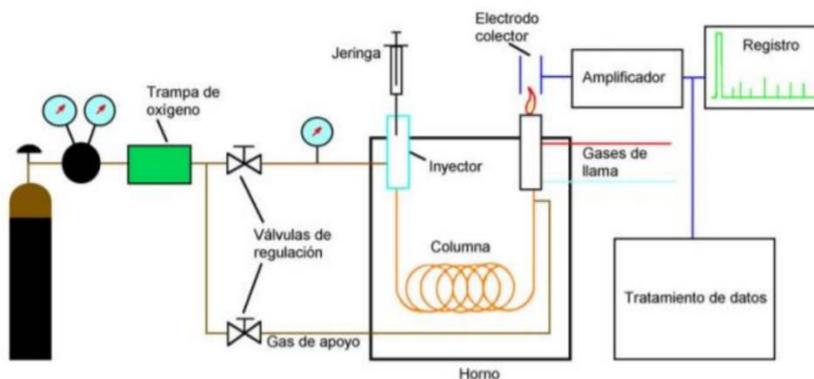
La cromatografía de gases es la técnica analítica que permite separar, identificar y determinar la concentración de cada uno de los componentes de una muestra. Durante el proceso de medida un pequeño volumen de muestra se inyecta en un flujo de gas portador que lo introduce y empuja a través de una columna.

La muestra se volatiliza en el inyector y luego se introduce en la columna capilar dentro del horno. La columna contiene recubrimientos en la pared que cumple la función de la fase estacionaria. La muestra volatilizada es arrastrada por un gas llamado “carrier” (fase gaseosa) que generalmente es He o N₂. La separación se logra debido a la interacción diferenciada de los componentes de la muestra con las fases presentes: la fase estacionaria y la fase gaseosa. Los compuestos que presentan mayor interacción con la fase estacionaria, recorrerán más lentamente la columna saliendo de ella a mayor tiempo de elución. Por el contrario, los componentes con menor afinidad por la columna, como también el gas carrier, saldrán primero

de la columna y tendrán, por lo tanto, los menores tiempos de retención (intervalo de tiempo en que el analito se encuentra en la columna).

Los componentes principales de un cromatógrafo son:

- Fuente de gas
- Sistema de inyección
- Horno y columna cromatográfica
- Sistema de detección
- Sistema de registro



Las muestras deben estar adecuadamente etiquetadas, envasadas y acondicionadas para asegurar su identificación, integridad y conservación.

Las muestras se proporcionarán debidamente precintadas, rotuladas y en muestras gaseosas, adecuadamente envasadas en bolsas TELKDAR.

La cantidad mínima para realizar el ensayo será de 100 μ L en muestras líquidas y de al menos 100 mL en muestras gaseosas.

Técnica T-03 Determinación de viscosidad dinámica de un fluido

- Materiales y Reactivos

Solución de muestra. Filtrar 100 g de la muestra a examinar pasándola a través de un filtro de vidrio sinterizado. Descartar los primeros 10 mL.

El equipo que se utiliza es un viscosímetro de nivel suspendido (Ubbelohde). Constante del viscosímetro: $0,005 \text{ mm}^2/\text{s}^2$, viscosidad cinemática entre $1\text{-}5 \text{ mm}^2/\text{s}$, diámetro interno del tubo (R) $0,53 \text{ mm}$, volumen del bulbo (C) $5,6 \text{ mL}$, diámetro interno del tubo (N) $2,8\text{-}3,2 \text{ mm}$.

➤ Procedimiento

Determinar el tiempo de flujo para la solución de muestra a $25,00 \pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$. Emplear un viscosímetro de nivel suspendido apropiado con el extremo capilar inferior en forma de embudo. Emplear el mismo viscosímetro en todas las mediciones, medir los tiempos de flujo de salida al menos por triplicado.

El tiempo de flujo es el tiempo requerido para que el nivel de líquido fluya de una marca a la otra, medido con un cronómetro con una precisión de $1/5$ de segundo. El resultado es válido solo si dos mediciones consecutivas no difieren en más de 1% . El promedio de todas las mediciones realizadas es el tiempo de flujo del líquido analizado.

➤ Resultados

Calcular la viscosidad dinámica en $\text{m}\cdot\text{Pa}\cdot\text{s}$ (cp) empleando la Ecuación 0.1.

$$\eta = k \cdot \rho \cdot t$$

Ecuación 0.1

Dónde:

k = constante del viscosímetro (mm^2/s^2).

ρ = densidad del líquido examinado obtenida como múltiplo de su densidad relativa por $0,998$ (mg/mm^3).

t = tiempo de flujo del líquido examinado (s)



ANEXO II

**REGISTROS DE CONTROL DE
MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS
TERMINADOS Y PROCESO**

ANEXO II – Registro de control de materias primas, productos terminados y proceso

REGISTROS DE CONTROL DE CALIDAD EN LAS MATERIAS PRIMAS

Plan de control de calidad de materias primas							
Materia prima	Variable	Rango normal	Técnica	Registro	Responsable	Frecuencia	Acción correctiva/ Acción preventiva
Amoníaco	Temperatura	17,24 ± 0,05 °C	Termómetro	MP/Lab-01	Analista de laboratorio	Por lote	Rechazar el lote
	Presión	8 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	MP/Lab-01			
	Densidad específica	0,613 a 20 °C	T-01	MP/Lab-01			
	Pureza	99,6 ± 1,00 %	T-02	MP/Lab-01			
Óxido de etileno	Temperatura	10,51 ± 0,05 °C	Termómetro	MP/Lab-01	Analista de laboratorio	Por lote	Rechazar el lote
	Presión	1,033 ± 0,05 kg/cm ²	Barómetro	MP/Lab-01			
	Densidad específica	0,887 a 20 °C	T-01	MP/Lab-01			
	Pureza	99,8 ± 1,00 %	T-02	MP/Lab-01			

REGISTROS DE CONTROL DE CALIDAD EN LOS PRODUCTOS TERMINADOS

Registro de monoetanolamina						
Nombre de registro: Monoetanolamina		Fecha de muestreo: 14/05/2021				
Código de registro: M/Lab-02						
Hora	Variable	Técnica	Valor	Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo	
0 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
4 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
8 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
12 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
16 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
20 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				

Registro de monoetanolamina						
Nombre de registro: Monoetanolamina		Fecha de muestreo: 14/05/2021				
Código de registro: M/Lab-03						
Hora	Variable	Técnica	Valor	Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo	
0 hs.	Densidad específica	T-01				
	Pureza	T-02				
	Viscosidad dinámica	T-03				
12 hs.	Densidad específica	T-01				
	Pureza	T-02				
	Viscosidad dinámica	T-03				

Registro de dietanolamina						
Nombre de registro: Dietanolamina		Fecha de muestreo: 14/05/2021				
Código de registro: D/Lab-04						
Hora	Variable	Técnica	Valor	Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo	
0 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
4 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
8 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
12 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
16 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
20 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				

Registro de dietanolamina						
Nombre de registro: Dietanolamina			Fecha de muestreo: 14/05/2021			
Código de registro: D/Lab-05						
Hora	Variable	Técnica	Valor	Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo	
0 hs.	Densidad específica	T-01				
	Pureza	T-02				
	Viscosidad dinámica	T-03				
12 hs.	Densidad específica	T-01				
	Pureza	T-02				
	Viscosidad dinámica	T-03				

Registro de trietanolamina						
Nombre de registro: Trietanolamina		Fecha de muestreo: 14/05/2021				
Código de registro: T/Lab-06						
Hora	Variable	Técnica	Valor	Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo	
0 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
4 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
8 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
12 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
16 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				
20 hs.	Apariencia	Inspección visual				
	Temperatura	Termómetro				
	Presión	Barómetro				

Registro de trietanolamina					
Nombre de registro: Trietanolamina		Fecha de muestreo: 14/05/2021			
Código de registro: T/Lab-07					
Hora	Variable	Técnica	Valor	Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo
0 hs.	Densidad específica	T-01			
	Pureza	T-02			
	Viscosidad dinámica	T-03			
12 hs.	Densidad específica	T-01			
	Pureza	T-02			
	Viscosidad dinámica	T-03			

REGISTROS DE CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO

Registro de proceso en Zona 100															
Nombre de registro: Proceso - Zona 100		Fecha de muestreo: 14/05/2021			Responsable a cargo y firma		Turno 1			Turno 2			Turno 3		
Código de registro: P/Reg-08		Acción correctiva/ Acción preventiva			Turno 1		Turno 2			Turno 3					
Hora	Temperatura - Presión					Acción correctiva/ Acción preventiva	Turno 1	Turno 2	Turno 3						
	T-101	R-105	R-106	A	B										
	A	C	D	E											
0 hs.															
1 hs.															
2 hs.															
3 hs.															
4 hs.															
5 hs.															
6 hs.															
7 hs.															
8 hs.															
9 hs.															
10 hs.															
11 hs.															
12 hs.															
13 hs.															
14 hs.															
15 hs.															
16 hs.															
17 hs.															
18 hs.															
19 hs.															
20 hs.															
21 hs.															
22 hs.															
23 hs.															

Registro de proceso en Zona 100																			
Nombre de registro: Proceso - Zona 100				Fecha de muestreo: 14/05/2021															
Código de registro: PC/Lab-09																			
Hora	Concentración			Acción correctiva/ Acción preventiva			Responsable a cargo y firma												
	R-105	R-106																	
	C	D	E	Turno 1			Turno 2			Turno 3									
	[NH ₃] [OE] [OE] [MEA] [OE]	[OE] [OE] [OE] [MEA] [OE]	[OE]																
0 hs.																			
4 hs.																			
8 hs.																			
12 hs.																			
16 hs.																			
20 hs.																			

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Registro de proceso en Zona 200												
Nombre de registro: Proceso - Zona 200						Fecha de muestreo: 14/05/2021						
Código de registro: P/Reg-10												
Hora	Temperatura - Presión - Caudal						Acción correctiva/ Acción preventiva			Responsable a cargo y firma		
	V-201	E-204	H	I	E-205	C-208	S-209	E-212	Turno 1	Turno 2	Turno 3	
	F	G	H	I	H'	J	M	L	K	K'		
0 hs.												
1 hs.												
2 hs.												
3 hs.												
4 hs.												
5 hs.												
6 hs.												
7 hs.												
8 hs.												
9 hs.												
10 hs.												
11 hs.												
12 hs.												
13 hs.												
14 hs.												
15 hs.												
16 hs.												
17 hs.												
18 hs.												
19 hs.												
20 hs.												
21 hs.												
22 hs.												
23 hs.												

Registro de proceso en Zona 200										
Nombre de registro: Proceso - Zona 200			Fecha de muestreo: 14/05/2021							
Código de registro: PC/Lab-11										
Hora	Concentración						Acción correctiva/ Acción preventiva		Responsable a cargo y firma	
	V-201	E-204		C-208		Turno 1				
	F	H	I	M	[NH ₃] [MEA] [H ₂ O]		[MEA] [H ₂ O]	[MEA] [H ₂ O]		
	[NH ₃] [MEA]	[NH ₃] [MEA]	[H ₂ O]	[H ₂ O]		[MEA]			[H ₂ O]	
0 hs.										
4 hs.										
8 hs.										
12 hs.										
16 hs.										
20 hs.										

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Registro de proceso en Zona 300												
Nombre de registro: Proceso - Zona 300		Fecha de muestreo: 14/05/2021										
Código de registro: P/Reg-12												
Hora	Temperatura - Presión - Caudal			Acción correctiva/ Acción preventiva			Responsable a cargo y firma					
	ME-301 N	E-302 Ñ	O	SV-305 R	C-308 B	E-309 B'	Turno 1	Turno 2	Turno 3			
0 hs.												
1 hs.												
2 hs.												
3 hs.												
4 hs.												
5 hs.												
6 hs.												
7 hs.												
8 hs.												
9 hs.												
10 hs.												
11 hs.												
12 hs.												
13 hs.												
14 hs.												
15 hs.												
16 hs.												
17 hs.												
18 hs.												
19 hs.												
20 hs.												
21 hs.												
22 hs.												
23 hs.												

Registro de proceso en Zona 300									
Nombre de registro: Proceso - Zona 300					Fecha de muestreo: 14/05/2021				
Código de registro: PC/Lab-13									
Hora	Concentración				Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo y firma			
	ME-301	E-302	C-308			Turno 1	Turno 2	Turno 3	
	N	O	B						
	[NH ₃]	[NH ₃]	[NH ₃]	[NH ₃]					
0 hs.									
4 hs.									
8 hs.									
12 hs.									
16 hs.									
20 hs.									

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Registro de proceso en Zona 400														
Nombre de registro: Proceso - Zona 400		Fecha de muestreo: 14/05/2021												
Código de registro: P/Req-14														
Hora	Temperatura - Presión - Caudal						Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo y firma						
	C-401	E-402	T-403	C-404	E-405	E-406		E-407	E-408	Turno 1	Turno 2	Turno 3		
	S	T	S'	U	V	U'	V'	U'	V'	U'	V'			
0 hs.														
1 hs.														
2 hs.														
3 hs.														
4 hs.														
5 hs.														
6 hs.														
7 hs.														
8 hs.														
9 hs.														
10 hs.														
11 hs.														
12 hs.														
13 hs.														
14 hs.														
15 hs.														
16 hs.														
17 hs.														
18 hs.														
19 hs.														
20 hs.														
21 hs.														
22 hs.														
23 hs.														

Registro de proceso en Zona 400									
Nombre de registro: Proceso - Zona 400					Fecha de muestreo: 14/05/2021				
Código de registro: PC/Lab-15									
Hora	Concentración				Acción correctiva/ Acción preventiva	Responsable a cargo y firma			
	C-401		C-404			Turno 1	Turno 2	Turno 3	
	S	T	U	V					
[MEA]	[MEA]	[DEA]	[TEA]	[MEA]	[DEA]	[TEA]			
0 hs.									
4 hs.									
8 hs.									
12 hs.									
16 hs.									
20 hs.									



ANEXO III
FICHAS TÉCNICAS DE DATOS DE
SEGURIDAD

ANEXO III – Fichas técnicas de datos de seguridad

Identificación del compuesto	
Nombre químico	Amoníaco.
Sinónimos	Trihidruro de nitrógeno.
Nº CAS	7664-41-7
Fórmula	NH ₃
Propiedades físico - químicas	
Aspecto y color	Gas licuado, comprimido, incoloro.
Olor	Acre.
Peso molecular [g/mol]	17,032
Presión de vapor a 26 °C [Pa]	0,1013
Densidad relativa de vapor (Aire=1)	0,59
Solubilidad en agua a 20 °C	Buena (34 g/100 ml)
Punto de ebullición	-33 °C
Punto de fusión	No aplicable
Estabilidad y reactividad	
La sustancia es una base fuerte. Se forman compuestos inestables frente al choque con óxidos de mercurio, plata y oro. Reacciona violentamente con ácidos. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, halógenos e interhalógenos. La sustancia es corrosiva. Ataca al cobre, aluminio, zinc y sus aleaciones. Al disolverse en agua desprende calor.	
Condiciones que deben evitarse	Llama abierta.
Materiales a evitar	Óxidos de mercurio, plata y oro. Ácidos, halógenos e interhalógenos. Cobre, aluminio, zinc y sus aleaciones.
Productos de descomposición	Hidrógeno.
Polimerización	No especificado.
Información toxicológica	
Contacto con la piel	En contacto con líquido, congelación.
Contacto con los ojos	Quemaduras profundas graves.
Inhalación	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, edema pulmonar.
Otros	Los síntomas del edema pulmonar no se ponen en manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Por ello, el reposo y la vigilancia médica son imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada.
Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	Extremadamente inflamable. Combustible en condiciones específicas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.
Explosión	Las mezclas de amoníaco y aire pueden ocasionar explosión si se encienden en condiciones inflamables.
Puntos de inflamación	No se encuentra en bibliografía el punto de inflamación, a pesar de ser una sustancia combustible.
Temperatura de auto ignición [°C]	651
Equipos de protección personal	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Protección respiratoria	Sí. Se recomienda protección respiratoria para vapores.
Protección de manos	Sí. Guantes para evitar contacto con el producto.
Protección de ojos	Sí. Protección ocular para salpicaduras químicas.
Protección del cuerpo	Sí. Ropa de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavajos de seguridad.
Manipuleo y almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Evitar llama abierta.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en lugar a prueba de incendio. Separado de oxidantes, ácidos y halógenos. Mantener en lugar frío; ventilación a ras del suelo y techo.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Protección personal completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
Precauciones ambientales	No verter al alcantarillado.
Métodos de limpieza	Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto; ventilación. Sí las botellas tienen fuga, no verter nunca agua sobre el líquido. Trasladar la botella a un lugar seguro a cielo abierto, cuando la fuga no pueda ser detenida. Si está en forma líquida dejar que se evapore.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuesto (primeros auxilios)	
En general	Evitar todo tipo de contacto. En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
Contacto con la piel	En caso de congelación: Aclarar con agua abundante. No quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
Contacto con los ojos	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar al médico.
Inhalación	Aire limpio, reposo, posición semi incorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
Ingestión	No aplicable.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	Polvos y dióxido de carbono.
Medidas de extinción inadecuadas	No utilizar agua.
Productos de descomposición	Hidrógeno.
Equipos de protección personal especiales	Equipo de protección personal convencionales y equipo autónomo de respiración.
Instrucciones para combatir el fuego	Mantener fríos los recipientes rociando con agua pulverizada. Evitar el contacto directo con el producto.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
Los restos de producto químico deben eliminarse por incineración o mediante cualquier otro medio de acuerdo a la legislación local. No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua. El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico.	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Identificación del compuesto	
Nombre químico	Dietanolamina.
Sinónimos	2,2'-Iminodietanol.
Nº CAS	111-42-2
Fórmula	C ₄ H ₁₁ NO ₂
Propiedades físico - químicas	
Aspecto y color	Líquido higroscópico incoloro viscoso.
Olor	Parecido al amoníaco.
Peso molecular [g/mol]	105,14
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	0
Densidad relativa de vapor (Aire=1)	3,65
Solubilidad en agua a 20 °C	Muy soluble.
Punto de ebullición	270 °C
Punto de fusión	28 °C
Estabilidad y reactividad	
El vapor es más denso que el aire. Se descompone al arder, esto produce humos tóxicos. La disolución en agua es moderadamente básica. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y ácidos fuertes. Ataca el cobre, zinc, aluminio y sus aleaciones.	
Condiciones que deben evitarse	Llama.
Materiales a evitar	Bases fuertes, aldehídos, cetonas, anhídridos orgánicos, haluros orgánicos.
Productos de descomposición	No se conocen productos de descomposición.
Polimerización	No aplica.
Información toxicológica	
Contacto con la piel	Contacto prolongado produce dermatitis.
Contacto con los ojos	Corrosivo, se recomienda vigilancia médica.
Inhalación	Se descompone en gases tóxicos.
Otros	En caso de ingestión, peligro de intoxicación, reacciona fuertemente con ácidos.
Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	Arde pero no se incendia con facilidad.
Explosión	Al incendiarse, se producen gases tóxicos.
Puntos de inflamación	134 °C
Temperatura de auto ignición [°C]	662 °C
Equipos de protección personal	
Protección respiratoria	Usar protección localizada o protección respiratoria
Protección de manos	Guantes de protección.
Protección de ojos	Utilizar gafas de protección de montura integral o protección ocular.
Protección del cuerpo	Traje de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavaojos de seguridad.
Manipuleo y almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Ventilación local y general.
Condiciones de almacenamiento	Separado de oxidantes fuertes y ácidos. Seco.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Respirador con filtro para gases orgánicos y partículas adaptado a la concentración de la sustancia en el aire.
Precauciones ambientales	Mantener el producto alejados de los desagües, de las aguas superficiales y subterráneas. Retener y eliminar el agua de lavado contaminada.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Métodos de limpieza	Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente precintable tapado. Si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Almacenar y eliminar residuo conforme a la normativa local.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuesto (primeros auxilios)	
En general	No dejar a la persona afectada desatendida. Retirar a la víctima de la zona de peligro, mantenerla tranquila. En caso de inconciencia procurar una postura de seguridad de decúbito lateral y no administrar nada vía oral.
Contacto con la piel	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con abundante agua o ducharse.
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar las lentes de contacto se puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Inhalación	Aire limpio, reposo.
Ingestión	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica. Reposo.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	Usar agua pulverizada, polvo, espuma, dióxido de carbono.
Medidas de extinción inadecuadas	Chorro de agua.
Productos de descomposición	Óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono.
Equipos de protección personal especiales	Según la magnitud del incendio, puede ser necesario el uso de trajes de protección contra el calor, equipo respiratorio autónomo, guantes, gafas protectoras, máscaras faciales y botas.
Instrucciones para combatir el fuego	No respirar los humos. Recoger el agua de extinción separadamente, no permitir que alcance el desagüe.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
No tirar los residuos al desagüe. Evitar la liberación al medioambiente. Manipular los envases contaminados en la misma forma que la sustancia.	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Identificación del compuesto	
Nombre químico	Monoetanolamina.
Sinónimos	2-Aminoetanol.
Nº CAS	141-43-5
Fórmula	C ₂ H ₇ NO
Propiedades físico - químicas	
Aspecto y color	Líquido viscoso incoloro.
Olor	Amoniaco.
Peso molecular [g/mol]	61,08
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	0
Densidad relativa de vapor (Aire=1)	2,1
Solubilidad en agua	Miscible.
Punto de ebullición	170 °C
Punto de fusión	10 °C
Estabilidad y reactividad	
Se descompone al calentarla intensamente y al arder. -esto produce gases tóxicos y corrosivos incluyendo óxidos de nitrógeno. Reacciona violentamente con ácidos fuertes y oxidantes fuertes. Esto genera peligro de incendio y explosión. La sustancia es moderadamente básica. Ataca el cobre, aluminio, sus aleaciones y caucho.	
Condiciones que deben evitarse	Evitar las llamas. Por encima de 85 °C, sistema cerrado y ventilación.
Materiales a evitar	Agentes oxidantes, ácidos fuertes, hierro, cobre, latón, caucho, aluminio, estaño y plástico.
Productos de descomposición	Solo en caso de incendio, monóxido y dióxido de carbono, humos y óxidos de nitrógeno.
Polimerización	No aplica.
Información toxicológica	
Contacto con la piel	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras cutáneas.
Contacto con los ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves.
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Dolor de cabeza. Somnolencia.
Otros	En caso de ingestión, sensación de quemazón. Dolor abdominal. Shock o colapso.
Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	No está clasificado como inflamable.
Explosión	Puede producir un espeso humo negro.
Puntos de inflamación	85 °C
Temperatura de auto ignición [°C]	410 °C
Equipos de protección personal	
Protección respiratoria	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.
Protección de manos	Guantes de protección.
Protección de ojos	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.
Protección del cuerpo	Traje de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavaojos de seguridad.
Manipuleo y almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Ventilación local y general.
Condiciones de almacenamiento	No mezclar con ácidos.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Precauciones personales	Respirador con filtro para amoníaco y sus derivados orgánicos adaptado a la concentración de la sustancia en el aire.
Precauciones ambientales	Nociva para organismos acuáticos. Puede causar efectos prolongados en el medio acuático. Evitar su liberación al medio ambiente en circunstancias distintas al uso normal.
Métodos de limpieza	Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables de plástico. Absorber el líquido residual en absorbente inerte. Eliminarlo a continuación con abundante agua.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuesto (primeros auxilios)	
En general	No dejar a la persona afectada desatendida. Retirar a la víctima de la zona de peligro, mantenerla tranquila. En caso de inconciencia procurar una postura de seguridad de decúbito lateral y no administrar nada vía oral.
Contacto con la piel	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con abundante agua ducharse.
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
Inhalación	Aire limpio, reposo.
Ingestión	Enjuagar la boca. No provocar el vómito.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	Agua pulverizada, polvo, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono.
Medidas de extinción inadecuadas	Chorro de agua.
Productos de descomposición	Monóxido de carbono, dióxido de carbono.
Equipos de protección personal especiales	Según la magnitud del incendio, puede ser necesario el uso de trajes de protección contra el calor, equipo respiratorio autónomo, guantes, gafas protectoras, máscaras faciales y botas.
Instrucciones para combatir el fuego	Tener en cuenta la dirección del viento. Evitar que los productos utilizados en la lucha contra incendio, pasen a desagües, alcantarillas o cursos de agua.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
No tirar los residuos al desagüe. Evitar la liberación al medioambiente. Manipular los envases contaminados en la misma forma que la sustancia.	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Identificación del compuesto	
Nombre químico	Nitrógeno.
Sinónimos	-
Nº CAS	7727-37-9
Fórmula	N ₂
Propiedades físico - químicas	
Aspecto y color	Líquido incoloro.
Olor	Inodoro.
Peso molecular [g/mol]	28,01
Densidad (en el punto de ebullición del líquido) [kg/m ³]	808
Solubilidad en agua a 20 °C	Escasa.
Punto de ebullición	-196 °C
Punto de fusión	-210 °C
Estabilidad y reactividad	
Sin reacciones peligrosas. Estable bajo condiciones normales.	
Productos de descomposición	No aplica.
Polimerización	No aplica.
Información toxicológica	
Contacto con la piel	En contacto con líquido, congelación.
Contacto con los ojos	Dolor. Quemaduras profundas graves.
Inhalación	Asfixia.
Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	No combustible.
Explosión	El calentamiento intenso puede producir un aumento de la presión con riesgo de estallido.
Equipos de protección personal	
Protección respiratoria	Ventilación. Mascarilla respiratoria.
Protección de manos	Guantes aislantes del frío.
Protección de ojos	Gafas de protección de montura integral.
Protección del cuerpo	Traje de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavavojos de seguridad.
Manipuleo y almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Evitar llama abierta.
Condiciones de almacenamiento	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Fresco. Mantener en lugar bien ventilado.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.
Precauciones ambientales	Ventilar.
Métodos de limpieza	No verter nunca chorro de agua sobre el líquido.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuesto (primeros auxilios)	
Contacto con la piel	En caso de congelación, aclarar con abundante agua. No quitar la ropa.
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitarlas lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
Inhalación	Aire limpio. Reposo. Puede ser necesaria respiración artificial.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	No puede inflamarse, utilizar recursos adecuados para el control del fuego circundante.

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONÍACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Productos de descomposición	No aplica.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
En caso de necesidad de descarga extrema, hacerlo al aire libre en un lugar bien ventilado. No descargar en algún lugar en donde su acumulación pudiese ser peligrosa.	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Identificación del compuesto	
Nombre químico	Óxido de etileno.
Sinónimos	Oxirano.
Nº CAS	75-21-8
Fórmula	C ₂ H ₄ O
Propiedades físico - químicas	
Aspecto y color	Gaseoso, incoloro.
Olor	Dulce.
Peso molecular [g/mol]	44,05
Presión de vapor a 20 °C [kPa]	146
Densidad relativa de vapor (Aire=1)	1,5
Solubilidad en agua a 20 °C	Miscible.
Punto de ebullición	10 °C
Punto de fusión	-112 °C
Estabilidad y reactividad	
Compuesto con poder reactivo muy elevado. La polimerización se acelera por acción directa de la luz, calor o productos químicos diversos, como el potasio, cloruro de hierro, óxidos de hierro, ácidos, bases.	
Condiciones que deben evitarse	Almacenamiento en cobre y afines.
Materiales a evitar	Ácidos, alcoholes y oxidantes fuertes, anhídridos de hierro, aluminio y estaño, óxidos de hierro y aluminio.
Productos de descomposición	Por descomposición térmica genera, ceteno, acetaldehído, óxido de carbono, metano, etano, propano e hidrógeno.
Polimerización	En estado líquido lo hace con facilidad.
Información toxicológica	
Contacto con la piel	Puede absorberse. Congelación. Enrojecimiento. Dolor.
Contacto con los ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.
Inhalación	Tos. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Dolor de garganta. Vómitos. Debilidad.
Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	Gas muy inflamable.
Explosión	Puede formar mezclas explosivas en aire.
Puntos de inflamación	Gas inflamable.
Temperatura de auto ignición [°C]	429 °C
Equipos de protección personal	
Protección respiratoria	Protección respiratoria. Usar sistema cerrado o ventilación.
Protección de manos	Guantes de protección. Guantes aislantes del frío.
Protección de ojos	Utilizar protección ocular.
Protección del cuerpo	Traje de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavaojos de seguridad.
Manipuleo y almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Capacitación en las técnicas correctas.
Condiciones de almacenamiento	A prueba de incendio. Fresco.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Traje hermético de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.
Precauciones ambientales	No verterlo en el alcantarillado.
Métodos de limpieza	Evacuar la zona de peligro, consultar a un experto.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuesto (primeros auxilios)	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Contacto con la piel	Quitar las ropas contaminadas. En caso de congelación, aclarar con abundante agua, no quitar la ropa.
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar las lentes de contacto se puede hacerse con facilidad).
Inhalación	Aire limpio, reposo.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	Agua pulverizada. Polvo químico seco, dióxido de carbono, agua rociada, espuma resistente al alcohol.
Medidas de extinción inadecuadas	Chorros de agua.
Productos de descomposición	Por descomposición térmica genera, ceteno, acetaldehído, óxido de carbono, metano, etano, propano e hidrógeno.
Equipos de protección personal especiales	Traje de protección completo.
Instrucciones para combatir el fuego	Si es imposible extinguir el incendio, dejar que se consuma.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

Identificación del compuesto	
Nombre químico	Trietanolamina.
Sinónimos	Trihidroxi-trietilamina.
Nº CAS	102-71-6
Fórmula	C ₆ H ₁₅ NO ₃
Propiedades físico - químicas	
Aspecto y color	Líquido viscoso incoloro higroscópico.
Olor	Amoniaco ligero.
Peso molecular [g/mol]	149,19 °C
Presión de vapor a 20 °C [kg/cm ²]	0
Densidad relativa de vapor (Aire=1)	5,1
Solubilidad en agua a 20 °C	Miscible.
Punto de ebullición	335 °C
Punto de fusión	21 °C
Estabilidad y reactividad	
El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión.	
Condiciones que deben evitarse	Llama.
Materiales a evitar	Cobre y metales ligeros.
Productos de descomposición	Solo en caso de incendio, monóxido y dióxido de carbono, humos y óxidos de nitrógeno.
Polimerización	No aplica.
Información toxicológica	
Contacto con la piel	Enrojecimiento.
Contacto con los ojos	Enrojecimiento.
Inhalación	Tos. Dolor de garganta
Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	Combustible.
Explosión	Vapores pesan más que el aire, se extienden sobre el suelo y produce con aire mezclas explosivas.
Puntos de inflamación	179 °C
Temperatura de auto ignición [°C]	324 °C
Equipos de protección personal	
Protección respiratoria	Extracción localizada. Ventilación.
Protección de manos	Guantes de protección.
Protección de ojos	Gafas de protección de montura integral.
Protección del cuerpo	Traje de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavaojos de seguridad.
Manipuleo y almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Ventilación local y general.
Condiciones de almacenamiento	Separado de oxidantes. Bien cerrado Seco.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Respirador con filtro para amoníaco y sus derivados orgánicos adaptado a la concentración de la sustancia en el aire.
Precauciones ambientales	Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas. Retener y eliminar el agua de lavado contaminada.
Métodos de limpieza	Recoger en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes tapados. Eliminarlo a continuación con abundante agua.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuesto (primeros auxilios)	

PRODUCCIÓN DE MONOETANOLAMINA A PARTIR DE AMONIACO Y ÓXIDO DE ETILENO

Proyecto final de grado de Ingeniería Química - Año 2021

En general	No dejar a la persona afectada desatendida. Retirar a la víctima de la zona de peligro, mantenerla tranquila. En caso de inconciencia procurar una postura de seguridad de decúbito lateral y no administrar nada vía oral.
Contacto con la piel	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
Inhalación	Aire limpio. Reposo.
Ingestión	Dar a beber uno o dos vasos de agua.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	Usar agua en grandes cantidades, espuma resistente al alcohol, polvo seco, dióxido de carbono.
Medidas de extinción inadecuadas	Chorro de agua.
Productos de descomposición	Óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono.
Equipos de protección personal especiales	Según la magnitud del incendio, puede ser necesario el uso de trajes de protección contra el calor, equipo respiratorio autónomo, guantes, gafas protectoras, máscaras faciales y botas.
Instrucciones para combatir el fuego	Tener en cuenta la dirección del viento. Evitar que los productos utilizados en la lucha contra incendio, pasen a desagües, alcantarillas o cursos de agua.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
No tirar los residuos por el desagüe. Evitar la liberación al ambiente. Envases completamente vacíos pueden ser reciclados. Manipular los envases contaminados en la misma forma que la sustancia.	



ANEXO IV PLANIMETRÍA

ANEXO IV – Planimetría