

2019

PROYECTO FINAL PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO

Burgos Squizziato, Sofía Carla – Garau, Juliana – Pérez Palleres, Luciano Matías

FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



“Producción de Acrilonitrilo”

Autores: Burgos Squizziato, Sofía Carla – Garau, Juliana – Pérez Palleres, Luciano Matías

Carrera: Ingeniería Química con Orientación en Petroquímica

Tutor: Ing. Maggioni, Ricardo – Ing. Llorente, Carlos

Aprobado por:

.....

Presidente: Nombre y firma

.....

Fecha

.....

Director: Nombre y firma

.....

Fecha

.....

Co- Director: Nombre y firma

.....

Fecha

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA
San Rafael- Mendoza-Argentina

2019



AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestros padres, que son un eslabón fundamental a la hora de conseguir nuestros objetivos, dado que sin su sacrificio y aporte esto no hubiese sido posible. A nuestros hermanos y familia en general, quienes siempre han estado a disposición nuestra para hacernos soporte en todo lo que hemos requerido. A nuestras mascotas por alegrarnos y acompañarnos en todo momento. A nuestras parejas, por ser un apoyo y ayudarnos a mantener la postura incondicionalmente en cada momento y ser un gran impulso para lograr los objetivos planteados. A todos aquellos amigos de siempre y los que nos dio la Facultad, que han sabido estar en los momentos más importantes de nuestras vidas y que de alguna u otra manera han colaborado con el desarrollo de este proyecto. Queríamos mencionar de manera especial a Facundo Molina, Eduardo Amaya y Mauricio Sánchez que siempre brindaron su apoyo, no solo en lo técnico sino también en lo personal y en lo deportivo.

A aquellos profesores de la FCAI que han puesto parte de su tiempo a nuestra disposición, orientándonos, corrigiéndonos y aportándonos todos sus conocimientos para que podemos avanzar en nuestro proyecto de manera óptima, en especial a nuestros tutores Ing. Ricardo Maggioni e Ing. Carlos Llorente.

Para finalizar queremos dar un agradecimiento al personal de la biblioteca de la FCAI, quienes siempre prestaron su colaboración y amabilidad cuando fue requerida en la gran cantidad de momentos que pasamos en el establecimiento desarrollando nuestro trabajo. En especial a Myriam Eleicegui, que generó un vínculo importante con la Asociación Petroquímica y Química Latinoamericana (APLA), institución a la cual debemos agradecer por la buena disposición a la hora de facilitarnos los datos necesarios para el desarrollo del estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN EJECUTIVO	XIX
1. GENERALIDADES	1
1.1. DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA	1
1.2. PROPIEDADES FÍSICAS.....	2
1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS.....	3
1.4. ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y SUBPRODUCTOS DEL PROCESO	5
1.4.1. <i>Propileno (C₃H₆)</i>	5
1.4.2. <i>Amoníaco (NH₃)</i>	6
1.4.3. <i>Ácido cianhídrico (cianuro de hidrogeno)</i>	7
1.4.4. <i>Acetonitrilo</i>	8
1.4.5. <i>Sulfato de amonio</i>	9
1.5. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE ACRILONITRILLO	10
1.5.1. <i>Proceso Sohio</i>	10
1.5.2. <i>Procesos obsoletos</i>	10
2. ESTUDIO DE MERCADO	11
2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MERCADO	11
2.3. INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN ARGENTINA	11
2.4. ACRILONITRILLO EN ARGENTINA	12
2.5. MERCADO CONSUMIDOR.....	13
2.5.1. <i>Variaciones de la demanda</i>	15
2.5.2. <i>Posible demanda</i>	15
2.6. MERCADO PRODUCTOR DE AN.....	18
2.6.1. <i>Compañías líderes del mercado mundial</i>	18
2.6.2. <i>Producción de acrilonitrilo en Latinoamérica</i>	19
2.7. COMPARACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN, CAPACIDAD INSTALADA Y NIVEL DE OPERACIÓN.....	21
2.8. PRECIOS Y COSTOS.....	21
2.8.1. <i>Costos de importación de AN en Argentina</i>	22
2.9. MERCADO PROVEEDOR DE MATERIAS PRIMAS	22



2.9.1.	Propileno.....	22
2.9.2.	Amoníaco.....	26
3.	LOCALIZACIÓN	29
3.1.	HERRAMIENTAS DE SELECCIÓN	29
3.2.	MACROLOCALIZACIÓN.....	30
3.2.1.	Factores a ponderar	32
3.2.2.	Matriz de Ponderación	33
3.2.3.	Conclusión.....	35
3.3.	MICROLOCALIZACIÓN.....	35
3.3.1.	Factores que influyen en la microlocalización	35
3.3.2.	Matriz de ponderación	38
3.3.3.	Descripción del sitio seleccionado	39
3.3.4.	Conclusión.....	41
4.	TAMAÑO	42
4.1.	INTRODUCCIÓN	42
4.2.	FACTORES QUE DETERMINAN EL TAMAÑO DEL PROYECTO	42
4.2.1.	Financiamiento	42
4.2.2.	Punto de equilibrio.....	43
4.2.3.	Capacidad de inversión.....	43
4.2.4.	Mercado	43
4.2.5.	Mercado proveedor de MP.....	45
4.2.6.	Recursos humanos.....	46
4.2.7.	Tecnología	47
4.2.8.	Medio Ambiente	47
4.3.	RESULTADO DEL ANÁLISIS.....	48
4.4.	PROGRAMA DE PRODUCCIÓN	48
5.	INGENIERÍA DE PROCESO	50
5.1.	INTRODUCCIÓN	50
5.2.	PROCESO PRODUCTIVO.....	50
5.2.1.	Separación y purificación de AN.....	52
5.2.2.	Tratamiento de agua.....	52
5.2.3.	Catalizador.....	52
5.2.4.	Diagrama de bloques de proceso	53
5.3.	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	54
5.3.1.	Cálculos de materias primas e insumos.....	54
5.3.2.	Reacción catalítica.....	54

5.3.3.	<i>Enfriamiento ácido</i>	56
5.3.4.	<i>Separación de livianos</i>	59
5.3.5.	<i>Separación de agua primaria</i>	60
5.3.6.	<i>Separación de ácido cianhídrico y acroleína</i>	61
5.3.7.	<i>Destilación extractiva con agua</i>	62
5.3.8.	<i>Destilación al vacío</i>	64
5.3.9.	<i>Almacenamiento</i>	65
5.3.10.	<i>Despacho</i>	67
5.4.	DIAGRAMA COMPLETO DEL PROCESO	67
6.	SELECCIÓN Y DISEÑO DE EQUIPOS	69
6.1.	INTRODUCCIÓN	69
6.2.	ALMACÉN DE MATERIAS PRIMAS	69
6.2.1.	<i>Tanque de almacenamiento de amoniaco</i>	69
6.2.2.	<i>Tanque de almacenamiento de propileno</i>	71
6.2.3.	<i>Tanque de almacenamiento de aire comprimido</i>	72
6.2.4.	<i>Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico</i>	73
6.3.	MEZCLADOR DE REACTIVOS	74
6.3.1.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	75
6.4.	REACTOR	75
6.4.1.	<i>Catalizador</i>	78
6.4.2.	<i>Serpentín de Recuperación de Calor</i>	82
6.4.3.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	83
6.5.	ENFRIADOR	84
6.5.1.	<i>Intercambiador de calor casco y tubo</i>	84
6.6.	ENFRIADOR ÁCIDO	93
6.6.1.	<i>Torre de absorción</i>	94
6.6.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	98
6.7.	ENFRIADOR	98
6.7.1.	<i>Intercambiador de calor doble tubo</i>	98
6.7.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	103
6.8.	SEPARADOR DE GASES POR ABSORCIÓN CON AGUA	103
6.8.1.	<i>Torre de absorción</i>	104
6.8.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	107
6.9.	SEPARADOR DE AGUA PRIMARIA	107
6.9.1.	<i>Stripper</i>	108
6.9.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	109
6.10.	RECUPERADOR DE HCN	110
6.10.1.	<i>Splitter</i>	110

6.10.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	111
6.11.	ABSORBEDOR DE ACN.....	112
6.11.1.	<i>Torre de absorción</i>	112
6.11.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	112
6.12.	RECUPERADOR DE ACN	113
6.12.1.	<i>Torre de destilación</i>	113
6.12.2.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	114
6.13.	DESHIDRATADOR DE AN	114
6.13.1.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	115
6.14.	PURIFICADOR DE AN AL VACÍO.....	115
6.14.1.	<i>Equipamiento seleccionado</i>	115
6.15.	ALMACÉN DE PRODUCTO Y SUBPRODUCTOS	116
6.15.1.	<i>Tanque de almacenamiento de AN</i>	116
6.15.2.	<i>Tanque de almacenamiento de HCN</i>	117
6.15.3.	<i>Tanque de almacenamiento de ACN</i>	118
6.15.4.	<i>Tanque de almacenamiento de sulfato de amonio</i>	119
6.16.	EQUIPOS AUXILIARES	119
6.16.1.	<i>Caldera</i>	119
6.16.2.	<i>Tuberías</i>	120
6.16.3.	<i>Válvulas y Accesorios</i>	120
6.16.4.	<i>Equipos de propulsión de fluidos</i>	121
6.17.	CONCLUSIÓN	121
7.	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	122
7.1.	INTRODUCCIÓN	122
7.2.	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	122
7.2.1.	<i>Principios generales de una organización</i>	122
7.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN	123
7.3.1.	<i>Constitución legal</i>	123
7.3.2.	<i>Razón social y funciones de la empresa</i>	124
7.4.	ORGANIGRAMA.....	124
7.5.	FICHA DE FUNCIONES	125
7.5.1.	<i>Gerencia</i>	125
7.5.2.	<i>Gerencia de operaciones</i>	127
7.5.3.	<i>Gerencia de economía y finanzas</i>	132
7.5.4.	<i>Escala Salarial</i>	134
7.6.	TURNOS DE TRABAJO	135
7.7.	DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE MICRO, PEQUEÑA O MEDIANA EMPRESA.....	136



8. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTA	137
8.1. INTRODUCCIÓN	137
8.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA TOTAL	137
8.2.1. Sector de almacenamiento de MMPP	137
8.2.2. Sector de producción	137
8.2.3. Sector de almacenamiento de PFFF	138
8.2.4. Sector tratamiento de agua y medioambiente	138
8.2.5. Sector para análisis de la calidad	138
8.2.6. Estacionamiento	138
8.2.7. Cocina-comedor	139
8.2.8. Sanitarios y vestidores	139
8.2.9. Oficinas administrativas	139
8.3. DISTRIBUCIÓN GENERAL	139
9. ASPECTOS JURÍDICOS	141
9.1. INTRODUCCIÓN	141
9.2. MARCO LEGAL	141
9.2.1. Legislación Nacional	141
9.2.2. Legislación Provincial	143
9.3. MARCO IMPOSITIVO	146
10. ASPECTOS NORMATIVOS Y DE CALIDAD	147
10.1. INTRODUCCIÓN	147
10.2. NORMAS A CERTIFICAR	147
10.2.1. Normas ISO	147
10.2.2. ISO 9000: Sistemas de Gestión de Calidad	148
10.2.3. ISO 14000: Sistemas de Gestión Medioambiental	149
10.2.4. ISO 18000: Seguridad y calidad de vida en el trabajo	149
10.2.5. ISO 26000: Responsabilidad social empresaria (RS)	149
10.2.6. Normas IRAM	151
10.3. CONTROL DE CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO FINAL	153
10.3.1. Ensayos sobre el producto final	153
11. ASPECTOS AMBIENTALES	158
11.1. INTRODUCCIÓN	158
11.2. RESPONSABILIDAD SOCIAL AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA	158
11.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA AL PROYECTO	159
11.4. MARCO LEGAL	160
11.5. ESTRUCTURA DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	160



11.5.1.	<i>Descripción de los factores ambientales y determinación de la línea de base ambiental</i>	160
11.5.2.	<i>Identificación y valoración de los impactos ambientales</i>	170
11.5.3.	<i>Plan de gestión ambiental</i>	177
11.6.	CONCLUSIÓN	178
12.	HIGIENE Y SEGURIDAD	179
12.1.	GENERALIDADES	179
12.2.	MANEJO DEL ACRILONITRILLO	179
12.2.1.	<i>Identificación de riesgos</i>	179
12.2.2.	<i>Riesgos de fuego o explosión</i>	180
12.2.3.	<i>Datos de reactividad</i>	180
12.2.4.	<i>Peligros para la salud y primeros auxilios</i>	181
12.2.5.	<i>En caso de fuga o derrame</i>	182
12.2.6.	<i>Manejo y almacenamiento</i>	182
12.2.7.	<i>Control de exposición y protección personal</i>	183
12.2.8.	<i>Información ambiental</i>	183
12.3.	MANEJO DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS SECUNDARIOS	183
12.3.1.	<i>Propileno</i>	184
12.3.2.	<i>Amoniaco</i>	184
12.3.3.	<i>Acetonitrilo</i>	184
12.3.4.	<i>Acroleína</i>	184
12.3.5.	<i>Ácido sulfúrico</i>	184
12.3.6.	<i>Ácido cianhídrico</i>	185
12.3.7.	<i>Sulfato de amonio</i>	185
12.4.	LEY DE HIGIENE Y SEGURIDAD	185
12.4.1.	<i>Condiciones generales de construcción y sanitarias</i>	185
12.4.2.	<i>Ruidos</i>	186
12.4.3.	<i>Ventilación</i>	186
12.4.4.	<i>Iluminación</i>	186
12.4.5.	<i>Elementos de protección personal (EPP)</i>	187
12.4.6.	<i>Elementos de protección industrial</i>	187
12.4.7.	<i>Información de seguridad para la manipulación de equipos</i>	188
12.4.8.	<i>Equipos extintores y señalización</i>	189
12.4.9.	<i>Sistema de alarmas</i>	190
12.5.	CONCLUSIÓN	190
13.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	191
13.1.	INTRODUCCIÓN	191



13.2.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	191
13.3.	ESTRUCTURA DE COSTOS	192
13.3.1.	<i>Inversión inicial</i>	192
13.3.2.	<i>Cronograma de inversiones</i>	197
13.3.3.	<i>Inversión en capital de trabajo (ICT)</i>	198
13.4.	PUNTO DE EQUILIBRIO	209
13.4.1.	<i>Costo variable unitario</i>	210
13.5.	BENEFICIOS DEL PROYECTO	211
13.5.1.	<i>Precio de venta</i>	211
13.5.2.	<i>Ingresos totales</i>	211
13.5.3.	<i>Contribución marginal</i>	212
13.5.4.	<i>Utilidad anual</i>	212
13.5.5.	<i>Flujo de caja</i>	213
13.6.	CONCLUSIÓN	216
14.	ANÁLISIS DE RIESGOS	217
14.1.	INTRODUCCIÓN	217
14.2.	RIEGOS IDENTIFICADOS	217
14.2.1.	<i>Aspectos tecnológicos</i>	217
14.2.2.	<i>Aspectos económicos</i>	219
14.2.3.	<i>Siniestros e imprevistos</i>	220
14.3.	RESUMEN.....	221
14.4.	CONCLUSIÓN	222
15.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	223
15.1.	INTRODUCCIÓN	223
15.2.	PARÁMETRO A SENSIBILIZAR	223
15.3.	SENSIBILIZACIÓN FRENTE AL PRECIO DE VENTA DEL AN.....	223
16.	BIBLIOGRAFÍA.....	225

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estructura molecular del acrilonitrilo - Fuente: Lenntech	1
Figura 1-2: Estructura de Lewis del acrilonitrilo - Fuente: Lenntech	1
Figura 1-3: Estructura molecular del monómero poliacrilonitrilo - Fuente: Alfinal.....	4
Figura 1-4: Estructura molecular del poliacrilonitrilo-co-metil acrilato - Fuente: Alfinal	5
Figura 1-5: Estructura molecular del poliacrilonitrilo-co-metil metacrilato - Fuente: Alfinal.....	5
Figura 1-6: Estructura molecular del propileno. Fuente: Lifeder	6
Figura 1-7: Estructura molecular del acetonitrilo. Fuente: Lifeder	8
Figura 2-1: Variación del consumo aparente y la importación de acrilonitrilo en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2018.	13
Figura 2-2: Mercado global del AN en 2018 – Fuente: Mordor Intelligence	14
Figura 2-3: Consumo mundial de AN en 2018 – Fuente: IHS Markit ^[6]	15
Figura 2-4: Producción, importación, exportación y consumo aparente de Caucho NBR en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario del IPA 2018	16
Figura 2-5: Importación y consumo aparente de ABS en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario del IPA 2018	17
Figura 2-6: Producción vs Demanda de AN según cada país en 2008 - Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería de España	18
Figura 2-7: Variación de la producción, consumo aparente y exportación de AN en Brasil - Fuente: APLA 2014	20
Figura 2-8: Producción, consumo, capacidad instalada y de operación mundial de AN- Fuente: Nexant	21
Figura 2-9: Costos de importación de AN en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario del IPA 2018 ^[3]	22
Figura 2-10: Mapa de Polos Petroquímicos en América Latina – Fuente: Petroquímica: insumo para otras industrias – Alfredo Friedlander.	25
Figura 3-1: Mapa General Polo Bahía Blanca – Fuente: Puerto Bahía Blanca ^[26]	37
Figura 4-1: Proyección de la demanda de ABS en Argentina- Fuente: Elaboración propia	44
Figura 4-2: Proyección de la demanda de Caucho NBR en Argentina - Fuente: Elaboración propia	44
Figura 4-3: Proyección demanda de AN en Argentina - Fuente: Elaboración propia	45



Figura 4-4: Programa de producción año 2020 – Fuente: Elaboración propia	49
Figura 5-1: Reactor de lecho fluido para la síntesis de acrilonitrilo – Fuente: Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Diponegoro University.....	51
Figura 5-2: Diagrama de bloques - Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 5-3: Balance de masa del reactor R-01- Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 5-4: Balance de masa intercambiador 1 - Fuente: Elaboración propia	58
Figura 5-5: Balance de masa del Quench ácido Q-01 - Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 5-6: Balance de masa del intercambiador IDT-01 - Fuente: Elaboración propia	59
Figura 5-7: Balance de masa de la torre absorbadora TA-01 - Fuente: Elaboración propia	60
Figura 5-8: Balance de masa del stripper ST-01 - Fuente: Elaboración propia	61
Figura 5-9: Balance de masa del splitter SP-01 - Fuente: Elaboración propia	62
Figura 5-10: Balance de masa de la torre absorbadora TA-02- Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 5-11: Balance de masa torre recuperadora de ACN TD-01 - Fuente: Elaboración propia	63
Figura 5-12: Balance de masa de la torre deshidratadora TD-02 - Fuente: Elaboración propia.....	64
Figura 5-13: Balance de masa de la torre destiladora al vacío TD-03- Fuente: Elaboración propia .	65
Figura 5-14: Balance de masa del condensador C-01- Fuente: Elaboración propia	65
Figura 5-15: Balance de masa del condensador C-02 - Fuente: Elaboración propia	66
Figura 5-16: Balance de masa del condensador C-03 - Fuente: Elaboración propia	67
Figura 5-17: Diagrama del proceso productivo – Fuente: Elaboración propia	68
Figura 6-1: Tanque almacenamiento de NH_3 - Fuente: Alibaba.....	71
Figura 6-2: Tanque almacenamiento de H_2SO_4 – Fuente: Duraplas.....	74
Figura 6-3: Separador ciclónico - Fuente: Alibaba	82
Figura 6-4: Reactor - Fuente: Alibaba.....	83
Figura 6-5: Distribución de los tubos - Fuente: R.K Sinnott, 2005	89
Figura 6-6: Intercambiador de calor – Fuente: Tienda oficial Westric.....	93
Figura 6-7: Torre de absorción - Fuente: Industria Química Net	94
Figura 6-8: HY-PAK random packing – Fuente: Koch-Glitsch	95
Figura 6-9: Soporte de relleno gas-injection – Fuente: Koch-Glitsch.....	96
Figura 6-10: Distribuidor tipo PAN - Fuente: Process Equipment.....	96

Figura 6-11: Redistribuidor tipo Hold down Grids – Fuente: Process Equipment	97
Figura 6-12: Corta-gotas – Fuente: Koch-Otto York.....	97
Figura 6-13: Intercambiador doble tubo - Fuente: Alibaba	103
Figura 6-14: Platos perforados - Fuente: Maguarvi	105
Figura 6-15: Platos perforados - Fuente: Empresa SULZER.....	105
Figura 6-16: Straight downcomer - Fuente: Sulzer	106
Figura 6-17: Rebosadero recto - Fuente: Buffalo brewing blog.....	106
Figura 6-18: Anillo soporte - Fuente: Creavea	107
Figura 6-19: Torre absorbedora - Fuente: Alibaba.....	107
Figura 6-20: Platos de burbujeo - Fuente: Alibaba.....	109
Figura 6-21: Diagrama columna de destilación - Fuente: Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario	110
Figura 6-22: Agitador de hélice - Fuente: Fluidmix	117
Figura 7-1: Organigrama de la empresa – Fuente: Elaboración propia	125
Figura 8-1: Layout de la planta - Fuente: Elaboración propia	140
Figura 8-2: Layout sector de producción, almacenamiento de MMPP y almacenamiento de PPF - Fuente: Elaboración propia	140
Figura 10-1: Ciclo PHVA - Fuente: Elaboración propia en base a normas ISO	148
Figura 10-2: Siete materias que integran la ISO 26000 - Fuente: Instituto superior de Educación, Administración y Desarrollo (EURO –EAD).....	151
Figura 11-1: Temperatura máxima y mínima promedio - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica del Aeropuerto Comandante Espora	162
Figura 11-2: Temperatura máxima y mínima promedio - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica, Aeropuerto Comandante Espora.....	162
Figura 11-3: Velocidad promedio del viento - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológico, Aeropuerto Comandante Espora.....	164
Figura 11-4: Dirección del viento en Bahía Blanca - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica, Aeropuerto Comandante Espora.....	164
Figura 11-5: Factores ambientales analizados. Fuente: Elaboración propia.	172
Figura 11-6: Modelo de importancia de impacto - Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto ambiental	176



Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria
Producción de Acrilonitrilo



Figura 12-1: Diamante del AN – Fuente: Norma NFPA 704	179
Figura 12-2: Clase de extintores - Fuente: Grippaldi.....	189
Figura 13-1: Distribución de costos fijos - Fuente: Elaboración propia	205
Figura 13-2: Distribución de costos variables - Fuente: Elaboración propia.....	208
Figura 13-3: Distribución entre costos fijos y variables - Fuente: Elaboración propia.....	208
Figura 13-4: Distribución de los costos totales - Fuente: Elaboración propia	209
Figura 13-5: Punto de equilibrio - Fuente: Elaboración propia.....	211
Figura 15-1: Variación del VAN con el precio de venta del AN - Fuente: Elaboración propia	224
Figura 15-2: Variación de la TIR con el precio de venta del AN - Fuente: Elaboración propia.....	224



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Propiedades físicas del acrilonitrilo – Fuente Lenntech.....	2
Tabla 1-2: Azeótropos del acrilonitrilo - Fuente: Lenntech.....	3
Tabla 1-3: Propiedades termodinámicas del acrilonitrilo. Fuente: Lenntech	3
Tabla 1-4: Propiedades químicas del propileno. Fuente: Alfinal	6
Tabla 1-5: Propiedades químicas del amoníaco. Fuente: Alfinal	6
Tabla 1-6: Propiedades químicas del cianuro de hidrógeno. Fuente: Ecured	7
Tabla 1-7: Propiedades químicas del acetonitrilo. Fuente: Wikipedia.....	8
Tabla 1-8: Propiedades físicas y químicas del sulfato de amonio - Fuente: Wikipedia	9
Tabla 2-1: Estructura del mercado del ABS - Fuente: Anuario del IPA 2018.....	17
Tabla 2-2: Propileno, producción y destino (t) – Fuente: IPA 2018 ^[3]	23
Tabla 2-3: Potencial de etileno y propileno en las materias primas que se exportan. Año 2017 - Fuente: Anuario IPA 2018 ^[3]	24
Tabla 2-4: Propileno en América Latina – Fuente: APLA 2019 ^[13]	25
Tabla 2-5: Amoníaco: producción, importación y exportación en Argentina (t) – Fuente: IPA 2018 ^[3]	27
Tabla 2-6: Productores de amoníaco en América Latina – Fuente: APLA 2019 ^[13]	27
Tabla 2-7: Capacidad Instalada para producción de amoníaco en Trinidad y Tobago. Fuente: Ministerio de Energía e Industrias Energéticas de TT.	28
Tabla 3-1: Método de factores ponderados – Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 3-2: Referencias Mapa General Polo Bahía Blanca - Fuente: Puerto Bahía Blanca. Consorcio de gestión del puerto de Bahía Blanca.....	37
Tabla 3-3: Método de factores ponderados – Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 4-1: Cantidades de MMPP - Fuente: Elaboración propia	46
Tabla 4-2: Programa de producción año 2020 - Fuente: Elaboración propia	49
Tabla 5-1: Tabla de coeficientes para cada compuesto - Fuente: Modelado en ingeniería	57
Tabla 6-1: Ficha técnica tanque de almacenamiento de NH ₃ - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	70
Tabla 6-2: Ficha técnica tanque de almacenamiento de C ₃ H ₆ - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	72



Tabla 6-3: Ficha técnica tanque de almacenamiento de aire comprimido - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	73
Tabla 6-4: Ficha técnica tanque de almacenamiento de H_2SO_4 - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	74
Tabla 6-5: Ficha técnica tanque mezclador - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	75
Tabla 6-6: Valores cinéticos a la temperatura de reacción - Fuente: Recercat	76
Tabla 6-7: Propiedades físicas del catalizador – China Petrochemical Corporation (Sinopec Group)	78
Tabla 6-8: Ficha técnica Ciclón - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	82
Tabla 6-9: Ficha técnica Reactor Borui 1000L - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	83
Tabla 6-10: Propiedades físicas de las corrientes que circulan por Carcasa y Tubos – Fuente: Elaboración propia en base a datos de los fluidos.....	84
Tabla 6-11: Ficha técnica Intercambiador Casco y tubo - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	93
Tabla 6-12: Ficha técnica del quench - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	98
Tabla 6-13: Propiedades de los fluidos que circulan por ánulo y por tubos - Fuente: Elaboración propia	98
Tabla 6-14: Ficha técnica del intercambiador doble tubo - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	103
Tabla 6-15: Ficha técnica de la torre absorbadora – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:.....	107
Tabla 6-16: Ficha técnica del stripper - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	109
Tabla 6-17: Ficha técnica del splitter- Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor.....	111
Tabla 6-18: Ficha técnica de la torre absorbadora de ACN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor	112
Tabla 6-19: Ficha técnica de la recuperadora de ACN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:.....	114
Tabla 6-20: Ficha técnica de la Torre Deshidratadora – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:.....	115



Tabla 6-21: Ficha técnica de la torre de destilación al vacío – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:	115
Tabla 6-22: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del AN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:	116
Tabla 6-23: Ficha técnica del agitador del tanque de almacenamiento de AN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:	117
Tabla 6-24: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del HCN – Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	118
Tabla 6-25: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del ACN – Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor	118
Tabla 6-26: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del sulfato de amonio – Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor:	119
Tabla 7-1: Ficha de función Gerente General - Fuente: Elaboración propia.....	126
Tabla 7-2: Ficha de función Gerente de operaciones - Fuente: Elaboración propia.....	126
Tabla 7-3: Ficha de función Gerente de economía y finanzas - Fuente: Elaboración propia.....	127
Tabla 7-4: Ficha de función Jefe de mantenimiento - Fuente: Elaboración propia	128
Tabla 7-5: Ficha de función Oficial con oficio - Fuente: Elaboración propia.....	128
Tabla 7-6: Ficha de función Jefe de producción - Fuente: Elaboración propia	129
Tabla 7-7: Ficha de función Encargado reacción catalítica - Fuente: Elaboración propia.....	130
Tabla 7-8: Ficha de función Encargado del tratamiento de agua - Fuente: Elaboración propia.....	130
Tabla 7-9: Ficha de función Encargado de purificación del AN- Fuente: Elaboración propia	131
Tabla 7-10: Ficha de función Jefe de control de calidad - Fuente: Elaboración propia	131
Tabla 7-11: Ficha de función de Analista - Fuente: Elaboración propia.....	132
Tabla 7-12: Ficha de función de Encargado de Contabilidad - Fuente: Elaboración propia	132
Tabla 7-13: Ficha de función Marketing - Fuente: Elaboración propia.....	133
Tabla 7-14: Ficha de función encargado de logística - Fuente: Elaboración propia	133
Tabla 7-15: Personal de la organización - Fuente: Elaboración propia.....	135
Tabla 7-16: Categorías para ser PyME. Abril de 2019 – Fuente: Argentina.gov.ar.....	136
Tabla 10-1: Normas IRAM de calidad y certificación – Fuente: Elaboración propia en base a IRAM	152



Tabla 11-1: Parámetros climáticos promedio de Bahía Blanca - Fuente: Oficina de riesgo Agropecuario - Servicio Meteorológico Nacional	163
Tabla 11-2: Evolución poblacional y la variación intercensal porcentual de la ciudad Bahía Blanca - Fuente: INDEC	167
Tabla 11-3: Criterios de identificación de los impactos. Fuente: Elaboración propia.....	173
Tabla 11-4: Matriz de impacto ambiental etapa de construcción de la planta - Fuente: Elaboración propia	173
Tabla 11-5: Matriz de impacto ambiental etapa de producción y mantenimiento - Fuente: Elaboración propia	174
Tabla 11-6: Escala de importancia - Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación de impacto ambiental	175
Tabla 11-7: Matriz de importancia - Fuente: Elaboración propia	177
Tabla 12-1: Significado diamante del AN - Fuente: Norma NFPA 704	180
Tabla 12-2: Riesgo, efectos y primeros auxilios por contacto crónico y/o agudo al ACN - Fuente: Hoja de seguridad del AN de PEMEX.....	181
Tabla 12-3: Niveles de iluminación - Fuente: Red Seguros	187
Tabla 13-1: Inversión inicial en terreno - Fuente: Elaboración propia.....	193
Tabla 13-2: Inversión inicial en edificio e instalaciones - Fuente: Elaboración propia	193
Tabla 13-3: Inversión inicial en equipamiento y maquinarias - Fuente: Elaboración propia.....	194
Tabla 13-4: Inversión inicial en muebles y útiles - Fuente: Elaboración propia.....	195
Tabla 13-5: Inversión inicial en rodados - Fuente: Elaboración propia.....	196
Tabla 13-6: Inversión inicial en cargos diferidos - Fuente: Elaboración propia	196
Tabla 13-7: Cronograma de Inversión - Fuente: Elaboración propia	198
Tabla 13-8 Depreciaciones - Fuente: Elaboración propia	201
Tabla 13-9 Amortizaciones en cargos diferidos - Fuente: Elaboración propia.....	203
Tabla 13-10: Costo fijo en mano de obra permanente - Fuente: Elaboración propia	204
Tabla 13-11: Costos fijos de servicios y otros - Fuente: Elaboración propia.....	205
Tabla 13-12: Costos variables de materia prima e insumos - Fuente: Elaboración propia.....	206
Tabla 13-13: Costos variables en mano de obra - Fuente: Elaboración propia	206
Tabla 13-14: Costos variables en servicios y otros - Fuente: Elaboración propia	207
Tabla 13-15: Punto de equilibrio - Fuente: Elaboración propia	210



Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria
Producción de Acrilonitrilo



Tabla 13-16: Ingresos Totales por ventas - Fuente: Elaboración propia.....	211
Tabla 13-17 Contribución Marginal - Fuente: Elaboración propia.....	212
Tabla 13-18: Utilidad Anual - Fuente: Elaboración propia	213
Tabla 13-19: Flujo de Caja - Fuente: Elaboración propia	213
Tabla 14-1: Mantenimiento para distintos elementos - Fuente: Elaboración propia.....	219
Tabla 14-2: Resumen análisis de riesgos - Fuente: Elaboración propia	221
Tabla 15-1: Sensibilidad del proyecto al precio de venta del AN - Fuente: Elaboración propia	223



RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo contiene el análisis y evaluación de prefactibilidad técnico-económica de: “Planta de producción de acrilonitrilo”, cuyo fin es la obtención de un producto petroquímico intermedio utilizado cotidianamente en un amplio rango de productos químicos como las resinas ABS y SAN, fibras acrílicas, acrilamidas, caucho nitrilo, entre otros, en todas partes del mundo.

En el estudio de mercado se permite inferir que la disposición de materia prima a nivel nacional o sudamericano estaría garantizada. Además, no se identifican elementos que indiquen aumentos sustanciales en el precio dólar americano de los mismos. Teniendo en cuenta que el producto a comercializar se importa, el precio de venta será tomado del costo de importación.

Según las características propias del proceso y especificaciones técnicas del producto final a obtener, el proceso productivo y la tecnología más adecuada, consiste en el desarrollo del proceso patentado Sohio, en el cual la reacción entre el amoníaco, propileno y oxígeno se lleva a cabo en fase gaseosa.

El tamaño se define para sustituir las importaciones de acrilonitrilo en Argentina. Se consideran las proyecciones hacia el 2030 del aumento del 1-2% anual de la demanda para producción de caucho NBR y resinas ABS. El tamaño máximo quedaría limitado por la disponibilidad de materia prima. Con estas consideraciones se establece que el tamaño seleccionado es de 5000 toneladas anuales. Este valor se contrastó con otras plantas del mismo producto, que, en general, tienen volúmenes de producción similares o mayores.

Por medio del estudio de localización realizado se determinó como mejor alternativa la instalación de la planta en el Parque Industrial de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Este análisis se llevó a cabo cumpliendo rigurosamente normativas y legislaciones nacionales, provinciales y municipales en lo que respecta a lo ambiental, calidad, seguridad industrial, ya que se tratan compuestos explosivos, y conformación de la industria.

En lo que respecta al análisis medio ambiental, este tipo de producto generaría emisiones gaseosas peligrosas, cuyo tratamiento no fue estudiado en esta etapa. Además, se tendrían efluentes acuosos y residuos propios del funcionamiento habitual de la planta. Se puede observar que el impacto que se ocasionaría al medio ambiente no sería de gran magnitud.

El análisis económico fue realizado para un horizonte de evaluación de 10 años. La implementación de este proyecto demandaría una inversión inicial de U\$D 29.219.973,10, mientras que la inversión en capital de trabajo alcanzaría los U\$D 2.012.833,94. La tasa de descuento se calculó a través del método CAPM y arrojó un valor de 19,35%. El VAN es de -U\$D 21.400.430,00, y la TIR sería de casi un -2,83%, el punto de equilibrio cercano a las 5356,82 toneladas vendidas.

De estas variables se realizó un análisis de sensibilidad unidimensional del aumento del precio de venta del producto, tomando un valor de 90% y resultando a partir de éste, VAN positivos.

1. GENERALIDADES

1.1. Definición y estructura

El acrilonitrilo es un producto petroquímico intermedio en estado líquido de incoloro a amarillo pálido y volátil. Puede disolverse en agua y se evapora rápidamente.

Es conocido con otros nombres como acrilón, cianoetileno, fumigrano, propilenonitrilo, BCN, Bentox, cianuro de vinilo. Según la IUPAC se lo nombra como 2-propenenitrilo, con un peso molecular de 53,1 g/mol.

Es una molécula insaturada que tiene un doble enlace conjugado carbono-carbono con un grupo nitrilo.

Su fórmula molecular es C_3H_3N , mientras que su fórmula estructural es la siguiente:

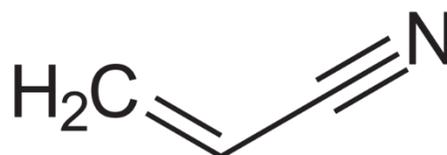


Figura 1-1: Estructura molecular del acrilonitrilo - Fuente: Lenntech

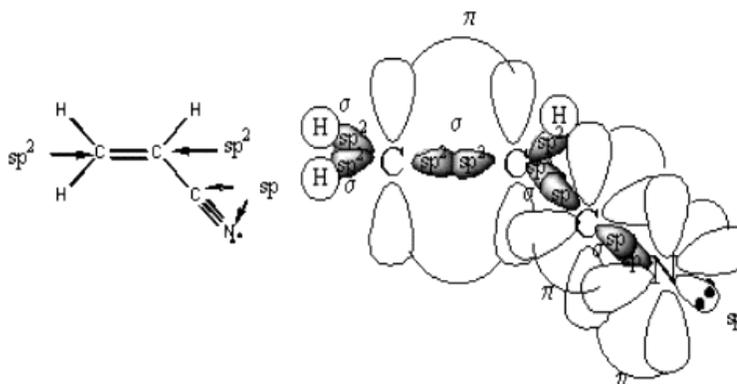


Figura 1-2: Estructura de Lewis del acrilonitrilo - Fuente: Lenntech

Es polar debido a la presencia del nitrógeno. Hay una atracción de los electrones del enlace hacia el heteroátomo, que es más electronegativo, tal como se representa en las siguientes estructuras de resonancia:



El acrilonitrilo fue sintetizado por primera vez en 1893 por parte del químico francés Charles Moueru. Este químico francés consiguió sintetizar el acrilonitrilo juntamente con otros compuestos, por deshidratación de la acrilamida o de la cianohidrina de etileno con un pentaóxido de fósforo. Aunque este compuesto no fue importante hasta 1930 donde se pudieron encontrar

las producciones a nivel industrial y se empezó a usar este producto en nuevas aplicaciones, tales como en las fibras acrílicas para la industria textil y la producción de caucho sintético.

Aunque a finales de los años 40, la utilidad del acrilonitrilo fue cuestionado, porque los métodos de manufactura eran multietapa y muy caros por lo que parecía un proceso reservado para las empresas más punteras del mundo como American Cyanamid, Union Carbide, Dupont y Monsanto que pudieran permitirse el costo de fabricación. Debido a estos elevados precios, el acrilonitrilo podría haber quedado como un producto de química fina, con aplicaciones muy limitadas.

Todo esto cambió cuando, a fines de los años 50, la investigación llevada a cabo por la empresa Sohio en la oxidación catalítica selectiva, supuso un gran avance en la fabricación de acrilonitrilo, desarrollando el método Sohio, el cual constaba tan solo de una etapa y era mucho más barato que cualquiera de los anteriores. La gente que inventó, desarrolló y comercializó el proceso, mostró una gran habilidad tanto en marketing, como en química. El resultado fue una reducción drástica de los costos de producción con respecto a los otros procesos de producción de acrilonitrilo, que hasta el momento era sintetizado a partir del acetileno y que se convertiría en obsoleto en poco tiempo.

El desarrollo del método Sohio motivó a que las grandes empresas se vieran obligadas a obtener una licencia de Sohio para usar su proceso y así seguir competitivos, propiciando a la vez que otras empresas menores también se licenciaran y, por tanto, la capacidad de producción mundial empezó a aumentar, posibilitando así satisfacer su creciente demanda.

En 1973 hubo otro momento clave en la producción de acrilonitrilo, la empresa Sohio se convierte en la primera que protagoniza la transacción entre una empresa estadounidense y China desde que ésta abriera las puertas al comercio con Norteamérica, y lo hace licenciando a China para producir acrilonitrilo a través del proceso Sohio, propiciando el gran auge en producción mundial de éste.

1.2. Propiedades físicas

En cuanto a las propiedades físicas del acrilonitrilo podemos mencionar que es un líquido sintético, incoloro, de olor penetrante, tiene una densidad a 20°C de 0,806 g/ cm³ y una presión de vapor a la misma temperatura de 11 kPa. Esta presión de vapor permite que se pueda evaporar rápidamente.

Otras propiedades físicas se definen en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Propiedades físicas del acrilonitrilo – Fuente Lenntech

Propiedades	Valor
Punto de ebullición (°C)	77,3
Punto de fusión (°C)	-83,5
Volatilidad 78 (%)	>0,99
Densidad de vapor	1,8
Solubilidad en agua 20°C (%en peso)	7,3
pH (5% solución acuosa)	6 – 7,5
Valores Críticos	
Temperatura (°C)	246
Presión (Mpa)	3,54

Volumen (cm ³ /g)	3,8
Índice de refracción N ²⁵ _D	1,39
Constante dieléctrica (33,5 MHz)	38
Potencial de ionización (eV)	10,75
Tensión superficial 25°C (mN/m)	26,6

El acrilonitrilo es miscible en una amplia gama de disolventes orgánicos, incluyendo acetona, benceno, tetracloruro de carbono, éter dietílico, etilo acetato, cianhidrina de etileno, éter de petróleo, tolueno, algunos querosenos, y metanol.

La tabla 1-2 muestra las composiciones de algunos azeótropos comunes de acrilonitrilo con los diferentes valores de puntos de ebullición característicos, el cual puede ser mayor o menor que la temperatura de ebullición de cualquiera de los componentes que forman la mezcla azeotrópica. Además, en la tabla, se puede observar que el acrilonitrilo permite formar mezclas azeotrópicas binarias como ternarias.

Tabla 1-2: Azeótropos del acrilonitrilo - Fuente: Lenntech

Azeótropo	Punto de ebullición °C	Concentración de acrilonitrilo %En peso
Tetraclorosilano	51,2	89
Agua	71	88
Alcohol isopropílico	71,6	56
Benceno	73,3	47
Metano	61,4	39
Tetracloruro de carbono	63,2	21
Clorotrimetilsilano	57	7

El acrilonitrilo presenta un punto de inflamación de 0°C, con una temperatura de autoignición de 481°C. Los límites de inflamabilidad en el aire a 25°C en % volumétrico son de 3 el inferior y 17 el superior. Otras propiedades termodinámicas se observan en la tabla 1-3:

Tabla 1-3: Propiedades termodinámicas del acrilonitrilo. Fuente: Lenntech

Propiedades	Valor
Energía libre de formación ΔG^0 , 25°C, kJ/mol	195
Entalpía de formación ΔH_g^0 , 25°C, kJ/mol	185
Calor de combustión, líquido, 25°C, kJ/mol	1761,5
Calor de vaporización 25°C, kJ/mol	32,65
Capacidad calorífica molar kJ/kg.K	Líquido 2,09
	Gas 50°C, 101,3KPa 1,204
Calor molar de fusión kJ/mol	6,61
Entropía gas, 25°C, 101,3KPa, kJ/mol.K	274

1.3. Propiedades químicas

El acrilonitrilo es un producto químico muy versátil debido a la presencia de dos grupos químicamente muy activos, el grupo nitrilo y el doble enlace carbono-carbono. La presencia de ambos grupos permite una gran variedad de reacciones.

El acrilonitrilo no tiene ningún efecto corrosivo sobre los metales, por lo que los tanques de almacenamiento pueden ser de acero inoxidable, acero al carbono, aluminio o magnesio. Por razones de calidad del producto, se debe evitar el contacto con cobre o aleaciones de cobre.

El grupo nitrilo $R - C \equiv N$ puede sufrir hidrólisis, hidrogenación, esterificación y reducción. Por ejemplo, la hidratación con ácido sulfúrico para formar sulfato de acrilamida, este sulfato puede ser transformado en acrilamida (C_3H_5NO) por neutralización con una base y completada la hidrólisis se obtiene ácido acrílico. A partir de la acrilamida, también se puede obtener del acrilonitrilo mediante una hidrólisis parcial basada en catalizadores de cobre.

Las reacciones en el enlace doble activado del acrilonitrilo incluyen polimerización, copolimerización, cianoetilación, ciclación y halogenación. Por ejemplo, la hidrogenación ocurre sobre catalizadores de metal para dar propionitrilo y propilamina además de la hidrodimerización industrialmente importante para producir el adiponitrilo ($C_6H_8N_2$)

Otras reacciones incluyen la adición de halógenos a través del doble enlace para producir dihalopropionitrilos, y por cianoetilación de acrilonitrilo, alcoholes, aldehídos, ésteres, amidas, nitrilos, aminas, sulfuros, sulfonas, y haluros.

El acrilonitrilo se polimeriza de manera espontánea cuando se expone a la luz y el calor que pueda provocar una presión interna excedente y hacer explotar los contenedores. La polimerización se inicia por radicales libres, catalizadores redox, o bases y puede ser llevada a cabo en la fase líquida, sólida o gaseosa. Homopolímeros y copolímeros son más fáciles de producir utilizando polimerización en fase líquida.

A parte de evitar altas temperaturas en los contenedores también es recomendable evitar chispas y llamas abiertas. Al descomponerse, el acrilonitrilo puede generar humos muy tóxicos de cianuro de hidrógeno y monóxido de carbono, y en contacto con álcalis y materiales oxidantes puede ocasionar incendios y explosiones, debido a que estas mezclas de acrilonitrilo con el aire son inflamables.

La tendencia a polimerizar del acrilonitrilo en estado líquido puede prevenirse con la adición de fenoles o también con aminas estabilizadoras o cantidades pequeñas de agua. Mediante la adición de ácido sulfúrico alcalino cáustico concentrado, la polimerización puede ser acelerada hasta tal punto que puede asumir una naturaleza explosiva.

Así por ejemplo el acrilonitrilo se polimeriza a poli(acrilonitrilo) cuyo monómero es:

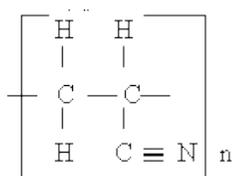


Figura 1-3: Estructura molecular del monómero poli(acrilonitrilo) - Fuente: Alfina

El poli(acrilonitrilo) se utiliza para fabricar fibra de carbono. Si en la etiqueta pone "acrílico" es que el producto está hecho con algún copolímero del acrilonitrilo. En general son copolímeros de acrilonitrilo y metil acrilato o acrilonitrilo y metil metacrilato.

El poli(acrilonitrilo-co-metil acrilato) está compuesto por el siguiente comonómero:

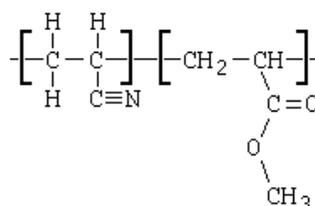


Figura 1-4: Estructura molecular del poliacrilonitrilo-co-metil acrilato - Fuente: Alfina

El comonómero del poli(acrilonitrilo-co-metil metacrilato) es:

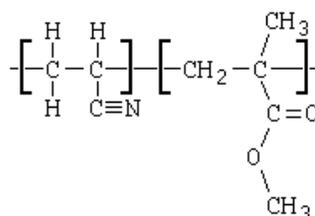


Figura 1-5: Estructura molecular del poliacrilonitrilo-co-metil metacrilato - Fuente: Alfina

1.4. Especificaciones de materias primas y subproductos del proceso

1.4.1. Propileno (C₃H₆)

El propileno o propeno es un hidrocarburo perteneciente a los alquenos, incoloro e inodoro. Es un homólogo del etileno y como todos los alquenos presenta el doble enlace como grupo funcional siendo el segundo compuesto más utilizado en la industria química en todo el mundo.

Es un gas de olor aromático cuyo peso molecular es 42,081 g/mol y densidad a 20°C es 0,5139 mg/mL. Se transporta en forma de gas licuado y, cuando se escapa de los recipientes que lo contienen, lo hace en forma de gas o líquido. A bajas concentraciones forma una mezcla explosiva e inflamable con el aire, siendo la densidad del propileno mayor que la del aire.

Asimismo, el propileno es un isómero estructural del ciclopropano. Se presenta en la naturaleza como consecuencia de los procesos de vegetación y fermentación. Artificialmente se produce durante el procesamiento de los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y, en menor grado, del carbono.

En la figura 6 se observa la estructura química del propileno en la que destaca su asimetría y la presencia de momento dipolar, aunque carece de un enlace polar fuerte. Presenta una estructura plana debido a la hibridación sp² de los átomos de carbono formando un ángulo de 109,5° aproximadamente. El lado derecho de la estructura lo ocupa el grupo metilo (-CH₃), cuya hibridación es sp³ y tiene una geometría tetraédrica.

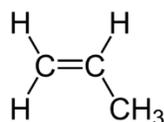


Figura 1-6: Estructura molecular del propileno. Fuente: Lifeder

En fase gaseosa, la molécula interacciona débilmente con otras por fuerzas de dispersión. Asimismo, las interacciones entre los dobles enlaces (π - π) de dos moléculas de propileno son impedidas por el grupo metilo, teniendo como consecuencia una disminución en sus fuerzas intermoleculares, lo cual se refleja en sus propiedades físicas. Únicamente a temperaturas muy bajas, el propileno puede adoptar una estructura sólida. Algunas otras propiedades se detallan en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Propiedades químicas del propileno. Fuente: Alfinal

Propiedad	Valor
Punto de ebullición (°C)	48
Punto de fusión (°C)	185
Punto de inflamabilidad (°C)	72,2
Autoignición (°C)	455
Presión de vapor a 25°C, (kPa)	1 158
Viscosidad a 16,7 °C (micropoise)	83,4
Calor de combustión (cal/g)	10 940
Calor de vaporización (cal/g)	104,62
Punto de congelación (°C)	185,25

El propileno es soluble en agua, etanol y ácido acético. Además, polimeriza a altas temperaturas y altas presiones en presencia de catalizadores.

Se usa en la industria petroquímica como combustible y agente alquilante. En la industria química se utiliza como materia prima para la producción y síntesis de polipropileno, acrilonitrilo (ACN), óxido de propileno (PO), alcoholes, cumeno y ácidos acrílicos.

1.4.2. Amoníaco (NH₃)

El amoníaco es un compuesto químico, formado por tres átomos de hidrógeno y por un átomo de nitrógeno (NH₃), con una masa molar de 17,03 g/mol y se puede encontrar en forma de gas incoloro.

Este gas se produce en la naturaleza, cuando se descompone la materia orgánica, se disuelve en agua fácilmente y es fácil de identificar por su olor desagradable, fuerte y penetrante.

Una vez obtenido el Amoníaco, el cual es fácilmente soluble y altamente volátil, las industrias lo venden en forma líquida, constituyendo un negocio considerablemente rentable, ya que se produce en grandes cantidades y se distribuye para la preparación de fertilizantes, como en las empresas de refrigeración, industria alimenticia y en productos de limpieza a nivel doméstico, especialmente como eliminadores de grasa y desmanchadores.

En cuanto a las propiedades químicas del amoníaco se pueden nombrar las siguientes:

Tabla 1-5: Propiedades químicas del amoníaco. Fuente: Alfinal

Propiedad	Valor
Punto de ebullición (°C)	-33
Punto de fusión (°C)	-78
Solubilidad en agua a 20°C	34g/100ml
Presión de vapor a 26°C (kPa)	1013
Límites de explosividad (%en volumen en el aire)	15 – 28
Temperatura de autoignición (°C)	651

1.4.3. Ácido cianhídrico (cianuro de hidrogeno)

El cianuro de hidrogeno (HCN) es un líquido incoloro, venenoso, poco viscoso y con el característico olor a almendras amargas. Presenta un peso molecular de 27 g/mol, una densidad a 20°C de 0,6884 g/cm³. Su estructura molecular se muestra de la siguiente forma:



Algunas otras propiedades se mencionan en la tabla 1-6:

Tabla 1-6: Propiedades químicas del cianuro de hidrógeno. Fuente: Ecured

Propiedad	Valor
Punto de ebullición (°C)	25,7
Punto de fusión (°C)	13,24
Densidad 20°C (g/cm ³)	0,6884
Calor de combustión (Kj/mol)	642
Calor de vaporización (Kj/mol)	25,2
Calor de polimerización	42,7
Viscosidad del líquido 20,2 °C (cP)	0,2014
Valores críticos	
Temperatura (°C)	183,5
Presión (MPa)	5,4
Densidad (g/ml)	0,195
Punto de inflamación (°C)	-17,8
Temperatura de autoignición (°C)	538

El cianuro de hidrogeno (HCN) es un ácido débil. Tiene una constante de ionización de igual magnitud que los aminoácidos. Como nitrilo del ácido fórmico que es, se caracteriza por las típicas reacciones de los nitrilos. El HCN normalmente no es corrosivo, excepto por dos situaciones: primero, una solución acuosa diluida de HCN puede causar la aparición de grietas en acero al carbono bajo presión a temperatura ambiente y segundo, una solución acuosa de HCN que contenga ácido sulfúrico como estabilizador, puede corroer el acero a temperaturas superiores a los 40°C y en caso de ser acero inoxidable, temperaturas superiores a los 80°C.

El cianuro de hidrogeno se puede obtener como subproducto en la planta de producción de acrilonitrilo con una gran pureza permitiéndole ser un producto comercial, como se puede ver capítulo 5 "Ingeniería de proceso".

Se usa en la producción de muchos productos químicos como es el nylon, el metacrilato de metilo para la producción de plásticos transparentes acrílicos, las triazinas para herbicidas agrícolas, la metionina como suplemento alimenticio para animales, entre otros.

1.4.4. Acetonitrilo

El acetonitrilo (ACN) es un líquido incoloro de olor dulce. Es el nitrilo orgánico más simple, su estructura molecular es la siguiente.

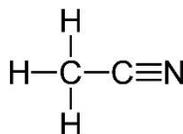


Figura 1-7: Estructura molecular del acetonitrilo. Fuente: Lifeder

El acetonitrilo (C₂H₃N) tiene un peso molecular de 41 g/mol, una densidad a 20°C de 0,786 g/cm³ y una viscosidad a la misma temperatura de 1,344 cP.

Algunas otras propiedades las mencionamos en la tabla 1-7:

Tabla 1-7: Propiedades químicas del acetonitrilo. Fuente: Wikipedia

Propiedad	Valor
Punto de ebullición (°C)	81,6
Punto de fusión (°C)	-45,7
Calor de vaporización, 80°C (J/kg)	72,7 – 106
Calor de fusión, -45,7 °C (J/kg)	21,8 – 106
Calor de combustión, 25°C (j/kg)	31 – 106
Capacidad calorífica, 20°C (J/kg.K)	22,59 – 102
Límites de inflamabilidad en el aire	Superior: 16
	Inferior: 4,4

Es un compuesto miscible en agua además de ser un excelente disolvente para compuestos inorgánicos como CaCl₂, KMnO₂, entre otros y orgánicos, incluyendo polímeros, debido a su alta resistencia dieléctrica y a su momento dipolar. Muchos gases como HCl, SO₂, H₂S son solubles en acetonitrilo.

El acetonitrilo es uno de los nitrilos más estables, lo que permite utilizarse como catalizador o como componente de catalizadores complejos de metales de transición, pero sufre las típicas reacciones de los nitrilos y por eso se utiliza para producir diversos compuestos que contienen nitrógenos como amidas, aminas, acetonas, isocianatos, heterociclos y piridinas entre otros.

Para el almacenamiento y la circulación en tuberías a temperatura y presión normales se puede utilizar tanto el aluminio como el acero al carbono.

El acetonitrilo se puede obtener como subproducto en la planta de producción de acrilonitrilo una gran pureza permitiéndole ser un producto comercial como el HCN, esto será visto en mayor detalle en el capítulo 5 “Ingeniería de proceso”.

El mayor uso es en la purificación del butadieno en la destilación extractiva que se lleva a cabo en las refinerías. Es también un disolvente para polímeros, fibras y para moldear plásticos. En la

preparación de productos farmacéuticos es utilizado como medio de reacción debido a su bajo punto de ebullición y a que es un buen solvente.

El acetonitrilo puro no absorbe la luz ultravioleta, por esta razón se usa como disolvente en cromatografías líquidas de alta presión (HPLC).

1.4.5. Sulfato de amonio

Es una sal cuya fórmula química es $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, de color blanco, con aspecto a cristales. El Sulfato de Amonio es un excelente componente para la precipitación fraccionada, porque permite que el agua compita entre la disolución de esta sal o de la proteína (formada por muchos grupos carboxilo y amonio), causando que precipite la proteína con tres aminoácidos.

Tabla 1-8: Propiedades físicas y químicas del sulfato de amonio - Fuente: Wikipedia

PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad	1769 (20 °C) kg/m ³ ; 1.769 (20 °C) g/cm ³
Masa molar	132.14 g/mol
Punto de fusión	530,5 K (257 °C)
PROPIEDADES QUÍMICAS	
Solubilidad en agua	70.6 g/100 mL (0 °C) 74.4 g/100 mL (20 °C) 103.8 g/100 mL (100 °C) Insoluble en acetona, etanol y éter

Entre los usos del sulfato de amonio se destacan, la utilización como floculante y, además, como un reactivo en purificación de ácidos, siempre que las proteínas sean solubles en medio básico y con presencia de NaCl o cloruro potásico.

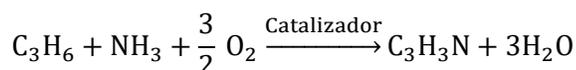
En agricultura es usado ampliamente como garbanzos, tanto para fertirrigación como para aplicación directa al suelo por productores de hortalizas. El Sulfato de Amonio a menudo se obtiene como un producto residual de la fabricación del nylon.

Por medio del proceso productivo llevado a cabo en esta planta de producción de acrilonitrilo se obtiene a partir de las colas de aguas residuales que salen del reactor que contiene ácido sulfúrico remanente, sulfato de amonio en forma de cristales dándole uso comercial directo como por ejemplo en la agricultura en forma de fertilizante. Para la obtención de estos cristales, la corriente se debe enviar a un cristizador de triple efecto.

1.5. Método de obtención de Acrilonitrilo

1.5.1. Proceso Sohio

El acrilonitrilo es producido en cantidades comerciales casi exclusivamente por un método conocido con el nombre de "Sohio". Básicamente, este método ocurre en fase vapor en un reactor de lecho fluido con un catalizador sólido a una temperatura de 400 a 510 °C en el cual el propileno, el amoníaco y el aire se ponen en contacto llevando a cabo la siguiente reacción:



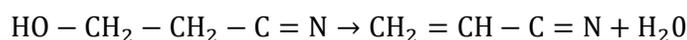
Este proceso será implementado en esta planta de producción por ser un método simple en el que se puede obtener una gran conversión de una manera económicamente viable por medio del uso de catalizadores.

1.5.2. Procesos obsoletos

Estos procesos a diferencia del explicado anteriormente, tienen muy bajos rendimientos generando impurezas no deseadas. Otras desventajas son, que las materias primas son caras y el catalizador requiere una frecuente regeneración en la producción de acrilonitrilo.

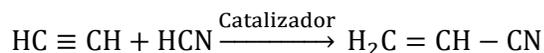
1.5.2.1. Proceso de producción a partir de cianohidrina de etileno

Es un proceso basado en la deshidratación catalítica de la cianohidrina de etileno, producida en una base catalítica a 60°C a partir de óxido de etileno y HCN. Finalmente, el producto intermedio es deshidratado en fase líquida a 200°C en la presencia de carbonato de magnesio y sales de ácidos orgánicos con alcalinos y alcalinotérreos.



1.5.2.2. Proceso de producción a partir de acetileno y HCN

Es un proceso que consiste en la adición catalítica de ácido cianhídrico al acetileno por medio de la siguiente reacción:



Esta reacción comercial, se lleva a cabo a unos 80°C en una disolución de ácido clorhídrico que contiene cloruro de cobre. El acetileno que no reacciona, es reciclado. La conversión en este proceso es aceptable, aunque los reactivos son relativamente caros, y se producen algunas impurezas no deseadas (divinilacetileno, y metilvinilcetona) difíciles de eliminar y el catalizador requiere de regeneraciones muy frecuentes.

Se han intentado muchos más procesos para producir acrilonitrilo, incluyendo la nitrificación del propileno, la amoxidación de propionaldehído, o la reacción del ácido cianhídrico y el acetaldehído, pero ninguno de estos procesos ha conseguido una condición comercial de los procesos que se han descrito anteriormente.

2. ESTUDIO DE MERCADO

2.1. Introducción

Al momento de llevar a cabo un proyecto, es necesario realizar un estudio del mercado en el cual se desea insertar el producto o servicio. Este análisis permite conocer los riesgos y oportunidades del entorno, tales como competidores y clientes potenciales.

Este estudio implica estar alerta a las exigencias y expectativas del mercado, debido a la época en la que estamos y en el país donde decidimos realizar la inversión. Nos encontramos en la era de la globalización, con alta competitividad de productos y sus valores agregados, en una situación donde existe poca estabilidad económica debido a grandes fluctuaciones del valor del peso argentino con respecto al del dólar.

Se realizarán tareas de recopilación de información de distintas fuentes, análisis de los datos utilizando una metodología adecuada para organizarlos, y obtención de resultados por procesamiento de la información para que permita de una manera más fácil la lectura de las ventajas de nuestro producto en el mercado.

Para efectuar este capítulo se analizó la competencia, clientes, demanda, oferta, características del entorno, canales de distribución, lugares de venta del producto, precios, posibilidades de generar valor agregado, etc.

2.2. Objetivos del estudio de Mercado

Los principales objetivos de este capítulo son:

- Determinar los clientes potenciales de este producto y las necesidades que estos tienen.
- Analizar el mercado de las materias primas y demás insumos indispensables para el proceso productivo.
- Estudiar el mercado competidor, en este caso, no hay producción nacional de Acrilonitrilo, pero si se importa.
- Comprender las características del medio externo o internacional que pueden influir en el desempeño del proyecto.
- Aportar información para colaborar con la delimitación del área geográfica que va a ser atendida por el proyecto.
- Estimar el comportamiento futuro de la demanda y de la oferta de Acrilonitrilo.
- Colaborar con la determinación de la cantidad de producto que los clientes estarán dispuestos a adquirir.

2.3. Industria petroquímica en Argentina

La industria petroquímica es un sector muy importante en la economía local, el segundo después de la producción de alimentos y bebidas. A pesar de darle un gran valor agregado, del gas y petróleo que se consume a nivel nacional solo se usa, en esta industria, alrededor del 4%.



Según una nota del Ingeniero Jorge de Zavaleta, director de la Cámara de la Industria Química y Petroquímica de la Argentina (CIQyP), por cada dólar por millón de BTU de gas, la petroquímica puede incorporar entre U\$D 5 y 8 de valor agregado en productos de origen plástico. Y se incrementa, si se considera que el valor que se agrega para una pieza plástica terminada puede alcanzar hasta los U\$D 30.

Además, por sus características de inserción en otras cadenas productivas, los productos petroquímicos básicos, sus intermediarios y finales son claves en el desarrollo de la competitividad del resto de la economía, constituyéndose en un importante eslabón del sistema productivo industrial del país.

Es una industria que anualmente genera un valor de producción de más de 25 mil millones de dólares y exportaciones que alcanzan un 25% de las exportaciones de manufactureras industriales. A nivel regional, la industria química y petroquímica argentina es la segunda después de la brasilera y tiene una participación del 0,9% en las ventas de la industria química mundial.

Según un informe de 2018 realizado por la CIQyP, por la recomposición del tipo de cambio, que está en constante variación, y el consecuente traslado a los precios locales, la producción de la industria química y petroquímica creció 26% en toneladas generadas en septiembre con respecto al mes anterior, pero no hay variaciones en el promedio interanual. Se registró, además, una caída en el acumulado anual del 13%.

En cuanto a las ventas locales, ayudado por un buen volumen del mes de septiembre crecieron un 13% en dicho mes, aunque interanualmente retroceden 12%.

En cambio, las exportaciones medidas en dólares subieron 2% interanual, manteniendo un crecimiento acumulado del 17% en lo que va del año.

Se destaca que el sector de productos básicos es el más dinámico, y creció un 5%, manteniendo cierta estabilidad los sectores asociados a productos intermedios, que es el caso del Acrilonitrilo, y ciertos productos termoplásticos.

Respecto a la capacidad instalada del sector petroquímico durante septiembre de 2018, se considera que retomó los valores medios, alcanzando un uso promedio del 86% para los productos petroquímicos de uso final; y del 68% de los petroquímicos básicos e intermedios.

El panorama desalentador se puede deber a las limitaciones que encuentra esta actividad en la provisión de materias primas derivadas del petróleo y gas, y esto condiciona fuertemente sus planes de inversión. Pero, se cree que los campos no convencionales como Vaca Muerta aportarán la materia prima necesaria para duplicar la producción petroquímica en 2025, aunque se debe tener en cuenta que el aumento de la materia prima trae consigo la necesidad de aumentar y mejorar la distribución, transporte del gas y las plantas petroquímicas.

Desde hace más de una década no se registran ampliaciones significativas de la capacidad instalada en esta industria, pese a que en el largo plazo el consumo per cápita de polímeros continúa en expansión. En el año 2001 fueron las últimas grandes inversiones. ^{[1] y [2]}

2.4. Acrilonitrilo en Argentina

Con datos del Anuario del Instituto Petroquímico Argentino (IPA) del año 2018, se realizó la figura 2-1, la cual nos permite observar la variación en el consumo aparente y la importación de AN en Argentina desde 2008 hasta el 2017.

Actualmente en Argentina no se produce, por lo tanto, se importan aproximadamente 300 toneladas por año, a un valor comercial de 1700 U\$/t, pero desde 2014 ha disminuido la importación. Cabe destacar, que las curvas se solapan desde el año 2009 lo que indica que lo que se importa es totalmente consumido en la producción de Caucho Butadieno Acrilonitrilo. [3]

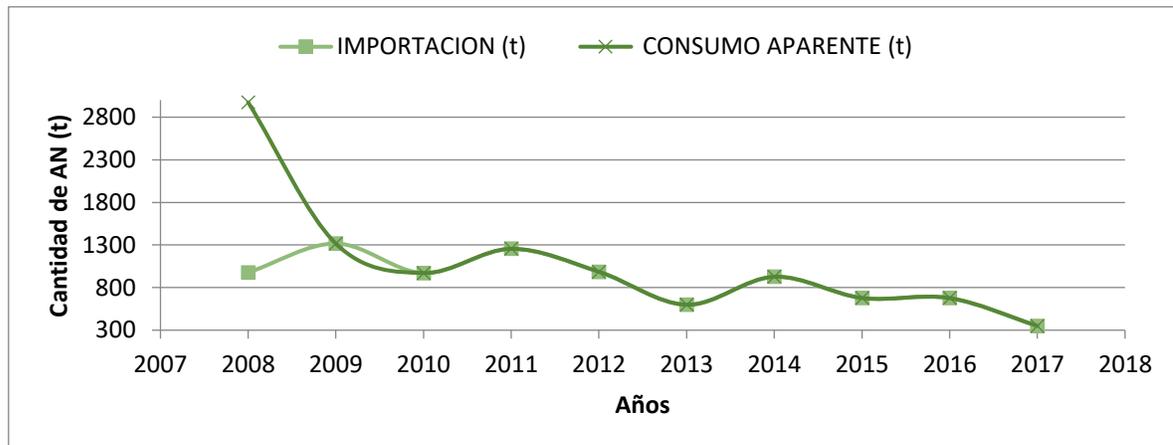


Figura 2-1: Variación del consumo aparente y la importación de acrilonitrilo en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2018.

2.5. Mercado consumidor

El acrilonitrilo es un producto petroquímico intermedio usado en un amplio rango de productos químicos. El consumo global estimado en 2017 fue de 6 millones de toneladas según un informe de Nexant, una empresa de servicios que analiza mercados de distintos productos.

A partir del AN, se obtienen las resinas Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y Estireno Acrilonitrilo (SAN), fibras acrílicas, Acrilamidas y en la producción de Caucho Nitrilo, también en fibras de carbono y otros copolímeros de Acrilonitrilo.

Usado en la producción de aminas grasas, pigmentos y colorantes azoicos y resinas de intercambio iónico.

Podemos observar en la figura 2-2, el volumen de AN usado en las distintas aplicaciones en el año 2018.

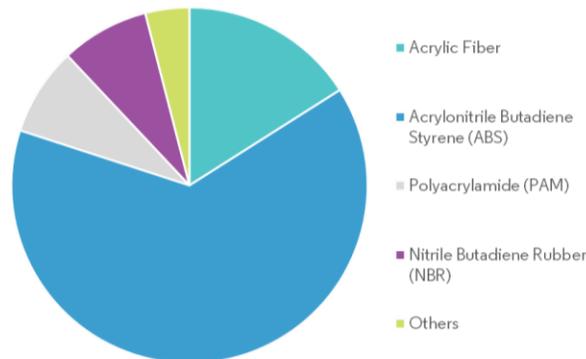


Figura 2-2: Mercado global del AN en 2018 – Fuente: Mordor Intelligence

La mayor demanda es de resinas ABS, que tiene uso en moldeo para inyección de partes automotrices, teléfonos, interiores de refrigeradores, paneles y juguetes, por ejemplo. ABS es una de las resinas termoplásticas más usadas en el mercado, por su dureza, rigidez, resistencia al calor y mecánica lo que la hace útil para muchas aplicaciones. Las resinas SAN son producidas por la copolimerización del estireno, con Acrilonitrilo y pueden ser usadas para producir ABS.

En segundo lugar, están las fibras acrílicas, que compiten actualmente con las fibras de poliéster, por tener un menor costo, y con otras fibras sintéticas.

En menor medida, se usa para la producción de Acrilamida y para producir el Caucho Nitrilo Butadieno (NBR).

La Acrilamida, es usada principalmente para producir Poliacrilamida (PAM), cuya función principal es la de flocular sólidos en un líquido. Este proceso se aplica para el tratamiento del agua, y procesos tales como la fabricación de papel, también como acondicionador de suelos.

El NBR se usa en sellos, empaques, protectores para tuberías, diafragmas para bombas, retenes, deflectores, mangueras para aceite y gasolina, rodillos para imprentas, suelas y tacones para calzado industrial y tapones para envases.

En la Figura 2-3 se encuentran graficados los consumidores de AN mundialmente. China es el país que mayor consumo tiene, probablemente porque es uno de los mayores productores de electrodomésticos, productos tecnológicos como celulares y computadoras y partes de automóviles.

En el resto del mundo, le siguen Estados Unidos, Corea del Sur y Europa Occidental, que juntos consumen una cantidad similar a la que consume China. ^[4] y ^[5]

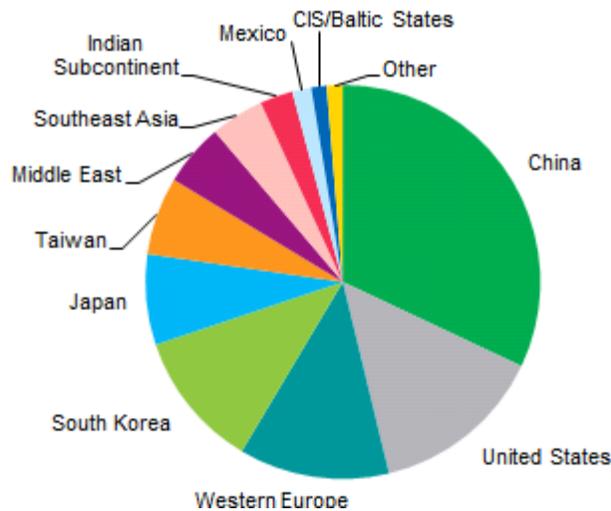


Figura 2-3: Consumo mundial de AN en 2018 – Fuente: IHS Markit [6]

2.5.1. Variaciones de la demanda

Según datos de Independent Chemical Information Service (ICIS), que es un proveedor de información sobre el mercado petroquímico, la demanda de Acrilonitrilo es dependiente del estado de la economía, es por eso que el receso económico mundial de los años 2008 y 2009 hizo que disminuyera en un 12%.

La demanda que mayor variación tiene es la de las resinas ABS, fibras acrílicas y Adiponitrilo, porque es cíclica y se ve muy afectada con los recesos económicos ya que tiene que ver directamente con el nivel de consumo de la población.

Por otra parte, los mercados de acrilamida y de NBR se han mantenido estables en los últimos 10 años, con una leve tendencia a aumentar. De igual manera, por ser mercados pequeños en comparación con las resinas ABS y las fibras acrílicas, su aumento no alcanzó para revertir la situación vista durante el receso económico.

La tendencia, es que la demanda de AN siga aumentando hasta 2023 en un 1-2% por año, liderada por la demanda de las resinas ABS/SAN, Acrilamida y el Adiponitrilo. El crecimiento será en todas las regiones, pero mayormente en Estados Unidos, Noreste Asiático y Medio Oriente. [7] y [8]

2.5.2. Posible demanda

Existen tres puntos importantes para realizar proyectos petroquímicos, estos son mercado, materia prima abundante y competitiva y plantas de tamaño internacional para poder tener alta competitividad. Argentina tiene todos esos puntos a favor, por lo tanto, es uno de los pocos países que puede desarrollar el sector petroquímico, teniendo como posible mercado a toda Sudamérica, excepto a Brasil. El Mercosur, Chile, Colombia y países de la costa del Pacífico tienen un alto consumo de productos petroquímicos porque van mejorando su estándar de vida, y no van a tener inversiones en petroquímica.

En este proyecto, se quiere satisfacer la demanda nacional de AN para la producción de caucho NBR.

En el capítulo 4 “Tamaño”, se hará una proyección de la demanda, teniendo en cuenta el rendimiento global del proceso para poder definir la capacidad de la planta.

Además, se obtienen productos secundarios, como el acetonitrilo, ácido cianhídrico y el sulfato de amonio, que tienen purezas tales que pueden ser comerciables.

2.5.2.1. Caucho Acrilonitrilo Butadieno (NBR) en Argentina

La demanda a satisfacer por este proyecto, es la necesidad de Acrilonitrilo para la producción nacional de NBR. En Argentina, la mayor empresa productora de este caucho, es Pampa Energía S.A. en Santa Fe en el Complejo Petroquímico Integrado Puerto General San Martín, con una capacidad instalada de 3000 toneladas anuales en el año 2017. En ella se utiliza la técnica de polimerización en emulsión (Uniroyal).^[9]

En la Figura 2-4, se observa la variación que ha habido desde el año 2006 al 2017 en Argentina con respecto a la producción, importación, exportación y consumo aparente del Caucho NBR, en todos los casos el comportamiento ha sido muy variable al pasar los años.

La producción y el consumo aparente, han ido disminuyendo, teniendo un pico en 2015 de 2157 toneladas de producción y 2446 toneladas de consumo aparente. Los valores más bajos fueron en el año 2017, con 1065 y 1164 toneladas de producción y consumo aparente respectivamente. La importación y la exportación han tenido valores similares durante el periodo 2012-2014. En el periodo anterior al 2012, la exportación fue mayor, teniendo un máximo de exportación de 1143 toneladas en el año 2009. Pero después del 2014 ha tendido a disminuir, el mínimo en 2016 de 248 toneladas y se ve un aumento para el año 2017.

Las toneladas importadas han sido menores que las que se han exportado hasta el año 2014 donde se ve, que las importaciones tomaron la delantera. Las máximas cantidades de NBR importado fueron en 2008 y 2013, con 779 y 706 toneladas, respectivamente.

Cabe destacar que, en el caso de las importaciones y exportaciones, al contrario de la producción y el consumo aparente, existe una tendencia a aumentar en el último periodo.

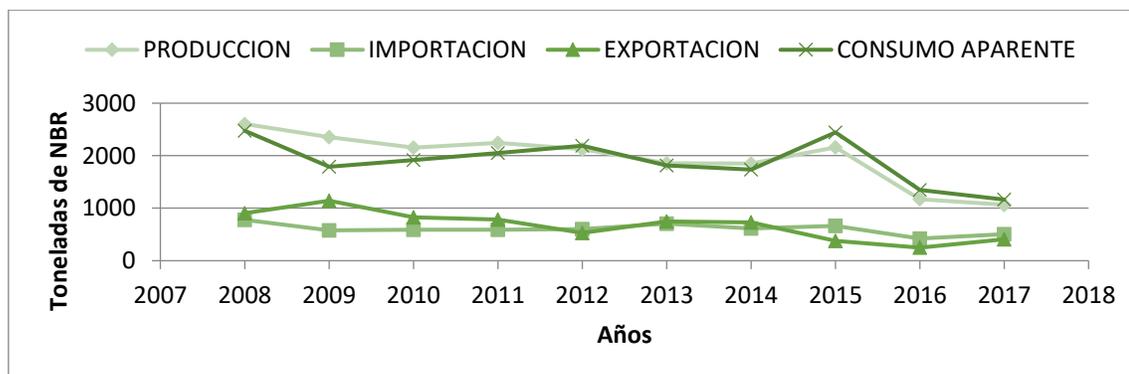


Figura 2-4: Producción, importación, exportación y consumo aparente de Caucho NBR en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario del IPA 2018

2.5.2.2. Resinas Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) en Argentina

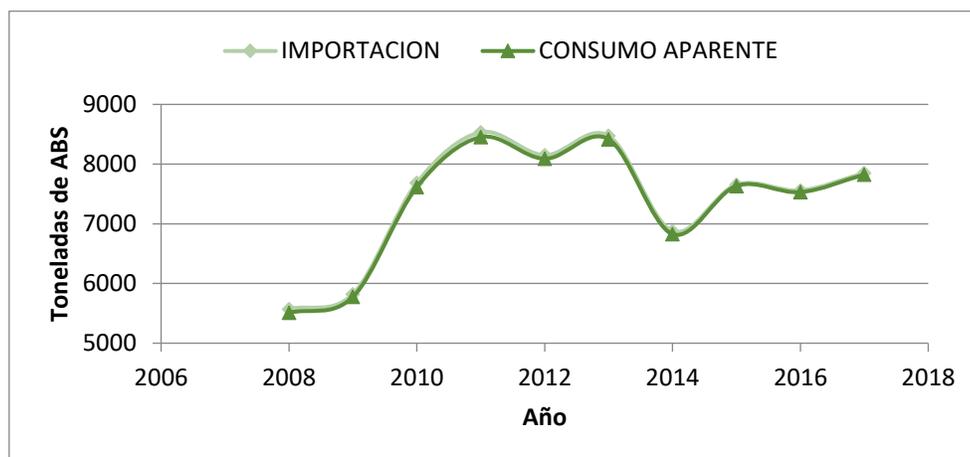


Figura 2-5: Importación y consumo aparente de ABS en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario del IPA 2018

En Argentina, actualmente no hay producción de resinas ABS, pero si se importan actualmente 7850 toneladas anuales por 2500 U\$D/tonelada.

Hoy en día todo lo que se importa es consumido, por eso las curvas se solapan en el rango de años estudiados, en la Figura 2-5. En el año 2011 y 2013, fueron los años de mayor importación y consumo, con 8500 toneladas aproximadamente en cada año. Luego de una disminución en el año 2014, hay una tendencia a aumentar y el valor del 2017 es de 7850 toneladas.

La estructura de mercado es la que se muestra en la Tabla 2-1, se usa para producir electrodomésticos, en la industria de la refrigeración y en la industria automotriz.

Tabla 2-1: Estructura del mercado del ABS - Fuente: Anuario del IPA 2018

ESTRUCTURA DEL MERCADO	
Electrodomésticos	45 %
Refrigeración	18 %
Automotores	12 %
Extrusión de láminas	10 %

Se exportan actualmente 25 toneladas anuales, ha habido una disminución en 2014, y la tendencia es a seguir haciéndolo. El comportamiento de las exportaciones, es similar a la importación y consumo. El costo de exportación es de aproximadamente 3500 U\$D por tonelada.

2.6. Mercado productor de AN

En Argentina no es producido, sino que se importa cómo se habló en el inciso 2.4 “Acrilonitrilo en Argentina” del presente proyecto.

Asia es el mayor productor de acrilonitrilo, con aproximadamente 1750 miles de toneladas al año, y cuya demanda supera los 2200. En el resto del mundo sobresalen los mercados norteamericanos y de Europa occidental, que combinados producen más de la mitad del acrilonitrilo mundial. El otro productor significativo es Japón, con una producción de alrededor de las 750 miles de toneladas por año. ^[10]

La demanda y producción del resto de mercados puede considerarse marginal al lado de estos cuatro grandes, tal y como se puede observar en la Figura 2-6:

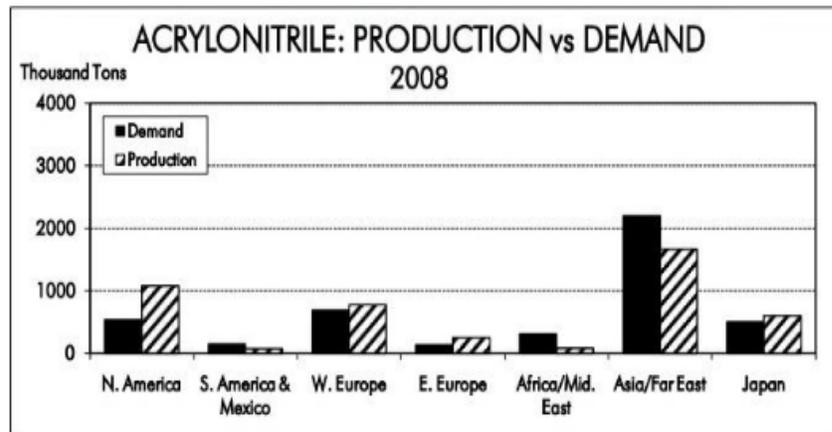


Figura 2-6: Producción vs Demanda de AN según cada país en 2008 - Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería de España

Hay que tener en cuenta que estos datos referencian al año 2008, época en que hubo un receso económico y en ese año la demanda sufrió una reducción, y, por tanto, también la producción. Sin embargo, cabe esperar que las relaciones entre los diferentes mercados se mantengan relativamente estables en los siguientes años, pero en aumento.

2.6.1. Compañías líderes del mercado mundial

El mercado del Acrilonitrilo es competitivo y tiene presencia en varias regiones del mundo con producción masiva, pero también existen empresas de menor tamaño que son significantes en el sector.

Algunas de las empresas productoras son:

- Ineos
- Ascend performance Materials
- Cornerstone
- Unigel
- AnQore

- Saratovorgsintez Saratov
- Repsol Chemicals
- Petkim
- Taekwang Industrial
- Formosa Plastics
- Shanghai Secco Petrochemical
- CPDC
- Anqing Petrochemical
- Asahi Kasei
- Jilin Petrochemical Company
- Wanda Petrochemical
- Shandong Qilu Petrochemical Qitai Petrochemical
- Reliance Industries

Los principales productores son Ineos que es una empresa multinacional británica, con dos plantas en Estados Unidos, una en Alemania y otra en Gran Bretaña, Ascend Performance Materials que es una empresa americana, AnQore es una industria localizada en los Países Bajos, Asahi Kasei es una empresa química japonesa global y Jilin Petrochemical Company o Jilin Xingyun Chemical Co que produce AN en China. ^[11]

2.6.2. Producción de acrilonitrilo en Latinoamérica

Hoy en día existen muchas posibilidades para el desarrollo de la industria petroquímica en Latinoamérica, pero existen algunas debilidades, como la evolución de los costos, la necesidad de ampliar la oferta y la irrupción del shale gas norteamericano.

Por la abundancia de shale gas en esta región, Latinoamérica es un mercado atractivo para la inversión petroquímica, ya que tiene una demanda creciente, una oferta insuficiente y la ventaja comparativa del shale gas. Se considera que el mayor problema, es normativo, y a la vista está, que hay varios de los proyectos productivos anunciados en los últimos tiempos que han sido cancelados por cuestiones políticas, mientras que otros se han pospuesto o aún siguen en estudio.

Brasil, es el país latinoamericano con mayor desarrollo en la industria petroquímica, seguido por México y Argentina.

En Brasil, el sector químico es tan importante, que domina la producción local con un 55% en las ventas netas, a pesar de sufrir déficits importantes y de tener costos altos en el upstream para obtener materias primas. Pero si hay una buena infraestructura, logística y capacitación técnica. ^[12]

Según el anuario de la Asociación Petroquímica y Química Latinoamericana (APLA) del año 2018, Brasil es el único productor de AN en Latinoamérica, la empresa que lo produce es UNIGEL. ^[13]

UNIGEL es líder en producción de acrílicos y estirenos, a través de sus filiales se dedica a la producción de acrilonitrilo, metacrilato de metilo y sulfato de amonio. También fabrica resinas acrílicas y de policarbonato y películas de policarbonato, es un importante productor de placas de acrílico colado.

La capacidad de la planta ubicada en Camacari, Brasil, es de 100000 toneladas anuales. En la Figura 2-7 se ha graficado la variación de la producción, exportación y consumo aparente del AN en Brasil. La producción ha disminuido de 94500 toneladas en el año 2010 a 74000 toneladas que se han mantenido en los años posteriores que fueron parte del estudio.

El consumo aparente ha sido tal, que ha permitido exportar hasta el año 2012. En el consumo aparente se ve una tendencia a disminuir, el mayor valor se vio en el año 2007 con un consumo de 51241 toneladas y ha llegado al valor de 37000 en el año 2012.

Las exportaciones, tienen un comportamiento similar a la producción, el máximo monto exportado fue de 57990 toneladas en 2010, en 2012 la cantidad exportada fue menor, de 51454 toneladas.



Figura 2-7: Variación de la producción, consumo aparente y exportación de AN en Brasil - Fuente: APLA 2014

Existe una planta en México, que produce acrilonitrilo con una capacidad de producción de 100000 toneladas anuales. Actualmente, está cerrada ya que el acuerdo era que Pemex (Petróleos Mexicanos) produjera el propileno en sus refinerías, y hoy en día no están operando eficientemente, por lo tanto, no hay suficiente propileno disponible.

Existen posibilidades de inversión en refinerías mexicanas, y si así fuera, se podrían volver a obtener las cantidades necesarias de propileno para producir acrilonitrilo, pero es un proceso muy lento.

Además, existen posibilidades de que México importe la materia prima de Estados Unidos, ya que no solo obtienen propileno a partir del cracking, sino que también están invirtiendo en plantas de deshidratación de propano.^[14]

2.7. Comparación entre producción, capacidad instalada y nivel de operación

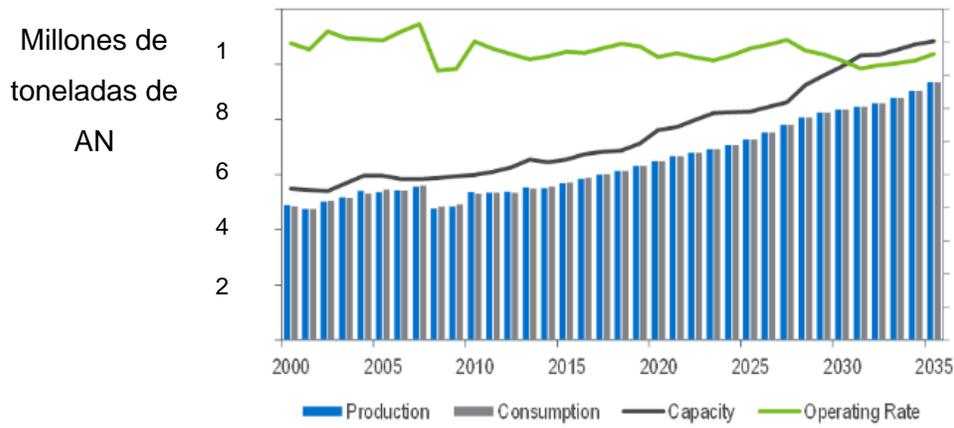


Figura 2-8: Producción, consumo, capacidad instalada y de operación mundial de AN- Fuente: Nexant

En la Figura 2-8, se puede comparar la producción, capacidad instalada, y nivel de operación desde el año 2000, con una proyección hacia el 2035.

La producción global en 2015 fue aproximadamente del 82.55% de la capacidad instalada según un boletín de Market Watch, lo cual también puede observarse en el gráfico, por eso la tasa de operación se ha mantenido en valores altos. ^[15]

Existe una gran diferencia entre la capacidad instalada y la demanda mundial, lo que lleva a tener altos costos por la capacidad ociosa.

Como se vio en el inciso 2.6. Mercado productor de AN, la producción y la demanda han mantenido una relación estable, que ha ido aumentando y las proyecciones indican que lo seguirán haciendo.

2.8. Precios y costos

Los costos productivos del Acrilonitrilo, están directamente afectados por los costos de la materia prima en el upstream, que en Argentina son muy altos.

Las empresas productoras de este monómero, trabajan en la reducción de costos, desarrollando nuevos procesos productivos. Se considera una industria en aumento ya que el consumo está aumentando.

En los últimos cinco años, el precio ha ido disminuyendo según el desarrollo económico y la competencia internacional, y también lo ha hecho el margen bruto.

Se espera que el mercado global aumente en un 2,2% en los próximos 5 años y que se alcancen 12400 millones de U\$D en 2024 de los 10900 millones de U\$D que se esperan en 2019.

Estos valores fueron tomados de un reporte hecho por GIR (Global Info Research). Como se ha hablado anteriormente, el mercado global está enfocado en Norte América, Europa, Asia-Pacífico, Sudamérica, Medio Oriente y África. ^[16]

2.8.1. Costos de importación de AN en Argentina

Según el Anuario del IPA, edición 2018, los costos de importación del AN han tenido un comportamiento oscilatorio. En el año 2011 el costo de importación fue el mayor, de 2584 U\$/t, y el mínimo fue en 2009 a 1251 U\$/t la tonelada. La tendencia en el último año ha sido de aumento.

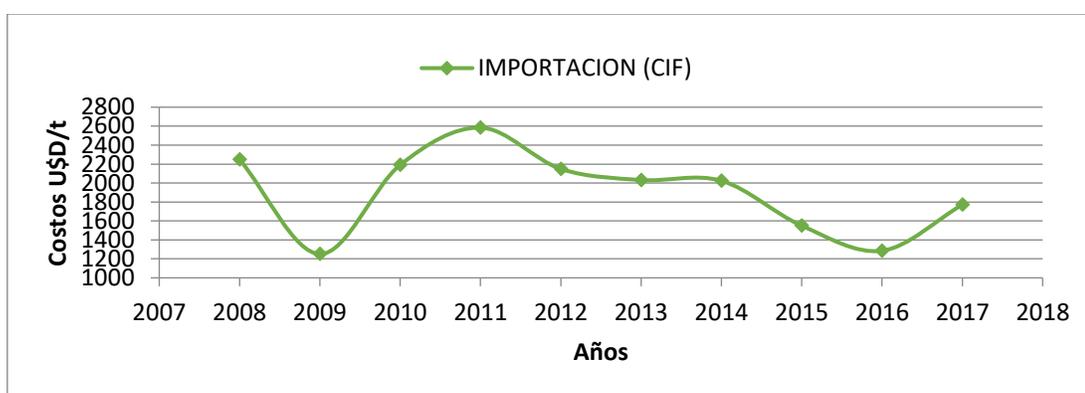


Figura 2-9: Costos de importación de AN en Argentina - Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario del IPA 2018 ^[3]

2.9. Mercado proveedor de materias primas

En la industria petroquímica es importante analizar el aprovisionamiento de materia prima (petróleo y gas), porque es una condición que va más allá de esta cadena de valor, pero resulta significativo señalarlo ya que sus oportunidades de desarrollo dependen fuertemente de que se garantice un flujo continuo de abastecimiento de hidrocarburos en el corto, mediano y largo plazo.

A partir de un escenario de seguridad y previsibilidad en el abastecimiento de materias primas, es esperable que aparezcan oportunidades de inversión en varios segmentos de esta industria, en particular en aquellos materiales que presentan mayor crecimiento en los niveles de consumo, entre ellos propileno.

2.9.1. Propileno

En la producción de acrilonitrilo una de las materias primas es el propileno, y por lo tanto su disponibilidad es un factor importante a tener en cuenta a la hora de determinar la capacidad de producción de una planta.

El propileno se obtiene artificialmente de cortes de hidrocarburos usando diferentes metodologías:

- Desdoblamiento de moléculas de hidrocarburos de grandes pesos moleculares. Esta es la forma de obtención en nuestro país.
- Haciendo reaccionar en forma reversible el etileno y el buteno, donde los dobles enlaces se rompen y reformulan para dar el propileno.
- Mediante un proceso de deshidrogenación (pérdida de hidrógeno) del propano.
- A partir del metanol, haciéndolo circular por un catalizador de zeolita, el cual promueve su deshidratación y conduce a la formación de etileno y propileno.

2.9.1.1. Producción nacional de propileno

Este producto petroquímico básico puede ser utilizado para obtener caucho etileno-propileno, óxido de propileno y polipropileno.

Del total del propileno producido en el país, más del 90% es destinado a la industria petroquímica, principalmente a la producción de polipropileno.

En cuanto a la producción del caucho EPDM y el óxido de propileno, en nuestro país ambos se importan por lo tanto no se utiliza la materia prima para obtenerlos.

En la siguiente tabla se podrá analizar la variación en la producción de propileno en el país, la cual ha variado muy poco en los últimos cuatro años. Se puede ver claramente cómo este producto se utiliza principalmente en la industria petroquímica y menos como combustible.

Tabla 2-2: Propileno, producción y destino (t) – Fuente: IPA 2018 ^[3]

	2013	2014	2015	2016	2017
Producción en refinerías	284.322	278.838	292.059	288.805	282.630
Producción en petroquímicas	45.595	37.154	36.912	46.649	41.544
Producción total	329.917	315.992	328.971	335.454	324.174
Importación	3.000	-	-	-	-
Consumo petroquímico	282.274	276.331	317.463	310.629	304.637
Usos como combustible y otros destinos	50 643	39 961	11 507	24 826	19.537

Los números mostrados en la tabla anterior se refieren a las industrias productoras de propileno en el país, que son las siguientes:

- Pan American Energy – Campana, Buenos Aires.
- Pampa Energía S.A. – Pto. Gral. San Martín – Santa Fe.
- YPF S.A. – Ensenada, Buenos Aires.
Luján de Cuyo, Mendoza.

Otra fuente potencial en Argentina de propileno son algunas materias primas petroquímicas que son exportadas y podrían transformarse a través de procesos químicos en este alqueno. Los ejemplos más importantes de estos productos son propano, butano, gasolinas, nafta virgen, etc.

Tabla 2-3: Potencial de etileno y propileno en las materias primas que se exportan. Año 2017 - Fuente: Anuario IPA 2018 ^[3]

Materias primas exportadas	Exportación (toneladas)	Etileno (toneladas)	Propileno (toneladas)
Propano	519.047		
Butano	363.283		
Gasolinas	281.600		
Nafta Virgen	234.809		
Potencial		538.791	223.574
Otros cortes de nafta ⁽¹⁾	242.027		
Gasolinas y condensados Cuenca Austral ⁽²⁾	314.492		
Potencial		728.956	396.719

⁽¹⁾ Se asume que el 50% sería apto para petroquímica
⁽²⁾ El grueso de esta producción se exporta por Punta Loyola mezclada con petróleo

2.9.1.2. Propileno en América

A nivel mundial existe una gran cantidad de productores de propileno que son potenciales proveedores de esta materia prima para la industria. Sin embargo, por cuestiones principalmente de transporte es más factible obtenerlo de plantas que se encuentren dentro de América Latina.

En esta región los países con polos petroquímicos son: Brasil, México, Venezuela, Colombia, Trinidad y Tobago, y Chile.



Figura 2-10: Mapa de Polos Petroquímicos en América Latina – Fuente: Petroquímica: insumo para otras industrias – Alfredo Friedlander.

En la Tabla 2–4 a continuación se presentan las principales productoras de propileno en los distintos países de América Latina.

Tabla 2-4: Propileno en América Latina – Fuente: APLA 2019 [13]

País	Empresa Productora	Ubicación de la Planta	Capacidad (M t/a)	Producción año 2017 (M t/a)
Brasil	BRASKEM S.A.	BA/RJ/RS/SP	1585	1400
	PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.	BA/RJ/SP	950	
Chile	ENAP REFINERIAS S.A.	Huaipén - VIII Región	130	i.n.d.
Colombia	ECOPETROL S.A.	Barranca/Cartajena	140	i.n.d.
México	PEMEX S.A.	Morelos - Veracruz	690	170
Venezuela	PEQUIVEN S.A.	El Tablazo – Edo.Zulia	260	196
	PROFALCA C.A.	Cardón – Edo. Falcón	160	

Dentro de América Latina, considerando factores como distancia y capacidad de producción, Brasil es un factible proveedor de propileno, ya que este país cuenta con grandes plantas y cuya capacidad instalada en todo el país es de 1,7 millones de toneladas de propileno al año.

En el caso de México, este país está decayendo en cuanto a la eficiencia de sus refinerías, produciendo al 30% de su capacidad, lo que significa una deficiencia de propileno en este país.

Otro productor importante es EEUU, no sólo obtienen propileno por craqueo, sino que también están realizando la deshidratación de propano. [17], [18] y [19]

2.9.2. Amoníaco

La otra materia prima necesaria para producir acrilonitrilo es un producto petroquímico básico cuya disponibilidad también debe ser analizada a la hora de realizar los cálculos para este proyecto.

A nivel industrial se obtiene haciendo reaccionar nitrógeno e hidrógeno, ambos en estado gaseoso, los cuales pasan por un largo y minucioso proceso, conocido como Haber-Bosch. Una vez obtenido se comercializa en forma líquida por las industrias, constituyendo un negocio considerablemente rentable, ya que se produce en grandes cantidades y se distribuye para la preparación de fertilizantes, en refrigeración, industria del papel, alimenticia y en productos de limpieza a nivel doméstico, especialmente como eliminadores de grasa y desmanchadores.

El nitrógeno se obtiene del aire y el hidrógeno se obtiene del hidrocarburo, por lo general gas natural, haciéndolo reaccionar con agua. El proceso de reacción ocurre a altas presiones y temperaturas, entre 350 y 550°C y 140 a 320 atm, en un reactor de síntesis, utilizando un catalizador de hierro, níquel, aluminio, entre otros. Es un proceso con bajo rendimiento, del 20%, pero gracias a la recirculación de los gases, a su temperatura de reacción y a los últimos avances en convertidores y lechos de reacción alcanzan rendimientos superiores.

2.9.2.1. Producción nacional de amoníaco

En Argentina el amoníaco se produce a partir de gas natural en tres localidades:

- Fábrica Militar Río Tercero - Río Tercero, Córdoba.
Capacidad Instalada (t/a): 12.000. Proceso STEC. No produce (2007).
- Bunge Argentina S.A. – Campana, Bs. As.
Capacidad Instalada (t/a): 115.000. Proceso Chemico.
- Profértil S.A. – Bahía Blanca, Bs. As.
Capacidad Instalada (t/a): 785.880. Proceso Haldor Topsoe.

Una vez obtenido el producto final se destina mayoritariamente a la producción de urea, en el polo petroquímico de Bahía Blanca. La estructura del mercado local se divide en un 96% para urea y un 4% para usos varios como fertilizante, refrigeración e industria química, entre ellos ácido nítrico, sulfato de amonio y tiosulfato de amonio.

En la actualidad la empresa Austin Powder Argentina S.A. se encuentra en la ejecución de un proyecto para producir nitrato de amonio a partir de amoníaco y ácido nítrico. Está ubicada en la ciudad de El Galpón, en la provincia de Salta y se encuentra finalizando el proceso de construcción de la planta cuya capacidad instalada será de 59.000 t/a. Como la misma no está en producción al momento del análisis de la producción de acrilonitrilo no se considerará su posible consumo de amoníaco.

Seguidamente, se muestra una tabla con los datos de producción, importación y exportación de amoníaco en el país, en ella podemos destacar que hay un porcentaje de amoníaco que no es utilizado, sino que se exporta a otros países. Es esa cantidad la que podría ser utilizada para la obtención de acrilonitrilo.

Tabla 2-5: Amoníaco: producción, importación y exportación en Argentina (t) – Fuente: IPA 2018 ^[3]

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Producción	758.699	757.297	734.205	639.848	608.529	740.893	856.961
Importación	860	222	2	1	23	2	1
Exportación	54.188	36.400	45.293	28.095	34.005	382	16.692
Consumo aparente	705.371	721.119	688.914	611.754	574.547	740.513	840.270
Valor comercio exterior - Importación U\$/t	724	1.137	-	-	-	-	-
Valor comercio exterior - Exportación U\$/t	503	573	465	555	417	-	247

2.9.2.2. Amoníaco en América Latina

Este compuesto es ampliamente producido y comercializado en la región latinoamericana, como podremos ver a continuación en la tabla:

Tabla 2-6: Productores de amoníaco en América Latina – Fuente: APLA 2019 ^[13]

País	Empresa Productora	Ubicación de la Planta	Capacidad (M t/a)	Producción año 2017 (M t/a)
Brasil	PETROBRAS – FAFEN (BA)	Camacari - CA	495	961
	UFN III (Finalizando etapa constructiva)	Tres Lagoas, Brasil	761	
	PETROBRAS – FAFEN (SE)	Laranjeiras, Brasil	456	
	PETROBRAS – FAFEN (PR)	Araucaria, Brasil	475	
	CIA, SIDERURGICA NACIONAL	Volta Redonda - RJ	6	
	GERDAU ACOMINAS S.A.	Ouro Branco - MG	5,4	
	VALE FERTILIZANTES	SP	209	
Colombia	ABOCOL	Mamonal - Cartajena	117	i.n.d.
México	PEMEX PETROQUÍMICA S.A.	Cosoleacaque - Veracruz	2212	451
Venezuela	PEQUIVEN S.A.	El Tablazo – Edo.Zulia	300	813
	PEQUIVEN S.A.	Morón – Edo. Carabobo	630	
	FERTINITRO	José – Edo. Anzóategui	1200	

Además de estos países latinoamericanos, también es importante incluir a Trinidad y Tobago, debido a su importante producción de amoníaco, como podremos ver en la tabla a continuación, brindada por el Ministerio de Energía e Industrias Energéticas del Gobierno de la República de Trinidad y Tobago. ^[20]

Tabla 2-7: Capacidad Instalada para producción de amoníaco en Trinidad y Tobago. Fuente: Ministerio de Energía e Industrias Energéticas de TT.

	Zona	Capacidad Instalada M t/a
TRINGEN I, II y YARA TRINIDAD LIMITED	Trinidad	1280
PCS	Point Lisas, Trinidad	1800
POINT LISAS TRINIDAD NITROGEN, CARIBBEAN NITROGEN COMPANY, N2K y AUM.	Point Lisas, Trinidad	2600

Esta información acerca del mercado externo a nuestro país, nos permite ampliar el panorama productivo, debido a que en el caso en que nuestra industria deba producir más de la cantidad disponible de materias primas en el país para ser rentable, se pueda comprar al exterior. ^{[21], [22] y [23]}

3. LOCALIZACIÓN

La planta de producción de acrilonitrilo deberá ser situada tan cercana al mercado productor de materias primas como sea posible, y a su vez debe analizarse la demanda del mercado consumidor a nivel local. En el desarrollo de este capítulo se realizará un estudio de las alternativas dando distintas valoraciones y ponderaciones a los factores relevantes, objetiva y subjetivamente, para finalmente lograr la mejor localización para llevar a cabo este proyecto.

Ha de tenerse en cuenta que la localización de la planta debe ser catalogado como un factor fundamental para la optimización de utilidades. El punto geográfico donde se vaya a emplazar la empresa, en una determinada localidad, municipio, zona o región es una decisión estratégica, dado que una mala decisión puede alterar notablemente el rendimiento del mismo, como así también a la inserción del producto al mercado. La decisión dependerá de diversas variables que pueden favorecer o perjudicar la actividad económica presente y futura de la empresa.

A la hora de la elección, en la locación concreta de la edificación, se deberá tener en cuenta la superficie, su distribución en planta, su costo y forma de adquisición (alquiler, compra, etc.), la reglamentación que puede afectarle, así como un eventual crecimiento de la empresa, planificado o no.

Con el análisis de este capítulo se logrará determinar la localización de la planta, teniendo en cuenta dos aspectos muy importantes que son los costos y los ingresos, con el objetivo principal de minimizar los primeros y maximizar los últimos.

3.1. Herramientas de Selección

En el estudio de localización del proyecto, se toman en cuenta dos aspectos la macro y la micro localización, pero a su vez se deben analizar otros factores que de alguna manera influyen en la inversión de un determinado proyecto.

Por esto es necesario realizar un estudio detallado de algunos factores, entre los que destacan:

- La proximidad al mercado y a los clientes, la distancia a las áreas de influencia.
- Dotación de servicios de la zona, como suministro de agua, vapor, luz, teléfono, entre otros servicios utilizados para la producción, así como de la infraestructura necesaria para el tipo de empresa que se vaya a colocar.
- Las posibilidades de acceso a las materias primas y compradores, cercanía de los proveedores. Este factor facilita y reduce los gastos de aprovisionamiento derivados del transporte.
- La tasa de desempleo, disponibilidad de mano de obra calificada, posibilidades de subcontratación, posibilidades de capacitación de personal y de desarrollo humano entre otros.
- Las ayudas económicas y fiscales, las subvenciones y los incentivos municipales.
- El comportamiento del mercado al ingresar una nueva competencia y las estrategias de negocios desarrolladas por los establecimientos de la zona.

El principal objetivo que persigue la localización de un proyecto es minimizar los costos de logística y optimizar la celeridad en la respuesta del servicio. Este análisis es de suma importancia

y arroja consecuencias considerables a mediano y largo plazo, ya que una vez emplazada la empresa, no es sencillo cambiar la localización.

Teóricamente, las alternativas de localización de un proyecto son infinitas. Pero en realidad, el ámbito de elección no es tan amplio, pues las restricciones propias del proyecto descartan muchas de ellas.

Primeramente, se considera localizar la planta dentro de Argentina, el objetivo fundamental de este emplazamiento es crear una nueva industria para abastecer al mercado consumidor interno, promover la creación y desarrollo de un emprendimiento sustentable que contribuya a la generación de valor económico, social y ambiental para la comunidad.

Esta decisión se ve fundamentada y apoyada por la disponibilidad de materia prima en cantidades y calidades necesarias.

La mayor concentración industrial se presenta en el eje industrial San Lorenzo-La Plata o Frente fluvial pampeano, que es una aglomeración urbana e industrial que se localiza en la franja costera del Río Paraná y del Río de la Plata, entre las ciudades de San Lorenzo y La Plata, en la Argentina.

Los asentamientos industriales en el país responden a una política de desarrollo de determinadas áreas del territorio, para lo cual se han implementado numerosas medidas para favorecer su instalación; surgen así los parques industriales que, al estar dotados de infraestructura, servicios y urbanización, han facilitado la radicación de pequeñas y medianas empresas.

3.2. Macrolocalización

La localización de una empresa es una decisión que debe estar fundamentada y no tomada a la ligera debido a que puede determinar el éxito o fracaso de un negocio. Es por ello que la ubicación del proyecto obedecerá no solo a criterios económicos, sino también a criterios estratégicos, institucionales, e incluso, de preferencias emocionales. ^[24]

Teniendo en cuenta estos criterios se busca determinar aquella localización que maximice la rentabilidad del proyecto.

Los factores que influyen comúnmente en la decisión de la localización de un proyecto, se analizan en este apartado:

- Medios y Costos de Transporte.
- Disponibilidad y Costo de Mano de Obra.
- Cercanía de las Fuentes de Abastecimiento de materias primas e insumos.
- Factores Ambientales.
- Cercanía del Mercado.
- Costo y Disponibilidad de Terrenos.
- Topografía de suelos.
- Estructura impositiva y legal.
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros.
- Comunicaciones.
- Posibilidad de desprenderse de desechos.

Existen además una serie de factores no relacionados con el proceso productivo, pero que condicionan la localización, a este respecto se puede señalar tres factores denominados genéricamente ambientales:

- La disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de apoyo.
- Las condiciones sociales y culturales.
- Las consideraciones legales y políticas.

La mayoría de las nuevas industrias se establecen dentro de un área industrial, por las ventajas que trae aparejadas esta elección.

Un área industrial es un agrupamiento físico de empresas en un espacio determinado. Según las características, funciones u objetivos existen diferentes tipos de aglomerados. Entre los más conocidos se encuentran los complejos, polos, parques, zonas y áreas industriales.

- Zona Industrial: es un simple espacio reservado para la industria. Suele ser creado por ordenanza municipal motivado por criterios urbanísticos. Sus beneficios generalmente se vinculan con su situación respecto al transporte y del precio del terreno dentro de esta zona.
- Área Industrial: es un terreno mejorado, dividido en parcelas con miras a la instalación de industrias y que se ofrece a la venta o alquiler. Sus beneficios, además de los anteriores, se vinculan a la posibilidad de aprovechamiento de economías de escala en la formación de infraestructura.
- Parque Industrial: es un terreno urbanizado y subdividido en parcelas, conforme a un plan general, dotado de infraestructura – carreteras, medios de transporte, etc.- y servicios públicos, que puede contar o no con fábricas construidas (por adelantado) y con servicios e instalaciones comunes necesarios para el establecimiento de plantas industriales.

Preferentemente, el emprendimiento se localizará en alguno de los parques industriales, debido a las ventajas que presentan. Esto se refiere a infraestructura, seguridad y beneficios impositivos. Estos parques se encargan de organizar la infraestructura, los servicios, la circulación, el cuidado del medio ambiente y facilitan la operatoria diaria de las empresas. Al estar en una misma área predeterminada hay un ahorro muy importante en la inversión de la infraestructura base. Los cercos perimetrales, así como los procedimientos comunes de controles de accesos y de circulación interna facilitan la seguridad física.

Los beneficios pueden dividirse en cuatro grandes ramas: fiscales, jurídicos, ambientales y de seguridad.

Entre los incentivos que tiene un parque industrial se encuentra:

- Subvenciones de capital.
- Sistemas de crédito a largo y corto plazo y planes de locación – compra.
- Exoneración de impuestos.
- Terrenos de bajo costo.
- Tarifas de agua y electricidad subvencionadas.
- Subvención de fletes.
- Pago de los gastos de traslado.
- Simplificación de procedimiento.
- Uso de instalaciones y servicios de producción comunes.
- Suministro garantizado de materias primas y materiales intermedios.

En el territorio argentino, la provincia de Buenos Aires cuenta con la mayor oferta de suelo industrial en parques, con más de 3600 hectáreas disponibles - equivalente al 43 % del total del país-; seguida en magnitud por Entre Ríos y Mendoza, con 712 y 635 hectáreas, respectivamente, según el relevamiento realizado por el Centro de Estudios para la Producción (CEP).

Para fundamentar la localización más apropiada del proyecto se realizan distintos análisis como pueden ser el cualitativo por puntos o el método de factores ponderados o de Brown-Gibson, que tiene en cuenta tres factores: críticos, objetivos y subjetivos, como herramientas para el criterio de decisión. En este capítulo se analizará el primer método.

Los factores globales analizados para decidir la macrolocalización son:

- Medios y costos de transporte de materia prima.
- Medios y costos de transporte de productos terminados.
- Disponibilidad y costo de mano de obra.
- Disponibilidad y costo de materia prima.
- Costo y disponibilidad de terreno.
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros.

3.2.1. Factores a ponderar

3.2.1.1. Medios y costos de transporte

A fin de minimizar costos, es preferible ubicar la planta lo más cerca posible de los proveedores, dado que al tener dos materias primas tendremos dos proveedores en distintos lugares que hay que analizar cerca de cuál será más conveniente.

Además, las materias primas para la elaboración del producto deben ser transportadas en camiones de carga para productos gaseosos inflamables, por lo cual los costos de traslado son mayores que para un simple producto.

3.2.1.2. Disponibilidad de mano de obra

La mano de obra es un factor que no afecta a la localización de manera significativa, ya que las localizaciones analizadas cuentan con mano de obra calificada para desarrollar los trabajos requeridos y que, por medio de la Federación de Sindicatos de Trabajadores de Industrias Químicas y Petroquímicas de la República Argentina se fijan escalas salariales a nivel nacional, por lo que los costos de mano de obra son equivalentes en todo el país.

3.2.1.3. Disponibilidad y costo de materias primas

Un elemento vital para el proyecto es la disponibilidad de materias primas. Como se vio en el apartado de Herramientas de Selección, la provincia de Buenos Aires posee el mayor mercado proveedor de amoníaco y propileno debido a las refinerías e industrias que están posicionadas allí.

Podría también tenerse en cuenta la provincia de Córdoba para el amoníaco y la de Mendoza para el propileno, pero las cantidades disponibles son mucho menores.

3.2.1.4. Cercanía al mercado proveedor

Debido al volumen de materia prima necesario, la cercanía a los mercados es fundamental, teniendo en cuenta los costos de transporte principalmente, por lo que hay que definir quiénes serán los potenciales proveedores.

3.2.1.5. Cercanía al mercado consumidor

La empresa producirá Acrilonitrilo, el cual será vendido para su posterior utilización como materia prima para otros productos, en Argentina principalmente para el caucho NBR. Se analizará para el mercado nacional, aunque si luego se quisiese para proyectar a un mercado internacional debe tenerse una cercanía al puerto relativamente alta.

3.2.1.6. Disponibilidad de terrenos

La provincia de Buenos Aires cuenta con grandes áreas destinadas a emplazamientos industriales, y también con numerosos parques y zonas industriales en varias de sus jurisdicciones lo que ofrece una amplia posibilidad de elección, teniendo en cuenta la variabilidad en el costo de los mismos.

Otras provincias que la siguen en importancia de tamaño son Entre Ríos y Mendoza, pero serían localizaciones muy lejanas a los proveedores de materia primas, por lo cual serían costos adicionales de transporte.

3.2.1.7. Disponibilidad de Servicios

Los parques industriales proveen los servicios necesarios para el normal funcionamiento de una empresa, facilitando el desarrollo de la industria en la zona. Esto hace que, comparativamente, no haya diferencias significativas entre las distintas localizaciones a analizar.

3.2.2. Matriz de Ponderación

Este método de análisis consiste en definir los principales factores determinantes de una localización, para asignarle valores ponderados de peso relativo, de acuerdo con la importancia que se le atribuya al mismo. El peso relativo se hará sobre la base de una suma igual a 1 y será dependiente del criterio.

El objetivo del estudio no es buscar una localización óptima sino una o varias localizaciones aceptables. En cualquier caso, otros factores más subjetivos, como pueden ser las propias preferencias de la empresa a instalar determinarán la localización definitiva.

Primeramente, se determina una relación de los factores relevantes, se les asigna un peso a cada factor que refleje su importancia relativa y se fija una escala del 1 a 10 a cada uno de ellos. Se

evalúa cada localización para cada factor y se multiplica la puntuación por los pesos para cada factor para así obtener el total para cada localización. El proceso finaliza comparando las opciones y recomendando la de mayor puntuación.

Tabla 3-1: Método de factores ponderados – Fuente: Elaboración propia

Factores	Peso relativo	Buenos Aires		Mendoza		Entre Ríos	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Superficie disponible	0,1	10	1	7	0,7	8	0,8
Disponibilidad de servicios	0,1	9	0,9	8	0,8	8	0,8
Mano de obra disponible	0,1	9	0,9	8	0,8	6	0,6
Beneficios Promocionales	0,1	8	0,8	7	0,7	7	0,7
Cercanía al mercado proveedor	0,2	10	2	6	1,2	8	1,6
Proximidad a los competidores	0,07	1	0,07	1	0,07	1	0,07
Cercanía al mercado consumidor	0,16	10	1,6	6	0,96	7	1,12
Estructura impositiva y legal	0,07	9	0,63	9	0,63	8	0,56
Cercanía al puerto	0,1	10	1	5	0,5	7	0,7
Total	1	8,9		6,36		6,95	

3.2.2.1. Ponderación de los factores

- Superficie disponible: se le da un peso relativo de 0,1 debido a que debe tenerse en cuenta una posible ampliación, ya sea por variación en la cantidad y la variedad producida.
- Disponibilidad de servicios: es un factor muy importante, dado que sin ellos llevar a cabo el proyecto se dificulta debido a la necesidad de realizar una inversión mayor en la instalación de los mismos.

- Mano de obra disponible: como los anteriores factores tiene un valor importante, ya que es necesaria la presencia de personal calificado para llevar a cabo ciertas tareas, en la mayoría de los casos.
- Beneficios promocionales: tiene un alto grado de ponderación dado que influye de manera directa a la utilidad del proyecto planteado.
- Cercanía al mercado proveedor: es uno de los factores más importantes a tener en cuenta dado que influye en los costos y tiempos de aprovisionamiento, teniendo en cuenta el transporte necesario.
- Proximidad a los competidores: este factor no es de los más relevantes, se le ha asignado una calificación de 0,07 debido a que no existe un mercado competidor de AN en el país.
- Cercanía al mercado consumidor: se asemeja mucho a la cercanía al mercado proveedor, dado que influye en los costos de transporte y además en el tiempo de entrega.
- Estructura legal: es necesario tenerse en cuenta este factor para llevar a cabo cualquier proyecto.
- Cercanía al puerto: muy necesario en caso de un crecimiento en la producción y los objetivos de la empresa.

3.2.3. Conclusión

A partir del análisis realizado, se concluye que el lugar de preferencia para llevar a cabo el proyecto es la provincia de Buenos Aires, destacándose por la cercanía al mercado proveedor y consumidor, del terreno disponible, y por la disponibilidad de servicios y estructura legal.

3.3. Microlocalización

La localización específica del proyecto, se determina al igual que la macrolocalización, por medio del “método de factores ponderados”.

La provincia seleccionada desde el análisis macro es Buenos Aires por lo que en esta sección del capítulo se examinarán los parques industriales potenciales de dicha provincia para definir la microlocalización de la industria en cuestión.

La provisión de materia prima dependerá de Profétil S.A. y del etano, propano, butano y gasolina natural que se obtiene en COMPAÑÍA MEGA S.A., en base a esto se analizará la localización óptima. Se tendrán en cuenta dos sitios, uno de ellos el polo petroquímico de Bahía Blanca y además otra refinería donde podrían obtenerse los parafínicos, como la de Campana.

3.3.1. Factores que influyen en la microlocalización

Los factores globales analizados para decidir la microlocalización son:

- Proximidad de materia prima.
- Disponibilidad de servicios.
- Disponibilidad de acceso de transporte.
- Costo y disponibilidad de terrenos.

- Costo de transporte.
- Infraestructura para tratamiento de efluentes.

3.3.1.1. Proximidad de materia prima

Este es un factor muy importante ya que, a mayor proximidad a los proveedores, menor será el costo de transporte. Como puede observarse, el costo de transporte de la materia prima depende de los kilómetros recorridos y de las propiedades de las sustancias a transportar, por lo que la cercanía de los proveedores, es una ventaja importante.

Teniendo en cuenta esto, se analizarán dos posibles microlocalizaciones: el Polo Bahía Blanca y el Área Campana - San Nicolás.

3.3.1.2. Campana

La refinería de Campana es propiedad de Axion Energy S.A., ésta se encuentra en el partido de Campana, en Avenida Emilio Mitre 574, a orillas del Río Paraná. Sus comienzos fueron por el año 1911, y luego de diversas transformaciones se llegó a lo que es hoy.

La dirección es Au. Ruta Nacional 9 km 70.4, 2804 Campana, Buenos Aires. ^[25]

Campana es una ciudad, cabecera del partido homónimo, situada al nordeste de la provincia de Buenos Aires. La misma es netamente industrial ubicada a orillas del río Paraná de las Palmas y sobre la intersección de la Ruta Nacional 9 y la Ruta Provincial 6. Se ubica a 75 km de la ciudad de Buenos Aires y tiene contactos de transporte por medio de la autopista Panamericana y la red troncal del ferrocarril General Bartolomé Mitre. Al limitar con el Río Paraná, posee un puerto propio (Puerto de Campana), el cual está conformado por una serie de muelles y terminales independientes, situados todos en la margen derecha del río, aproximadamente en el kilómetro 67. De acuerdo al censo nacional de 2010, Campana cuenta con un total de 86.860 habitantes, lo que indica un marcado crecimiento poblacional en la zona.

3.3.1.2.1. Bahía Blanca

Bahía Blanca es una ciudad de Argentina, cabecera del partido homónimo, en el sur de la provincia de Buenos Aires. Está ubicada en la región pampeana, a poca distancia del límite con la región patagónica. Cuenta con un puerto comercial de aguas profundas sobre el mar argentino.

El Polo Petroquímico de Bahía Blanca, constituye una cadena productiva integrada. Pueden identificarse varios eslabones productivos, que conforman una red, ya que funcionan entre ellos y con otros sectores productivos.

Es el mayor centro petroquímico de la provincia, con una participación de un 58% de la producción provincial, mientras que, a nivel nacional, también participa fuertemente, dado que concentra un 45% de la producción del país. Actualmente, el Polo Petroquímico Bahía Blanca está compuesto por la Industria petrolera, la Industria petroquímica, y la Industria química.

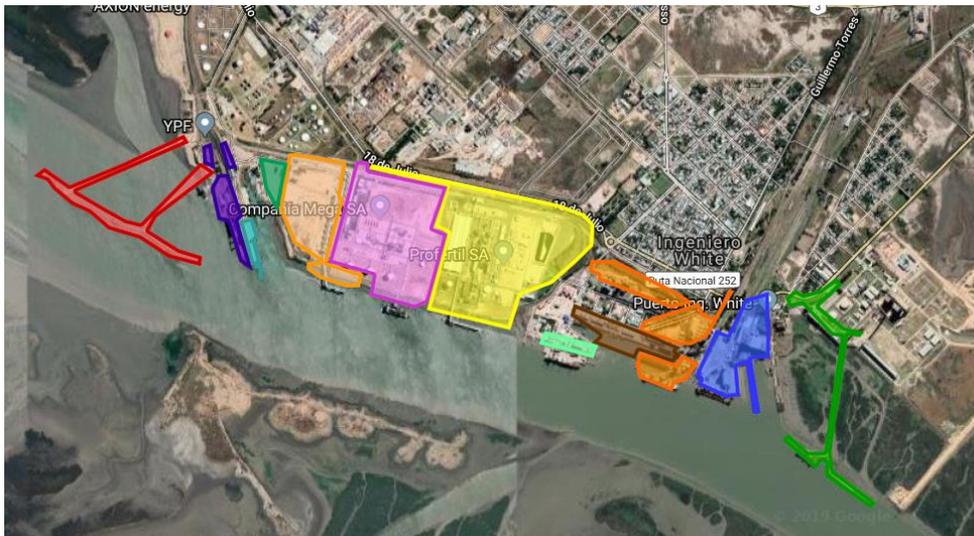


Figura 3-1: Mapa General Polo Bahía Blanca – Fuente: Puerto Bahía Blanca [26]

Tabla

Referencias Mapa General Polo Bahía Blanca - Fuente: Puerto Bahía Blanca. Consorcio de gestión del puerto de Bahía Blanca.

3-2:

Referencias	
 ADM Agro SRL	 Terminal 5, 6 y 7 Pto. Galván
 Terminal Bahía Blanca	 Posta para inflamables
 Cargill	 Oleaginosa Moreno Hermanos
 Cargill	 Oleaginosa Moreno Hermanos
 Cargill	 Oleaginosa Moreno Hermanos
 Profertil	 Muelle multipropósito
 Mega	 Zona Logística Loma Paraguaya
 Muelle Ministro Carranza	 Sub Zona Franca
 Dreyfus	

3.3.1.3. Disponibilidad de servicios

La empresa se localizará dentro de un área industrial, por lo tanto, existiría disponibilidad de servicios.

3.3.1.4. Disponibilidad de accesos de transporte

La instalación debe contar con espacio suficiente para permitir el desplazamiento de camiones y otros medios de transporte, que permitan el ingreso y la salida, evitando gastos innecesarios de logística. En el caso de las áreas industriales analizadas, se cuenta con accesos asfaltados, por lo que, en las peores condiciones, sólo hará falta una adaptación de los mismos.

3.3.1.5. Costo y disponibilidad de terrenos

Al analizar los costos se observa que, mientras más alejados se encuentren las áreas industriales de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires más económicos son los terrenos. Es necesario tener en cuenta que esto puede resultar negativo, ya que los sitios se alejan más del mercado proveedor y consumidor, lo que repercute en los costos de logística.

3.3.1.6. Costo de transporte

Los costos de transporte dependen de los kilómetros recorridos, por lo que al ponderar este factor se evalúa la distancia que separa la empresa de los mercados proveedor y consumidor.

3.3.2. Matriz de ponderación

Como se nombró anteriormente, las locaciones a tener en cuenta para el análisis serán las áreas industriales de Campana y Bahía Blanca.

Tabla 3-3: Método de factores ponderados – Fuente: Elaboración propia

Factores	Peso relativo porcentual	Área Campana		Polo Bahía Blanca	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Proximidad Materia Prima	0,2	4	0,8	10	2
Disponibilidad de Materia Prima	0,13	6	0,78	9	1,17
Disponibilidad de Servicios	0,13	10	1,3	10	1,3
Disponibilidad de Transporte	0,13	9	1,17	10	1,3
Costos y disponibilidad de Terreno	0,21	1	0,21	8	1,68
Costos de Transporte	0,1	2	0,2	9	0,9
Cercanía al puerto	0,1	10	1	10	1
Total	1		5,46		9,35

3.3.3. Descripción del sitio seleccionado

De acuerdo al método de factores ponderados, la localización óptima para la empresa sería la zona de Bahía Blanca, al sur de la provincia de Buenos Aires, ya que posee diversas ventajas comparativas para la localización del proyecto. La zona cuenta con un parque industrial muy amplio con todos los servicios necesarios y terrenos disponibles.

La zona portuaria está constituida por un conjunto de instalaciones diseminadas a lo largo de 25 km sobre la costa norte de la ría homónima. Su extensión va desde el Puerto Ingeniero White hasta el puerto Belgrano.

Dentro de la zona portuaria coexisten distintas entidades, nacionales y provinciales, cuya jurisdicción es preciso definir con el objeto de establecer las responsabilidades de cada una de ellas.

3.3.3.1. Facilidades Portuarias

Esta ubicación posee distintos muelles dependiendo la especialidad de los productos o materias a cargar o descargar, ya sea en Puerto Ing. White o Puerto Galván. Cuenta con distintos tipos de almacenajes, tales como silos, celdas, tanques, frigoríficos, plazoletas, entre otros. El equipo de manipuleo utilizado también es variado, y se elige dependiendo lo que va a transportarse, viéndose desde brazos mecánicos, hasta cintas transportadoras.

- En el Puerto de Ingeniero White podemos distinguir dos áreas diferenciadas en función del tipo de mercadería con las que operan: el área destinada a la carga de cereales y subproductos y el área destinada a la denominada mercadería general, dotada de amplias instalaciones de almacenaje y depósito.

Este sector, además de posibilitar el acceso de camiones hasta el pie de las embarcaciones, posee servicio ferroviario sobre el muelle propiamente dicho, lo cual permite el movimiento de la mercadería en forma directa, desde ambos medios de transporte. Como complemento de esta actividad, cuenta con una gran playa pavimentada para el almacenaje de mercadería o estacionamiento de camiones, ubicada en forma adyacente al sector de muelles, disponiendo asimismo de cuatro grúas eléctricas de pórtico y tres grúas móviles sobre neumáticos para el manipuleo de la mercadería.

Todos los muelles, tanto del sector cerealero como de carga general, poseen servicio de agua potable a buques y de agua contra incendio, conectados con sistemas de presurización por bombeo y cisternas de depósito.

Además de los muelles destinados a la operación comercial, el puerto cuenta con los sitios 1, 2, 3, 4, 21 y la dársena de embarcaciones de pesca costera, asignados a las embarcaciones de servicio del puerto: guardacostas, amarradores, prácticos, dragado y remolcadores.

- En Puerto Galván se encuentra la terminal especializada para el manejo de cereales y subproductos. También existe una zona destinada a mercaderías generales.

Con el fin de aislar las cargas peligrosas del resto de las instalaciones portuarias, se construyó en el extremo oeste de Puerto Galván la Posta para Inflamables, operada actualmente por la firma Tegral S.A. Está compuesta por dos sitios de atraque de similares características: El sitio N°1, destinado a la operación de combustibles líquidos por parte de las empresas

petroleras y soda cáustica producida por la firma INDUPA S.A., y el sitio N°2 asignado a la operación con productos gaseosos y petroquímicos por parte de las empresas del polo petroquímico Bahía Blanca y Transportadora de Gas del Sur. Ambos sitios están equipados con brazos cargadores de combustible que permiten operaciones más ágiles y seguras. Es importante mencionar, que en el espejo de agua situado entre el sitio N°1 y el viaducto de ingreso a la Posta de Inflamables, se encuentra emplazada una planta petroquímica flotante propiedad de la firma Polisur S.A., dedicada a la producción de polietileno de alta y baja densidad.

Todos los sitios del puerto cuentan con servicio de agua potable y de agua contra incendio, conectados a una red presurizada por bombeo y abastecida por depósitos que en conjunto permiten almacenar 1.050 m³.

- En Puerto Rosales existe un muelle continuo cuya principal actividad operativa la dan las lanchas y pontones de apoyo a las tareas de remolcadores en monoboyas de amarre, lanchas de pesca artesanal, de turismo y deportivas. Paralelamente y en época de veda de pesca el puerto trabaja en reparaciones de pesqueros, de media altura y de altura, poteros y de arrastre.

Entre las boyas del canal de acceso se encuentran instaladas dos monoboyas para el amarre de buques petroleros, están vinculadas a tierra por una cañería submarina que las conecta con un sistema de bombeo, parque de tanques y un oleoducto que lleva el producto hasta la ciudad de La Plata, principalmente.

Las boyas permiten la carga y descarga de combustibles líquidos y la operación de grandes buques-tanque debido a la profundidad del sector donde se encuentran.

- Puerto Belgrano constituye la principal base naval militar de la República Argentina y sus instalaciones portuarias conforman una gran dársena rodeada de varios muelles de frente de atraque. Desde el punto de vista comercial merecen destacarse los Diques Secos que permiten realizar reparaciones navales de envergadura, asistidos por talleres especializados en dicha actividad.

3.3.3.2. Leyes de Promoción Industrial

A fin de promover el desarrollo industrial y atraer inversiones productivas a la provincia de Buenos Aires, mediante la Ley N°13.656, se estableció un régimen promocional que les permite a las empresas radicadas en la provincia y comprendidas por sus alcances gozar de ciertos beneficios.

Los beneficiarios podrán solicitar una exención por un plazo de hasta 10 años de los siguientes impuestos:

- Ingresos Brutos
- Impuesto Inmobiliario
- Impuesto de Sellos;
- Impuesto a los Automotores

En el caso de Bahía Blanca por ser una de las ciudades con mayor industrialización, son 3 los años de exención, pudiendo pedir un aumento en años de un 50% si el proyecto es radicado en un parque industrial o sector industrial planificado. [27]

Además, en esta importante ciudad existe la Ordenanza Municipal N°7454/93 que exime del pago de las tasas por inspección de seguridad e higiene; alumbrado, barrido, limpieza y conservación de la vía pública; publicidad y propaganda; y toda otra tasa asimilable que se creare en el futuro, por el término de ocho años, a aquellas empresas que funcionen en el Parque Industrial de Bahía Blanca y que no se hayan acogido a los beneficios de la Ley Provincial de promoción industrial 10.547 u otros regímenes que las eximiera de las contribuciones municipales indicadas. También comprende la eximición del pago de la tasa por habilitación de comercios e industrias y de los derechos de construcción, tanto para la radicación y edificación inicial como para las ampliaciones que se realicen y habiliten con posterioridad.

3.3.3.3. Infraestructura

El complejo ofrece servicios básicos, los cuales serán nombrados a continuación:

- Drenaje Pluvial y Sanitario
- Pavimentación y señalización de calles internas
- Control de acceso, de Personas y Vehículos
- 1.400 metros de cloacas, 2.200 metros de calle con cordón cuneta, 2.500 metros de acueducto
- Alumbrado Público
- Espacios verdes
- Red de Gas
- Red Eléctrica
- Agua Potable
- Red Telefónica y Acceso a Internet

Además, cuenta con los siguientes servicios de apoyo:

- Incubadora de Empresas
- Asociación de Industriales
- Vigilancia Permanente
- Oficinas de Administración y de Negocios
- Mantenimiento de espacios comunes
- Cámaras de monitoreo
- Duchas y Baños Públicos

3.3.4. Conclusión

Según el análisis realizado el lugar de preferencia para llevar a cabo el proyecto es en el Parque Industrial de Bahía Blanca, destacándose en la cercanía de las materias primas, disponibilidad de territorio para emplazar el emprendimiento, facilidad de transporte y además la infraestructura que presta el parque.

4. TAMAÑO

4.1. Introducción

La importancia de definir el tamaño que tiene el proyecto se manifiesta principalmente en su incidencia sobre el nivel de inversiones, los costos que se calculen, y, por lo tanto, sobre la estimación de la rentabilidad que podría generar su implementación. Además, determina el nivel de operación.

Para este proyecto, el tamaño está dado por la capacidad instalada de producción de acrilonitrilo, expresada en términos de toneladas producidas por año.

La capacidad instalada es el volumen máximo de producción que se puede obtener con los recursos tales como dinero, equipos, personal e instalaciones disponibles en el proyecto.

La determinación del tamaño responde a un análisis interrelacionado de las siguientes variables: demanda, disponibilidad de insumos, localización y plan estratégico comercial de desarrollo futuro de la empresa que se crea con el proyecto, entre otras.

4.2. Factores que determinan el tamaño del proyecto

4.2.1. Financiamiento

La capacidad de financiamiento para desarrollar un proyecto, se está empleando con efectividad y éxito, como alternativa de financiamiento directo en una amplia gama de proyectos.

Las posibles fuentes de financiamiento para el proyecto en cuestión se detallan a continuación:

- Fuentes Internas: por capital propio, el cual es aportado al inicio por medio de los capitalistas y responsables del proyecto.
- Fuentes Externas: se obtienen fuera del proyecto, pueden obtenerse por medio del mercado de capitales, bancos, cooperación y desarrollo.
- Mercado de Capitales: ofreciendo participación en el negocio como acciones, obligaciones o bonos.
- Bancos e Instituciones de Fomento: a través de la banca se pueden obtener créditos a corto, mediano y largo plazo, que presenten condiciones adecuadas a las características del proyecto. También por instituciones privadas en forma de créditos con proveedores y fabricantes de equipo.
- Cooperación para el Desarrollo: Se puede obtener apoyo financiero a través de organismos internacionales que destinan recursos técnicos y financieros.

Si los recursos financieros son insuficientes para cubrir las necesidades de inversión, el proyecto no se ejecuta, por tal razón, el tamaño del proyecto debe ser aquel que pueda financiarse con mayor comodidad, seguridad y que en lo posible presente los menores costos y un alto rendimiento del capital.

La disponibilidad de recursos financieros que el proyecto requiere para inversiones fijas, diferidas y/o capital de trabajo es una condicionante que determina la cantidad a producir.

Este factor deberá ser analizado en detalle en una etapa de factibilidad.

4.2.2. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio es el tamaño mínimo para no tener pérdidas en el ejercicio de la producción de los productos a elaborar. Por debajo de esta cantidad se está perdiendo, y el proyecto no es rentable. A partir del punto de equilibrio se comienzan a percibir utilidades.

Este factor es explicado en capítulos posteriores una vez determinada la estructura de costos del proyecto.

4.2.3. Capacidad de inversión

Está dada por la disponibilidad de recursos de inversión con los que se cuenta para invertir en el presente proyecto, determinado por lo general por el costo de la maquinaria y equipo e instalación, capital de trabajo, entre otros.

Es aquí donde entra a tallar el índice de inversión por unidad de capacidad instalada, es decir el costo unitario de producción respecto a los diferentes tamaños de planta dada por la capacidad de la maquinaria y equipo.

En este caso la inversión requerida es de U\$D 29219973,10.

4.2.4. Mercado

La escala económica, para que un país desarrolle racionalmente la industria petroquímica, depende del tamaño de los mercados, que pueden no sólo ser los del propio país, sino que cada vez más incluye a los mercados regionales e internacionales.

Por lo que el tamaño óptimo depende, entre otras cosas, de las economías de escala que están presentes en un proyecto. Al estar en presencia de un mercado creciente, esta variable toma más importancia, ya que debe optarse por definir un tamaño inicial lo suficientemente grande como para que pueda responder a futuro a ese crecimiento del mercado, u otro más pequeño pero que vaya ampliándose de acuerdo con las posibilidades de las escalas de producción. El primer caso obliga a trabajar con capacidad ociosa programada, la que podría compensarse con las economías de escala que se obtiene operando con un mayor tamaño.

En el Capítulo 2 “Estudio de Mercado”, más específicamente en el inciso 2.5.1 “Variaciones de la demanda” se analiza el comportamiento de la demanda de acrilonitrilo en la obtención de caucho NBR y resinas ABS.

La tendencia, es que la demanda de AN siga aumentando hasta 2030 en un 1-2% por año.

Con el promedio de la tasa de crecimiento y considerando un aumento lineal de la demanda, se grafica la proyección de la demanda para el año 2030 de ABS y caucho NBR en Argentina en las Figuras 4-1 y 2:

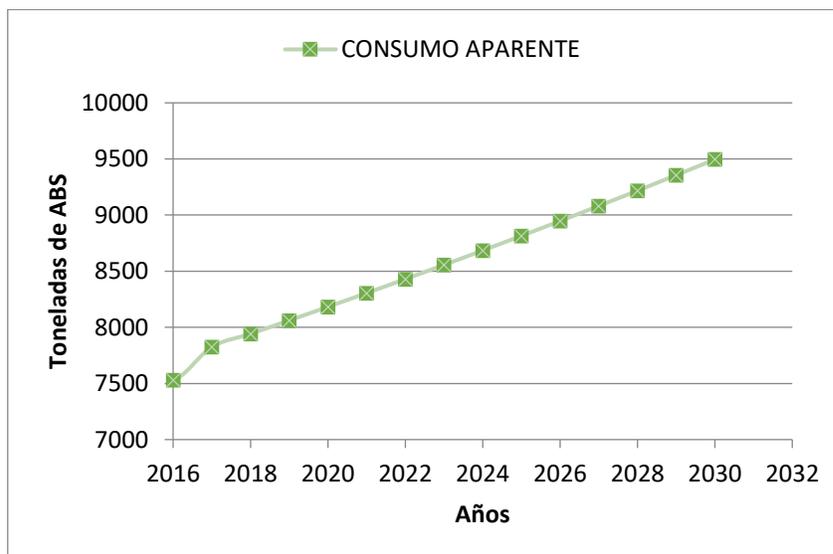


Figura 4-1: Proyección de la demanda de ABS en Argentina- Fuente: Elaboración propia

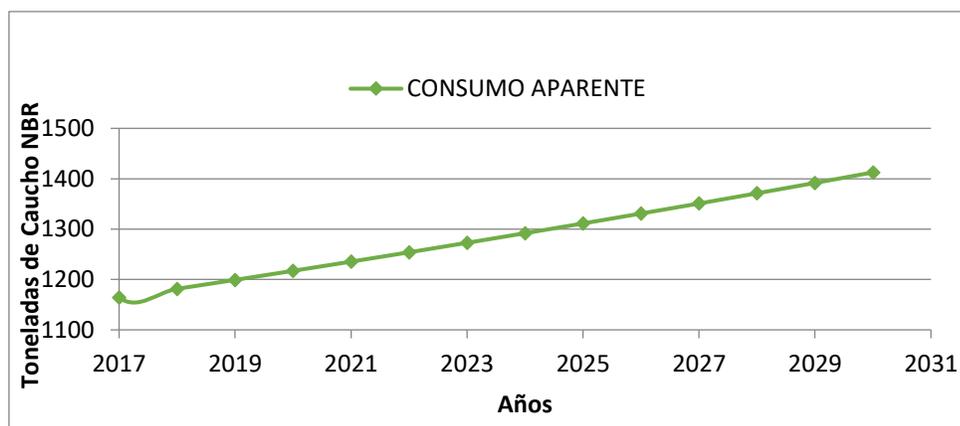


Figura 4-2: Proyección de la demanda de Caucho NBR en Argentina - Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-3, se observa una proyección de la demanda de AN en Argentina hasta el año 2030, considerando las demandas proyectadas de caucho nitrilo y ABS, las proporciones de AN para producirlos y las conversiones de las reacciones de obtención.

Para producir caucho NBR, la proporción es del 15-40 % de acrilonitrilo, mientras más alta es la proporción de acrilonitrilo, más pobres son las propiedades físicas, pero es mejor la resistencia al aceite. En el proceso de obtención, se alcanzan conversiones del 70-80%.

Y para producir resinas ABS, las proporciones pueden variar del 15-35% de acrilonitrilo, 5-30% de butadieno y 40-60% de estireno y en las reacciones de polimerización se llega al 70% de la conversión. [28]

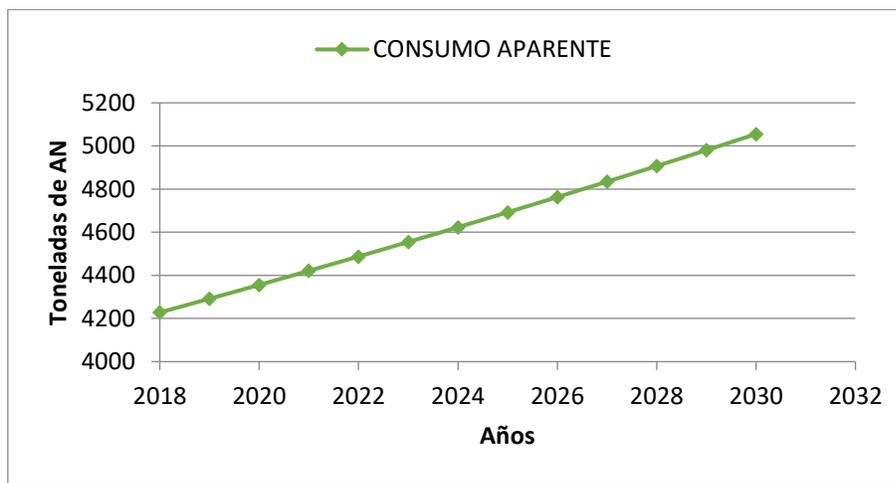


Figura 4-3: Proyección demanda de AN en Argentina - Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la Figura 4-3 la demanda de AN se estima que aumenta, alcanzando valores de un poco más de 5000 toneladas en el año 2030.

Existe la posibilidad de satisfacer la demanda de AN de los países latinoamericanos, para producir resinas ABS y SAN.

4.2.5. Mercado proveedor de MP

El abastecimiento suficiente, en cantidad y calidad, de materias primas es un aspecto de vital importancia en el desarrollo de una empresa, ya que limita la capacidad de uso del proyecto o aumenta los costos del abastecimiento. Aunque, no necesariamente la materia prima condiciona y/o limita el tamaño de un emprendimiento.

En este proyecto, la materia prima es el propileno y el amoniaco, cuyos mercados proveedores se analizaron en el inciso 2.9. Mercado proveedor de MMPP, en el Capítulo 2 “Estudio de mercado”.

El propileno, se usa en un 90% para la producción nacional de polipropileno y el resto se usa como combustible y en otros destinos. Además, existen otras fuentes de obtención de propileno, como propano, butano, nafta virgen y gasolinas. Estos productos petroquímicos básicos son exportados actualmente, pero cabe la posibilidad de procesarlos y obtener el propileno necesario para la planta en estudio, ya que potencialmente podrían obtenerse 620300 toneladas de propileno.

El amoniaco, es producido en Argentina y se usa en un 96% para producir Urea y una parte es exportada.

En la Tabla 4-1 se puede ver la cantidad de MP necesarias para producir el AN demandado, teniendo en cuenta que la conversión de la reacción es del 85% para el proceso Sohio y que para producir 1 kg de AN es necesario 1,1 kg de propileno y 0,0053 kg de amoniaco.

Tabla 4-1: Cantidades de MMPP - Fuente: Elaboración propia

AÑO	Acrilonitrilo (t)	Amoniaco (t)	C/conversión	Propileno (t)	C/conversión
2008	3793,595	20,1060535	23,12196153	4324,6983	4973,403045
2009	3557,32	18,853796	21,6818654	4055,3448	4663,64652
2010	4462,25	23,649925	27,19741375	5086,965	5850,00975
2011	4913,22	26,040066	29,9460759	5601,0708	6441,23142
2012	4819,295	25,5422635	29,37360303	5493,9963	6318,095745
2013	4772,495	25,2942235	29,08835703	5440,6443	6256,740945
2014	4009,525	21,2504825	24,43805488	4570,8585	5256,487275
2015	4745,845	25,1529785	28,92592528	5410,2633	6221,802795
2016	4127,11	21,873683	25,15473545	4704,9054	5410,64121
2017	4165,655	22,0779715	25,38966723	4748,8467	5461,173705
2018	4228,139825	22,40914107	25,77051223	4820,079401	5543,091311
2019	4291,561922	22,74527819	26,15706992	4892,380592	5626,23768
2020	4355,935351	23,08645736	26,54942597	4965,7663	5710,631245
2021	4421,274381	23,43275422	26,94766736	5040,252795	5796,290714
2022	4487,593497	23,78424554	27,35188237	5115,856587	5883,235075
2023	4554,9074	24,14100922	27,7621606	5192,594436	5971,483601
2024	4623,231011	24,50312436	28,17859301	5270,483352	6061,055855
2025	4692,579476	24,87067122	28,60127191	5349,540602	6151,971693
2026	4762,968168	25,24373129	29,03029098	5429,783711	6244,251268
2027	4834,41269	25,62238726	29,46574535	5511,230467	6337,915037
2028	4906,928881	26,00672307	29,90773153	5593,898924	6432,983763
2029	4980,532814	26,39682391	30,3563475	5677,807408	6529,478519
2030	5055,240806	26,79277627	30,81169271	5762,974519	6627,420697

Como conclusión, considerando la cantidad de materias primas necesarias para producir acrilonitrilo cubriendo la demanda, se puede decir que lo que se produce en Argentina es suficiente

Con la salvedad, que, para suplir esta necesidad, parte de lo que se exporta de amoniaco se usa en el proceso y, además, deberán existir nuevos emprendimientos para obtener el propileno de otras fuentes y no exportar lo que se exporta hoy en día.

4.2.6. Recursos humanos

Uno de los factores que se analizó de manera enfática en el Capítulo 3 “Localización” fue la disponibilidad de personal apto para las tareas necesarias en este proyecto.

La ubicación seleccionada para la empresa, cuenta con una oferta amplia de recursos humanos altamente capacitados, por lo cual esto no se convierte en un factor condicionante del tamaño de la empresa.

4.2.7. Tecnología

La determinación de la tecnología a utilizar es un factor de gran importancia. Debido a que la selección de la misma permite la ampliación o no de la capacidad productiva que puede alcanzar el proyecto.

El sector petroquímico se caracteriza específicamente por requerir grandes inversiones siendo una industria de capital intensivo. Generalmente, utiliza procesos continuos, en plantas que trabajan día y noche, y que tienen que operar por arriba del 70% de su capacidad para ser rentables. Además, el costo de producción unitario se reduce al incrementar la capacidad de las plantas, hasta el límite que la tecnología permita.

Por esa razón, en el diseño de los negocios petroquímicos se requiere un cuidadoso planeamiento en la selección de las tecnologías como de las materias primas, entre otras.

Otra de las características de la industria petroquímica es que las tecnologías son muy dinámicas y constantemente son mejoradas o reemplazadas, lo que hace imprescindible que las empresas se mantengan actualizadas tecnológicamente para competir, no sólo localmente sino también en el exterior.

Generalizando, para la determinación del tamaño de la planta, se establece que es aconsejable invertir en una capacidad instalada superior a la requerida inicialmente por el proyecto. Ya que, las empresas petroquímicas, por medio de mejoras tecnológicas continuas, reducen los costos de sus productos, disminuyen sus precios y por consiguiente los mercados tienden a evolucionar, en general, con mayor rapidez que la propia economía del país. Es decir que se tratan de empresas que tienen gran velocidad de expansión.

Esta expansión se debe en gran parte a los materiales plásticos. Estos han sustituido a los materiales tradicionales y permiten la fabricación de nuevos artículos, gracias a sus excelentes propiedades y a su constante reducción de precio.

Es por esto, que este factor establecería un tamaño mínimo de factibilidad para el proyecto.

4.2.8. Medio Ambiente

El impacto que pueda generar el proyecto sobre el medio ambiente, así como la necesidad de grandes equipamientos para realizar la mitigación de dichos impactos, es un factor muy importante que debe analizarse en el dimensionamiento de la capacidad de producción de la planta ya que se ve directamente influenciado con el tamaño de la planta.

En el Capítulo 11 “Aspectos ambientales”, se presenta un estudio detallado de estos impactos, pero cabe resaltar que los mismos no son de carácter crítico. Por lo que, adoptando políticas con buenas prácticas de producción, el tamaño dejaría de estar directamente influenciado por el medio ambiente.

4.3. Resultado del análisis

Del análisis de los factores enumerados anteriormente, se presume que el factor de mayor relevancia para la determinación del tamaño es la demanda de acrilonitrilo en Argentina. Suponiendo que las condiciones son favorables en cuanto al suministro de materias primas. Previamente se concluyó que, para suplir la demanda de amoniaco y propileno, es necesario reducir las exportaciones para obtener el primero, y generar proyectos para obtener el segundo a partir de procesar químicamente productos que hoy en día se exportan o reducir el uso como combustible del propileno.

Como resultado del estudio se obtuvo que la planta tenga una capacidad instalada de 5000 toneladas anuales, pero al comienzo, en los primeros 3 años, trabajara a una capacidad menor al 50-70%.

4.4. Programa de producción

Para realizar una estimación del programa de producción, se propone comenzar con la fabricación, teniendo en cuenta el tiempo estadístico de 1 año de construcción de la planta, en el año 2020.

Basándose en la capacidad instalada previamente definida, la jornada laboral, el periodo de mantenimiento, entre otros; se prosigue a realizar la planificación del programa de producción.

Teniendo en cuenta que se trata de un proceso en que se establecen 24 horas de producción continua y que se considera una parada al año para realizar tareas de mantenimiento en el periodo diciembre-enero, que suman un total de 25 días no laborales. Se tiene como resultado la producción diaria que satisface la cantidad necesaria del producto.

$$\text{Producción Diaria} = \frac{\text{Producción anual}}{\text{Días laborales}} = \frac{5000 \frac{\text{t}}{\text{año}}}{340 \frac{\text{día}}{\text{año}}} = 15 \frac{\text{t}}{\text{día}}$$

En la Tabla 4-2 se detalla la producción que se debe lograr en cada mes para alcanzar la producción anual y las horas mensuales de trabajo necesarias. La producción mensual esta graficada en la Figura 4-4.

Tabla 4-2: Programa de producción año 2020 - Fuente: Elaboración propia

Mes	Días hábiles	Horas de trabajo	Producción (t)
Enero	18	432	230,56
Febrero	28	672	358,65
Marzo	31	744	397,07
Abril	30	720	384,26
Mayo	31	744	397,07
Junio	30	720	384,26
Julio	31	744	397,07
Agosto	31	744	397,07
Septiembre	30	720	384,26
Octubre	31	744	397,07
Noviembre	30	720	384,26
Diciembre	19	456	243,37
Total	340	8160	4355

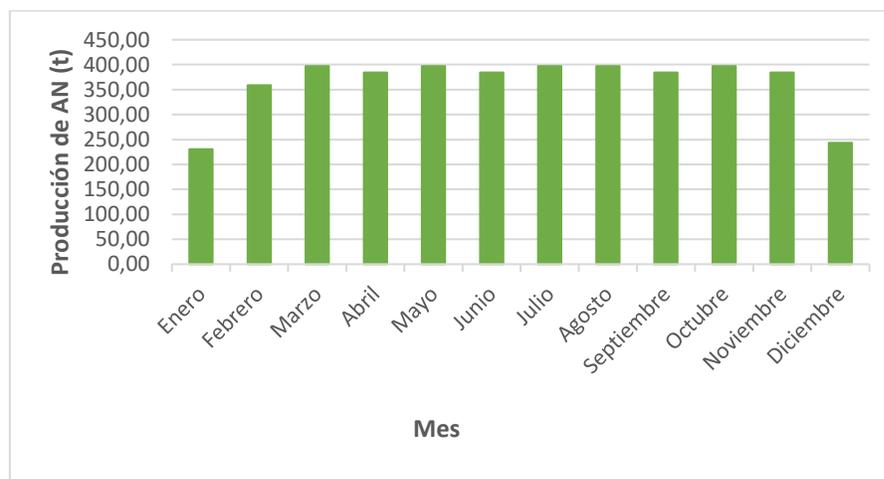


Figura 4-4: Programa de producción año 2020 – Fuente: Elaboración propia

5. INGENIERÍA DE PROCESO

5.1. Introducción

Se entiende por Ingeniería de Proceso aquella etapa del proyecto donde se desarrolla, evalúa y diseña los procesos productivos, se genera toda la información indispensable para la ingeniería básica como así también se definen los requerimientos de materias primas e insumos que tenga el proceso. Permite realizar los balances de masa y energía, el diseño de equipos y la predicción del comportamiento de los equipos al variar las condiciones operativas.

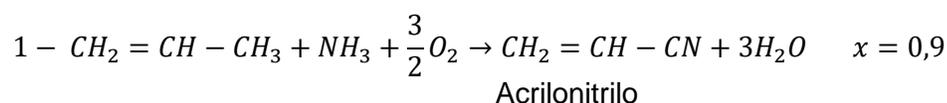
El presente capítulo trata los aspectos relacionados con la ingeniería del proceso Sohio para la obtención de acrilonitrilo a partir de amoníaco, propileno y oxígeno.

5.2. Proceso productivo

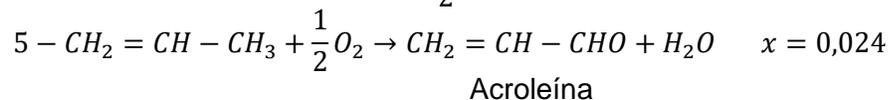
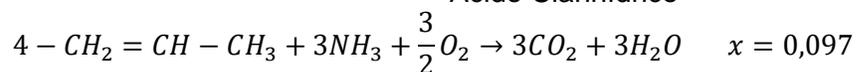
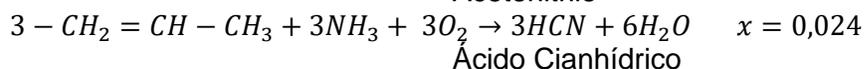
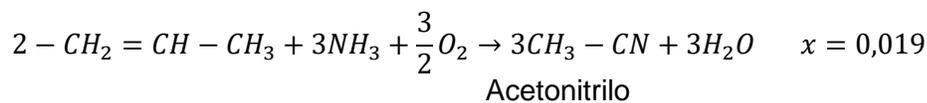
En el proceso Sohio, el propileno, el oxígeno proveniente del aire y el amoníaco producen una conversión catalítica directa hacia el acrilonitrilo usando un lecho fluidizado operado a temperaturas entre 400 °C y 500 °C y a presiones de entre 0,5 y 2 bar. Utilizamos un catalizador basado en óxidos de molibdeno y antimonio que descrito en el inciso 5.2.3. La reacción ocurre en fase gaseosa y es altamente exotérmica, liberando un calor de reacción $\Delta H = -123 \frac{kcal}{mol}$, necesitando un enfriamiento.

A continuación, observamos las reacciones que ocurren en el reactor, y cada una de ellas está acompañada del valor de conversión del propileno en producto, representada con la letra x.

La reacción principal, para obtener el acrilonitrilo es:



Las reacciones secundarias son:



Como consecuencia de estas reacciones secundarias, se muestra un efecto exotérmico que aumenta el valor del calor de reacción a -160 Kcal/mol C₃H₆.

Los reactivos ingresan al reactor, con un tiempo de residencia de 2 a 20 segundos. Al aumentar el tiempo de residencia, aumenta la producción de subproductos.

La alimentación ingresa por la parte inferior del equipo, a través de dispersores, para mejorar la homogeneización de los reactivos.

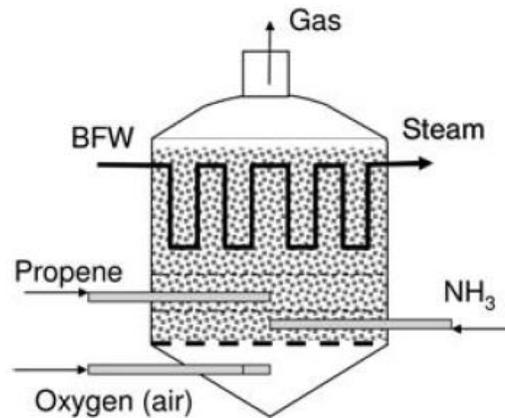


Figura 5-1: Reactor de lecho fluido para la síntesis de acrilonitrilo – Fuente: Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Diponegoro University.

El proceso es altamente selectivo, y no requiere una recirculación para producir una elevada conversión de producción a acrilonitrilo. El calor liberado en la reacción lo recuperamos como vapor usando un intercambiador de calor dentro del reactor.

La presión de trabajo, es la menor posible para disminuir la producción de productos secundarios, pero para el calentamiento y la depuración de los gases, entonces, se trabaja a presiones entre 0,5 y 2 bar.

Después de la reacción, los productos se llevan al siguiente equipo, el cual realiza un enfriamiento rápido para prevenir degradaciones térmicas y reacciones secundarias. Al mismo tiempo, esta operación elimina el exceso de amoníaco.

Este enfriamiento es posible llevarlo a cabo mediante dos métodos, un enfriamiento ácido con una solución de ácido sulfúrico, o un enfriamiento básico con posterior remoción de amoníaco. Este último no es usado, debido a que con pH neutro obtenemos altas cantidades de sulfato de amonio, perdiendo cantidad de AN.

En el enfriamiento ácido, ponemos en contacto los gases productos de la reacción (F_5), con una solución de ácido sulfúrico al 30-40 % (F_7), neutralizando el amoníaco que no reaccionó y produciendo sulfato de amonio.

Una opción comercial es la cristalización del sulfato de amonio para obtenerlo como producto, la otra opción es tratar la corriente residual, para recircular ácido sulfúrico. El pH ácido, ayuda a disminuir la formación de impurezas pesadas y residuos poliméricos, y a su vez maximiza el rendimiento de AN.

La corriente que sale por cabeza del quench (F_9) es enfriado a 80°C y tratado con agua a 5°C en un absorbedor en contracorriente, lo que asegura una recuperación del 99,5% de AN, saliendo por la parte superior (F_{12}) los livianos e incondensables.

El gas saliente del absorbedor (F_{12}), que consiste mayormente en: nitrógeno, óxidos de carbono, hidrocarburos livianos y propileno sin reaccionar, es venteado, o enviado a una oxidación catalítica.

La corriente que abandona la columna de absorción (F_{13}) está en solución acuosa e ingresa a la columna de stripping. El AN es separado por la parte superior de este equipo (F_{15}), junto con sus impurezas, siendo en mayor medida ácido cianhídrico y trazas de acetonitrilo. Mientras que por la parte inferior se extrae acetonitrilo y agua (F'_3)

La corriente superior de la columna de stripping (F_{15}) está compuesta por un 85% de AN, 5% de agua, y el resto son impurezas como el HCN, acroleína y acetonitrilo.

5.2.1. Separación y purificación de AN

El AN con impurezas, que sale por la cabeza de la columna de stripping, es llevado a un splitter, donde se separan las sustancias tóxicas y peligrosas, como el HCN y la acroleína.

El HCN, es recuperado por la parte superior del splitter, y por la parte inferior, egresa una corriente para una destilación extractiva del acetonitrilo con agua.

La destilación extractiva se lleva a cabo en dos equipos. En uno se pone en contacto la corriente de cola del splitter (F_{16}) con el solvente, que en este caso es agua en gran cantidad para lograr la separación de la mezcla AN y acetonitrilo. Y en el segundo equipo se hace la recuperación del agua.

En el primer equipo el ingreso de agua es por la parte superior (F_{29}) y la fase orgánica por el medio (F_{16}). En este, se obtiene por cabeza AN (F_{20}) que sigue a una deshidratación, y por el fondo el agua con el acetonitrilo (F_{18}).

La corriente de fondo (F_{18}) se separa en el segundo equipo, saliendo por cabeza el acetonitrilo (F_{19}), en forma azeótropo que contiene un 15 % de agua. El agua separada será tratada antes de ser reutilizada en la destilación extractiva.

La corriente de cabeza, que contiene AN (F_{20}), agua y pesados, es llevada a una torre deshidratadora, donde el agua es eliminada al máximo. El flujo de cabeza de la deshidratadora (F_{23}), se envía a una torre de destilación al vacío en donde se eliminan los pesados, obteniendo como producto el AN puro.

5.2.2. Tratamiento de agua

De las corrientes de agua que se obtienen en todo el proceso, parte se recircula a la torre absorbadora, parte se usa para enfriamiento en el quench, y el resto como agua de desperdicio, a la cual se le eliminan los materiales altamente tóxicos, mediante una evaporación multiefecto. Por el fondo de la evaporadora, salen los residuos acuosos que no se separan posteriormente, y son llevados a landfill. Por la parte superior, el agua tratada, en estado vapor, que contiene nitrilos livianos, es condensada y enviada a una estación de tratamiento biológico.

Como este proyecto se plantea en una etapa de prefactibilidad, los equipos de esta sección no se diseñan.

5.2.3. Catalizador

El catalizador usado en los primeros procesos Sohio era una combinación de bismuto y fosfomolibdato. Desde entonces se han realizado gran cantidad de investigaciones relacionadas

con el catalizador con el objetivo de encontrar alternativas a éste, que permitan obtener mayores conversiones, que han resultado en más de treinta patentes de diferentes compañías.

Sohio introdujo el catalizador número 21 compuesto por antimonio y uranio en 1967, el catalizador número 41 de ferrobismuto y fosfomolibdato en 1972, y el catalizador 49 cuya composición no se dispone, en 1978.

En la actualidad se emplean catalizadores de óxidos de molibdeno o antimonio mezclados con metales de transición como hierro, níquel, cobalto y vanadio, activados con un álcali y elementos raros. El tamaño óptimo de las partículas de catalizador está en el rango de 40 a 100 micrómetros, para asegurar una fluidización homogénea. Todos estos cambios fueron introducidos para mejorar la eficiencia y la reducción de los subproductos, y tienen en común las propiedades REDOX, como así también que son multifuncionales.

En el proceso existe una pérdida de catalizador entre 0,3-0,7 kg/t de acrilonitrilo producido. [29] y [30]

5.2.4. Diagrama de bloques de proceso

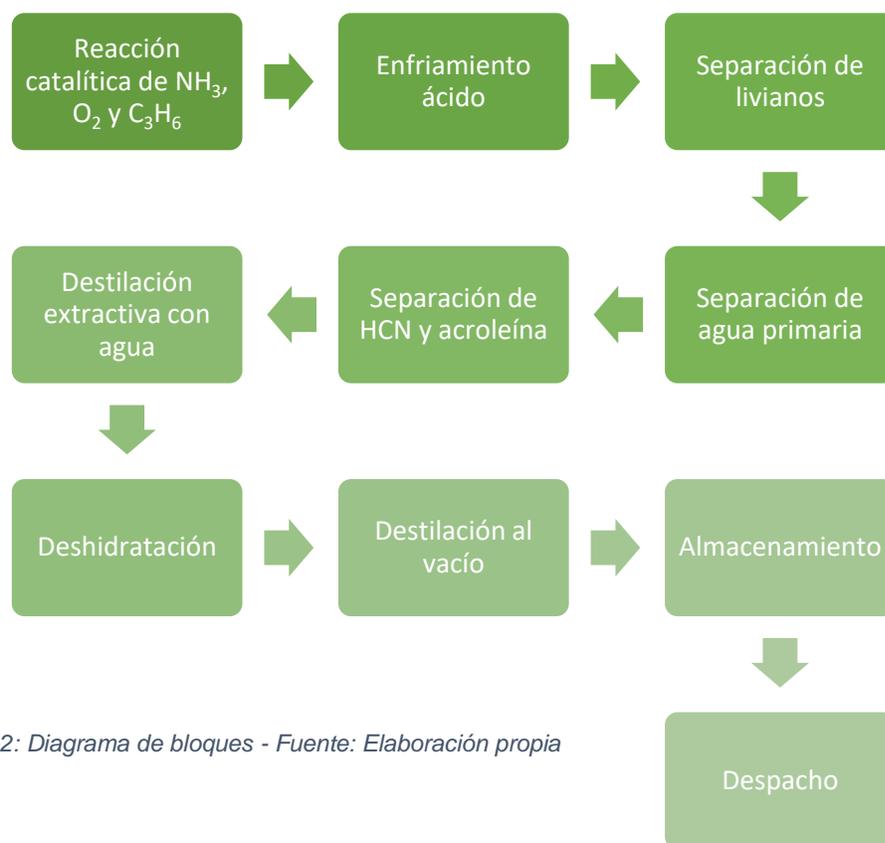


Figura 5-2: Diagrama de bloques - Fuente: Elaboración propia

5.3. Balance de masa y energía

Para realizar el balance de masa se considera una capacidad anual de 5000 toneladas de acrilonitrilo, de acuerdo a estimaciones que surgieron del estudio de mercado y de la interrelación con el estudio de tamaño del proyecto. Se llevará a cabo el balance de masa de cada equipo, teniendo en cuenta que la planta será de operación continua.

Los criterios de selección de cada uno de los equipos que componen la línea de producción se justifican en base a aquellas alternativas que representan la mayor viabilidad técnica y económica, es decir, que la selección de cada equipo en particular cumpla tanto con los requerimientos específicos del proceso como con los condicionantes económicos asociados.

5.3.1. Cálculos de materias primas e insumos

De acuerdo al estudio de mercado y a la capacidad instalada, se procesará en la planta la cantidad de materia prima necesaria para llegar al objetivo de 5000 toneladas anuales de acrilonitrilo.

5.3.1.1. Balance de masa global

El tamaño de planta seleccionado es de 5000 toneladas anuales de acrilonitrilo.

Con ayuda de una planilla de cálculo de Excel y en base al plan de producción propuesto realizamos el balance de masa para las diferentes etapas del proceso, teniendo en cuenta que la conversión en el reactor es del 90% con respecto al propileno.

Hay etapas o equipos en el proceso en los que hay pérdidas que contemplamos, colocando un 5% más de materia prima al ingreso del reactor para así obtener las cantidades necesarias del producto final a comercializar.

La corriente de alimentación de materias primas necesaria para cumplir con el plan de producción adoptado es de 4580 toneladas de propileno y 1920 toneladas de amoníaco.

5.3.2. Reacción catalítica

La corriente de materia prima es una mezcla de amoníaco, oxígeno y propileno. Se utiliza un reactor de lecho fluidizado que opera en forma continua y donde es de máxima importancia el catalizador que se utiliza. Las reacciones que ocurren dentro del mismo liberan calor, principalmente la de obtención del acrilonitrilo. Este calor se aprovecha para generar vapor colocando un serpentín dentro del reactor, por el cual circulará agua a temperatura ambiente, lo que a su vez permite mantener las temperaturas de reacción.

5.3.2.1. Balance de masa y energía del reactor (R-01)

Para poder realizar los balances de masa en el reactor tuvimos en cuenta una serie de consideraciones en cuanto a relaciones de alimentación, conversiones de reacción y variables del proceso que se fundamentaron en datos bibliográficos y/o empíricos.

La reacción principal tiene una conversión respecto del propileno del 90%. Esto es debido a las reacciones secundarias que se presentaron en el apartado 5.2. Proceso productivo.

Hay que tener en cuenta, que la cantidad de AN producido debe responder al programa de producción establecido, es por esto que se considera una alimentación superior a la teórica debido a las pérdidas por reacciones secundarias y a deficiencia en la operación de los equipos. Se considera un rendimiento del proceso del 95%, por lo tanto, para lograr la producción anual de 5000 toneladas se agrega un 5% más de los reactivos.

En este reactor ocurre una reacción llamada amoxidación del propileno, que refiere a la interacción de amoníaco con un hidrocarburo en presencia de oxígeno y un catalizador adecuado. La reacción se lleva a cabo en la superficie activa del catalizador y luego se desorben los productos y reactivos que no hayan reaccionado. El resultado de esto es una superficie activa o sitios activos reducidos, y allí es donde entra en contacto el oxígeno para regenerar al catalizador enrejado.

La cantidad de oxígeno alimentado debe ser suficiente para la reacción, pero no agregado en grandes cantidades, ya que ocuparía los sitios activos generando mayormente la oxidación del alqueno. Es por esto y por el mecanismo de reacción que se colocan mezclados el propileno y amoníaco, mientras que el oxígeno ingresa de forma separada.

El cálculo lo realizamos primero teniendo en cuenta la reacción principal, en la cual se desean obtener 5000 t/a de AN considerando pérdidas y conversiones del proceso. En base a esto y con el valor de conversión del propileno -reactivo limitante- en AN se realizó los balances.

$$5000 \frac{t}{a} AN \cdot \frac{42kg_{C_3}}{53kg_{AN}} \cdot 1,15 = 4358,5 \frac{t}{a} C_3$$

Teniendo en cuenta esta cantidad de propileno necesario, se realizan los balances estequiométricos. En las reacciones secundarias, el procedimiento de cálculo es similar, pero teniendo en cuenta el 10% de propileno restante, el cual no reacciona para dar AN, sino que reacciona de otra manera para dar distintos productos, esto se verá en el gráfico Balance de Masa del Reactor.

C_3H_6 necesario según estequiometria: $4160,37 \frac{t}{a}$

C_3H_6 necesario para lograr el programa de producción: $4576,4 \frac{t}{a}$

C_3H_6 consumido en reacciones secundarias: $4576,4 \frac{t}{a} - 4160,37 \frac{t}{a} = 416 \frac{t}{a} C_3$

En cuanto a la masa de agua utilizada para mantener la temperatura del reactor (F'), se hizo el siguiente balance de energía, que tiene en cuenta la energía liberada tanto por la reacción primaria como por las secundarias.

$$\begin{aligned}
 Q &= m_{H_2O} \cdot (Cp_L \cdot (Tb - T1) + \lambda) = m_T \cdot \Delta H_R \\
 Q &= m_{H_2O} \cdot \left(417,46 \frac{kJ}{kg} + 2258 \frac{kJ}{kg} \right) = 3,18 \times 10^7 \frac{kg}{a} \cdot 15,94 \frac{kJ}{kg} \\
 m_{H_2O} &= 189459,76 \frac{kg}{a} = 1,29 \frac{kmol}{h}
 \end{aligned}$$

El calor total obtenido de la reacción es:

$$Q = m_T \cdot \Delta H_R = 62119,12 \frac{kJ}{h}$$

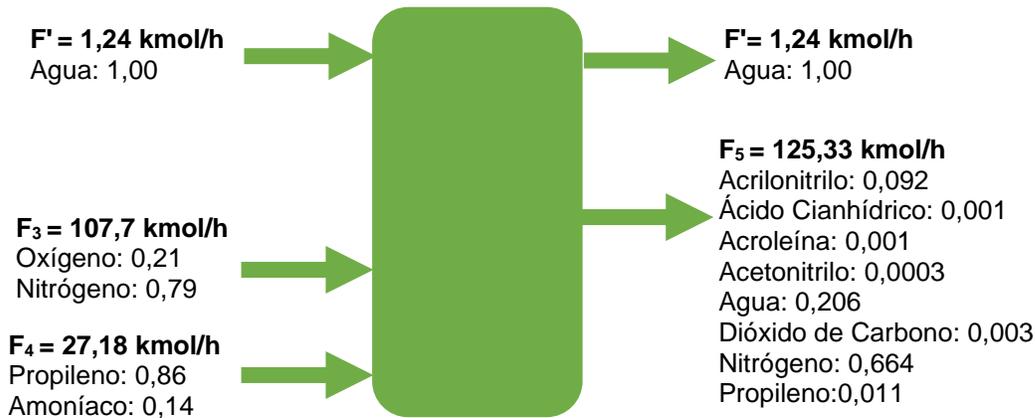


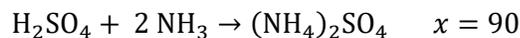
Figura 5-3: Balance de masa del reactor R-01- Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Enfriamiento ácido

Esta torre actúa como una torre de absorción con reacción en la que se introduce el gas producto del reactor y un líquido por cabeza.

La corriente de gases de salida del reactor es enfriada a 230°C en un intercambiador con agua y es introducida a 1 atm de presión por el fondo del quench ácido.

Esta torre tiene una doble función, enfriar y eliminar el amoníaco de la corriente de productos. Para eliminar de forma efectiva el amoníaco, se neutraliza con ácido sulfúrico mediante la siguiente reacción:



Para lograr los objetivos del quench, entra por cabeza de la torre una solución de agua y ácido sulfúrico al 40% a 25°C y 1 atm (F₇). Esta solución es para eliminar el amoníaco del gas mediante transferencia de materia y reacción química con el ácido sulfúrico, y de enfriar la corriente de gases de 230°C a 200°C.

Por cola, se obtiene una corriente líquida a 100°C que contiene sulfato amónico como producto de la neutralización (F₈).

Por cabeza sale el producto libre de NH₃ para seguir siendo enfriado en otro intercambiador con agua hasta 80°C.

En ambos intercambiadores, el enfriamiento de la corriente sirve para producir vapor, que puede ser usado en otras partes del proceso.

5.3.3.1. Balance de masa y energía del intercambiador 1 (ICT-01)

Este equipo es un enfriador de la corriente proveniente del reactor (F_5), cuya temperatura debe ser llevada desde 470°C a 230°C. Los flujos molares y las composiciones se determinaron en la etapa de reacción.

Para calcular la cantidad de agua a 20°C necesaria para producir el enfriamiento, se realizó un balance de energía, considerando que se quiere producir vapor a 120°C. Se consideró que para vaporizar el agua a 20°C el ΔH es de 2258 kJ/kg y que la corriente a enfriar (F_5), tiene un calor específico de la mezcla igual a 40 J/molK.

El calor específico de la mezcla, simbolizado como C_p , lo calculamos teniendo en cuenta los C_p de cada compuesto a la temperatura media entre 470 y 230°C, y para calcular el C_p de cada compuesto, utilizamos la siguiente ecuación:

$$C_{p_i} = \alpha_i + \beta_i T + \gamma_i T^2 + z_i T^3$$

Los coeficientes de los compuestos, están detallados en la Tabla 5-1:

Tabla 5-1: Tabla de coeficientes para cada compuesto - Fuente: Modelado en ingeniería

Componente	α	β	γ	z
Nitrógeno	30,78	-1,178E-02	2,390E-05	-1,000E-08
Dióxido de carbono	19,80	7,344E-02	-5,602E-05	1,715E-08
Oxígeno	28,11	-3,680E-06	1,746E-05	-1,065E-08
Propileno	3,710	2,345 E-01	1,160E-04	2,205 E-08
Amoniaco	27,31	2,383E-02	1,707E-05	-1,185E-08
Ácido cianhídrico	21,86	6,062E-02	-4,961E-05	1,815E-08
Acroleína	11,97	2,106E-01	1,071E-04	1,906E-08
Acrilonitrilo	10,69	2,208E-01	-1,565E-04	4,601E-08
Acetonitrilo	20,48	1,196E-01	-4,492E-05	3,203E-09
Agua	32,24	1,924E-03	1,055E-05	-3,596E-09

A modo de resumen, se colocan las composiciones y flujos molares de las corrientes de entrada (F_5) y salida (F_6) del intercambiador 1 (ICT-01), en el siguiente esquema:

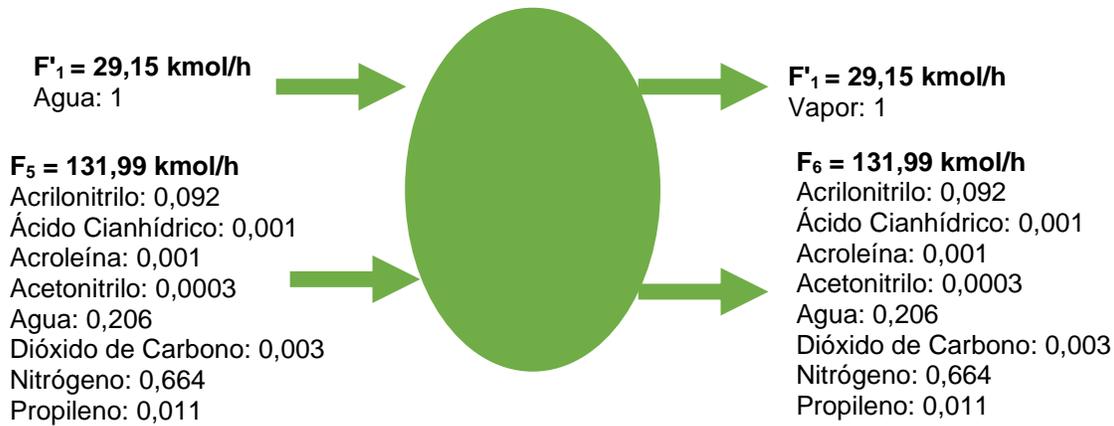


Figura 5-4: Balance de masa intercambiador 1 - Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2. Balance de masa y energía del quench ácido (Q-01)

Este equipo permite el contacto de la solución ácida con la corriente que proviene del intercambiador ICT-01 (F_6) para neutralizar el NH_3 . Como la conversión de la reacción es del 90%, se agrega un 10% más de H_2SO_4 , que lo necesario por estequiometria, para eliminar totalmente el NH_3 .

Los flujos molares del resto de los compuestos, se mantendrán igual, ya que no forman parte de la reacción. Por lo tanto, se calculan las composiciones molares considerando que son constantes los flujos molares, mediante el uso de los balances de masa.

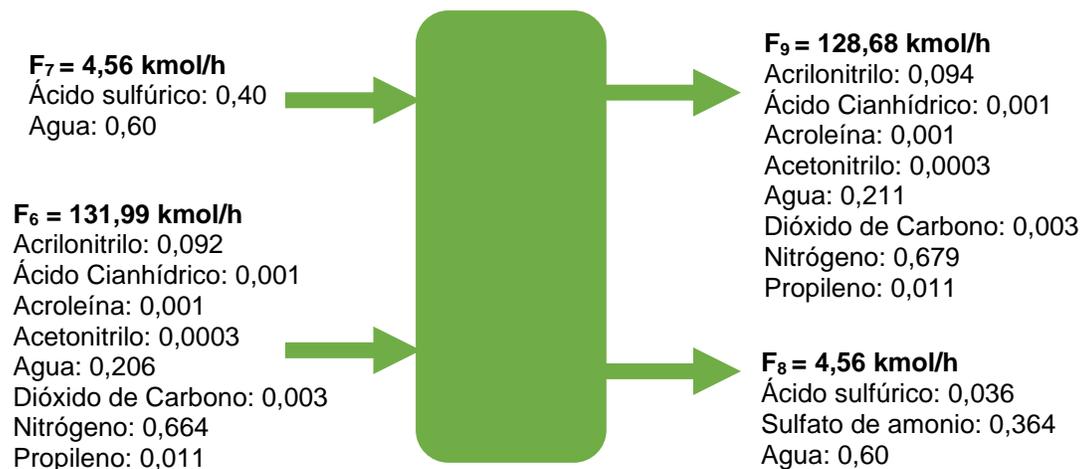


Figura 5-5: Balance de masa del Quench ácido Q-01 - Fuente: Elaboración propia

5.3.3.3. Balance de masa y energía del intercambiador 2 (IDT-01)

Este equipo lleva a 80°C la corriente que sale por cabeza del quench que tiene una temperatura de 200°C. Como en el primer intercambiador, esa transferencia de calor sirve para generar vapor a 120°C.

En este balance de energía, tuvimos en cuenta que el C_p de la mezcla es de 36,17 kJ/kmolK a una temperatura media entre los 200°C de entrada y los 80°C de salida.

También consideramos que el C_p del agua a la temperatura media entre los 20°C y los 99,63°C que es la temperatura de ebullición a la presión del equipo, es 36,17 kJ/kmolK y el ΔH del agua a 20°C es de 2258 kJ/kg.

Todos se calcularon usando la ecuación del inciso 5.3.3.1 Balance de masa y energía del intercambiador 1, y los valores de los coeficientes detallados en la Tabla 5-3 del mismo inciso.

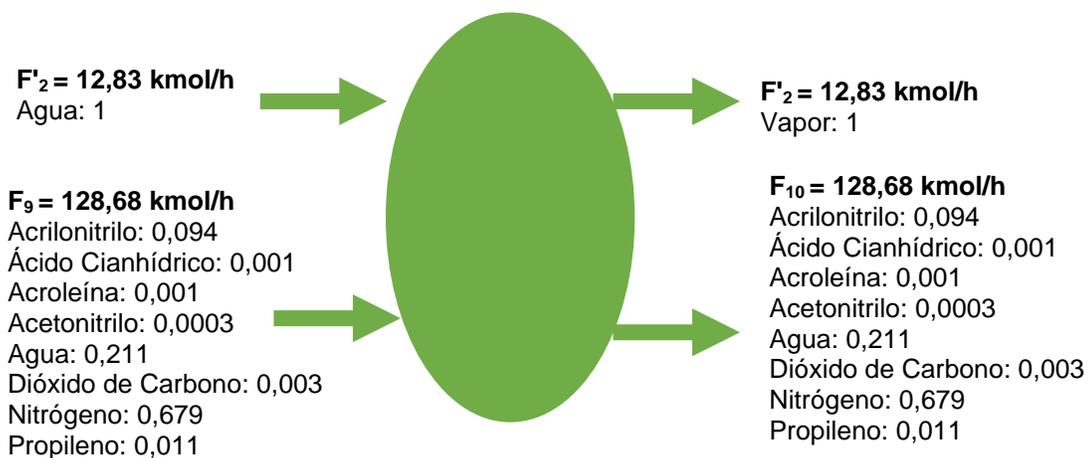


Figura 5-6: Balance de masa del intercambiador IDT-01 - Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Separación de livianos

A partir de este equipo, comienza la purificación del AN producto. En este paso, se inyecta agua a 5°C a una torre absorbadora, para que se solubilizan los orgánicos, permitiendo el venteo de los livianos por la parte de arriba de la torre. Los livianos son, el propileno que queda sin reaccionar, el nitrógeno que ingresa al reactor y el dióxido de carbono.

Ya que el agua ingresa a una temperatura baja, hay transferencia de calor, y la corriente de orgánicos arrastrados por el agua salen a una temperatura de 30°C y los livianos, también.

5.3.4.1. Balance de masa y energía de la torre absorbedora (TA-01)

Con este equipo, se recupera un 99% del AN que ingresa, y ese valor se utiliza en el balance de masa del equipo, para obtener el flujo molar de AN a la salida.

También consideramos que por cada kg de AN que ingresa, se deben inyectar 12,6 kg de agua.

Los flujos molares de los livianos no varían, por lo tanto, son iguales a los que ingresan. En el siguiente gráfico, se muestra el resumen de composiciones molares de cada compuesto y el flujo molar total de cada corriente.

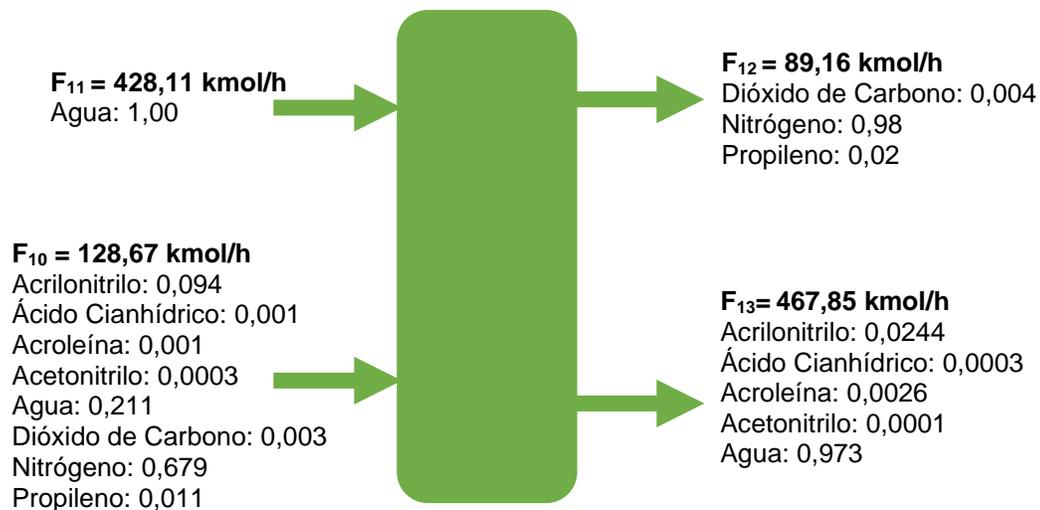


Figura 5-7: Balance de masa de la torre absorbedora TA-01 - Fuente: Elaboración propia

5.3.5. Separación de agua primaria

En este equipo, ocurre una deshidratación del AN y junto con el agua sale ACN disuelto. Esa corriente que sale por el fondo del stripper (F₁₄) pasará a una columna para recuperar el ACN como subproducto.

El stripper es una torre de destilación en la que, para mejorar la deshidratación, se inyecta vapor para disminuir la presión de todos los componentes y así lograr la separación.

5.3.5.1. Balance de masa y energía del stripper (ST-01)

El stripper funciona de manera tal, que por cabeza se obtiene el AN con una composición del 85%, un 5% de H₂O, acompañado de HCN y ACN. Con un balance de masa, teniendo en cuenta

estas composiciones, determinamos los flujos molares de cada corriente y la composición en que se encuentra cada compuesto, en cada corriente.

La masa del vapor producido en el mismo proceso, se condensa para calentar la torre. Este vapor por estar a 120°C y a presión atmosférica tiene un calor de vaporización de 2258 kJ/K, y se usa un balance de energía para obtener el flujo molar necesario para que las corrientes de salida estén a una temperatura de 60°C.

Para esto calculamos los Cp de las distintas corrientes a 30°C, temperatura promedio entre la entrada y salida, quedando un calor específico para las corrientes 13, 14 y 15 de 34, 35 y 63 J/molK, respectivamente.

Todos se calcularon usando la ecuación del inciso 5.3.3.1 Balance de masa y energía del intercambiador 1, y los valores de los coeficientes detallados en la Tabla 5-3 del mismo inciso.

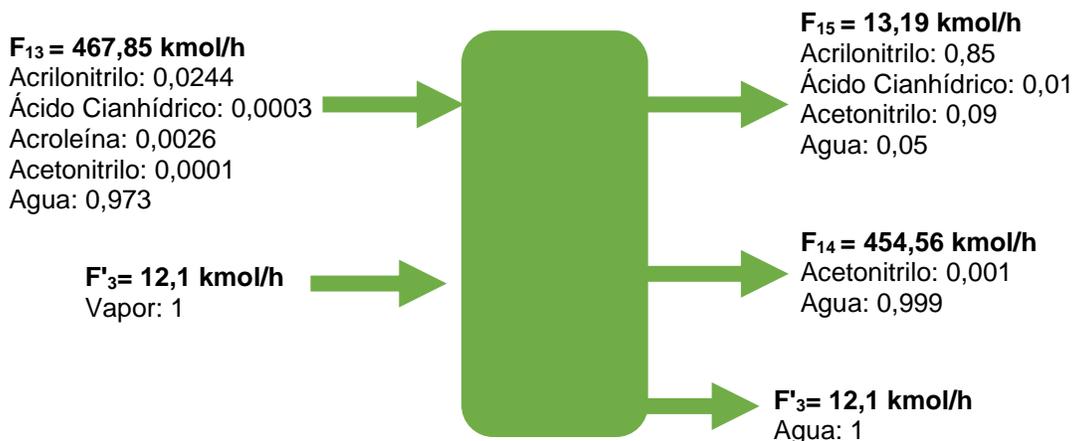


Figura 5-8: Balance de masa del stripper ST-01 - Fuente: Elaboración propia

5.3.6. Separación de ácido cianhídrico y acroleína

En esta etapa, se produce una destilación del HCN. Por cabeza del splitter (F₁₇) sale el más liviano, que es el HCN ya que tiene un punto de ebullición de 25,6°C. A su vez el AN, con un punto de ebullición de 77°C, sale por el fondo junto con el agua, el ACN y trazas de HCN (F₁₆).

5.3.6.1. Balance de masa y energía del splitter (SP-01)

Este equipo trabaja de manera tal, que el HCN que se obtiene se comercializa, y la pureza comercial es del 99,99%. A partir de esa consideración, se hace un simple balance de masa para obtener las composiciones y flujos molares que se detallan en el siguiente gráfico. Un balance de energía no es necesario, porque la torre opera a 60°C, que es la temperatura que tiene la corriente de entrada.

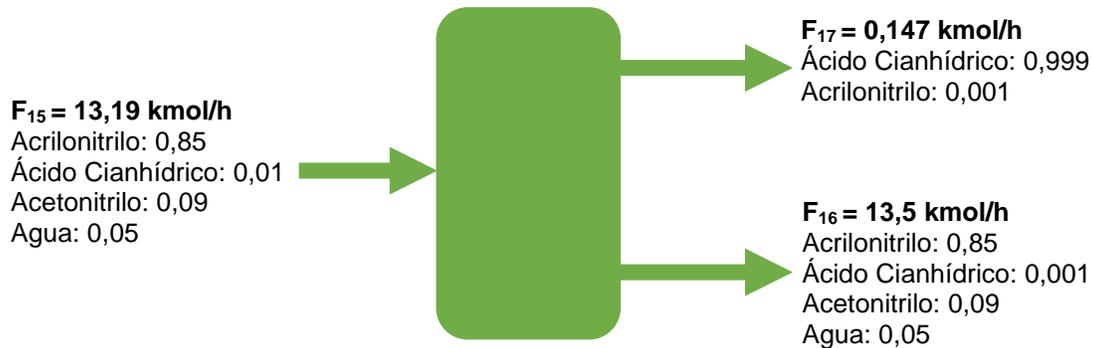


Figura 5-9: Balance de masa del splitter SP-01 - Fuente: Elaboración propia

5.3.7. Destilación extractiva con agua

Este proceso es necesario para continuar con la purificación del AN. Se realiza una absorción del ACN con agua. La corriente con alto contenido de ACN sale por el fondo de la torre de absorción y por cabeza sale la corriente rica en AN. La destilación extractiva termina cuando se recupera el agua que ingresó para absorber el ACN, y esto se hace en dos etapas posteriores que tratan a la corriente de fondo y de cabeza de la torre absorbidora.

5.3.7.1. Balance de masa y energía de la torre absorbidora (TA-02)

En esta torre se consigue recuperar un 96,7% del ACN que ingresa, absorbiéndolo con agua, permitiendo obtener una corriente de AN con un 90% de pureza. Nuevamente se usan los balances de masa por compuesto y globales, para obtener el total de las composiciones y flujos molares de cada corriente, que se pueden observar en la siguiente figura:

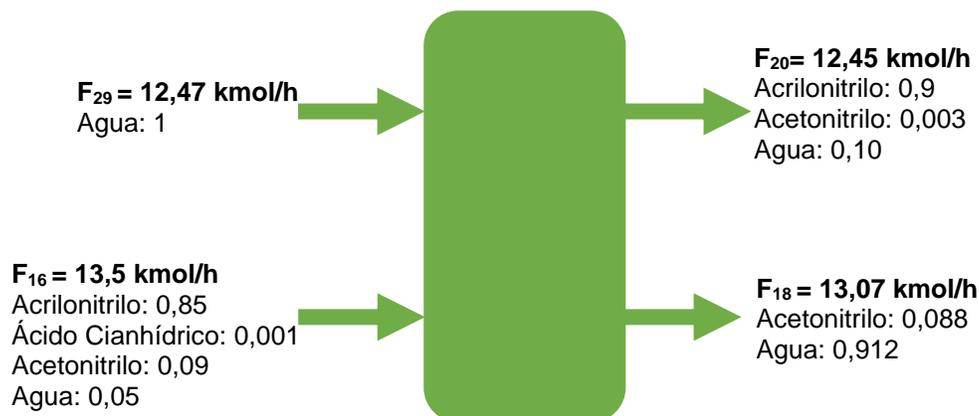


Figura 5-10: Balance de masa de la torre absorbidora TA-02- Fuente: Elaboración propia

La torre trabaja a 100°C y para eso, el agua que absorbe al ACN, ingresa a 58°C de temperatura, esta temperatura la calculamos con el balance de energía.

En el balance de energía, consideramos que los calores específicos de las corrientes a la temperatura promedio entre la entrada y la salida de la corriente (F_{16}) es de 69 J/molK, de la corriente (F_{18}) es de 36 J/molK y de la corriente (F_{20}) es 68 J/molK. Todos los calculamos usando la ecuación del inciso 5.3.3.1 Balance de masa y energía del intercambiador 1, y los valores de los coeficientes detallados en la Tabla 5-3 del mismo inciso.

5.3.7.2. Balance de masa y energía de la recuperadora de ACN (TD-01)

Se realiza una destilación, para separar el ACN del agua con el que fue absorbido en la columna absorbidora anterior. El objetivo de este equipo es obtener como subproducto del proceso al ACN en una pureza comercial del 95%, este será vendido a empresas que produzcan ACN.

Además, en esta torre se recupera el ACN proveniente del fondo de la columna de stripping donde se hace la primera separación de ACN en la purificación del AN. Se hacen balances de masas para cada compuesto, para lograr encontrar las composiciones y flujos molares de las corrientes, que son expuestos en el siguiente esquema.

La torre opera a 90°C, por lo tanto, no es necesario hacer un balance de energía, ya que todas las corrientes están especificadas.

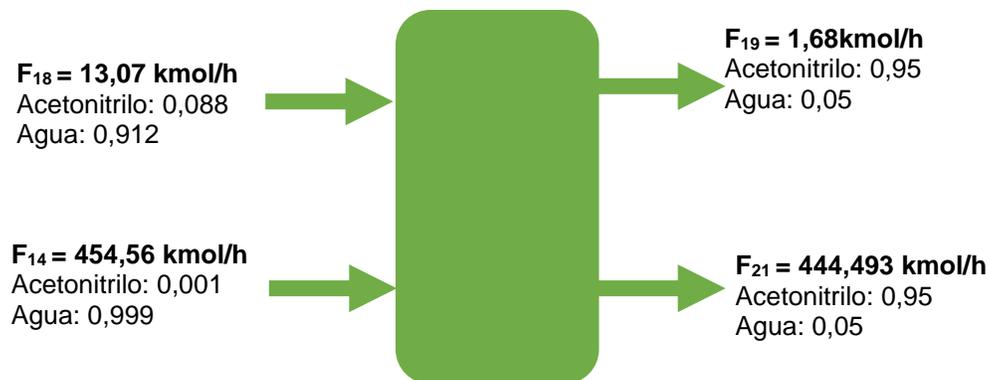


Figura 5-11: Balance de masa torre recuperadora de ACN TD-01 - Fuente: Elaboración propia

5.3.7.3. Balance de masa y energía de la recuperadora de AN (TD-02)

En este equipo se produce la deshidratación del AN, y la corriente de agua que se separa es tratada para luego ser reutilizada.

Se puede obtener una corriente de fondo de un 80% de agua y el resto AN, ya que forman un azeótropo.

Y por cabeza se obtiene una corriente de un 97 % de AN y un 0,4% de agua, para cumplir con la especificación de un $2 \cdot 10^{-3}$ en peso de agua.

El resto de las composiciones, y los flujos molares de las corrientes se pueden ver en la figura siguiente.

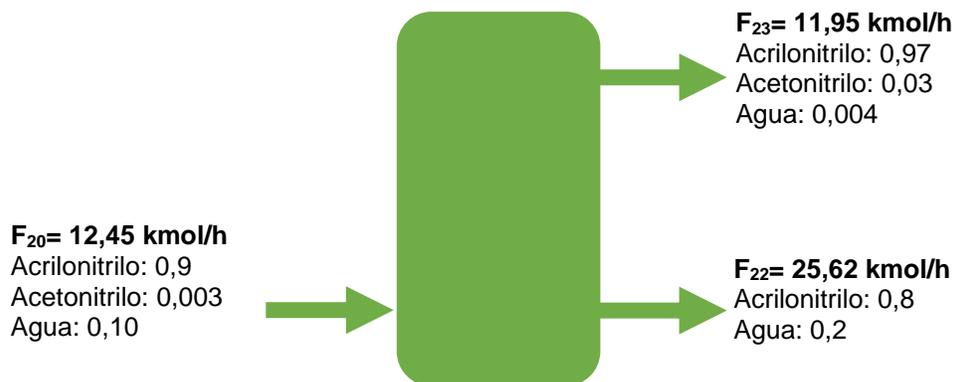


Figura 5-12: Balance de masa de la torre deshidratadora TD-02 - Fuente: Elaboración propia

5.3.8. Destilación al vacío

La operación de la torre se concreta obteniendo el producto dentro de las especificaciones que son las siguientes:

- El contenido de ácido cianhídrico no debe ser superior a 5 ppm.
- El contenido de agua debe de ser de 0,2 a 0,4 % en peso.
- El contenido de acetonitrilo no debe ser superior a 200 ppm.
- En la apariencia debe ser claro y libre de materia en suspensión.

5.3.8.1. Balance de masa y energía de la torre de destilación al vacío (TD-03)

En este equipo se trabaja al vacío, a $0,4 \text{ kg/cm}^2$, para maximizar la recuperación de AN, y separarlo de las impurezas que hayan quedado, para obtener el AN producto con una pureza del 99,4%, que es lo requerido comercialmente.

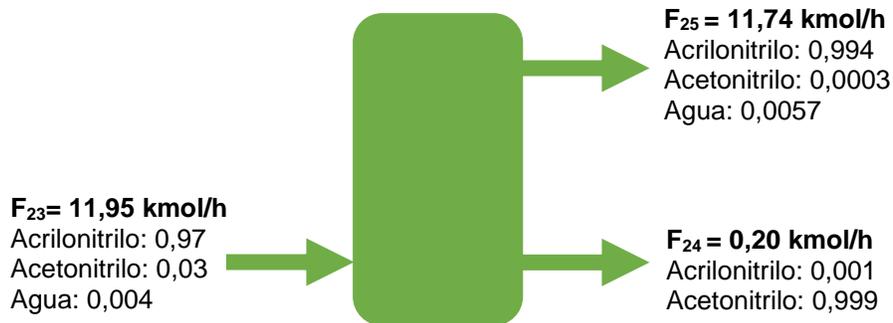


Figura 5-13: Balance de masa de la torre destiladora al vacío TD-03- Fuente: Elaboración propia

5.3.9. Almacenamiento

El almacenamiento lo realizaremos en tanques con el producto y subproductos en estado líquido, para disminuir el volumen de los tanques y hacerlo de una manera más económica y segura.

5.3.9.1. Balance de masa y energía del condensador 1 (C-01)

En este condensador se lleva a estado líquido el HCN, que es otro subproducto del proceso, ya que en ese estado se almacena. Para esto, primero se lleva de los 60°C, temperatura de salida del splitter (F_{17}), a su punto de ebullición que es 25,6°C para luego condensarlo.

El Cp de la mezcla a 42,8°C, que es la temperatura media entre los 60 y los 25,6°C de la corriente del HCN, tiene un valor de 33,67 kJ/kmolK y el valor del Cp del agua a 22°C, que es la media entre los 20°C y los 22,96°C de la corriente del agua, es de 4,182 kJ/kmolK. Con estos valores, y un balance de energía calculamos la cantidad de agua que produce la condensación, este dato, junto con los flujos molares y las composiciones de cada corriente están descriptas en la siguiente figura:

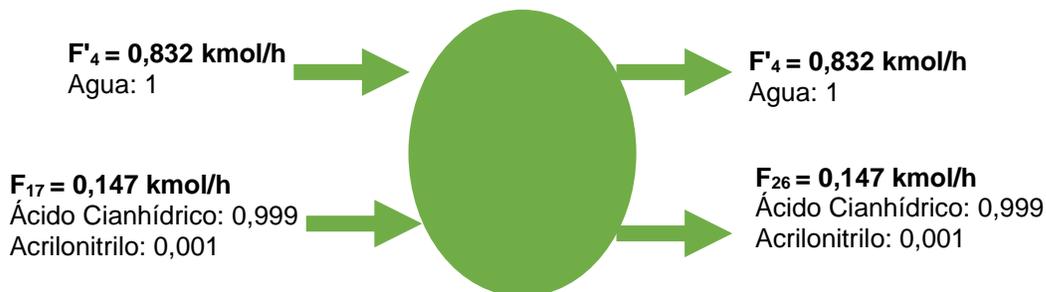


Figura 5-14: Balance de masa del condensador C-01- Fuente: Elaboración propia

5.3.9.2. Balance de masa y energía del condensador 2 (C-02)

Este condensador, se coloca para llevar al ACN al estado líquido, para poder almacenarlo. Para condensarlo, se enfría hasta su punto de ebullición que es 82°C y se condensa, el calor extraído se usa para generar vapor a 120°C.

La cantidad de agua necesaria para poder obtener el producto, se calcula mediante un balance de energía utilizando el valor del calor específico de la mezcla, a la temperatura media entre los 90 y 82°C, cuyo valor es 57 kJ/kmolK.

En la siguiente figura, se puede observar un resumen de los flujos molares de las corrientes y con las composiciones de cada componente:

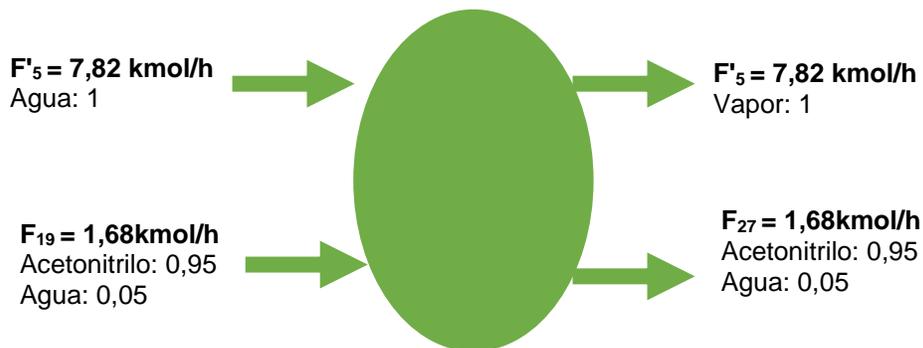


Figura 5-15: Balance de masa del condensador C-02 - Fuente: Elaboración propia

5.3.9.3. Balance de masa y energía del condensador 3 (C-03)

Con un balance de energía para este intercambiador, calculamos el calor necesario para condensar la corriente de acrilonitrilo producto y así poder almacenarlo en estado líquido.

Es necesario extraer el calor de condensación solamente, ya que la corriente ya se encuentra a la temperatura de ebullición del AN. El calor de condensación se usa para generar vapor a 120°C,

que puede ser utilizado en otras partes del proceso. En la siguiente figura, se especifican los flujos molares y composiciones de todas las corrientes:

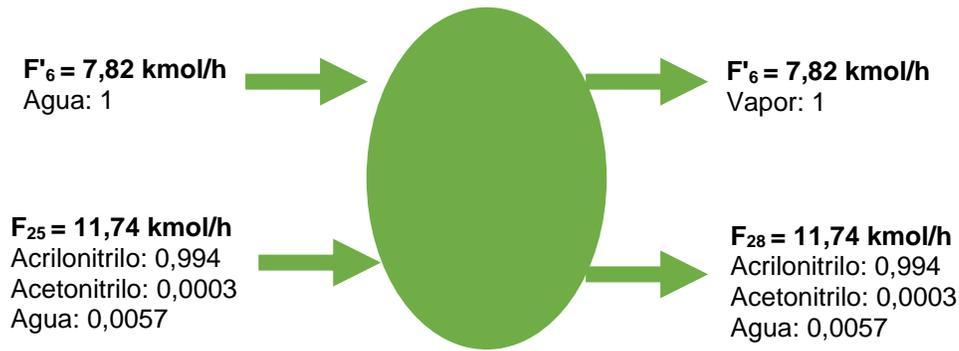


Figura 5-16: Balance de masa del condensador C-03 - Fuente: Elaboración propia

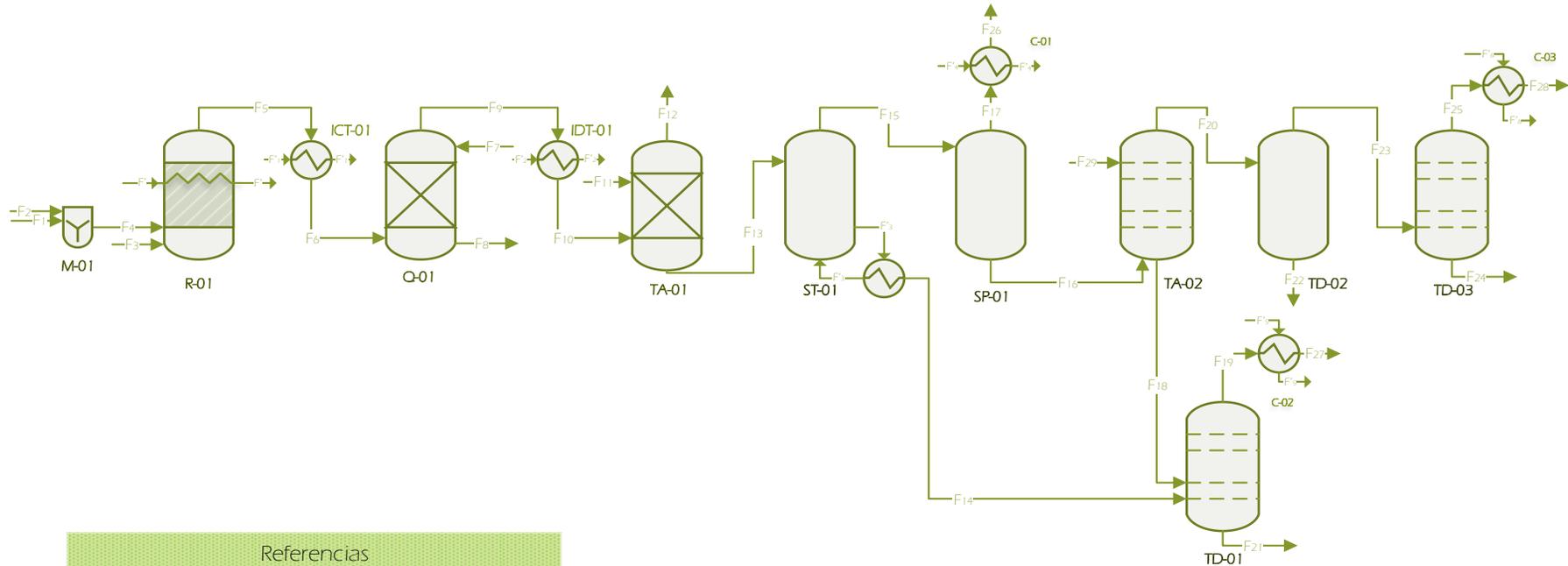
5.3.10. Despacho

El despacho se realiza en camiones cisterna de distintas capacidades de acuerdo con los pedidos que los clientes realicen. Existe una zona dentro de la planta destinada a la carga de estos camiones.

5.4. Diagrama completo del proceso

En la siguiente figura se observa el diagrama completo del proceso con todos los flujos anteriormente calculados. El diseño, selección y descripción detallada de estos equipos se verá en el próximo capítulo.

PROCESO SOHIO ACRISUR S.A.



Referencias

- M: Mezclador
- R: Reactor
- I: Intercambiador de Calor; ICT: Casco y tubo; IDT: Doble tubo
- C: Condensador
- Q: Quench
- TA: Torre Absorbadora
- ST: Stripper
- SP: Splitter
- TD: Columna de Destilación

Figura 5-17: Diagrama del proceso productivo – Fuente: Elaboración propia

6. SELECCIÓN Y DISEÑO DE EQUIPOS

6.1. Introducción

En este capítulo se definen las tecnologías utilizadas para cada operación del proceso.

Tratándose de una industria de grandes dimensiones como ésta, podemos afirmar que la tecnología será de tipo capital intensivo. En los casos en los que se consideró pertinente, se evaluaron alternativas tecnológicas para los equipos seleccionados.

El objetivo es seleccionar la maquinaria óptima para el proceso productivo y con ello el proveedor más conveniente, evaluando no sólo el costo de su maquinaria, sino también ubicación, forma de pago, entrega, plazos, y confiabilidad.

Además, con la información definida en el Capítulo 5 “Ingeniería de proceso”, se define también el diseño y selección de los equipos específicos a utilizar. Se plantea un factor de ocupación de 0,85 de la capacidad total instalada, por lo tanto, se tendrá en cuenta un 15% de sobredimensionamiento para cada equipo calculado en los incisos posteriores.

Para el cálculo y diseño de los diferentes equipos que son necesarios se evalúan los flujos a tratar en cada caso.

Producto de la elección de una alternativa se derivarán luego las distintas necesidades, sean éstas de equipos y materiales, requerimientos de personal, necesidades de espacios como de obras físicas, para luego hacer los cálculos de los diversos costos del proyecto.

6.2. Almacén de materias primas

Las materias primas a almacenar son propileno, amoniaco y el oxígeno del aire, y además el ácido sulfúrico que se usa para neutralizar el NH_3 no reaccionante.

El almacenamiento se hará en estado líquido, como ya se habló en los apartados anteriores, y en este inciso, se hará el cálculo de los volúmenes necesarios para abastecer un determinado período de tiempo según el tipo de compuesto.

En todos los casos se considerarán los materiales aptos para almacenar cada materia prima y las condiciones en las que deben ser almacenadas.

6.2.1. Tanque de almacenamiento de amoniaco

El amoniaco se transportará en camiones en estado líquido bajo presión, y el trasvase se hará en condiciones de extrema seguridad, ya que, en caso de fuga, éste se vaporiza y en ciertas concentraciones, es asfixiante, quema las vías respiratorias, produce quemaduras, destruye tejidos y puede llegar a producir la muerte si no se usan los equipos de seguridad necesarios.

Debe tenerse en cuenta que no es inflamable, pero sí puede combustionar si está en contacto con algún compuesto combustible. ^[4]

Para calcular el volumen del tanque de almacenamiento, se convierte el flujo molar de amoniaco, obtenido por balance de masa en el Capítulo 5 “Ingeniería de proceso” a flujo volumétrico. Esto se logra, considerando la densidad del amoniaco líquido que es de 562,7 kg/m³ a la presión de diseño del equipo que son 19 atmósferas, y la masa molar del compuesto.

$$F_4^{NH_3} = X_4^{NH_3} \cdot F_4$$

$$F_{V4}^{NH_3} = F_4^{NH_3} P m_{NH_3} \rho_{NH_3}$$

$$F_4^{NH_3} = X_4^{NH_3} \cdot F_4 = 0,14 \cdot 27,18 \frac{kmol}{h} = 3,8 \frac{kmol}{h}$$

$$F_{V4}^{NH_3} = F_4^{NH_3} P m_{NH_3} \rho_{NH_3} = 3,8 \cdot \frac{kmol}{h} \cdot 17 \frac{kg}{kmol} = 64,6 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1}{562,7} \frac{m^3}{kg} = 0,11 \frac{m^3}{h}$$

Se hace el volumen necesario para abastecer un mes de amoniaco, considerando que cada mes tiene 30 días en promedio.

$$V = 0,11 \frac{m^3}{h} \cdot 24 \frac{h}{día} \cdot 30 \frac{día}{mes} = 82,7 \frac{m^3}{mes}$$

Se debe tener en cuenta, que el llenado del tanque se hace solo al 85% de su capacidad, por cuestiones de seguridad. Entonces se corrige el volumen con un 20 % más, considerando un sobredimensionamiento por posibles aumentos en la producción.

$$V = 82,7 \frac{m^3}{mes} \cdot 1,20 = 100 m^3$$

6.2.1.1. Equipamiento seleccionado

En base a los cálculos realizados antes, se selecciona un equipo de acero inoxidable, que será un material apropiado para almacenar este compuesto. Se tuvo en cuenta, que el equipo a seleccionar, contará con los elementos de seguridad, como los medidores de presión, válvulas anti retorno y válvulas de seguridad, entre otros.

Tabla 6-1: Ficha técnica tanque de almacenamiento de NH₃ - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de NH ₃
Referencia del proceso	T-01
Marca	Chengli
Modelo	CLW
Cantidad	1
Capacidad	100 m ³
Diámetro	3,13 m
Altura	13 m
Presión de diseño	17 kg/cm ²
Material	Acero inoxidable
Área ocupada	8 m ²
Costo	USD 10000



Figura 6-1: Tanque almacenamiento de NH_3 - Fuente: Alibaba

6.2.2. Tanque de almacenamiento de propileno

El propileno, se almacena en estado líquido a temperatura ambiente y a su presión de vapor de $10,4 \text{ kg/cm}^2$.

Para calcular el volumen del tanque de almacenamiento, se convierte el flujo molar obtenido por balance de masa en el Capítulo 5 "Ingeniería de proceso", a flujo volumétrico. En este caso se considera la densidad del propileno líquido a la presión de diseño del equipo con un valor de $500,9 \text{ kg/m}^3$, y se hace la misma secuencia de cálculo que para el NH_3 .

$$F_4^{C_3H_6} = 0,86 \cdot 27,18 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = 23,4 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$F_{V4}^{C_3H_6} = 23,4 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 42 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 982,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{500,9} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 1,96 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se hace el volumen necesario para abastecer un mes de propileno, considerando que cada mes tiene 30 días en promedio.

$$V = 1,96 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 30 \frac{\text{día}}{\text{mes}} = 1412,7 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Considerando un 15 % de sobredimensionamiento, por la posibilidad de ampliación de la planta, el volumen final del tanque de almacenamiento es de:

$$V = 1,15 \cdot 1412,7 \text{ m}^3 = 1625 \text{ m}^3$$

6.2.2.1. Equipamiento seleccionado

Según las propiedades de este compuesto, el tanque de almacenamiento debe ser de acero inoxidable AISI 304.

Como en el caso del almacenamiento de amoníaco, se tuvieron en cuenta los elementos de seguridad, como los medidores de presión, válvulas anti retorno y válvulas de seguridad, entre otros. Una imagen del equipo puede verse en la Figura 6-1, ya que la única diferencia con el tanque de almacenamiento de NH_3 , es el volumen.

Tabla 6-2: Ficha técnica tanque de almacenamiento de C_3H_6 - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de C_3H_6
Referencia del proceso	T-02
Marca	Chengli
Modelo	CLW 15
Cantidad	2
Capacidad	1000 m ³
Diámetro	9 m
Altura	15 m
Presión de diseño	15 kg/cm ²
Material	Acero inoxidable
Área ocupada	64 m ²
Costo	USD 75000

6.2.3. Tanque de almacenamiento de aire comprimido

El oxígeno necesario para la reacción se obtiene a partir del aire.

Con el mismo procedimiento que se usó para el amoniaco y el propileno, en los incisos anteriores, se convierte el flujo molar en flujo volumétrico.

Para eso se calculó la densidad del aire con la ecuación de los gases ideales, a la presión de almacenamiento que es 20,4 kg/cm², quedando la densidad igual a 26,11 kg/m³.

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{20 \text{ atm} \cdot 0,029 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot (273 + 470) \text{K}} = 0,0014 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 1,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$F_3^{\text{Aire}} = 107,7 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 28,9 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 3112,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{V3}^{\text{Aire}} = 3112,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{26,11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 119,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se hace el volumen necesario para abastecer un turno de trabajo de 8 horas, ya que es más sencillo de obtener que el resto de los reactivos.

$$V = 119,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 8 \text{h} = 953,6 \text{m}^3$$

Considerando un 15 % de sobredimensionamiento, por la posibilidad de ampliación de la planta, el volumen final del tanque de almacenamiento es de:

$$V = 1,15 \cdot 953,6 \text{m}^3 = 1096 \text{m}^3$$

6.2.3.1. Equipamiento seleccionado

El tanque de almacenamiento es de una aleación de acero liviano ya que es lo requerido según la hoja de seguridad. Se debe prever que el tanque tenga una válvula de control o de retención para evitar riesgos de retroceso de flujo al interior.

Tabla 6-3: Ficha técnica tanque de almacenamiento de aire comprimido - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de aire comprimido
Referencia del proceso	T-03
Marca	Zhitong
Modelo	ACE
Cantidad	1
Capacidad	1000 m ³
Diámetro	9 m
Altura	15 m
Presión de diseño	20 kg/cm ²
Material	Aleación de acero liviano
Área ocupada	64 m ²
Costo	USD 50000

6.2.4. Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico necesario para neutralizar el amoniaco que no ha reaccionado en el reactor, es almacenado en tanques cuyas especificaciones se determinarán en el inciso posterior.

Para determinar el volumen necesario del tanque, el flujo molar debe ser convertido en flujo volumétrico. Como ambos compuestos se encuentran a 25°C y por lo tanto en estado líquido, de tablas se extraen los datos de las densidades. La densidad del ácido sulfúrico es 1,84 g/cm³ y la del agua a 25°C es de 997 kg/m³.

$$F_{7}^{H_2SO_4} = 4,56 \frac{kmol}{h} \cdot 0,4 \cdot 98 \frac{kg}{kmol} = 178,75 \frac{kg}{h}$$

$$F_{V7}^{H_2SO_4} = 178,75 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1}{997} \frac{m^3}{kg} = 0,18 \frac{m^3}{h}$$

Se hace el volumen necesario para abastecer 10 días de trabajo.

$$V = 0,18 \frac{m^3}{h} \cdot 24 \frac{h}{día} \cdot 10 día = 43,2 m^3$$

Considerando un 15 % de sobredimensionamiento, por la posibilidad de ampliación de la planta, el volumen final del tanque de almacenamiento es de:

$$V = 1,15 \cdot 43,2 m^3 = 50 m^3$$

6.2.4.1. Equipamiento seleccionado

La solución acuosa de ácido sulfúrico al 40%, es un líquido muy corrosivo para almacenar en un tanque metálico, por eso se elige un tanque de PE. Con concentraciones intermedias, entre 40 y 96%, aumenta la compatibilidad con materiales plásticos y disminuye la compatibilidad con materiales metálicos. Una imagen del equipo puede verse en la Figura 6-2.

Tabla 6-4: Ficha técnica tanque de almacenamiento de H_2SO_4 - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de H_2SO_4
Referencia del proceso	T-04
Marca	Duraplas
Modelo	S26000
Cantidad	2
Capacidad	26 m ³
Diámetro	2,95 m
Altura	4,4 m
Presión de diseño	1,5 kg/cm ²
Material	PE virgen
Área ocupada	6,8 m ²
Costo unitario	U\$D 3500



Figura 6-2: Tanque almacenamiento de H_2SO_4 – Fuente: Duraplas

6.3. Mezclador de reactivos

Previo al reactor se encuentra en el proceso un mezclador de reactivos, el cual se encarga de dosificar el propileno y el amoníaco en las cantidades necesarias para la reacción. Teniendo en cuenta el flujo másico necesario, se plantea la ecuación de gases ideales, suponiendo que no se alejan de la idealidad, para calcular la densidad en las condiciones de reacción para el propileno y el amoníaco, obteniendo un flujo volumétrico:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,042 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot (273 + 470)\text{K}} = 0,0014 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 1,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_4^{C_3H_6}}{\rho} = F_{v4}^{C_3H_6} = \frac{13,35 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 42 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{1,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 406,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,017 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743\text{K}} = 5,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 0,558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_4^{NH_3}}{\rho} = F_{v4}^{NH_3} = \frac{13,83 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 17 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{0,558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 421,34 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$F_{v4} = (421,34 + 406,3) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 827,64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

6.3.1. Equipamiento seleccionado

Considerando el sobredimensionamiento del 15% se selecciona el siguiente tanque:

Tabla 6-5: Ficha técnica tanque mezclador - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque mezclador de reactivos
Referencia del proceso	M - 01
Marca	Chengli
Modelo	CLW 13
Cantidad	1
Capacidad	1000 m ³
Diámetro	9 m
Altura	15 m
Presión de diseño	3 kg/cm ²
Material	Acero inoxidable
Área ocupada	81 m ²
Costo	USD 50000

Una imagen ilustrativa del equipo puede verse en la Figura 6-1, sólo difieren en la presión de diseño.

6.4. Reactor

Mediante información extraída de diferentes papers se tiene que las ecuaciones cinéticas para las distintas reacciones que ocurren en este equipo son de primer orden:

$$-r_1 = k_1 \cdot C_{C_3H_6}$$

$$-r_2 = k_2 \cdot C_{C_3H_6}$$

$$-r_3 = k_3 \cdot C_{C_3H_6}$$

$$-r_4 = k_4 \cdot C_{C_3H_6}$$

$$-r_5 = k_5 \cdot C_{C_3H_6}$$

Tabla 6-6: Valores cinéticos a la temperatura de reacción - Fuente: Recercat

Reacción	E_{ai}	k_{i,T_r}	T_R (K)
1	19000	0,40556	743
2	7000	0,01744	743
3	7000	0,073	743
4	7000	0,16222	743
5	19000	0,00973	743

Analizando la tabla anterior puede verse el alto valor de energía de activación de la reacción principal, esto llama la atención ya que se relaciona estrechamente con su velocidad. Específicamente, mientras mayor sea la energía de activación, más lenta es la reacción química, por lo que se procede a realizar el diseño para esta reacción debido a que es la etapa más lenta. [31]

Se conoce que la reacción es de primer orden, por lo que la ecuación cinética sigue la forma:

$$-r_1 = k_1 \cdot C_{C_3H_6}^0 \cdot (1 - x_{C_3H_6})$$

El cálculo de la concentración inicial viene dado por el cálculo del número de moles del propileno que tenemos inicialmente, seguido de una división del mismo número por el volumen total obtenido en el ingreso.

$$F_4^{C_3H_6} = 13,35 \frac{kmol}{h}$$

Se determina el volumen, sabiendo que la reacción ocurre a 2 kg/cm² y a 470°C.

Planteando la densidad a dichas condiciones para propileno, considerando que no se aleja mucho de la idealidad, tenemos:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,042 \frac{kg}{mol}}{0,082 \frac{atm \cdot L}{K \cdot mol} \cdot (273 + 470)K} = 0,0014 \frac{kg}{L} = 1,38 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{F_4^{C_3H_6}}{\rho} = F_{v4}^{C_3H_6} = \frac{13,35 \frac{kmol}{h} \cdot 42kg}{1,38 \frac{kg}{m^3}} = 406,3 \frac{m^3}{h}$$

Se plantea de igual modo para las demás entradas de reactivos:

- Para el amoníaco:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,017 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743 \text{ K}} = 5,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 0,558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_4^{NH_3}}{\rho} = F_{v4}^{NH_3} = \frac{13,83 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 17 \text{ kg}}{0,558 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 421,34 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Para el aire:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot (0,71 \cdot 0,028 + 0,29 \cdot 0,032) \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743 \text{ K}} = 9,57 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 0,957 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_3}{\rho} = F_{v3} = \frac{107,7 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 29 \text{ kg}}{0,957 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3263,64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Sumando el caudal volumétrico total que entra al reactor:

$$F_{v4}^{C_3H_6} + F_{v4}^{NH_3} + F_{v3} = (406,3 + 421,34 + 3263,64) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 4091,28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = F_v$$

Sabiendo que la concentración es el número de moles por unidad de volumen se tiene que:

$$C_{C_3H_6}^o = \frac{n_{\text{totales}}}{V_{\text{total}}} = \frac{13,35 \cdot 10^3 \frac{\text{mol}}{\text{h}}}{4091,28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 3,26 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} = 3,26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Planteando la ecuación de velocidad entonces, se tiene que:

$$r_1 = 0,40556 \frac{1}{\text{s}} \cdot 3,26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot (1 - 0,9)$$

$$r_1 = 0,00013 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$$

Como se analiza en el paper Waste Management de J.R. Hopper, no existen grandes diferencias entre realizar los cálculos como un reactor de lecho fluidizado o como un reactor de flujo pistón. Por lo cual para simplificar el sistema se considera un reactor FP.

La evaluación del mismo se verá según la ecuación de diseño:

$$\frac{dN_i}{dz} = -A_t \cdot r_i$$

donde: dN_i : Caudal molar de la especie

dz : Largo del reactor

A_t : Área transversal del reactor

r_i : Velocidad de reacción de la especie

Determinación del tiempo de residencia, teniendo en cuenta las variaciones de volumen dentro del reactor:

$$\theta_R = C_{C_3H_6}^0 \int_0^{x_{C_3H_6}} \frac{dx_{C_3H_6}}{k \cdot C_{C_3H_6}^0 \cdot \frac{1 - x_{C_3H_6}}{1 + \varepsilon \cdot x_{C_3H_6}}}$$

$$\varepsilon = \frac{n_{prod} - n_{reac}}{n_{reac}} = \frac{51,61 - 46,7}{46,7} = 0,105$$

Resolviendo la integral con calculadora, se obtiene que $\theta_R = 6,04$ s. Tiempo que está dentro del rango óptimo -entre 5 y 10 segundos-.

Determinación del diámetro y longitud:

El flujo volumétrico o caudal se conoce como:

$$F_v = A \cdot v$$

Siendo $v = 0,5 \frac{m}{s}$ la velocidad de los gases.

$$4091,28 \frac{m^3}{h} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 0,5 \frac{m}{s} \cdot 3600 \frac{s}{h}$$

$$D = 1,7 \text{ m}; A = 2,27 \text{ m}^2$$

El volumen del reactor será, teniendo en cuenta el tiempo de reacción:

$$V = F_v \cdot \theta_R = A \cdot z$$

$$4091,28 \frac{m^3}{h} \cdot 6,04 \text{ s} \cdot \frac{1h}{3600s} = 2,27m^2 \cdot z$$

$$z = 3,02 \text{ m}$$

6.4.1. Catalizador

La cantidad de catalizador necesario para la producción del acrilonitrilo se obtiene utilizando los datos físicos del mismo.

Tabla 6-7: Propiedades físicas del catalizador – China Petrochemical Corporation (Sinopec Group)

Size distribution, wt%:	
Passing 20 mesh	100
>90 micron	0~30
<45 micron	30~50
Bulk density, g/ml	0.88~1.12
Compact density, g/ml	1.04~1.28
Pore volume, ml/g	0.20~0.30
Attrition loss, wt%	<4
Agglomeration	no

Además, teniendo en cuenta la relación de masa de propileno de alimentación por unidades de peso de catalizador por hora, y la cantidad de propileno, se obtiene la masa de catalizador total necesario en el reactor:

$$\frac{m_{ctz}}{m_{C_3H_6}} = 0,0725$$

$$m_{ctz} = 4576,4 \frac{t}{a} \cdot \frac{1 a}{340 d} \cdot \frac{1 d}{24 h} \cdot 0,0725 = 0,041 \frac{t}{h} = 40,66 \frac{kg}{h}$$

Para tener en cuenta en el volumen total del reactor, debe calcularse el volumen que ocuparía el lecho de catalizador:

El volumen específico del lecho es la inversa de la densidad aparente del lecho, y teniendo en cuenta la masa del catalizador y la densidad de la tabla de propiedades físicas:

$$\rho_b = \frac{m_{ctz}}{V_b} 0,88 \frac{g}{ml} = 880 \frac{kg}{m^3}$$

$$V_b = \frac{40,66 kg}{880 \frac{kg}{m^3}} = 0,046 m^3$$

Teniendo en cuenta las pérdidas de catalizador debido al arrastre por los gases de salida, que se considera un 0,1%:

$$40,66 \frac{kg}{h} \cdot \frac{0,1}{100} = 0,041 \frac{kg}{h} = 334,56 \frac{kg_{ctz}}{a}$$

Estas pérdidas se evitarán colocando ciclones que serán calculados y descriptos posteriormente.

6.4.1.1. Recuperación de catalizador

La corriente gaseosa de salida de la zona de reacción en el reactor se hace pasar por un ciclón para recuperar el catalizador. Este dispositivo está diseñado para separar partículas de diámetro superior a 5 μm , por lo que no tendría problemas con los tamaños de partículas de catalizador mostrados en la Tabla 6-7. El principio de funcionamiento se basa en la separación de las partículas mediante la fuerza centrífuga.

Las partículas sólidas presentes en la corriente, como resultado de la fuerza centrífuga tienden a asumir una dirección radial, encontrando las paredes internas del ciclón, perdiendo su velocidad y favoreciendo la separación. Los gases se separan del polvo subiendo por el ciclón según una espiral y el mismo se retira por la parte superior. Las partículas se recogen en la parte inferior del reactor para su regeneración con el aire que entra caliente por la parte inferior.

Estos separadores ciclónicos presentan diversas ventajas como, por ejemplo, rendimientos muy elevados para partículas gruesas, mantenimiento simplificado y económico, poca área requerida, posibilidad de trabajar con humedad y altas temperaturas y economía en su uso.

Los ciclones utilizados son de entrada de gas tangencial y descarga de los sólidos axial; y por el tamaño de partícula y la capacidad se escogió los ciclones convencionales.

El criterio de selección y diseño se basará en el flujo a tratar, la pérdida de carga, y la eficiencia. En base al equipo propiamente dicho, según el tamaño de partícula se determinará el diámetro del mismo.

Teniendo en cuenta los flujos máxicos de salida del reactor y en base a las densidades de los compuestos que se encuentran en los mismos se evalúa el flujo volumétrico que entra al equipo.

Sabiendo que la reacción ocurre a 2 kg/cm² y a 470°C, y planteando la densidad a dichas condiciones para los compuestos, sabiendo que no se aleja mucho de la idealidad:

$$\frac{F_5^{C_3H_6}}{\rho} = F_{v5}^{C_3H_6} = \frac{59,4 \frac{kg}{h}}{1,38 \frac{kg}{m^3}} = 43 \frac{m^3}{h}$$

$$\frac{F_5^{NH_3}}{\rho} = F_{v5}^{NH_3} = \frac{56,4 \frac{kg}{h}}{0,558 \frac{kg}{m^3}} = 101,1 \frac{m^3}{h}$$

Para el nitrógeno:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,028 \frac{kg}{mol}}{0,082 \frac{atm \cdot L}{K \cdot mol} \cdot 743K} = 9,19 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{L} = 0,92 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{F_5^{N_2}}{\rho} = F_{v5}^{N_2} = \frac{2447,1 \frac{kg}{h}}{0,92 \frac{kg}{m^3}} = 2659,89 \frac{m^3}{h}$$

Para el dióxido de carbono:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,044 \frac{kg}{mol}}{0,082 \frac{atm \cdot L}{K \cdot mol} \cdot 743K} = 1,44 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{L} = 1,44 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{F_5^{CO_2}}{\rho} = F_{v5}^{CO_2} = \frac{15,5 \frac{kg}{h}}{1,44 \frac{kg}{m^3}} = 10,76 \frac{m^3}{h}$$

Para el ácido cianhídrico:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,027 \frac{kg}{mol}}{0,082 \frac{atm \cdot L}{K \cdot mol} \cdot 743K} = 8,63 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{L} = 0,886 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{F_5^{HCN}}{\rho} = F_{v5}^{HCN} = \frac{3,8 \frac{kg}{h}}{0,886 \frac{kg}{m^3}} = 4,29 \frac{m^3}{h}$$

Para el acrilonitrilo:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,041 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743 \text{ K}} = 1,34 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 1,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_5^{AN}}{\rho} = F_{v5}^{AN} = \frac{643,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,886 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 726,18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para la acroleína:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,056 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743 \text{ K}} = 1,84 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 1,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_5^{ACR}}{\rho} = F_{v5}^{ACR} = \frac{5,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,83 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para el acetonitrilo:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,041 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743 \text{ K}} = 1,34 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 1,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_5^{ACN}}{\rho} = F_{v5}^{ACN} = \frac{1,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,04 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para el agua:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,018 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 743 \text{ K}} = 5,9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 0,59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{F_5^{H_2O}}{\rho} = F_{v5}^{H_2O} = \frac{487,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 826,95 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Sumando el caudal volumétrico total que sale del reactor hacia el ciclón:

$$F_{v5}^{C_3H_6} + F_{v5}^{NH_3} + F_{v5}^{N_2} + F_{v5}^{CO_2} + F_{v5}^{HCN} + F_{v5}^{AN} + F_{v5}^{ACR} + F_{v5}^{ACN} + F_{v5}^{H_2O} = 4376,04 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ = F_v$$

6.4.1.1.1. Equipamiento seleccionado

En base a los datos de flujo volumétrico obtenidos se busca en los catálogos de los proveedores los equipos que se adapten a estos requerimientos. A continuación, se presentan las especificaciones del equipo seleccionado.

Tabla 6-8: Ficha técnica Ciclón - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Separador ciclónico
Referencia del proceso	C-01
Marca	YITE
Modelo	1XF820
Cantidad	1
Capacidad de procesado	5030 ~ 8380 m ³ /h
Eficiencia	99%
Área necesaria para su instalación	2 m ²
Material	Acero al carbono
Costo	U\$D 3000

Cabe destacar que los procesos de instalación están contemplados en los costos dados, al igual que el servicio postventa.



Figura 6-3: Separador ciclónico - Fuente: Alibaba

6.4.2. Serpentín de Recuperación de Calor

La reacción de obtención del acrílonitrilo y sus reacciones secundarias generan una energía 15,94 kJ por kg de propileno reaccionado. Es esta energía la que debe evacuarse del reactor mediante el sistema de transmisión de calor, aprovechándolo para formar vapor a baja presión. Para esto, se necesitarán unos tubos que generen ese vapor.

Como ya se calculó en el inciso del reactor, el calor total obtenido de la reacción es:

$$Q = m_T \cdot \Delta H_R = 62119,12 \frac{kJ}{h}$$

Y la masa de agua necesaria: $m_{H_2O} = 189459,76 \frac{kg}{a} = 23,21 \frac{kg}{h} = 1,29 \frac{kmol}{h}$

$$F'_v = \frac{23,21 \frac{kg}{h}}{983,2 \frac{kg}{m^3}} = 0,024 \frac{m^3}{h}$$

Lo que se debe calcular en estos casos es el número de tubos necesarios para mantener la temperatura dentro del reactor, pero como el caudal de agua necesario es tan pequeño, la solución será colocar un tubo de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, con el cual será suficiente para lograr el objetivo.

6.4.3. Equipamiento seleccionado

En cuanto a la selección de equipos propiamente dicha, habiéndolos diseñado previamente se buscará en catálogos, en los cuales se encuentran los siguientes datos:

Tabla 6-9: Ficha técnica Reactor Borui 1000L - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Reactor
Referencia del proceso	R-01
Marca	BORUI CHEMICAL MACHINERY
Modelo	1000L
Cantidad	1
Capacidad	10 m ³
Diámetro	2 m
Altura	3,25 m
Material	Acero inoxidable, titanio, níquel, circonio, revestimientos de PTFE.
Área necesaria para su instalación	4 m ²
Sello	Magnético, mecánico
Costo	U\$D 10000



Figura 6-4: Reactor - Fuente: Alibaba

6.5. Enfriador

En esta operación unitaria se utiliza un intercambiador de calor para llevar a cabo el enfriamiento de la corriente de proceso proveniente del reactor. Esta corriente ingresa al intercambiador a 470°C y sale a 230°C, mientras que el agua de refrigeración ingresa a 20°C y sale en estado vapor.

El intercambiador de calor que se utiliza para el enfriamiento de la corriente de proceso se encuentra a una presión de trabajo de 2 atm.

6.5.1. Intercambiador de calor casco y tubo

Para el diseño del intercambiador ubicado luego del reactor se ha seguido el método de Kern. Este intercambiador presenta cambio de fase, donde el agua de refrigeración entra en estado líquido y sale como vapor. Debido al gran caudal que presentan los fluidos que se ponen en contacto, como así también la cantidad de calor a transferir se optó por un intercambiador de casco y tubo. Estos equipos son más compactos, en el cual se colocan varios tubos internos encerrados en otro de mucho mayor diámetro.

Para la ubicación de los fluidos en el equipo, optamos por colocar al fluido menos ensuciante, el agua refrigerante, por carcasa y al fluido de proceso, más ensuciante y caliente por tubo, por la razón de que resulta más sencillo limpiar un tubo por dentro que por fuera.

En primera instancia se caracteriza a las corrientes, entonces para poder llevar a cabo el diseño de este intercambiador buscamos las propiedades de los fluidos a la temperatura media de los mismos que se ponen en contacto en el equipo. En la Tabla 6-10 se presentan las propiedades de la corriente a enfriar que circula por tubos y del fluido refrigerante que lo hace por carcasa.

Tabla 6-10: Propiedades físicas de las corrientes que circulan por Carcasa y Tubos – Fuente: Elaboración propia en base a datos de los fluidos

Datos de operación y diseño	Carcasa		Tubos	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Fluido	Agua de refrigeración		Fluido de proceso	
Fase	L	V	G	G
Caudal másico total (kg/h)	515,4	515,4	3959,14	3959,14
Temperatura (°C)	20	99,63	470	230
Presión de trabajo (bar)	1		2	
Densidad (kg/m ³) a T media	983,2		1,115	
Viscosidad dinámica (N s/m ²)	0,466 x10 ⁻³		2,5x10 ⁻⁵	
Calor específico (J/ kg K) a T media	4185		1233,81	
Conductividad (W/mK)	0,58		0,05	
Ensuciamiento (m ² K/W)	2x10 ⁻⁴		2x10 ⁻⁴	
Calor de vaporización (kJ/kg)	2258		-	

Sabiendo que el intercambio de calor ocurre a una presión de 2 kg/cm² y a 140°C como temperatura media, planteamos la densidad a dichas condiciones para los compuestos que conforman la corriente de proceso. Teniendo en consideración que no se aleja mucho de la idealidad y que se encuentran en estado gaseoso, utilizamos la ecuación de los gases ideales como en los incisos anteriores.

- Para el propileno:

$$\rho_{C_3H_6} = \frac{P \cdot Pm_i \cdot X_i \cdot 1000 L}{R T(K) 1m^3} = \frac{2 atm \cdot 0,042 \frac{kg}{mol} \cdot 0,011 \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 0,0181 \frac{kg}{m^3}$$

- Para el nitrógeno:

$$\rho_{N_2} = \frac{2 atm \cdot 0,028 \frac{kg}{mol} \cdot 0,662 \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 0,726 \frac{kg}{m^3}$$

- Para el amoníaco:

$$\rho_{NH_3} = \frac{2 atm \cdot 0,017 \frac{kg}{mol} \cdot 0,025 \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 0,017 \frac{kg}{m^3}$$

- Para el acrilonitrilo:

$$\rho_{AN} = \frac{2 atm \cdot 0,053 \frac{kg}{mol} \cdot 0,092 \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 0,19 \frac{kg}{m^3}$$

- Para el agua:

$$\rho_{H_2O} = \frac{2 atm \cdot 0,018 \frac{kg}{mol} \cdot 0,205 \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 0,14 \frac{kg}{m^3}$$

- Para el acetónitrilo:

$$\rho_{ACN} = \frac{2 atm \cdot 0,041 \frac{kg}{mol} \cdot 3 \times 10^{-4} \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 4,81 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$$

- Para el ácido cianhídrico:

$$\rho_{HCN} = \frac{2 atm \cdot 0,027 \frac{kg}{mol} \cdot 1 \times 10^{-3} \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 1,06 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$$

- Para la acroleína:

$$\rho_{ACR} = \frac{2 atm \cdot 0,056 \frac{kg}{mol} \cdot 7 \times 10^{-4} \cdot 1000 L}{0,082 L \frac{atm}{K mol} \cdot 623 K} = 1,53 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$$

- Para el dióxido de carbono:

$$\rho_{CO_2} = \frac{2 \text{ atm} \cdot 0,044 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 3 \times 10^{-3} \cdot 1000 \text{ L}}{0,082 \text{ L} \frac{\text{atm}}{\text{K mol}} \cdot 623 \text{ K}} = 5,17 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sumando las densidades de cada uno de los componentes de la corriente de proceso obtenemos la densidad de la mezcla:

$$\rho_{Mezcla} = \rho_{C_3H_6} + \rho_{N_2} + \rho_{NH_3} + \rho_{AN} + \rho_{H_2O} + \rho_{ACN} + \rho_{HCN} + \rho_{ACR} + \rho_{CO_2} = (0,0181 + 0,726 + 0,017 + 0,19 + 0,14 + 4,81 \times 10^{-3} + 1,06 \times 10^{-3} + 1,53 \times 10^{-3} + 5,17 \times 10^{-3}) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rightarrow \rho_{Mezcla} = 1,115 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

6.5.1.1. Balance Térmico

El diseño térmico de un intercambiador implica la adopción de una solución de compromiso entre lograr un alto coeficiente de transferencia y bajas pérdidas de carga en los fluidos. Al aumentar el coeficiente de transferencia el área de equipo necesaria disminuye. Es necesario obtener una solución óptima balanceando los mayores costos de inversión que implican mayor área y reducido costo operativo, baja pérdida de carga, contra las alternativas opuestas.

En el balance de energía, el calor de tubos tiene que ser igual al de la carcasa con el signo cambiado. Como existe un cambio de fase, donde el agua entra en estado líquido y sale en estado vapor debemos considerar el calor latente de vaporización (λ).

Como se contaba con todos los datos del agua de refrigeración, entonces el calor intercambiado se calculó en función del balance térmico a partir de la siguiente ecuación:

$$q = m_A (C_{p(A)}(t_s - t_e) + \lambda_v)$$

$$q = 515,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left(4,185 \frac{\text{kJ}}{\text{Kkg}} (372,63 - 293) \text{K} + 2258 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$q = 1,3355 \times 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}} = 370,98 \text{ kWh} = 1,355 \times 10^9 \frac{\text{J}}{\text{h}} = 3,71 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

6.5.1.2. Diferencia media logarítmica de temperatura (DMLT)

Para este tipo de intercambiador escogemos una disposición de flujos en contracorriente debido al mayor intercambio que se logra entre las corrientes.

La diferencia de temperatura media logarítmica (DMLT) para flujo en contracorriente se calcula de la siguiente manera:

$$DMLT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right)} = \frac{(470 - 99,63) - (230 - 20)}{\ln \left(\frac{(470 - 99,63)}{(230 - 20)} \right)} = 282,64^\circ\text{C}$$

6.5.1.3. Decisión del número de pasos por carcasa y por tubos

En primera medida se evalúa gráficamente el factor de corrección Ft según Apéndice 1 del libro de Eduardo Cao. [32] Su valor es función del tipo de equipo, del número de pasos por carcasa y por tubos, y de las temperaturas de entrada y salida del intercambiador.

Los valores Ft pueden calcularse en función de dos parámetros adimensionales definidos como:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad \text{y} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{(470 - 230)^{\circ\text{C}}}{(99,63 - 20)^{\circ\text{C}}} = 3 \quad S = \frac{(99,63 - 20)^{\circ\text{C}}}{(470 - 20)^{\circ\text{C}}} = 0,18$$

Por medio del gráfico del Apéndice 1 del libro Eduardo Cao para las curvas de los factores Ft, entrando con el valor de S=0,18 y cortando a la curva R=3 obtenemos un valor de Ft=0,94. Al obtener un valor de Ft>0,85 es necesario corregir DMTL, donde:

$$DMTL_{\text{corregida}} = DMTL \cdot Ft = 282,64 \text{ K} \cdot 0,94 = 265,68 \text{ K}$$

6.5.1.4. Cálculo del intercambiador

6.5.1.4.1. Suposición del coeficiente global inicial

Se parte de un valor inicial de U igual a 15– 250 W/m²K obtenido del Apéndice 20 del libro “Transferencia de calor en ingeniería de procesos” de Eduardo Cao, para el caso de los intercambiadores usando agua como fluido de enfriamiento de la corriente de gases. El U supuesto del intercambiador es un valor de 60 W/m²K, de modo que se encuentra dentro el rango especificado.

6.5.1.4.2. Cálculo del área total de intercambio y número total de tubos

Una vez supuesto el coeficiente global de transferencia de calor y calculado el calor total intercambiado es posible calcular el área total de intercambio a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = U A DMTL_{\text{corregida}} \rightarrow A = \frac{Q}{U DMTL_{\text{corregida}}} = \frac{3,71 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{h}}}{60 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{K}} 265,68 \text{ K}} = 23,27 \text{ m}^2$$

Ambos fluidos están separados por la superficie de los tubos que constituye el área de transferencia del equipo. Si llamamos N al número de tubos del intercambiador, L a la longitud de los mismos y D₀ a su diámetro, entonces el área total de los tubos se define por la siguiente ecuación:

$$A = \pi N D_0 L \rightarrow N = \frac{A}{\pi D_0 L} = \frac{23,27 \text{ m}^2}{\pi 0,01905 \text{ m} 6 \text{ m}} = 63,73 \cong 64 \text{ Tubos}$$

Siendo los valores estándares de longitud de tubo en metros: 1,83 - 2,44 - 3,66 - 4,88 - 6,10 y 7,32 (R.K. Sinnott., 2005), fijamos un valor de 6 metros. Se usan tubos de diámetros pequeños ya que el equipo suele ser más económico y compacto.

6.5.1.4.3. Selección y especificación de la carcasa y los tubos, número de pasos y arreglo de tubos

Los tubos utilizados en los intercambiadores de calor son normalizados por su diámetro exterior según la norma BWG. El espesor de tubo se seleccionará según la presión interior y sobreespesor por corrosión que sea necesario.

El diámetro elegido para nuestro intercambiador es de 3/4" que es el comúnmente utilizado. Tubos de menor diámetro son difíciles de limpiar mientras que tubos más grandes presentan una desfavorable relación área de flujo/área de transferencia.

El arreglo establecido es en triangulo lo que nos permite tener una mayor cantidad de tubos en la coraza que una disposición en cuadro con la misma separación entre tubos, y los coeficientes de transferencia son algo mayores.

Para la determinación de la velocidad propuesta se tuvo en consideración que las velocidades para gases por tubos de acuerdo a datos bibliográficos (R.K. Sinnott., 2005) van entre 10 y 30 m/s a presión atmosférica y 5-13 m/s para gases a alta presión. Debido a que el intercambiador se encuentra a una presión de 2 atm, entonces el valor medio de velocidad, se calcula en base al rango de velocidades a presión atmosférica y es de 20 m/s.

Con la velocidad propuesta se calculó el número de pasos por tubos necesarios por medio de la siguiente ecuación:

$$w \left(\frac{kg}{s} \right) = v_t \cdot \left(\frac{N_{tubo}}{n_{pt}} \right) \cdot \rho \cdot A_{tubo}$$

Siendo:

$$A_{tubo} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i)^2$$

N_{tubo} = Número de tubos

n_{pt} = número de pasos en tubos

$$1,1 \frac{kg}{s} = 20 \frac{m}{s} \cdot \left(\frac{64}{n_{pt}} \right) \cdot 1,115 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,01481)^2$$

$$\rightarrow n_{pt} = 0,223 \rightarrow 1 \text{ paso por tubo}$$

Se recalcula la velocidad con un paso por tubos, reemplazando los valores y utilizando el valor del número de tubos del Apéndice 8 del libro Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos de Eduardo Cao, obtenemos la velocidad de circulación de la corriente que va por tubo:

$$v_t = \frac{w}{\rho \cdot A_{tubo} \cdot \left(\frac{N_{tubo}}{n_{pt}}\right)} = \frac{1,1 \frac{kg}{s}}{1,115 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,01481)^2 m^2 \cdot \left(\frac{69}{1}\right)} = 83 \frac{m}{s}$$

Verificamos que el régimen sea turbulento, siendo $Re_t > 10\ 000$:

$$Re_t = \frac{v_t \cdot d_i \cdot \rho}{\mu} = \frac{83 \frac{m}{s} \cdot 0,01481 m \cdot 1,115 \frac{kg}{m^3}}{2,5 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} = 54823,66$$

Por medio del Apéndice 8 del libro de Eduardo Cao se entró en la tabla de “Disposición de tubos en intercambiadores de calor” con 1 paso tubos fijos, un diámetro de tubo de $D_0=3/4$ “=0,01905 metros en 15/16” disposición en triángulo y un valor de 69 tubos que es el más cercano al calculado y obtuvimos un diámetro de carcasa $D_s=10$ “=0,254 metros.

El pitch es la distancia entre los centros de dos tubos consecutivos. Se puede ver en la Figura 6-5, el pitch para la disposición triangular.

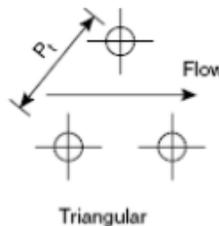


Figura 6-5: Distribución de los tubos - Fuente: R.K Sinnott, 2005

La disposición de tubos triangular proporciona altas velocidades de transferencia de calor, en cambio la pérdida de presión es alta en comparación con la cuadrada.

Se escoge una disposición triangular para todos los intercambiadores de carcasa y tubos, y la verificación es la siguiente:

$$Pitch = 1,25 D_0 = 1,25 \cdot 0,01905 m = 0,0238125 m = \frac{15}{16}$$

6.5.1.4.4. Cálculo de coeficientes peliculares

Conociendo los caudales y las secciones de flujo se puede calcular la velocidad de circulación de ambos fluidos.

Por medio de las propiedades del fluido de proceso que circula calculamos los números adimensionales como Reynolds, Nusselt y Prandtl, a través de los cuales se determinan los coeficientes peliculares interno h_{i0} y externo h_0 .

El coeficiente pelicular por tubos h_i se determina en función del número adimensional de Reynolds y Prandtl definido para régimen turbulento donde $Re > 10000$:

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8} \cdot (Pr)^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

Donde todas las propiedades se evalúan a la temperatura media entre la entrada y salida con excepción de μ_w que se toma a temperatura de la pared del tubo, y donde el término $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$ se desprecia porque es difícil de encontrar el valor y se considera igual a 1.

Se calcula el número de Prandtl en función de las propiedades físicas del fluido que circula por tubo:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = \frac{1233,81 \frac{J}{kg K} \cdot 2,5 \times 10^{-5} \frac{kg}{m s}}{0,05 \frac{J}{s m K}} = 0,62$$

Con el valor de Reynolds y Prandtl se reemplaza en la ecuación de Nusselt y obtengo el Nu:

$$\rightarrow Nu = 0,023 (54823,66)^{0,8} \cdot (0,62)^{0,33} = 121,45$$

El número adimensional de Nusselt se define como:

$$Nu = \frac{h_i d_i}{K_i} \rightarrow h_i = \frac{Nu \cdot K_i}{d_i} = \frac{121,45 \cdot 0,05 \frac{J}{s m^2 K}}{0,0148 m} = 410 \frac{J}{s m K}$$

$$h_{i0} = h_i \frac{d_i}{d_0} = 410 \frac{J}{s m K} \cdot \frac{0,0148 m}{0,01905 m} = 319,6 \frac{J}{s m K}$$

Para calcular el coeficiente pelicular por carcasa, son válidas las mismas correlaciones que las indicadas para el fluido de tubos, pero debe sustituirse el diámetro interno por el valor del diámetro equivalente y el número de Reynolds se calcula de la siguiente manera:

$$Re_s = \frac{D_e \cdot w_{agua}}{\mu \cdot a_s}$$

Dónde:

$$a_s = \text{área de flujo para la carcasa} = \frac{D_s \cdot c \cdot B}{P_t} = \frac{\text{Diámetro de carcasa} \cdot \text{área de cada claro}}{\text{Separación entre tubos}}$$

$$c = P_t - d_0 \text{ y } B = \text{separación entre baffles}$$

$$D_e = \text{diámetro equivalente} = 4 \times \frac{\text{Área de flujo}}{\text{Perímetro húmedo}}$$

El valor de B se considera 1/5 del diámetro de la carcasa (D_s), por ende, se toma el valor del diámetro de la carcasa, y el diámetro equivalente se obtuvo de la página 140 del libro "Transferencia de calor en Ingeniería de procesos", entrando con un diámetro de tubos de 3/4", una distribución en triángulo, y una separación entre baffles de 15/16" obtenemos un $D_e=0,55"=0,0139 m$. Con estos datos se sustituye en la ecuación de Re:

$$c = P_t - d_0 = (0,0238 - 0,01905)m = 4,8 \times 10^{-3} m$$

$$a_s = \frac{D_s \cdot c \cdot B}{P_t} = \frac{0,254 \text{ m} \cdot 4,8 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \left(\frac{1}{5} \cdot 0,254 \text{ m}\right)}{0,0238 \text{ m}} = 2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Re_s = \frac{D_e \cdot w_{agua}}{\mu \cdot a_s} = \frac{0,0139 \text{ m} \cdot 0,143 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0,466 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \cdot 2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1640$$

Como el $Re_s > 500$ verifica el régimen turbulento.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = \frac{4182 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 0,466 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}}{0,58 \frac{\text{J}}{\text{s m K}}} = 3,36$$

Para régimen turbulento el $Re_s > 500$ el número adimensional Nusselt se define como:

$$Nu = 0,36 (Re_s)^{0,55} \cdot (Pr)^{0,33} = 0,36 \cdot (1640)^{0,55} \cdot (3,36)^{0,33} = 31,5$$

El número adimensional de Nusselt se define como:

$$Nu = \frac{h_0 D_e}{K} \rightarrow h_0 = \frac{Nu \cdot K}{D_i} = \frac{31,5 \cdot 0,58 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2 \text{K}}}{0,24978 \text{ m}} = 73,14 \frac{\text{J}}{\text{s m K}}$$

6.5.1.4.5. Verificación del coeficiente de transferencia de calor "U"

Conociendo los coeficientes peliculares individuales (h_{i0} y h_0) y la resistencia de ensuciamiento de cada fluido, calculamos el coeficiente global de transferencia de calor U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) por medio de la siguiente ecuación:

$$U_D = \left[\frac{1}{h_{i0}} + \frac{1}{h_0} + R_{f_i} + R_{f_0} \right]^{-1} = \left[\frac{1}{319,6 \frac{\text{J}}{\text{s m K}}} + \frac{1}{73,14 \frac{\text{J}}{\text{s m K}}} + 2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} \right]^{-1}$$

$$= 58,13 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2 \text{K}}$$

Al ser este valor de U_D mayor al propuesto $U_D \left(60 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2 \text{K}} \right)$, significa que el equipo se encuentra sobredimensionado y que está cubierto térmicamente. Como es un valor cercano, el sobredimensionamiento no es muy grande y por ende el área total de intercambio no cambiará demasiado.

6.5.1.4.6. Estimación de la pérdida de carga

Cada vez que se debe diseñar o verificar un equipo, es importante poder predecir cuál será la caída de presión que sufre cada uno de los fluidos al atravesar el intercambiador.

La misma se puede calcular utilizando los números de Reynolds de cada corriente, los factores de fricción, la longitud y número de tubos.

- ❖ Para la corriente de proceso del tubo interior:

Como la zona es turbulenta según el Reynolds obtenido y como elegimos tubos de acero comercial, el factor de fricción queda definido según la ecuación siguiente:

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{(54823,66)^{0,42}} = 6,2 \times 10^{-3}$$

La pérdida de carga para el fluido que va por tubos se calcula por la siguiente ecuación:

$$\Delta p_{tubo R} = 4 \cdot n \cdot \rho \cdot \frac{(v_t)^2}{2} = 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,115 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{(83)^2 \frac{m^2}{s^2}}{2} = 15362,5 Pa = 15,36 KPa$$

$$\Delta p_{tubo \mu} = 4 \cdot f \cdot n \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \rho \cdot \frac{(v_t)^2}{2} = 4 \cdot 6,2 \times 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{6 m}{0,01481 m} \cdot 1,115 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{(83)^2 \frac{m^2}{s^2}}{2} = 38587,7 Pa = 38,6 KPa$$

$$\Delta p_{tubo Total} = \Delta p_{tubo R} + \Delta p_{tubo \mu}$$

$$\rightarrow \Delta p_{tubo Total} = (15,36 + 38,6) KPa = 53,95 KPa < \Delta p Admisible 75 KPa$$

- ❖ Para el agua de refrigeración del lado carcasa:

$$f = 1,726 \cdot (Re_s)^{-0,188}$$

$$1,726 \cdot (1640)^{-0,188} = 0,429$$

La pérdida de carga para el lado carcasa se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta p_s = \frac{f \cdot (N_B + 1) \cdot D_s \cdot g_s^2}{D_e \cdot 2 \cdot \rho} = \frac{f \cdot \left(\frac{L}{\frac{1}{5} \cdot D_s} + 1 \right) \cdot D_s \cdot \left(\frac{w}{a_s} \right)^2}{D_e \cdot 2 \cdot \rho}$$

Reemplazando:

$$\Delta p_s = \frac{0,429 \cdot \left(\frac{6 m}{\frac{1}{5} \cdot 0,254 m} + 1 \right) \cdot 0,254 m \cdot \left(\frac{0,143}{2,6 \times 10^{-3}} \right) \frac{kg^2}{m^2 s^2}}{0,0139 m \cdot 2 \cdot 983,2 \frac{kg}{m^3}} = 1436,41 Pa = 1,44 kPa$$

Como la pérdida de carga admisible es de 75 kPa, se encuentra dentro del rango permitido tanto para el fluido que circula por tubos como el que lo hace por el ánulo.

6.5.1.5. Equipamiento seleccionado

En cuanto a la selección de equipos propiamente dicha, habiéndolos diseñado previamente se buscará en catálogos, en los cuales se encuentran los siguientes:

Tabla 6-11: Ficha técnica Intercambiador Casco y tubo - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos			
Equipo		Intercambiador de casco y tubo	
Referencia del proceso		ICT-01	
Marca		UAR	
Modelo		UCH120B	
Cantidad		1	
Longitud de los tubos		6 m	
Cantidad de tubos		69	
Coefficiente global de transferencia de calor U		58,13 W /m ² K	
Número de baffles		118	
Diámetros	Carcasa	D _o =10"=0,254 m	D _i =9,8"= 0,2498 m
	Tubo	d _o =3/4"= 0,019 m	d _i =0,58"=0,0148 m
Peso		420 kg	
Material	Carcasa	Acero inoxidable AISI 316L.	
	Tubo	Acero inoxidable AISI 304.	
Superficie de intercambio		30,2 m ²	
Costo		USD 198000	



Figura 6-6: Intercambiador de calor – Fuente: Tienda oficial Westric

6.6. Enfriador ácido

En esta operación unitaria se utiliza una torre para realizar el enfriamiento de la mezcla. En ésta se añade una solución acuosa ácida para lograr la neutralización del amoníaco que no ha reaccionado en el reactor.

La corriente de gases de salida del reactor es enfriada en un intercambiador de calor y luego es introducida a 1 atm de presión en los fondos de la torre de enfriamiento ácido, la cual enfría y elimina el amoníaco de dicha corriente.

Para lograr los objetivos del quench, entra por cabeza de la torre una corriente líquida con agua y ácido sulfúrico a 25°C y 1 atm, capaz de eliminar el amoníaco del gas mediante transferencia de materia y reacción química con el ácido sulfúrico, y capaz también de enfriar la corriente de gases de 230°C a 200°C.

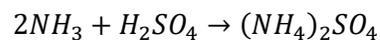
Por cabeza se obtiene una corriente gaseosa a 200°C con prácticamente la misma composición que la de entrada, salvo que ésta se encuentra saturada de agua y sin amoníaco.

Por cola se obtiene una corriente líquida a 100°C que contiene sulfato amónico, obtenido como consecuencia de la reacción del ácido sulfúrico con el amoníaco, y agua. Esta sal, considerada un subproducto, se obtendrá en solución, como se explicó en 5.2. Proceso Productivo. Para sumarle valor comercial a este producto debe realizarse una cristalización, proceso que será realizado por la industria que compre el sulfato de amonio producto de este proyecto.

El dimensionamiento de este equipo deberá realizarse para un volumen de 3120 m³/h.

6.6.1. Torre de absorción

La absorción de gases es una operación básica unitaria con la que se logra la separación de uno o varios componentes de una mezcla gaseosa disolviendo un líquido a través del cual el transporte de materia del componente o componentes de una fase gaseosa soluble tiene lugar en el absorbente líquido desde la fase de gas a la fase líquida, pero en este caso existe una reacción:



Para simplificar el diseño, se considera que la reacción entre el amoníaco y el ácido sulfúrico es instantánea y de conversión total. Además, el calor de reacción entre ellos es despreciable.

En la absorción, al poner en contacto un gas con un líquido en el que es soluble, las moléculas del gas pasan al líquido formando una solución con él, al mismo tiempo que las moléculas disueltas en el líquido tienden a regresar a la fase gaseosa, estableciendo un equilibrio dinámico entre las moléculas de gas que pasan a la solución y las que vuelven a la fase gaseosa. [33]

Este dispositivo contiene mecanismos internos para efectuar el contacto gas-líquido, que pueden ser platos o paquetes de tipo aleatorio o estructurado, se puede ver un diagrama del mismo en la Figura 6-7:

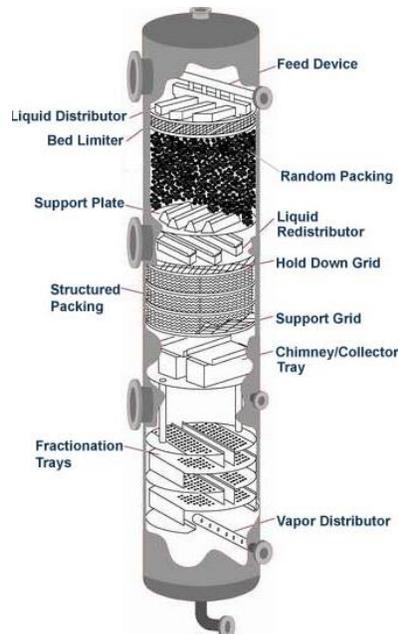


Figura 6-7: Torre de absorción - Fuente: Industria Química Net

Para las columnas de relleno aleatorio, en la parte superior se coloca un agujero de hombre, lo mínimo para que entren dos brazos de una persona, para poder introducir el relleno aleatoriamente y poder limpiar el distribuidor. En la parte inferior de la torre, en la entrada de gas, se coloca una placa para que el líquido que desciende no entorpezca la entrada de gas.

6.6.1.1. Relleno

El quench es una torre en la que se requiere poca pérdida de carga y, además, es uno de los equipos de proceso con más riesgo de corrosión, por lo que se decide utilizar un relleno desordenado.

El relleno favorece la poca pérdida de carga y si es desordenado es más barato, por tanto, es el más recomendable dado que es posible que éste tenga que ser sustituido más a menudo que el del resto de los equipos debido a la corrosión.

Se escogen los anillos Pall, que tienen una forma similar a los anillos Raschig, es decir, de cilindros huecos cuya altura es igual a su diámetro, excepto que las paredes están abiertas y además tiene superficies interiores y deflectores, lo que los hace más eficaces que los anillos Raschig. Este tipo de relleno es ampliamente usado y más económico que otros rellenos desordenados de más altas prestaciones.

Por otra parte, se decide trabajar con anillos de acero inoxidable, dado que es un material resistente a la corrosión. En consecuencia, se escogen los anillos HY-PAK de la empresa Norton, que son los equivalentes de los anillos Pall en acero inoxidable.



Figura 6-8: HY-PAK random packing – Fuente: Koch-Glitsch

6.6.1.2. Soporte del relleno

El soporte de relleno carga con el peso de todo el empacado que se encuentra sobre él. El diámetro de sus aperturas debe ser lo suficientemente pequeño como para soportar el empacado, pero lo suficientemente grande como para permitir el paso libre del gas y el líquido.

Si la placa de soporte no se diseña cuidadosamente, puede causar inundaciones de columna prematura. Por lo tanto, el diseño de la placa de soporte afecta considerablemente a la caída de presión de la columna y al rango estable de operación.

El grado de espacio abierto en un plato de soporte es la fracción de vacío inherente en el diseño de la placa menos la parte de la zona abierta tapada por el relleno. Para evitar inundaciones prematuras, el área neta abierta de la placa debe ser mayor que el propio relleno, según el autor Perry. Dado el tamaño de la columna y para que el relleno aguante y tenga buena distribución de gas y líquido, el soporte que se selecciona es el soporte de relleno con pasajes de flujo separados líquido y gas.

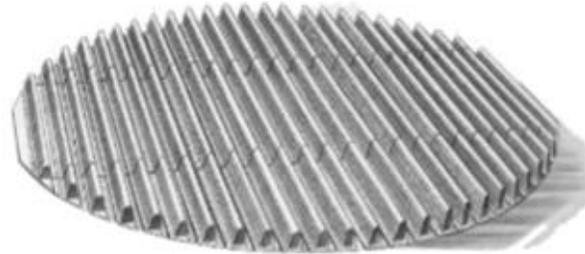


Figura 6-9: Soporte de relleno gas-injection – Fuente: Koch-Glitsch

6.6.1.3. Distribuidores de líquido

La densidad de empaque, es decir, el número de piezas de empaque por metro cúbico, es generalmente menor en torno a las paredes de la torre, por lo que el líquido tiende a segregarse hacia las paredes y el gas a fluir en el centro de la torre. Esta tendencia es menos pronunciada si se escoge un diámetro de relleno unas 20 veces inferior al diámetro de la torre.

Las torres de relleno deben tener distribuidores cada 5 o 10 veces su diámetro, y así evitar que el relleno de esta torre no se divida. Por otra parte, será necesario el uso de un distribuidor de líquido en cabezas de columna.

Estudiando todas las posibilidades, el tipo de distribuidor seleccionado es el distribuidor tipo PAN. Estos consisten en una bandeja plana con orificios espaciados uniformemente para permitir el flujo del líquido en el relleno. Esta bandeja tiene canales de vapor, uniformemente espaciados, pero sin interferir con los orificios de líquido.

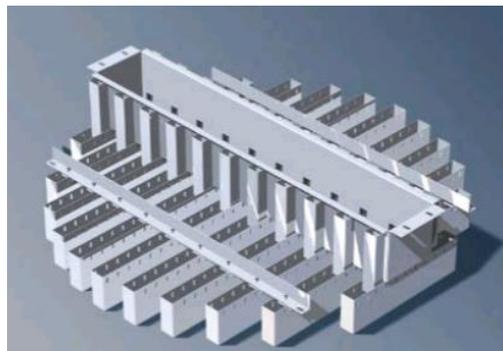


Figura 6-10: Distribuidor tipo PAN - Fuente: Process Equipment

El gas entra por la parte inferior de la columna, no necesita distribuidor, simplemente una placa colocada por el interior de la columna para impedir que el líquido al caer perturbe la entrada de gas.

6.6.1.4. Plato de sujeción

Los “hold down plate” también denominados “bedlimiter” se colocan en la parte superior del relleno desordenado e impiden que se desplace el relleno. Esto no suele ser necesario si el relleno es ordenado. Las aberturas deben ser lo suficientemente pequeñas para retener el relleno, pero no demasiado, pues no deben restringir el paso del vapor o del líquido.



Figura 6-11: Redistribuidor tipo Hold down Grids – Fuente: Process Equipment

6.6.1.5. Corta-gotas

En el caso concreto del quench, se utiliza también como interno de la torre un corta-gotas que se coloca por encima de la entrada de líquido, para eliminar las posibles gotas que pueda arrastrar el gas que sale por cabezas, ya que los compuestos que se encuentran en el quench son altamente corrosivos y podrían dañar al resto de los equipos.

Están constituidos por mallas de alambre y mantas de separación, que proporcionan caminos más largos a las partículas líquidas, razón por la cual actúan como filtros que separan y eliminan la niebla y el polvo contenidos en los fluidos.



Figura 6-12: Corta-gotas – Fuente: Koch-Otto York

6.6.2. Equipamiento seleccionado

Tabla 6-12: Ficha técnica del quench - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Columna absorbedora
Referencia del proceso	Q-01
Marca	RSE
Modelo	-
Cantidad	3
Volumen	1039 m ³
Altura	75 m
Ancho	4,2 m
Área	17,64 m ²
Material	Acero inoxidable AISI 304
Costo unitario	U\$D 1000000

6.7. Enfriador

A diferencia del inciso 6.5, esta operación unitaria se lleva a cabo por medio de un intercambiador de calor de doble tubo donde el caudal que presentan los fluidos que se ponen en contacto es pequeño. Estos equipos son sencillos y permiten realizar el intercambio térmico en forma continua entre los dos fluidos.

6.7.1. Intercambiador de calor doble tubo

Este intercambiador presenta cambio de fase, donde el agua de refrigeración entra en estado líquido y sale como vapor. Se encuentra luego del Quench y anterior a la torre absorbedora.

Para la ubicación de los fluidos en el equipo, se opta por colocar al fluido menos ensuciante como es el agua refrigerante por el tubo exterior y al fluido de proceso, más ensuciante y caliente por el tubo interior por la razón de que resulta más sencillo limpiar un tubo por dentro que por fuera.

En primera instancia para poder llevar a cabo el diseño de este intercambiador se buscan las propiedades de los fluidos a la temperatura media de los mismos, que se ponen en contacto en el equipo. En la Tabla 6-13 se presentan las propiedades de la corriente a enfriar que circula por tubos y del fluido refrigerante que lo hace por el espacio anular.

Tabla 6-13: Propiedades de los fluidos que circulan por ánulo y por tubos - Fuente: Elaboración propia

Datos de operación y diseño	Ánulo		Tubos	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Fluido	Agua de refrigeración		Fluido de proceso	
Fase	L	V	G	G
Caudal másico total (kg/h)	231,21	231,21	0,45	0,45
Temperatura (°C)	20	99,63	200	80
Temperatura media (°C)	59,8		140	
Presión de trabajo (atm)	-		2	

Numero adimensional Prandtl (cpu/K)	3,36	7,94x10 ⁻³
Densidad (kg/m³)	983,2	1,68
Viscosidad dinámica (N s/m²)	0,466 x10 ⁻³	2,5x10 ⁻⁷
Calor específico (J/kg K)	4185	1270,46
Conductividad (W/mK)	0,58	0,04
Ensuciamiento (m² K/W)	2x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁴
Calor de vaporización (kJ/kg)	2258	-

El diseño de un intercambiador significa decidir las características constructivas que definen al equipo. Para el diseño de este intercambiador también se ha seguido el método de Kern.

6.7.1.1. Balance térmico

Se realiza una secuencia de cálculo igual al inciso 6.5.1.1 para el Intercambiador de calor de casco y tubo.

$$q = 231,21 \frac{kg}{h} \left(4,185 \frac{KJ}{Kkg} (372,63 - 293)K + 2258 \frac{KJ}{kg} \right) = 5,89 \times 10^5 \frac{KJ}{h} \frac{1KWh}{3600KJ} = 163,6 KWh$$

$$= 5,89 \times 10^8 \frac{J}{h} = 1,64 \times 10^5 \frac{J}{s}$$

6.7.1.2. Diferencia media logarítmica de temperatura (DMLT)

Se calcula igual al inciso 6.5.1.2 para el Intercambiador de calor de casco y tubo, considerando también una disposición de flujos en contracorriente debido al mayor intercambio que se permite lograr entre las corrientes.

$$DMLT = \frac{(200 - 99,63) - (80 - 20)}{\ln \left(\frac{(200 - 99,63)}{(80 - 20)} \right)} = 78,46 \text{ } ^\circ\text{C} = 78,46 \text{ K}$$

6.7.1.3. Selección del diámetro de tubos

Para la selección de diámetros se consultó con la tabla 1 de la página 82 del libro “Transferencia de calor en Ingeniería de procesos” que nos muestra las combinaciones comunes para intercambiadores doble tubo en pulgadas.

En primera medida se escogió el diámetro externo más pequeño de $D_0 = 2'' = 0,0508\text{m}$ para el ánulo, combinándolo con el diámetro de tubo interno de $d_0 = \frac{3}{4}'' = 0,01905\text{m}$. Para la determinación del diámetro interno del ánulo y de los tubos utilizamos la tabla de “Valores de diámetro interno y grosor de tubos” (McCabe 1991) [34]. Entramos con un diámetro de tubo externo de $\frac{3}{4}''$ y para un BWG de 14 tenemos un espesor de pared de $2,11 \times 10^{-3}\text{m}$. Para el caso del ánulo, entramos con un diámetro de $2''$ y para un BWG de 12 tenemos un espesor de pared de $2,77 \times 10^{-3}\text{m}$.

Con los espesores de pared del tubo externo y del ánulo calculamos los respectivos diámetros internos:

Para el ánulo:

$$D_0 = D_i + 2e \rightarrow D_i = D_0 - 2e = 0,0508 \text{ m} - 2 \cdot 2,77 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,04526 \text{ m}$$

Para el tubo:

$$d_0 = d_i + 2e \rightarrow d_i = d_0 - 2e = 0,01905 \text{ m} - 2 \cdot 2,11 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,01483 \text{ m}$$

6.7.1.4. Determinación de la velocidad de circulación de los fluidos

Para el cálculo de la velocidad de circulación del agua de refrigeración y del fluido de proceso utilizamos el área de flujo para cada fluido conociendo los diámetros y los flujos máscicos (kg/s) del tubo interno y externo. A partir de la siguiente ecuación:

$$a = \frac{w}{\rho v} \rightarrow v = \frac{w}{a \rho}$$

Siendo:

$a = \frac{\pi}{4} (d_i)^2 = \text{área de flujo (m}^2\text{)}$; $\rho = \text{densidad del fluido (kg/m}^3\text{)}$; $w = \text{caudal máscico del fluido (kg/s)}$

Conociendo los caudales y las secciones de flujo se pueden calcular la velocidad de circulación de ambos fluidos.

Para el espacio anular:

$$v = \frac{w}{\frac{\pi}{4} (D_i - d_0)^2 \rho} = \frac{0,0642 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} (0,04526 - 0,019)^2 \text{ m}^2 \cdot 983,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para el tubo interno:

$$v = \frac{w}{\frac{\pi}{4} (d_i)^2 \rho} = \frac{1,25 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} (0,0148)^2 \text{ m}^2 \cdot 1,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,4325 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6.7.1.5. Cálculo de los coeficientes peliculares

Por medio de las propiedades del fluido de proceso que circula calculamos los números adimensionales como Reynolds, Nusselt y Prandtl, a través de los cuales se determinan los coeficientes peliculares interno h_{i0} como externo h_0 .

El coeficiente pelicular por tubo h_i se determina en función del número de Reynolds definido como:

$$Re_t = \frac{v \rho d_i}{\mu} = \frac{0,4325 \frac{m}{s} \cdot 1,68 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,0148 m}{2,5 \times 10^{-7} \frac{kg}{s m}} = 43014,72$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = \frac{1270,46 \frac{J}{kg K} \cdot 2,5 \times 10^{-7} \frac{kg}{m s}}{0,04 \frac{J}{s m K}} = 7,94 \times 10^{-3}$$

Para régimen turbulento el $Re > 10\ 000$

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8} \cdot (Pr)^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

Donde todas las propiedades se evalúan a la temperatura media entre la entrada y salida con excepción de μ_w que se toma a temperatura de la pared del tubo, y donde el término $\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ se desprecia porque es difícil de encontrar el valor y se considera igual a 1.

$$Nu = 0,023 (43014,72)^{0,8} \cdot (7,94 \times 10^{-3})^{0,33} = 23,74$$

El número adimensional de Nusselt se define como:

$$Nu = \frac{h_i d_i}{K_i} \rightarrow h_i = \frac{Nu \cdot K_i}{d_i} = \frac{23,74 \cdot 0,04 \frac{J}{s m^2 K}}{0,0148 m} = 64,16 \frac{J}{s m K}$$

$$h_{i0} = h_i \frac{d_i}{d_0} = 64,16 \frac{J}{s m K} \cdot \frac{0,0148 m}{0,01905 m} = 49,85 \frac{J}{s m K}$$

Para el coeficiente externo h_0 son válidas las mismas correlaciones que las indicadas para el fluido de tubos, pero debe sustituirse el diámetro interno por el valor del diámetro equivalente del ánulo.

$$D_{eq} = 4 x \frac{\text{Área de flujo}}{\text{Perímetro de transferencia}} = 4 x \frac{\pi((D_i)^2 - (d_0)^2)}{4 \pi d_0} = \frac{(0,04526)^2 - (0,01905)^2}{0,01905 m}$$

$$= 0,0885 m$$

Una vez obtenido el diámetro equivalente. Determinamos el número de Reynolds para el ánulo de la siguiente manera:

$$Re_a = \frac{v \rho D_e}{\mu} = \frac{0,12 \frac{m}{s} \cdot 983,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,0885 m}{0,466 \times 10^{-3} \frac{kg}{s m}} = 22406,83$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = \frac{4185 \frac{J}{kg K} \cdot 0,466 \times 10^{-3} \frac{kg}{m s}}{0,58 \frac{J}{s m K}} = 3,36$$

Para régimen turbulento el $Re > 10\ 000$

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8} \cdot (Pr)^{0,33} = 0,023 (22406,83)^{0,8} \cdot (3,36)^{0,33} = 103,69$$

El número adimensional de Nusselt se define como:

$$Nu = \frac{h_0 D_e}{K_i} \rightarrow h_0 = \frac{Nu \cdot K_i}{D_e} = \frac{103,69 \cdot 0,58 \frac{J}{s m^2 K}}{0,0885 m} = 679,55 \frac{J}{s m K}$$

6.7.1.6. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

Conociendo los coeficientes peliculares individuales y la resistencia de ensuciamiento, podemos calcular el coeficiente global de transferencia de calor U (W/m^2K) por medio de la siguiente ecuación:

$$U_D = \left[\frac{1}{h_{i0}} + \frac{1}{h_o} + R_{f_i} + R_{f_o} \right]^{-1} = \left[\frac{1}{49,85 \frac{J}{s \cdot m \cdot K}} + \frac{1}{679,55 \frac{J}{s \cdot m \cdot K}} + 2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} \right]^{-1} = 45,6 \frac{J}{m^2 \cdot K}$$

El valor de U_D se encuentra dentro del rango de intercambiadores de calor utilizando como fluido caliente gases y como fluido frío agua de refrigeración obtenidos del Apéndice 20 del libro "Transferencia de calor en Ingeniería de Procesos" de Eduardo Cao, donde $15 < U_D < 45$.

6.7.1.7. Cálculo del área total de intercambio

Una vez que supuesto el coeficiente global de transferencia de calor y calculado el calor total intercambiado es posible calcular el área total de intercambio a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = U A DMLT \rightarrow A = \frac{Q}{UDMLT} = \frac{1,64 \times 10^5 \frac{J}{s}}{45,6 \frac{J}{sm^2K} \cdot 78,46 K} = 45,8 m^2$$

Ambos fluidos están separados por la superficie de los tubos que constituye el área de transferencia del equipo. La longitud máxima de tubos que se suele emplear en la construcción de estos equipos es del orden de 6 m. Si se emplearan tubos más largos, se flexionarían y se distorsionaría el área anular originándose una mala distribución de flujo.

$$A_{Horquilla} = \pi d_0 L = \pi \cdot 0,01905 m \cdot 6 m = 0,36 m^2$$

Y entonces, el número de horquillas lo calculamos como:

$$N_{Horquillas} = \frac{A}{A_{Horquilla}} = \frac{45,8 m^2}{0,36 m^2} = 127,2 \text{ horquillas} \cong 128 \text{ horquillas}$$

El área máxima de transferencia que puede tener una horquilla, es entonces muy reducida, con lo que resulta necesario emplear un número grande de horquillas para la mayor parte de las aplicaciones industriales. Esto hace que el equipo resultante sea muy poco compacto, ocupe mucho espacio y requiera gran mantenimiento.

6.7.1.8. Estimación de la pérdida de carga de ambos fluidos.

Cada vez que se debe diseñar o verificar un equipo, es importante poder predecir cuál será la caída de presión que sufre cada uno de los fluidos al atravesar el intercambiador.

La misma se puede calcular utilizando los números de Reynolds de cada corriente, los factores de fricción, la longitud y número de tubos.

De acuerdo a los cálculos realizados, el número de Reynolds es mayor a 10000, verificando el flujo turbulento necesario para la transferencia de calor y la pérdida de carga se encuentra dentro de los valores permitidos, siendo menor a 75 kPa.

6.7.2. Equipamiento seleccionado

En cuanto a la selección de equipos propiamente dicha, habiéndolos diseñado previamente se buscará en catálogos, en los cuales se encuentran los siguientes:

Tabla 6-14: Ficha técnica del intercambiador doble tubo - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos			
Equipo		Intercambiador doble tubo	
Referencia del proceso		IDT-01	
Marca		GORUM	
Modelo		GRHE Double Tube Heat Exchanger	
Coefficiente global de transferencia de calor "U"		45,6 W/m ² K	
Cantidad		1	
Longitud de los tubos		6 m	
Número de tubos		48	
Área de horquillas		0,36 m ²	
Número de horquillas		128	
Diámetros	Carcasa	$D_o=2" = 0,0508 \text{ m}$	$D_i=1,8" = 0,0466 \text{ m}$
	Tubo	$d_o=3/4" = 0,019 \text{ m}$	$d_i=0,58" = 0,0148 \text{ m}$
Material	Ánulo	Acero inoxidable AISI 316L.	
	Tubo	Acero inoxidable AISI 304.	
Superficie de intercambio		45,8 m ²	
Costo		USD 8400	



Figura 6-13: Intercambiador doble tubo - Fuente: Alibaba

6.8. Separador de gases por absorción con agua

Esta separación se hace por medio de un absorbedor donde la función principal es separar la corriente de gases de los productos orgánicos que son acrilonitrilo, ácido cianhídrico, acetonitrilo, acroleína, cianuros, absorbiéndolos en agua fría y dejando libres los gases que no se absorben que son dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno y propileno que posteriormente serán tratados.

La absorción de estos gases ligeros, se realiza con una corriente de agua que circula en contracorriente, de esta forma, se aprovecha la buena solubilidad de los nitrilos en agua del resto de los gases. La torre de absorción se encuentra a una presión de 1,25 atm y la temperatura de operación es de 65,5°C, y está diseñada para obtener más de un 99% del acrilonitrilo contenido en el gas de carga.

El agua que ingresa se encuentra en estado líquido, a una temperatura de 5°C, y se pone en contacto con la corriente de proceso que viene del intercambiador IDT-01, que se encuentra en estado gaseoso a una temperatura de 80°C. Por la parte superior de la torre absorbidora sale una corriente liviana que contiene propileno, nitrógeno y dióxido de carbono, mientras que por el fondo de la torre salen los componentes pesados que se inyectaran al stripper. Ambas corrientes de salida de la torre absorbidora se encuentran a una temperatura de 30°C.

6.8.1. Torre de absorción

Este tipo de torre es absorbidora como la explicada en el inciso 6.6.1, con la diferencia de que no existe reacción química, y que no es de relleno, sino de platos.

Dado que el caudal de alimentación es bajo se espera obtener un diámetro de columna inferior a 0,76 m, por este motivo propusimos un diámetro de 0,7 m y por medio de la siguiente ecuación calculamos el área de la torre:

$$A (m^2) = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,7)^2}{4} = 0,385 m^2$$

La densidad de la corriente se toma a 65,5°C, que es la temperatura de operación, y este valor junto con el flujo másico de cada corriente se utiliza para calcular el flujo volumétrico total y de ahí poder definir un volumen para la torre de absorción considerando un 15% de sobredimensionamiento, cuyo valor es de 13 m³.

6.8.1.1. Platos perforados

Los platos perforados son el tipo de plato más empleado, ya que son baratos, fáciles de fabricar, tienen una elevada capacidad con un mínimo de 70% y son adecuadas para casos de ensuciamiento moderado.

Es un diseño más simple en el que una plancha tiene varios orificios a través de los cuales el líquido fluye en forma descendente por gravedad, este fluye a través de cada plato y a través de un conducto, al plato inferior. El gas pasa hacia arriba, a través de orificios y burbujea en el líquido formando una espuma, se separa de la espuma y pasa al plato superior. En la Figura 6-14, se muestra una imagen de un plato perforado real.

El efecto global es un contacto múltiple a contracorriente entre el gas y el líquido, aunque cada plato se caracteriza por el flujo transversal de los dos.

Cada plato de la torre es una etapa, puesto que sobre el plato se ponen los fluidos en contacto íntimo, ocurre la difusión entre fases y los fluidos se separan, al igual que en las columnas de destilación.



Figura 6-14: Platos perforados - Fuente: Maguarvi

Las áreas azules en la figura representan la posición de los orificios del plato de arriba, por donde se descarga el líquido sobre el plato siguiente. Las flechas rojas indican la dirección de flujo del líquido.

El líquido fluye desde un lado de la bandeja al otro cruzando la línea central del plato como se observa en la Figura 6-15. Esto permite una mayor longitud de recorrido del líquido lo que aumenta la eficiencia del plato.

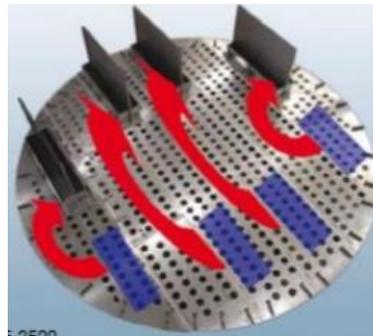


Figura 6-15: Platos perforados - Fuente: Empresa SULZER

6.8.1.2. Segmentos de bajante de líquido

Tubos o placas planas de descenso, se usan para guiar el flujo de líquido desde una bandeja superior a una bandeja inferior. Los más comunes son los de tipo segmentado. Dentro de los de tipo segmentado se ha utilizado los "Straight Downcomer" como se observa en la Figura 6-16.



Figura 6-16: Straight downcomer - Fuente: Sulzer

Los bajantes rectos son seleccionados ya que el sistema no presenta tendencia a formar espuma, y estos son simples y baratos.

6.8.1.3. Rebosadero

Su función es mantener el nivel deseado de líquido en el plato. La altura del rebosadero es responsable de la pérdida de presión, afectando a la eficiencia del plato.

En la Figura 6-17 se pueden observar diferentes tipos de rebosaderos. Cuando el caudal de líquido es bajo se usan rebosaderos con muescas (rectangulares o en V), se usan rebosaderos rectos, que son los más económicos.

Una de las ventajas de los platos perforados elegidos es que proporcionan una longitud de rebosadero del doble o triple, a la que proporcionan los platos perforados convencionales. Esto reduce la carga efectiva del rebosadero en un 50 o 70% lo que reduce sustancialmente la pérdida de presión en cada plato.

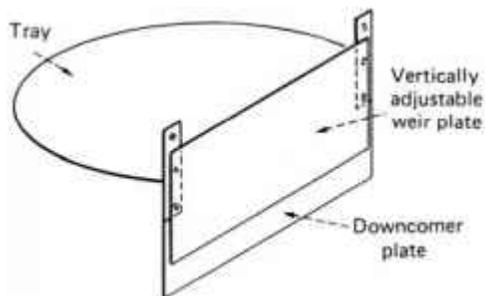


Figura 6-17: Rebosadero recto - Fuente: Buffalo brewing blog

6.8.1.4. Anillo Soporte

Conecta el plato con la carcasa de la columna. Para un diámetro de columna comprendido entre 20 y 61 pulgadas, como es el caso, le correspondería una anchura de 2 in. En la figura se puede observar un anillo de soporte para un plato perforado.



© CREAVEA

Figura 6-18: Anillo soporte - Fuente: Creavea

6.8.2. Equipamiento seleccionado

La torre absorbadora, al igual que el resto de los equipos, será de acero inoxidable ya que es un material resistente a los compuestos con los que está en contacto y tiene las características que se describen en la tabla siguiente:

Tabla 6-15: Ficha técnica de la torre absorbadora – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Torre absorbadora
Referencia del proceso	TA-01
Marca	OPCT
Modelo	Personalizado
Cantidad	1
Capacidad	13 m ³
Diámetro	0,7 m
Altura	33,76m
Espesor del cuerpo cilíndrico	2x10 ⁻³ m
Material	Acero inoxidable AISI 304 L
Área necesaria para su instalación	0,385m ²
Costo	U\$D 500000



Figura 6-19: Torre absorbadora - Fuente: Alibaba

6.9. Separador de agua primaria

Esta operación se realiza en una torre de destilación con inyección de vapor, que es un stripper.

Este equipo trabaja a 1,1 ata de presión y a una temperatura de 60°C. Por estas condiciones el agua, el ACN y AN están estado líquido, y la ACR y el HCN en estado gaseoso.

Considerando el estado en el que se encuentran los compuestos, se calcularon las densidades para poder calcular el flujo volumétrico de la corriente de entrada al stripper.

La densidad de los compuestos gaseosos, se calculó como en el caso del reactor en el inciso 6.1 con la ecuación de los gases ideales.

En conclusión, el volumen, teniendo en cuenta el 15 % de sobredimensionamiento, queda igual a 50 m³.

6.9.1. Stripper

Las columnas de destilación están compuestas de varias partes, cada una de las cuales es usada para transferir calor o mejorar la transferencia de masa. Una columna típica tiene varios componentes principales:

- Una bomba para impulsar el flujo de alimentación
- Un intercambiador de calor para calentar el flujo de alimentación
- Un recipiente vertical donde tiene lugar la separación de los componentes líquidos
- Interiores de columna tales como platos o relleno que se utilizan para incrementar el contacto entre líquido y vapor
- Un intercambiador de calor para condensar y enfriar el vapor que sale por la parte superior de la columna
- Un tambor de reflujo para recibir el vapor condensado del tope de la columna para que el reflujo pueda recircularse a la columna
- Una bomba para impulsar el reflujo

La mezcla líquida que se va a procesar se conoce como alimentación y se introduce generalmente en un punto situado en la parte media de la columna en un plato que se conoce como plato de alimentación. El plato de alimentación divide a la columna en dos secciones: una superior llamada de enriquecimiento o rectificación y una zona inferior de agotamiento.

Se inyecta una corriente de vapor, que hace disminuir las presiones parciales de todos los componentes produciendo la separación de los mismos por despojamiento.

6.9.1.1. Platos de burbujeo

Los platos son superficies planas que dividen la columna en una serie de etapas. Tienen por objeto retener una cierta cantidad de líquido en su superficie a través de la cual se hace burbujear el vapor que asciende por la columna consiguiéndose así un buen contacto entre el vapor y el líquido.

El líquido del plato cae al plato inferior por un rebosadero situado en un extremo del plato. En los platos normalmente no se llega a alcanzar el equilibrio entre el líquido y el vapor que abandona el plato, es decir, la eficacia del plato no es del 100%. Un plato ideal o teórico es aquel en el que se alcanza el equilibrio entre las corrientes que salen del plato.

En las columnas utilizadas para este proceso se prefieren los platos de burbujeo o casquetes de burbujeo, se pueden observar en la Figura 6-20. Su funcionamiento está basado en una serie de vasos invertidos y colocados sobre los accesos de cada piso de la columna al piso siguiente. El vapor empuja el vaso hacia arriba y borbotea en el líquido, facilitando el intercambio de materia.

A diferencia del plato perforado, utilizado en el equipo separador de gases por absorción explicado en el inciso 6.8.1.1, este tiene una capsula en el orificio.



Figura 6-20: Platos de burbujeo - Fuente: Alibaba

6.9.2. Equipamiento seleccionado

Este stripper, es un equipo que tiene una potencia total de 1362 kW. Es de acero inoxidable, ya que los compuestos que están presentes son compatibles con ese material. El proveedor de este tipo de equipos, es la empresa Mersen, que provee los equipos de destilación completos, incluyendo bombas, hervidores, condensadores, etc.

Tabla 6-16: Ficha técnica del stripper - Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Stripper
Referencia del proceso	ST-01
Marca	MERSEN
Modelo	MCPA-072
Cantidad	1
Capacidad	50 m ³
Diámetro	1,5 m
Altura	28,67 m
Material	Acero inoxidable AISI 316
Área necesaria para su instalación	2,25 m ²
Costo	U\$D 850000

6.10. Recuperador de HCN

6.10.1. Splitter

En este equipo se busca la separación del ácido cianhídrico para su obtención como un producto secundario por destilación de la mezcla. En el inciso anterior de Stripper se detalló el funcionamiento de la columna, cabe destacar que en este equipo se utiliza un reboiler y la separación es por calentamiento y no por despojamiento.

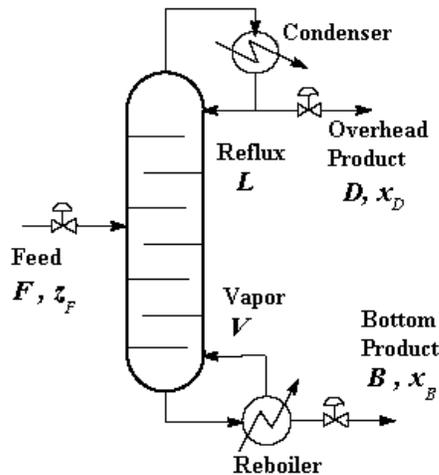


Figura 6-21: Diagrama columna de destilación - Fuente: Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario

La alimentación circula hacia la parte inferior de la columna donde es dirigida al reboiler, que sirve para vaporizar el producto de fondo. En la Figura 6-21, se puede observar un diagrama de la columna de destilación.

Se suministra calor al rehervidor para generar vapor. La fuente de calor puede ser cualquier fluido adecuado, en este caso se va a trabajar con vapor de agua. El vapor generado en el rehervidor se introduce nuevamente en la columna en la parte inferior. El líquido que se extrae del rehervidor se llama producto de fondo.

El vapor se mueve hacia la parte superior de la columna, y al salir es enfriado por un condensador. El condensado es retenido en un recipiente denominado tambor de reflujo. Parte de este líquido es recirculado a la parte superior de la columna y se llama reflujo. El líquido condensado que sale del sistema es el destilado o producto de tope.

En este caso la torre de destilación además tiene una inyección de vapor.

6.10.1.1. Relleno de columna

Otra diferencia con respecto a la columna anterior es que en esta se utilizará relleno y no platos, cuyas ventajas se analizan a continuación:

- Diámetros de columna pequeños (<0,7m).
- Bajos caudales.
- Destilaciones a presión baja.
- Óptima para sustancias corrosivas o que generan mucha espuma.
- Pérdidas de carga pequeñas.

Para maximizar el área de contacto entre fluidos hay que minimizar la resistencia al flujo de gas, tener una distribución uniforme del líquido sin caminos preferenciales a través de la columna y promover el flujo uniforme de gas a través de la sección de la columna. Se pueden escoger fundamentalmente dos tipos de rellenos: uniformes o aleatorios.

Los aleatorios son los más usados en la industria, debido a que ofrecen mayores coeficientes de transferencia de materia a cambio de tener mayores pérdidas de carga. Además, su precio es inferior que el ordenado para cantidades pequeñas, si se requieren volúmenes muy elevados, su ventaja se reduce por los motivos comentados.

Para el presente proyecto se utilizará el relleno aleatorio: Flexirings (Glitsch)-Inox 2. De material acero inoxidable y con unas dimensiones de 2”.

6.10.2. Equipamiento seleccionado

Siguiendo los procedimientos utilizados anteriormente y teniendo en cuenta que por la temperatura de reacción algunos compuestos son líquidos y otros gaseosos, se calcula el flujo volumétrico para buscar el equipo más adecuado, siempre teniendo en cuenta un exceso, $F_{v15} = 5,12 \frac{m^3}{h}$. Se eligió, un equipo de destilación completo, incluyendo bombas, hervidores, condensadores, etc.

Tabla 6-17: Ficha técnica del splitter- Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Splitter
Referencia del proceso	SP-01
Marca	MERSEN
Modelo	MCPA-055
Cantidad	1
Capacidad	6 m ³
Diámetro	0,6 m
Altura	21,3 m
Material	Acero inoxidable AISI 316
Área necesaria para su instalación	0,4 m ²
Costo	USD 750000

6.11. Absorbedor de ACN

Este equipo forma parte de la destilación extractiva. La absorción de ACN, se realiza con una corriente de agua que se inyecta en esta torre de absorción que está a una presión de 1,3 ata y la temperatura de operación es de 100°C.

Ambos datos fueron utilizados en la ecuación de los gases ideales, para calcular, de la misma manera que en los incisos anteriores, la densidad de los compuestos en estado gaseoso. Para el AN la densidad dio 2,25 kg/m³ y para el ACN 1,74 kg/m³.

El agua que ingresa junto con el AN y ACN, y el agua ingresada para absorber el ACN se encuentra en estado líquido, y a 100°C tiene una densidad de 958,05 kg/m³.

Las densidades se usan junto con los flujos másicos de cada corriente, para calcular el flujo volumétrico total y de ahí poder definir un volumen para la torre de absorción, como en el caso del reactor. El volumen final se hace considerando un 15% de sobredimensionamiento, y tiene un valor 340 m³.

6.11.1. Torre de absorción

Este tipo de torre está explicada en el inciso 6.6.1. Torre de absorción ya que, para el enfriamiento ácido, se utiliza el mismo equipo con la salvedad de que no existe reacción en esta operación.

6.11.1.1. Platos perforados

Este tipo de plato, es como el explicado en el inciso 6.8.1.1. Platos perforados del separador de gases.

6.11.2. Equipamiento seleccionado

La torre absorbadora, al igual que el resto de los equipos, es de acero inoxidable ya que es un material resistente a los compuestos con los que está en contacto y tiene las características que se describen en la tabla.

Tabla 6-18: Ficha técnica de la torre absorbadora de ACN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Torre absorbadora de ACN
Referencia del proceso	TA-02
Marca	MERSEN
Modelo	MXD - 15
Cantidad	1
Capacidad	350 m ³
Diámetro	3 m
Altura	50 m
Material	Acero inoxidable
Área necesaria para su instalación	9 m ²
Costo	USD 950000

6.12. Recuperador de ACN

La separación de acetonitrilo del agua es un proceso complicado que requiere del uso de diversas columnas de destilación si se desea llegar al grado de purificación exigido en el mercado.

Dado que el objetivo de la planta diseñada es la producción de acrilonitrilo, se considera que el acetonitrilo es un subproducto y, por tanto, no se cree necesario realizar el diseño de la totalidad de dichas columnas, ya que incrementaría notablemente el costo de la fábrica; aunque no se descarta su construcción en posteriores ampliaciones de planta. No obstante, se considera interesante la construcción de la primera columna, ya que ésta permite obtener por fondos una corriente cuyo componente mayoritario es el agua y puede utilizarse en otras partes del proceso, además de obtener una corriente de acetonitrilo de pureza suficientemente elevada para ser vendida como producto intermedio para industrias productoras de acetonitrilo.

Con esta operación se recupera el agua que fue ingresada en la torre absorbidora de ACN, terminando con la destilación extractiva.

La temperatura de operación de esta columna es 90°C, a la cual se calcularon los flujos volumétricos de las corrientes para definir el volumen del equipo. Para esto, se calculó, como ya se ha detallado en los incisos anteriores, la densidad del ACN que se encuentra en estado gaseoso con la ecuación de los gases ideales y de tablas se obtuvo la densidad del agua que está en estado líquido.

El volumen necesario será de 10 m³, considerando el 15% de sobredimensionamiento.

6.12.1. Torre de destilación

Este tipo de columna ha sido definida en el inciso 6.9.1. Stripper, pero con la salvedad que esta operación no requiere de la inyección de vapor.

6.12.1.1. Relleno

En este caso, no se usan platos de burbujeos, sino que se usa un relleno, y porque el volumen que se trata es pequeño, se usa un relleno desordenado para aumentar el contacto a un menor costo que un plato de burbujeo. Y además al ser una columna pequeña en comparación a las calculadas previamente, no se requiere de la alta eficacia del relleno ordenado. Se decide emplear anillos Pall de acero inoxidable, detallados en el inciso 6.6.1.1. Relleno del quench ácido.

6.12.1.2. Soporte del relleno

El mismo analizado en el inciso 6.6.1.2. Soporte de relleno del quench ácido.

6.12.1.3. Distribuidores de líquido

Además del distribuidor analizado en el inciso 6.6.1.3. Distribuidores de líquido del quench ácido, se coloca un redistribuidor. La principal diferencia entre el distribuidor y el redistribuidor, es que el último posee un "wall wiper" que favorece que el líquido no se segregue por las paredes.

6.12.1.4. Hold down plate

Este es el mismo que el definido en el inciso 6.6.1.4. Plato de Sujeción del equipo de enfriamiento ácido.

6.12.2. Equipamiento seleccionado

Será de acero inoxidable ya que es un material resistente a los compuestos con los que está en contacto y tiene las características que se describen en la tabla.

Se eligió, un equipo de destilación completo, incluyendo bombas, hervidores, condensadores, etc.

Tabla 6-19: Ficha técnica de la recuperadora de ACN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Separadora de ACN
Referencia del proceso	TD-01
Marca	Norton
Modelo	DESH 0300
Cantidad	1
Capacidad	10 m ³
Diámetro	1 m
Altura	12,7 m
Material	Acero inoxidable
Área necesaria para su instalación	0,8 m ²
Costo	U\$D 1560000

6.13. Deshidratador de AN

El objetivo de este equipo es separar el agua del acrilonitrilo para obtenerlo a la salida de esta con la sequedad necesaria según los requerimientos de especificación de producto, y se terminaría con la destilación extractiva comenzada en la absorbadora de ACN. La complicación de este equipo es que estos dos compuestos forman un heteroazeótropo. Por la cabeza de la columna se obtiene acrilonitrilo casi puro y por la parte inferior se extrae el agua con las impurezas más pesadas.

Para llevar a cabo esta separación a presión atmosférica se utilizará una columna de platos similar a las descritas anteriormente. El flujo, en exceso, que ésta debe contener es de 485 m³/h.

6.13.1. Equipamiento seleccionado

Debido al volumen necesario para que la deshidratación se lleve a cabo, se necesitarán dos columnas de destilación.

Tabla 6-20: Ficha técnica de la Torre Deshidratadora – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Columna de destilación
Referencia del proceso	TD-02
Marca	MERSEN
Modelo	MCP-132
Cantidad	2
Volumen	240 m ³
Altura	76,4 m
Ancho	2 m
Área necesaria para su instalación	4 m ²
Material	Acero inoxidable AISI 304
Costo unitario	USD 2000000

6.14. Purificador de AN al vacío

En este caso la destilación ocurrirá en una torre con platos a una presión menor que la atmosférica para tener mejores resultados en la separación de impurezas y así poder obtener el AN con especificaciones de producto de venta. Por las condiciones de operación será necesario tener en cuenta el uso de bombas de vacío. Así, la presión de trabajo será de 0,4 ata y la temperatura de 40°C. El volumen horario que debe contener esta torre es de 900 m³.

6.14.1. Equipamiento seleccionado

Se eligió un equipo completo, incluyendo bombas, hervidores, condensadores, etc.

Tabla 6-21: Ficha técnica de la torre de destilación al vacío – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Columna de destilación
Referencia del proceso	TD-03
Marca	MERSEN
Modelo	DC34
Cantidad	4
Volumen	225 m ³
Altura	71,6 m
Ancho	2 m
Área necesaria para su instalación	4 m ²
Material	Acero inoxidable AISI 304
Costo unitario	USD 2000000

6.15. Almacén de producto y subproductos

El producto a almacenar, es el acrilonitrilo, y como subproductos se obtiene ácido cianhídrico, acetonitrilo y sulfato de amonio. Todos serán almacenados en estado líquido, ya que incluso el sulfato de amonio será obtenido en solución como se explicó en el inciso 6.6. de Enfriamiento ácido.

6.15.1. Tanque de almacenamiento de AN

Los tanques de almacenamiento del acrilonitrilo, deberán llevar un agitador mecánico de hélice, para garantizar su estabilidad mediante el agregado de compuestos y, además, evitar la polimerización.

El volumen fue calculado como se hizo previamente en el punto 6.2. Almacén de materias primas.

La densidad del acrilonitrilo líquido a 50°C es de 810 kg/m³ y la densidad del agua es 988,02 kg/m³, con esos datos y despreciando el volumen ocupado por el ACN que está en una cantidad muy baja, se procede con el cálculo del volumen del tanque para almacenar el producto elaborado en 7 días de operación. Considerando el sobredimensionamiento, que ha sido tenido en cuenta en todos los cálculos de este apartado, se obtiene un volumen de 3 m³.

6.15.1.1. Equipamiento seleccionado

Será de acero inoxidable ya que es un material resistente al acrilonitrilo y tiene las características que se describen en la tabla.

Tabla 6-22: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del AN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de AN
Referencia del proceso	T-05
Marca	JIE SHENG
Modelo	Storage tank-SS
Cantidad	1
Capacidad	3 m ³
Diámetro	0,3 m
Altura	3,5 m
Material	Acero inoxidable
Área necesaria para su instalación	0,1 m ²
Costo	USD 500

6.15.1.2. Agitador de hélice

Los agitadores de hélices son aquellos de flujo axial que giran a velocidad elevada y se emplean para líquidos poco viscosos. Las corrientes de flujo, que parten de la hélice, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del

tanque. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido originando importantes turbulencias.

6.15.1.2.1. Equipamiento seleccionado

Para depósitos de 3m³, recomiendan los agitadores VHD cuyas especificaciones se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6-23: Ficha técnica del agitador del tanque de almacenamiento de AN – Fuente Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Agitador de hélice
Referencia del proceso	A-01
Marca	Mix fluid
Modelo	VHD
Cantidad	1
Capacidad	3 m ³
Diámetro	0,12 m
Altura	1,5 m
Material	Acero inoxidable
Velocidad	750 rpm
Potencia	1 kW
Costo	USD 1000



Figura 6-22: Agitador de hélice - Fuente: Fluidmix

6.15.2. Tanque de almacenamiento de HCN

Los tanques de almacenamiento del ácido cianhídrico, tendrán un volumen calculado como se hizo previamente en el punto 6.2. Almacén de materias primas.

La densidad del HCN líquido a 25°C es de 687 kg/m³ y la densidad del AN líquido es 810 kg/m³, con esos datos, se procede con el cálculo del volumen del tanque para almacenar el producto

elaborado en 7 días de operación. Considerando el sobredimensionamiento, que ha sido tenido en cuenta en todos los cálculos de este apartado, se obtiene un volumen de 1,12 m³.

Según la hoja de seguridad del HCN, para evitar riesgos de explosión debidos a la polimerización del HCN, debe almacenarse con un contenido menor al 1% en peso de agua, debe ser inhibido con ácido sulfúrico, fosfórico o acético.

6.15.2.1. Equipamiento seleccionado

Será de acero inoxidable ya que es un material resistente al HCN y tiene las siguientes características.

Tabla 6-24: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del HCN – Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de HCN
Referencia del proceso	T-06
Marca	Affinity
Modelo	215
Cantidad	1
Capacidad	1,5 m ³
Diámetro	1,22 m
Altura	1,27 m
Material	Acero inoxidable
Área necesaria para su instalación	1,2 m ²
Costo	USD 660

6.15.3. Tanque de almacenamiento de ACN

Repitiendo la secuencia de cálculo del inciso 6.2. Almacén de materias primas, se obtendrá el volumen del tanque depósito de ACN.

La densidad del ACN líquido a 82°C es de 786 kg/m³ y la densidad del agua líquida a 82°C es 970,33 kg/m³, con esos datos, se procede con el cálculo del volumen del tanque para almacenar el producto elaborado en 7 días de operación. Considerando el sobredimensionamiento, que ha sido tenido en cuenta en todos los cálculos de este apartado, se obtiene un volumen de 15,7 m³.

6.15.3.1. Equipamiento seleccionado

Este depósito tendrá las siguientes características, se usa acero inoxidable.

Tabla 6-25: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del ACN – Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de ACN
Referencia del proceso	T-07
Marca	TANQUINOX
Modelo	178
Cantidad	1

Capacidad	15 m ³
Diámetro	2,5 m
Altura	3,2 m
Material	Acero inoxidable
Área necesaria para su instalación	5 m ²
Costo	U\$D 6500

6.15.4. Tanque de almacenamiento de sulfato de amonio

Como en el inciso 6.2. Almacén de materias primas, se obtendrá el volumen del tanque depósito de la solución del (NH₄)₂SO₄.

La densidad del agua a 100°C es de 958 kg/m³, la densidad del (NH₄)₂SO₄ es 1770 kg/m³, y la del H₂SO₄ es 1840 kg/m³. Con los datos de las densidades, se calcula el volumen del tanque para almacenar el producto elaborado en 7 días de operación. Considerando el sobredimensionamiento del 15%, se obtiene un volumen de 32 m³.

6.15.4.1. Equipamiento seleccionado

Según la hoja de seguridad, es corrosivo al cobre, bronce, metales férreos y aleaciones, entonces se depositará en tanques de material polimérico, con las especificaciones descritas en la tabla.

Tabla 6-26: Ficha técnica del tanque de almacenamiento del sulfato de amonio – Fuente: Elaboración propia en base a datos del proveedor:

Datos técnicos	
Equipo	Tanque de almacenamiento de sulfato de amonio
Referencia del proceso	T-08
Marca	Shuishan
Modelo	PT30000
Cantidad	1
Capacidad	30 m ³
Diámetro	3 m
Altura	4,2 m
Material	LLDPE
Área necesaria para su instalación	7 m ²
Costo	U\$D 5000

6.16. Equipos auxiliares

6.16.1. Caldera

En la planta se demanda vapor únicamente para utilizar en el Stripper, y debido a la ingeniería que se realizó en las instalaciones, no será necesario un equipo que genere este servicio. Esto es gracias a que en los equipos del proceso en los que se necesita enfriar las corrientes, ya sea en el reactor o en los intercambiadores, se utiliza agua que cambia su estado y sale en forma gaseosa.

La generación total de vapor es de aproximadamente 912 kg/h, en cambio el consumo de vapor es de 217 kg/h. Esta gran diferencia nos muestra que está ampliamente cubierta la demanda en el proceso, así es que puede ser utilizada para calefacción de la planta y la zona de administración.

6.16.2. Tuberías

A lo largo del proceso es necesario, para el transporte de materias primas, productos intermedios y productos finales, tuberías de distintos diámetros y materiales. Teniendo en cuenta que es un estudio de prefactibilidad no se realiza el cálculo de las cantidades exactas de cada tipo y dimensión de tuberías.

Con respecto al material de las tuberías se utilizarán casi totalmente tuberías de acero inoxidable debido a los compuestos corrosivos que se manejan en el proceso. Además, para evitar pérdidas de calor por disipación y ayudar con la seguridad del personal, se colocarán aislantes en las tuberías que contengan fluidos a altas temperaturas.

La única excepción es en el caso del traslado de la solución de ácido sulfúrico en el quench y de la salida del sulfato de amonio luego de realizar la neutralización, ya que deben utilizarse tuberías de polietileno de baja densidad que por sus propiedades resisten a los agentes químicos.

6.16.2.1. Tuberías de acero inoxidable

Los tubos de acero inoxidable contienen aleaciones a base de hierro, que generalmente incluyen como mínimo un 11,5% de cromo. Se añaden otros elementos, tales como el níquel, para permitir que el tubo tenga ciertas propiedades, tales como una alta resistencia a la corrosión y la oxidación, incluso en altas temperaturas. La resistencia a la oxidación y a la corrosión aumenta con el aumento de la cantidad de cromo. Las paredes del tubo son más delgadas que otras tuberías debido a la capacidad de la tubería para evitar la corrosión. También se sueldan entre sí cuando dos tuberías se conectan juntas, así que no es necesaria una rosca, lo que permite menos fugas y sellos más resistentes.

El acero inoxidable tipo 304 es el más utilizado para la resistencia a la corrosión general. Se clasifica por tener un contenido máximo de carbono del 0,08 por ciento. Se utiliza en las plantas químicas, fábricas de papel, industrias de procesamiento de alimentos y refinerías. El tipo 304 no debe utilizarse a temperaturas de entre 430 y 900 °C, ya que puede causar la precipitación de carburos que puede causar la corrosión intergranular, haciendo que el tubo se deteriore más rápidamente. Si bien la tubería de acero inoxidable es resistente a muchos tipos de corrosión, no es impermeable a ellos.

6.16.3. Válvulas y Accesorios

En el proceso las válvulas que se utilizarán son tanto de regulación como de todo-nada. Dentro de estas clasificaciones las más utilizadas son la de bola, asiento, mariposa, y retención.

Los accesorios habituales en este tipo de instalaciones son:

- Filtro: situados antes de un equipo de bombeo.

- Purgadores: se colocan en las líneas de vapor para eliminar los condensados y así evitar los golpes de ariete.
- Codos: se colocan en las tuberías cuando hay un cambio de dirección.
- Discos de ruptura: se utilizan como medida de seguridad en equipos con riesgo de sobrepresión como reactores, tanques, columnas o incluso en tuberías con fluidos viscosos de más de 3.

6.16.4. Equipos de propulsión de fluidos

6.16.4.1. Bombas

Las bombas centrífugas son las más usadas en la industria química. El principio de impulsión de la bomba se rige por transformar la presión mecánica en energía cinética para el fluido. Se eligen debido a su bajo costo, posibilidad de construcción con materiales adecuados y versatilidad.

Las bombas de la planta se duplican por seguridad debido a que son equipos de relativo bajo costo y fundamentales en el funcionamiento de la planta. De esta manera cada bomba funciona alternadamente 24 horas así, todas ellas estarán sin largos periodos de inactividad y en caso de fallas, una de las bombas sustituya a la otra hasta la sustitución o reparación.

6.16.4.2. Soplantes

Debido a las características del proceso, se tienen que impulsar gases en diferentes puntos de la planta. Entre la gran variedad de equipos que hay en el mercado para este fin, se opta por usar soplantes en los puntos donde solo se requiere impulsar el gas, y no dotarlo de una presión mucho mayor que la de la entrada al equipo. Además, trabajan a presión cercana a la atmosférica o a vacío.

Los soplantes de desplazamiento positivo son los que hemos escogido para la planta.

6.17. Conclusión

Por medio del análisis de las distintas alternativas tecnológicas disponibles en el mercado, se seleccionó la más adecuada, desde el punto de vista técnico económico, estableciendo comparaciones y teniendo en cuenta el equipamiento actualmente usado en industrias similares, disponibilidad, eficiencia y eficacia, adaptabilidad del proceso, entre otros factores. Como parámetro principal se intentó seleccionar un equipamiento flexible, previendo posibles variaciones en la demanda.

7. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

7.1. Introducción

Una industria debe seguir un modelo organizativo ya que ayuda a la división interna, contribuye a agilizar procesos y reducir barreras entre la empresa y agentes externos, como proveedores y socios. Para desarrollar una estructura organizacional, se agrupan y clasifican las actividades de la empresa con el fin de poder administrar.

En este capítulo se presentarán los criterios que permitan enfrentar el análisis de los aspectos organizacionales de un proyecto, los procedimientos administrativos y sus consecuencias económicas en los resultados de la evaluación.

Para establecer una estructura de organización planeada, se clasifica y se agrupa las actividades de la empresa con el fin de poder administrar. En otras palabras, el objetivo de la organización es enviar instrucciones a los miembros operantes, recibir y transmitir a la dirección la información que le permitirá funcionar de manera inteligente.

7.2. Organización de la empresa

La estructura organizativa queda definida por las características específicas y únicas de cada proyecto de inversión.

Es muy importante el estudio de las variables organizacionales, puesto que la estructura que se adopta para la implementación y operación del proyecto está ligada con los egresos de inversión y costos operativos que pueden determinar su rentabilidad.

Se trabajará para tener una estructura sencilla, con la menor cantidad de empleados posible, esto se analiza con el fin de reducir costos en salarios, evitar relaciones informales en la organización y lograr una óptima producción.

7.2.1. Principios generales de una organización

Para que esta organización tenga una estructura sólida tendremos en cuenta los siguientes principios generales:

- Separación de funciones de la empresa.
- Establecer las subdivisiones lógicas en la línea de trabajo para que no se solapen o choquen, de tal modo que ningún individuo reciba órdenes directas de más de una persona, lo que se conoce como relaciones informales.
- Especificación neta de cada tarea directiva, en todo el orden sucesivo de los diferentes niveles de la dirección, con el fin de evitar la responsabilidad compartida.
- Delegación apropiada y adecuada de la autoridad a cada miembro en el orden directivo de su sección, de acuerdo al nivel que ocupa en la dirección. Esto incluye a los recursos necesarios para poder ejercer su autoridad.
- Selección del individuo más apropiado y conveniente para cada cargo.

7.3. Características de la organización

7.3.1. Constitución legal

La constitución legal de una empresa es cuando una persona o un grupo de personas registran su empresa ante el gobierno con el fin de cumplir con la ley, y acceder a las diversas ventajas que presenta tener una empresa constituida legalmente.

Esto permite que nuestra empresa sea legalmente reconocida, que califique como sujeto de crédito, que podamos emitir comprobantes de pago, y que podamos producir, comercializar y promocionar nuestros productos o servicios con autoridad y sin restricciones.

En Argentina, al formar una sociedad comercial se debe tener en cuenta la ley 19550 “De las sociedades Comerciales”, donde incluye la descripción de las diferentes formas societarias y los beneficios y obligaciones que cada una genera en las partes intervinientes.

ACRISUR tendrá personería jurídica, lo que significa que es la empresa quien adquiere y asume las obligaciones de ésta. Se opta por una sociedad anónima, ya que posee una estructura jurídica que la hace especialmente adecuada para llevar a cabo todo tipo de empresas desde pequeñas hasta las de gran magnitud. De esta manera, puede estar conformada por un mínimo de 2 socios, sin número máximo. Funciona bajo una razón social y/o denominación. El capital está conformado por acciones, no por participaciones sociales.^[35]

Se visualizan distintas ventajas con este tipo de sociedad, dentro de las cuales se resaltan las siguientes:

- Es una sociedad abierta, lo que quiere decir que los socios pueden vender libremente sus acciones y, además, la empresa puede cotizar en bolsa.
- Al ser la responsabilidad limitada, se protege el patrimonio personal de los socios ante posibles deudas que puedan crearse.
- La responsabilidad social permite que esta sea solidaria entre los socios.
- Puede ser constituida por un solo socio, sin necesidad de aliarse con nadie.
- Las ganancias obtenidas a través de la sociedad, no están sujetas a impuestos de seguridad social ni de seguros médicos.
- Da muy buena imagen frente al exterior, tanto en respetabilidad ante otras sociedades, como de seriedad ante acreedores, bancos y entidades financieras.
- La administración y gestión la puede realizar una persona o un grupo sin necesidad de que sean socios accionistas, lo que permite una visión independiente sobre la marcha de la empresa.
- Permite una gran movilidad del capital.
- Permite obtener capital de un gran número de personas sin necesidad de conocer sus características personales.

7.3.2. Razón social y funciones de la empresa

ACRISUR S.A. es una compañía productora de Acrilonitrilo, el cual es un producto petroquímico intermedio muy utilizado en la industria a nivel mundial.

La compañía se encuentra ubicada en la provincia de Buenos Aires, más precisamente al sur de la misma, en el partido de Bahía Blanca.

Su principal objetivo es consolidarse como una empresa confiable en el mercado nacional para así poder ser la sustituta a las importaciones y, de esta manera, abrir el abanico a nuevas producciones que utilicen al AN como materia prima.

Su actividad comercial inicia en el año 2020, relacionada desde sus inicios a la industria petroquímica.

7.4. Organigrama

Dentro de los tipos de estructura organizacional se opta una estructura funcional que centraliza la coordinación y la especialización de las tareas, produciendo una cantidad limitada de productos eficientes y predecibles, adecuada para nuestra planta productora de acrilonitrilo.

Los requisitos fundamentales que tenemos en consideración en nuestro organigrama son:

- La organización tiene que crearse alrededor de funciones y no de individuos.
- Las funciones estrechamente relacionadas deben colocarse bajo un mismo epígrafe.
- No debe hacerse ningún nombramiento que permita que dos individuos crucen la línea de autoridad y choquen. La autoridad y responsabilidad que acompañan a cada función y subfunción deben limitarse en el manual de organización.

Pueden combinarse algunos deberes con otros que estén tan relacionados con ellos como sea posible de modo que cada grupo pueda ser manejado por una sola persona.

Dentro del esquema de organización de la empresa consideramos por cuestiones estratégicas a los servicios esenciales como salud, limpieza, higiene y seguridad, comedor y seguridad, como así también el departamento de recursos humanos dentro de asesoría externa.

La asesoría externa o staff se compone de personas que cumplen actividades específicas, y que por razones económicas no es conveniente que formen parte del personal permanente de la empresa, sino en situaciones que así lo requiera.

El staff estará integrado por un abogado, encargado de la asesoría legal; un contador encargado de los balances anuales, liquidación de sueldos, etc.; un técnico en seguridad e higiene para auditorías y capacitaciones; y un agente asesor que se encargue de la gestión de recursos humanos.

Esta decisión se basa principalmente en la existencia de empresas especializadas en el manejo de estos recursos por lo que pueden llevar a una optimización del funcionamiento de la organización en lo que está todo relacionado.

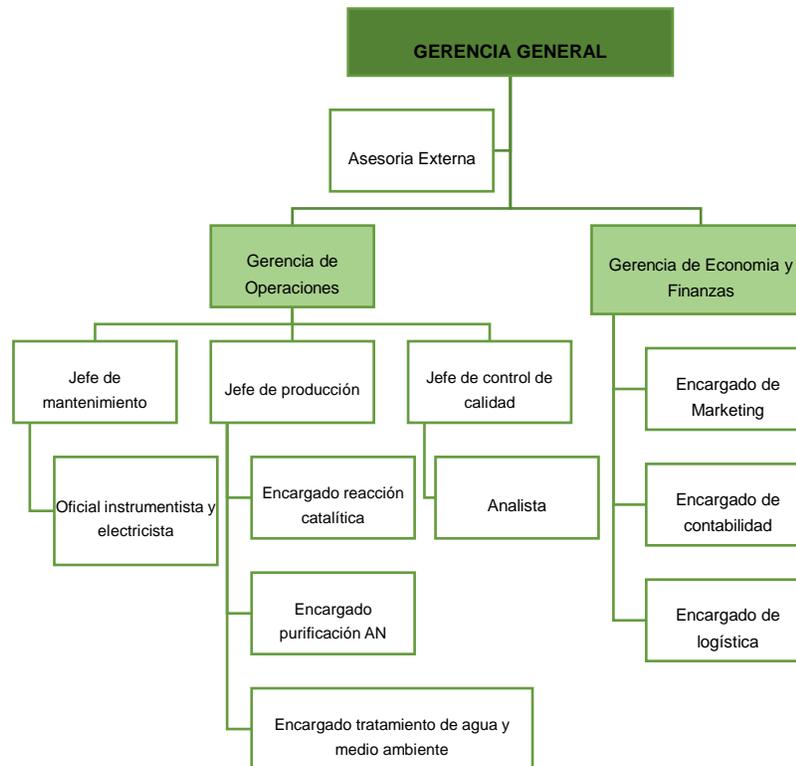


Figura 7-1: Organigrama de la empresa – Fuente: Elaboración propia

7.5. Ficha de funciones

Las fichas de funciones son herramientas con carácter técnico-administrativo y de índole muy práctica que sirven para identificar, en forma individual a cada trabajador de una manera rápida, clara y sencilla.

De tal forma, para los distintos puestos se establecerán las distintas tareas a realizar, perfiles de puesto y las líneas de mando, definidas anteriormente en el organigrama.

7.5.1. Gerencia

Al ser un estudio de pre factibilidad, la gerencia que establecimos para nuestra planta de acrilonitrilo está compuesta de dos principales gerentes que son los siguientes:

7.5.1.1. Gerente general

Persona de jerarquía, es el encargado de las estrategias y coordinación de todos los departamentos de la empresa.

Tabla 7-1: Ficha de función Gerente General - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia General
SECTOR	Gerencia General
FUNCIÓN	Gerente General
SUPERVISA A	Gerentes de operaciones y economía y finanzas.
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Liderar la gestión estratégica	
Liderar la formulación y aplicación del plan de negocios	
Alinear a las distintas Gerencias	
Definir políticas generales de administración	
Desarrollar y mantener relaciones político-diplomáticas con autoridades y reguladores	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero Químico o Industrial	
Expresión oral y escrita en Idioma Inglés	
Búsqueda y cierre de negocios	
Capacidad de liderazgo	

7.5.1.2. Gerente de operaciones

Persona de jerarquía, encargada de planificar, dirigir y controlar el proceso productivo, por medio del trabajo en equipo con los diferentes jefes de los sectores de mantenimiento, producción y control de calidad.

Tabla 7-2: Ficha de función Gerente de operaciones - Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia Operaciones
SECTOR	Gerencia Operaciones
FUNCIÓN	Gerente Operaciones
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefes de mantenimiento, producción y control de calidad.
REPORTA A	Gerente General
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Planificar y supervisar el trabajo de los distintos operarios	
Supervisar los procesos de producción	
Gestionar recursos materiales	
Gestionar recursos humanos	
Diseñar mejoras en el proceso	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero químico o ingeniero industrial	
Capacidad de trabajo en equipo	
Capacidad de análisis	
Capacidad de liderazgo	

7.5.1.3. Gerente de economía y finanzas

Persona de jerarquía, a cargo de la gestión financiera de la organización. Es el responsable de la planificación, ejecución e información financieras.

Tabla 7-3: Ficha de función Gerente de economía y finanzas - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia de Economía y Finanzas
SECTOR	Gerencia de Economía y Finanzas
FUNCIÓN	Gerente de Economía y Finanzas
SUPERVISADO POR	Gerente general
SUPERVISA A	Encargados de contabilidad, marketing y logística.
REPORTA A	Gerente general
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Programar, organizar, dirigir, controlar y supervisar las actividades de personal, tesorería, contabilidad y costos, logística y servicios internos	
Administrar y supervisar los fondos y valores financieros de la municipalidad, canalizando los ingresos y efectuando los pagos correspondientes por los compromisos contraídos de conformidad con las normas que rigen el Sistema de Tesorería	
Supervisar el registro de ingresos y gastos en los aplicativos aprobados el estado	
Administrar los bienes, recursos materiales y humanos orientados a la dotación de servicios generales que requieran las diferentes áreas de la entidad	
Formular, actualizar y proponer la normatividad interna de su competencia	
PERFIL DEL PUESTO	
Licenciado en Administración Comercial o equivalente	
Conocimiento de leyes, normas y reglamentos que rigen los procesos administrativos	
Habilidades para desarrollar métodos y procedimiento de trabajo	
Capacidad de liderazgo	

7.5.2. Gerencia de operaciones

7.5.2.1. Jefe de mantenimiento

Persona de jerarquía, encargada de administrar e implementar todos los programas que hacen al mantenimiento, sea éste predictivo, preventivo y/o correctivo programable, así como supervisar la ejecución de trabajos previstos e imprevistos, tanto de mantenimiento eléctrico como mecánico, con el objetivo de minimizar los tiempos improductivos y por ende los costos, maximizando así la disponibilidad y continuidad operativa de todos los equipos e instalaciones.

Tabla 7-4: Ficha de función Jefe de mantenimiento - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Operaciones
SECTOR	Mantenimiento
FUNCIÓN	Jefe de mantenimiento
SUPERVISADO POR	Gerente de operaciones
SUPERVISA A	Oficiales instrumentistas, electricistas y con oficio
REPORTA A	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Supervisa el mantenimiento de las instalaciones.	
Suministra al personal los materiales y equipos necesarios para realizar las tareas asignadas.	
Detecta fallas, dificultades y/o problemas que se presenten durante la ejecución del trabajo y decide la mejor solución.	
Elabora y presenta los reportes estadísticos referidos a aspectos de su competencia.	
Elabora informes periódicos de las actividades realizadas.	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero Civil o Industrial	
Habilidad para dar órdenes e instrucciones en forma clara y precisa en forma oral y escrita	
Habilidad para estimar tiempo, materiales y costos de trabajo de mantenimiento y reparación	
Capacidad de liderazgo	

7.5.2.1.1. Oficial instrumentista y electricista

Tabla 7-5: Ficha de función Oficial con oficio - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Operaciones
SECTOR	Mantenimiento
FUNCIÓN	Oficial instrumentista y electricista
SUPERVISADO POR	Jefe de mantenimiento
SUPERVISA A	
REPORTA A	Jefe de mantenimiento
CATEGORÍA	A 3
DEBERES	
Diseñar modificaciones de circuitos electrónicos que accionen instrumentos o mecanismos eléctricos y calibrar equipos	
Puesta a punto de los instrumentos de control de procesos y servicios industriales	
Reparación de equipos de alta complejidad	
Elabora informes periódicos de las actividades realizadas.	
Realizar tendido de líneas, cañerías eléctricas y reparaciones de circuitos de iluminación	
Reparar averías eléctricas y reparaciones menores de motores eléctricos	
Interpretación de planos	
Trabajar en sistemas de generación de corriente eléctrica y otros elementos eléctricos	
PERFIL DEL PUESTO	
Técnico electrónico o similar con criterio eléctrico y mecánico	
Capacidad de resolución de problemas	
Capacidad de trabajo en equipo	

7.5.2.2. Jefe de producción

Persona de jerarquía, encargada de programar, dirigir y controlar el proceso productivo de acrilonitrilo, administrando los recursos humanos y materiales como así también aportando con la mejora continua, desarrollo de la infraestructura y los procesos en conjunto con el departamento de ingeniería y desarrollo.

Además, es la persona encargada de asegurar el cumplimiento del programa de producción en tiempo y forma adecuada.

El área de producción está conformada por tres encargados que gestionan los sectores de reacción, recuperación y purificación del proceso de producción de acrilonitrilo.

Tabla 7-6: Ficha de función Jefe de producción - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Producción
SECTOR	Planta
FUNCIÓN	Jefe de producción
SUPERVISADO POR	Gerente de operaciones
SUPERVISA A	Encargados de reacción, tratamiento de agua – medio ambiente y de purificación
REPORTA A	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Gestionar los recursos internos del proceso	
Integrar todos los procesos internos	
Supervisar las líneas de producción, ajustes y mejoras puntuales	
Coordinar labores del personal. Controlar la labor de los supervisores de áreas y del operario en general	
Emitir informes, analiza resultados, generar reportes de producción que respalden la toma de decisiones	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero de procesos o similar	
Capacidad de liderazgo. Ser proactivo	
Capacidad de planificación.	
Capacidad de organización y supervisión de personal	
Conocimientos en gestión de la producción y conocimientos generales en mantenimiento de máquinas y equipos.	

7.5.2.2.1. Encargado reacción catalítica

Tabla 7-7: Ficha de función Encargado reacción catalítica - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Producción
SECTOR	Reacción
FUNCIÓN	Encargado reacción catalítica
SUPERVISADO POR	Jefe de producción
SUPERVISA A	Operador del reactor
REPORTA A	Jefe de producción
CATEGORÍA	A 3
DEBERES	
Supervisar el funcionamiento de equipos del sector	
Supervisar actuación de operarios a cargo	
Analizar los parámetros de equipos	
Informar de variaciones en las materias primas que van a recibirse	
Planificar distribución de tareas dentro del sector	
PERFIL DEL PUESTO	
Técnico con experiencia en el sector	
Manejo de software de control del proceso	
Capacidad de liderazgo	
Criterio para análisis de resultados	

7.5.2.2.2. Encargado del tratamiento de agua y medio ambiente

Tabla 7-8: Ficha de función Encargado del tratamiento de agua - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Producción
SECTOR	Recuperación
FUNCIÓN	Encargado del tratamiento de agua y medio ambiente
SUPERVISADO POR	Jefe de producción
SUPERVISA A	Operador de destilación extractiva
REPORTA A	Jefe de producción
CATEGORÍA	A 3
DEBERES	
Supervisar el funcionamiento de equipos del sector	
Supervisar actuación de operarios a cargo	
Analizar los parámetros de equipos	
Informar de variaciones en las materias primas que van a recibirse	
Planificar distribución de tareas dentro del sector	
PERFIL DEL PUESTO	
Técnico con experiencia en el sector	
Manejo de software de control del proceso	
Capacidad de liderazgo	
Criterio para análisis de resultados	

7.5.2.2.3. Encargado de purificación del acrilonitrilo

Tabla 7-9: Ficha de función Encargado de purificación del AN- Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Producción
SECTOR	Purificación
FUNCIÓN	Encargado de purificación del AN
SUPERVISADO POR	Jefe de producción
SUPERVISA A	Operadores de absorción, destilación y envasado
REPORTA A	Jefe de producción
CATEGORÍA	A 3
DEBERES	
Supervisar el funcionamiento de equipos del sector y de operarios a cargo	
Analizar los parámetros de equipos	
Informar de variaciones en las materias primas que van a recibirse	
Planificar distribución de tareas dentro del sector	
PERFIL DEL PUESTO	
Técnico con experiencia en el sector y liderazgo	
Manejo de software de control del proceso	
Criterio para análisis de resultados	

7.5.2.3. Jefe de control de calidad

Persona de jerarquía, encargada de administrar los procesos de corroboración y aseguramiento de la calidad del producto intermedio y final. Además se encarga de centralizar y dirigir los procesos de reclamos de clientes y a proveedores.

Tabla 7-10: Ficha de función Jefe de control de calidad - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Control de calidad
SECTOR	Laboratorio
FUNCIÓN	Jefe de control de calidad
SUPERVISADO POR	Gerente de operaciones
SUPERVISA A	Analista
REPORTA A	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Realizar y/o supervisar las actividades de control del laboratorio	
Garantizar los niveles de calidad definidos de las muestras analizadas	
Definir y revisar los procesos y procedimientos utilizados	
Proponer acciones de mejora en los casos que fuera necesario	
Asegurar la eficiencia en el uso del equipamiento y la calidad de los productos	
PERFIL DEL PUESTO	
Analista de laboratorio o similar con capacidad de liderazgo	
Manejo de software específicos	
Capacidad de evaluación de resultados	

7.5.2.3.1. Analista

Tabla 7-11: Ficha de función de Analista - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Control de calidad
SECTOR	Laboratorio
FUNCIÓN	Analista
SUPERVISADO POR	Jefe de control de calidad
SUPERVISA A	
REPORTA A	Jefe de control de calidad
CATEGORÍA	A 3
DEBERES	
Tomar y preparar las muestras a analizar	
Preparación de materiales y sustancias necesarias para los ensayos	
Realizar investigaciones de estudio, ensayos, experimentos y análisis en el campo correspondiente según instrucciones del jefe de laboratorio	
Elaborar inventarios de acuerdo a las necesidades	
Controla orden y limpieza del lugar de trabajo	
PERFIL DEL PUESTO	
Técnico químico o similar	
Manejo de software específicos e inventarios	

7.5.3. Gerencia de economía y finanzas

7.5.3.1. Encargado de Contabilidad

Tabla 7-12: Ficha de función de Encargado de Contabilidad - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Economía y finanzas
SECTOR	Economía y finanzas
FUNCIÓN	Contabilidad
SUPERVISADO POR	Gerente de economía y finanzas
SUPERVISA A	
REPORTA A	Gerente de economía y finanzas
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Supervisar las funciones relativas a la contabilidad, conciliaciones bancarias y control de activos fijos	
Ejecutar los análisis de cuentas que constituyen el registro contable de la empresa	
Organizar y mantener el archivo de los documentos que respaldan los registros contables	
PERFIL DEL PUESTO	
Licenciado en Contabilidad, Administración Pública, Administración de Empresas, o Finanzas	
Manejo de software específicos	
Conocimiento de la legislación aplicable	
Destreza en el manejo de formularios y documentos contables	

7.5.3.2. Encargado de Marketing

Tabla 7-13: Ficha de función Marketing - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Economía y finanzas
SECTOR	Economía y finanzas
FUNCIÓN	Marketing
SUPERVISADO POR	Gerente de economía y finanzas
SUPERVISA A	
REPORTA A	Gerente de economía y finanzas
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Desarrollar la marca de la empresa	
Establecer estrategias para mantener la competitividad	
Planificar, elaborar y gestionar el presupuesto del departamento	
Realizar un análisis del entorno	
Diseño de presentaciones de los productos	
PERFIL DEL PUESTO	
Licenciado en Marketing o similar	
Conocimiento en idiomas	
Creatividad y capacidad de innovación	
Capacidad de resolución de problemas	

7.5.3.3. Encargado de Logística

Personal de nivel jerárquico, con capacidad de administrar los procesos relacionados con el abastecimiento de los insumos productivos e improductivos, la programación de la producción y la entrega de los productos a los clientes en tiempo y forma, teniendo en cuenta distintos aspectos relacionados con calidad y costos.

Tabla 7-14: Ficha de función encargado de logística - Fuente: Elaboración propia

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Economía y finanzas
SECTOR	Economía y finanzas
FUNCIÓN	Encargado de logística
SUPERVISADO POR	Gerente de economía y finanzas
SUPERVISA A	
REPORTA A	Gerente de economía y finanzas
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Planificar la estrategia para las actividades de suministro de la empresa (transporte, almacenaje, distribución) con el fin de garantizar la satisfacción del cliente.	
Desarrollar y aplicar procedimientos operativos para recibir, manejar, almacenar y enviar mercancías y materiales.	
Coordinar y controlar los procesos logísticos de flujo de entrada y salida de materiales o producto terminado.	

Mantenerse al día y reaccionar a las influencias externas, como la legislación, las normas relevantes y las necesidades de los clientes.
PERFIL DEL PUESTO
Licenciado en Administración o equivalente
Conocimiento de leyes, normas y reglamentos que rigen los procesos administrativos.
Conocimiento en almacenamiento y manejo de cargas peligrosas.
Habilidades para desarrollar métodos y procedimiento de trabajo
Capacidad de liderazgo

7.5.4. Escala Salarial

El salario básico de los empleados se determina en función a FESTIQ y PRA (Federación de Sindicatos de Trabajadores de Industrias Químicas y Petroquímicas de la República Argentina) y lo descrito por las planillas salariales según Convenio Colectivo de Trabajo 77/89 vigente. Este rige en todo el territorio del país y abarca a todos los trabajadores comprendidos en el ámbito de representación de la entidad sindical firmante, definido por su personería gremial y estatutos. Este convenio de trabajo establece las condiciones de trabajo, beneficios sociales, sueldos y salarios, para el personal de las industrias químicas y petroquímicas, y es de aplicación en todo el territorio de la República Argentina sin que puedan existir quitas zonales sobre el salario de referencia.

Según grilla salarial de la Federación de Sindicatos de Trabajadores de Industrias Químicas y Petroquímicas de la República Argentina a partir del 1 de abril del 2019 determinamos los salarios básicos que se detallan en el Capítulo 13 “Evaluación económica”, inciso de Costos fijos.^[36]

El monto por día estará dado para cada uno de los 3 grupos de personas que conforman los turnos rotativos de 8 horas, como se ha determinado en el apartado Turnos de trabajo de este capítulo. En el monto mensual se considera que el mes está compuesto por un promedio de 30 días.

Los trabajadores comprendidos en este convenio colectivo de trabajo de la rama operarios, han sido clasificados en cinco categorías, teniendo en cuenta las denominaciones actualmente vigentes en la industria.

Los diferentes cargos predeterminados en la Empresa fueron clasificados según las distintas categorías establecidas en el Convenio Colectivo de Trabajo N°77/89.

Quedan excluidos del presente convenio los profesionales y técnicos previstos por la ley 19587 y su decreto reglamentario 351/1979, los secretarios del gerente general, gerentes, nivel inferior (subgerente), apoderados y los secretarios de los jefes de personal y los analistas y programadores con título universitario y/o terciario.

Los salarios de los profesionales y técnicos que se encuentran fuera del convenio colectivo de trabajo se detallan en el Capítulo 13 “Evaluación económica” en el inciso de costos fijos, como así también, la escala salarial correspondiente al sector de economía y finanzas tomando en consideración la grilla salarial de Administrativos establecida para el mes de abril del año 2019.^[37]

7.6. Turnos de trabajo

Los operarios se desempeñarán en turnos rotativos de ocho horas. Por ello, para los sectores donde se requieran 24 horas de trabajo continuo, se requerirán 3 grupos de trabajo. Por puesto consideramos dos personas más teniendo en cuenta los francos compensatorios y el trabajo por fin de semana.

En los sectores administrativos como los encargados del comedor se necesitan cubrir puestos de ocho horas, únicamente deberán cubrirse por 24 horas los puestos de almacenamiento.

En cuanto a los servicios esenciales como salud y seguridad se tendrán en cuenta 2 puestos a cubrir, de 8 horas continuas cada uno, con 3 turnos de trabajo.

Para el caso del departamento de recursos humanos como el sector de comedor se requerirá el personal necesario para cumplir 8 horas de trabajo continuo en un solo turno determinado por la asesoría externa.

Tabla 7-15: Personal de la organización - Fuente: Elaboración propia.

Puesto	Puestos a cubrir	Turnos	Trabajadores necesarios
Gerente general	1	1	1
GERENCIA DE OPERACIONES			
Gerente de producción	1	1	1
Mantenimiento			
Jefe de mantenimiento	1	1	1
Oficial instrumentista y electricista	2	3	8
Control de calidad			
Jefe de control de calidad	1	1	1
Analista	1	3	5
Producción			
Jefe de producción	1	1	1
Encargado de reacción catalítica	1	3	5
Encargado purificación	2	3	8
Encargado de tratamiento de agua y MA	1	3	5
GERENCIA DE ECONOMÍA Y FINANZAS			
Gerente de economía y finanzas	1	1	1
Encargado de contabilidad	1	1	1
Encargado de marketing	1	1	1
Encargado de logística	1	1	1
TOTAL	16		30

7.7. Determinación de la condición de micro, pequeña o mediana empresa

A través de la Resolución 220/2019, la Secretaría de Emprendedores y PyMEs del Ministerio de Producción y Trabajo publicó la nueva clasificación para determinar qué empresas se encuadran dentro de la categoría PyME, como se verá en la tabla a continuación. ^[38]

Serán consideradas MiPyME –incluidas las personas humanas evaluadas crediticiamente a base del flujo de fondos generado por su actividad comercial, oficio y/o por el ejercicio profesional, sin distinguir el destino de los fondos– aquellas cuyos valores de ventas totales anuales expresados en pesos no superen los siguientes montos máximos, según el sector de actividad al que pertenezca la empresa, conforme a la definición de actividades del “Clasificador de Actividades Económicas (CLAE) – Formulario N° 883”:

Tabla 7-16: Categorías para ser PyME. Abril de 2019 – Fuente: Argentina.gob.ar

Sector Categoría	Agropecuario	Industria y minería	Comercio	Servicios	Construcción
Micro	\$10.150.000	\$21.990.000	\$23.560.000	\$6.740.000	\$12.710.000
Pequeña	\$38.180.000	\$157.740.000	\$141.680.000	\$40.410.000	\$75.380.000
Mediana Tramo 1	\$272.020.000	\$986.080.000	\$1.190.400.000	\$337.200.000	\$420.570.000
Mediana Tramo 2	\$431.450.000	\$1.441.090.000	\$1.700.590.000	\$481.570.000	\$630.790.000

Considerando primeramente una producción anual de 5000 t de acrílonitrilo, a un precio promedio según lo estimado en el Capítulo 2 “Estudio de Mercado” de este proyecto de 1771 U\$/t, precio de importación según anuario IPA 2018, con un tipo de cambio actual de \$60/U\$, se tendrá:

$$\text{Ventas totales estimadas} = 5000 \frac{\text{t}}{\text{año}} \cdot 1771 \frac{\text{U\$}}{\text{tn}} \cdot 60 \frac{\$}{\text{U\$}} = 531.300.000 \frac{\$}{\text{año}}$$

Como puede observarse, los ingresos estimados por venta, se ubican dentro de los valores para una empresa mediana tramo 1 en el sector industrial.

8. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

8.1. Introducción

El estudio de la distribución de la planta es de gran importancia, ya que permite lograr una disposición más ordenada y planeada de la maquinaria y equipos, en función de los desplazamientos lógicos de las materias primas y de los productos acabados; de modo que se aprovechen eficazmente el equipamiento, el tiempo y las aptitudes de los trabajadores.

Se define el espacio que ocuparan las diferentes áreas de la planta dentro del área total seleccionada, cuando se hizo el análisis de localización.

Se debe lograr una optimización física de la distribución de la planta, y para esto se tiene en cuenta el Diagrama de Recorrido de las materias primas. Mientras menor sea éste recorrido, mayor será la economía de movimientos y de tiempos, aumentando así la eficacia y eficiencia de la empresa. Logrando, también, mejorar la rentabilidad del proyecto.

Para ello se va a adoptar la disposición de las máquinas siguiendo la línea del proceso, teniendo en cuenta posibles ampliaciones de la planta, sin perder de vista la seguridad, que, en este tipo de procesos, es de suma importancia.

8.2. Determinación del área total

El área total está dividida en: sector de almacenamiento de MMPP, sector de producción, sector de mantenimiento, administración, sector para análisis de calidad, área de almacenamiento de producto final y subproductos, cocina-comedor, sanitarios con vestuarios, sector de estacionamiento de automóviles y el sector de medio ambiente y tratamiento de agua.

De esta manera, el área total destinada para la producción de acrilonitrilo es de 1097m².

8.2.1. Sector de almacenamiento de MMPP

En este espacio se dispondrán los tanques de almacenamiento de propileno, amoníaco y aire. Para estimar esta área, a la suma del área ocupada por los tanques, se le suma un 40%, teniendo en cuenta la seguridad y los elementos necesarios para la instalación, como válvulas y bombas, resultando en 303 m².

8.2.2. Sector de producción

El área de producción incluye a los equipos de reacción y de purificación del acrilonitrilo, estos están dispuestos siguiendo la línea de proceso.

El área del sector, se estima de acuerdo al área que ocupan los equipos en sí, más el espacio requerido para operar los mismos, según las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta la seguridad y una buena movilidad de los operarios durante el funcionamiento cotidiano de la planta, y las operaciones de mantenimiento de la misma. Además, se considera un porcentaje mayor, para incluir accesorios necesarios para la instalación de los equipos.

En conclusión, se le suma un 40% más para incluir lo descripto anteriormente, resultando que el área de producción ocupa 115 m².

8.2.3. Sector de almacenamiento de PPF

El espacio destinado a este sector es de 19 m², como en los incisos anteriores se tiene en cuenta un 40% más que la suma de los tanques de almacenamiento del acrilonitrilo, ácido cianhídrico, sulfato de amonio y acetonitrilo. En ese 40% se consideran las condiciones de seguridad y el espacio que ocupan los instrumentos y equipos de instalación de los tanques.

8.2.4. Sector tratamiento de agua y medioambiente

Si bien no se ha realizado el diseño de los equipos que se encuentran en este sector, se hace la estimación que el mismo ocupa un espacio de 100 m².

Este sector se debe tener en cuenta ya que es importante el tratamiento del agua que se ocupa en el proceso de obtención del acrilonitrilo y el tratamiento de los efluentes generados en esta industria.

8.2.5. Sector para análisis de la calidad

Este sector estará destinado, a la instalación de un laboratorio para hacer control de calidad de los productos, subproductos y de las materias primas e insumos necesarios para llevar a cabo el proceso.

La disposición del laboratorio debe diseñarse con criterios de eficiencia. Por ejemplo, la distancia que debe recorrer el personal para llevar a cabo las distintas fases de los procesos analíticos ha de ser lo más corta posible, aun teniendo presente que tal vez haya que separar unos procedimientos de otros por motivos analíticos o de seguridad.

Para realizar los análisis, es necesario disponer de servicios como agua, electricidad, y gas natural, sumideros, campanas de humos, instrumental de laboratorio, estanterías para los reactivos y espacio para la limpieza y almacenamiento del instrumental de vidrio.

Para facilitar una rápida evacuación en caso de incendio o cualquier otra emergencia, se prevé que haya dos entradas/salidas en el edificio.

Para la determinación de las dimensiones necesarias para poder realizar un correcto control de la calidad del proceso se compara con plantas de similares características, resultando en un área de 30 m².

8.2.6. Estacionamiento

Se selecciona una zona para resguardar los vehículos de los trabajadores de la planta y cualquier persona que ingrese a la planta, como clientes o proveedores. Además, este sector sirve como punto de reunión en caso de emergencias.

El diseño de este espacio se hizo para albergar 20 vehículos y cada estacionamiento es de 6x3 m. En total ocupa un espacio de 400 m².

8.2.7. Cocina-comedor

Si bien los turnos de trabajo están distribuidos de manera tal que no es necesario que los empleados tengan las comidas básicas diarias dentro de la planta, se planea la construcción de un comedor donde reciban el refrigerio correspondiente.

Con este fin se dimensiona un área de 30 m².

8.2.8. Sanitarios y vestidores

Dentro de las normativas laborales, se exige la construcción de sanitarios para satisfacer las necesidades básicas de los trabajadores.

En el lote perteneciente a la planta un área de 50 m² es destinada a la construcción de los sanitarios y vestidores.

8.2.9. Oficinas administrativas

En el sector de la planta, se instalarán oficinas que ocupan un espacio de 50 m² para las tareas administrativas y un lugar designado, para llevar a cabo reuniones interdisciplinarias.

8.3. Distribución general

En base a lo definido a lo largo del capítulo, se concluye que para el funcionamiento total de la planta se necesita un lote de 1100 m² de superficie. Esta superficie es rectangular, con un largo de 48 m y un ancho de 24 m.

En la Figura 8-1 se muestra en forma esquemática la distribución de los distintos sectores para llevar a cabo el proceso de producción de acrilonitrilo. Cabe aclarar, que, para simplificar el diagrama, la zona de producción abarca el almacenamiento de las materias primas, y el almacenamiento del producto final y los subproductos que se obtienen.

Además, en la Figura 8-1, se observa la distribución de los equipos en la zona de producción y la distribución de los tanques de almacenamiento de los productos finales y las materias primas. En este diagrama, se usa la nomenclatura definida en el Capítulo 5 "Ingeniería de proceso".

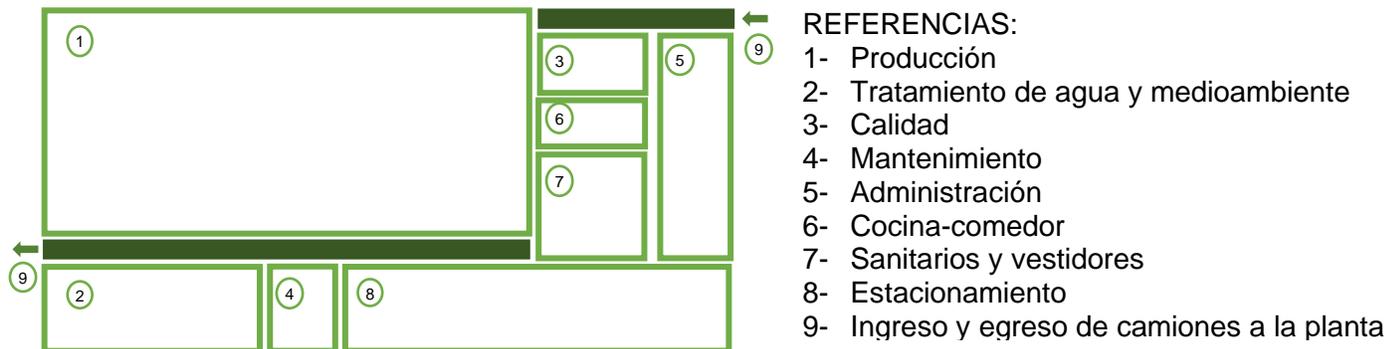


Figura 8-1: Layout de la planta - Fuente: Elaboración propia

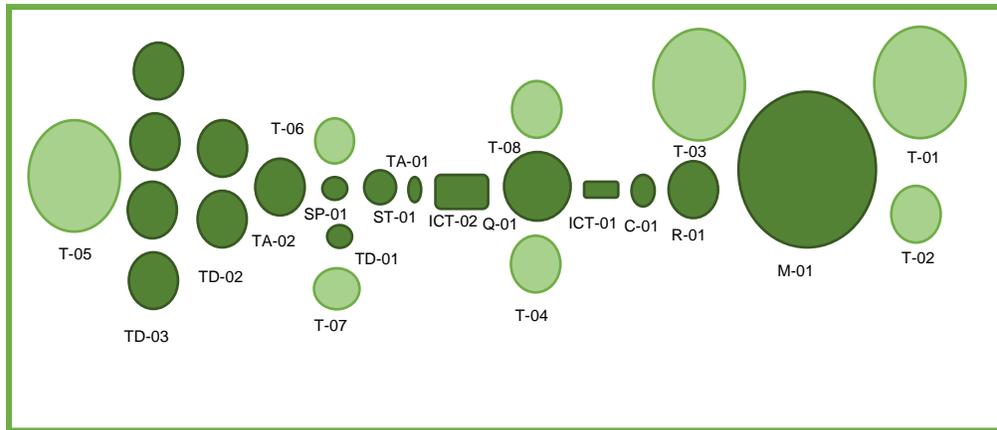


Figura 8-2: Layout sector de producción, almacenamiento de MMPP y almacenamiento de PPF - Fuente: Elaboración propia

9. ASPECTOS JURÍDICOS

9.1. Introducción

Todas las actividades que involucran interacciones entre diferentes grupos deben estar sujetas a normas para regular el comportamiento de los sujetos o partes que intervienen en ella. Estas normas logran sistematizar los derechos y obligaciones que toda sociedad organizada establece para sus miembros.

La factibilidad de un proyecto no puede analizarse únicamente desde el aspecto económico. Ya que, si no se apega a las normas legales que van a regir la actividad en el lugar en el cual se lleve a cabo el proyecto, no podrá realizarse por mayor rentabilidad que éste pueda presentar.

Todas las etapas de análisis, planificación, desarrollo y finalización del proyecto, deben atender a todos los aspectos legales pertinentes, como se podrá apreciar en los capítulos del presente documento.

Por lo expuesto anteriormente, en el siguiente capítulo se abordarán los distintos aspectos normativos aplicables a este proyecto en base al tipo de actividad y la localización seleccionada.

9.2. Marco legal

9.2.1. Legislación Nacional

Para el proyecto en estudio se tendrán en cuenta cantidad de leyes que se aplican a este tipo de industria. Estas leyes van a afectarlo en una gran variedad de aspectos, ya sea impositivo, organizacional, ambiental, etc. Es por ello que a continuación se presentará un resumen de aquellas leyes, decretos y convenios que revisten de mayor relevancia para este proyecto.

9.2.1.1. Constitución nacional

Capítulo 2 “Nuevos Derechos y Garantías” - Artículo 41: “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de la protección, y a las provincias las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o parcialmente peligrosos, y de los reactivos” ^[39]

9.2.1.2. Ley 24354/94- Decreto Reglamentario 720/95: Sistema Nacional de Inversión Pública

Sus objetivos son la iniciación y actualización permanente de un inventario de proyectos de inversión pública nacional y la formulación anual y gestión del plan nacional de inversiones públicas. Incluye estudios de impacto ambiental en la presentación de proyectos. ^[40]

9.2.1.3. Ley 25675/02: Ley General de Ambiente

Esta ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.

La presente ley regirá en todo el territorio de la Nación, sus disposiciones son de orden público, y se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia, la cual mantendrá su vigencia en cuanto no se oponga a los principios y disposiciones contenidas en ésta.

La política ambiental argentina está sujeta al cumplimiento de los siguientes principios: de congruencia, de prevención, precautorio, de equidad intergeneracional, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad y de cooperación. ^[41]

9.2.1.4. Ley 25612/02: Gestión Integral de Residuos Industriales

Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.

Se entiende por proceso industrial, toda actividad, procedimiento, desarrollo u operación de conservación, reparación o transformación en su forma, esencia, calidad o cantidad de una materia prima o material para la obtención de un producto final mediante la utilización de métodos industriales.

Se entiende por actividad de servicio, toda actividad que complementa a la industrial o que por las características de los residuos que genera sea asimilable a la anterior, en base a los niveles de riesgo que determina la presente. ^[42]

9.2.1.5. Ley 25688/02: Régimen de Gestión Ambiental de Aguas

En esta Ley se establecen los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. ^[43]

9.2.1.6. Ley 20284: Ley de Contaminación Atmosférica

Establece las normas para la preservación de los recursos del aire: fija parámetros de calidad de aire, crea el registro catastral de fuentes contaminantes y establece sanciones. No está reglamentada. ^[44]

9.2.1.7. Ley 24051/91: Residuos Peligrosos - Decreto reglamentario 831/93

En ella se realiza un registro de generadores y operadores, transportistas, infracciones régimen penal, autoridad de aplicación, disposiciones complementarias. Promulgada de hecho el 08/01/92. ^[45]

9.2.1.8. Decreto 674/89: Recursos Hídricos

Régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos industriales o barros originados por la depuración de aquéllos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua.

9.2.1.9. Ley 19857 Decreto 351: Ley de Higiene y seguridad Laboral

Su aplicación en este proyecto se encuentra descripta en el Capítulo 12 “Higiene y seguridad”. ^[46]

9.2.1.10. Convenio Colectivo de Trabajo N°77/89

Se aplica el convenio correspondiente para la industria química y petroquímica.

9.2.2. Legislación Provincial

Como se determinó anteriormente en el Capítulo 3 “Localización”, este proyecto se llevará a cabo en la provincia de Buenos Aires. Es por ello que es de vital importancia verificar la legislación provincial específica aplicable a este tipo de emprendimiento. ^[47]

9.2.2.1. Constitución Provincial

Establece los lineamientos básicos acerca de los derechos y obligaciones con que cuenta todo habitante de la provincia.

En su artículo 28 establece que los habitantes de la Provincia tienen el derecho a gozar de un ambiente sano y el deber de conservarlo y protegerlo en su provecho y en el de las generaciones futuras.

9.2.2.2. Ley 11459: Ley de Radicación Industrial

Establece condiciones para la radicación de establecimientos industriales dentro del territorio de la Provincia de Buenos Aires.

De esta forma se clasifica a las industrias en categorías según su complejidad ambiental, se determinan las características de los estudios necesarios para la obtención de la autorización de radicación y se fijan los mecanismos de sanción de las infracciones.

9.2.2.3. Resolución 345/98

En su artículo primero deja establecido que los establecimientos industriales que posean "residuos especiales" de acuerdo a la definición fijada por el citado Decreto y generados en las líneas de procesos necesarios para elaborar los productos de su actividad y/o las tareas vinculadas con el tratamiento de sus efluentes y residuos, están obligados a presentar la Declaración Jurada que fija el Decreto N°806/97.

9.2.2.4. Resolución 322/98

Determina que aquellos establecimientos generadores de Residuos Especiales o Industriales No Especiales que posean como lugar de disposición final de los mismos, "Unidades de Disposición Final" ubicadas en un predio de su propiedad, distinto al del lugar de generación, que se encuentren o no situadas en la misma jurisdicción municipal, serán alcanzados por las disposiciones de la presente resolución.

9.2.2.5. Ley 11723: Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales

En su Artículo 1º la presente ley, conforme el artículo 28º de la Constitución de la Provincia de Buenos Aires, tiene por objeto la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, a fin de preservar la vida en su sentido más amplio; asegurando a las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica.

9.2.2.6. Ley 14343: Identificación de los Pasivos Ambientales

Regula la identificación de los pasivos ambientales, y obliga a recomponer sitios contaminados o áreas con riesgo para la salud de la población, con el propósito de mitigar los impactos negativos en el ambiente (contaminación del agua-suelo-aire).

9.2.2.7. Ley 13592: Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

La presente ley tiene como objeto fijar los procedimientos de gestión de los residuos sólidos urbanos, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley Nacional N° 25 916 de “presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios”.

La gestión integral comprende las siguientes etapas: generación, disposición inicial, recolección, transporte, almacenamiento, planta de transferencia, tratamiento y/o procesamiento y disposición final.

9.2.2.8. Resolución 1143/02

Dictada por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), esta norma regula la disposición de RSU en rellenos sanitarios. Indica que éstos deberán establecerse “en áreas cuya zonificación catastral sea Rural” y cómo deben ser la aislación de su base y taludes laterales, entre otros varios aspectos.

9.2.2.9. Ley 11720: Ley de Generación, Manipulación almacenamiento, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Residuos Especiales

Dentro de los aspectos más relevantes de esta ley se puede destacar el artículo 1º, el cual determina que la generación, manipulación almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos especiales en el territorio de la provincia de Buenos Aires, quedan sujetos a las disposiciones de la presente ley.

En el Artículo 2º establece que son fines de la presente ley: Reducir la cantidad de residuos especiales generados, minimizar los potenciales riesgos del tratamiento, transporte y disposición de los mismos y promover la utilización de las tecnologías más adecuados, desde el punto de vista ambiental.

En el artículo 3º se define que se entiende como residuo a cualquier sustancia u objeto, gaseoso (siempre que se encuentre contenido en recipientes), sólido, semisólido o líquido del cual su poseedor, productor o generador se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo.

El artículo 17 establece que todos los estudios para la determinación del Impacto Ambiental y aquéllos relacionados a la preservación y monitoreo de los recursos naturales deberán ser efectuados y suscriptos en el punto que hace a su especialidad, por profesionales que deberán estar inscriptos en un Registro de Profesionales para el Estudio de Impacto Ambiental creado por la Ley 11459.

9.2.2.10. Resolución 063/96

Dicha resolución reglamenta las condiciones para transportar residuos especiales en la provincia de Buenos Aires.

9.3. Marco Impositivo

En la Argentina, la recaudación es llevada a cabo por los gobiernos nacional, provincial y municipal, principalmente, mediante impuestos aplicados a ganancias, activos y consumo. A nivel nacional, la AFIP, una entidad independiente que informa al Ministro de Economía, es responsable de cobrar los impuestos, recaudar y supervisar.

A nivel nacional, los principales ingresos por recaudación de impuestos incluyen: Impuesto a las Ganancias, Impuesto al Valor Agregado, Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta, Impuestos Especiales, Impuesto a los Bienes Personales e Impuesto sobre los Débitos y Créditos Bancarios y Otras Operatorias.

A nivel provincial, los impuestos son recaudados y administrados por los organismos fiscales de las provincias, trabajando bajo la directiva de los ministros de economía de cada provincia. Los principales impuestos provinciales son: Impuesto sobre los Ingresos Brutos, Impuesto al Sello e Impuesto a la Transferencia de Inmuebles.

Las municipalidades recaudan ingresos mediante tasas y contribuciones especiales. Cobran honorarios por varios servicios relacionados con la seguridad industrial, la higiene pública y la iluminación, por nombrar algunos; cálculo basado en variables como el ingreso público o parámetros fijos como el número de empleados, la capacidad de fuerza motriz y la potencia, entre otros.

10. ASPECTOS NORMATIVOS Y DE CALIDAD

10.1. Introducción

En la República Argentina existen diferentes normas que indican las exigencias que en algunos casos pueden ser necesarias para ingresar en mercados específicos, o pueden ser implementadas por decisiones empresariales a través de la iniciativa de la política de calidad de la dirección o como estrategias comerciales. Dentro de ellas, las normas ISO, IRAM, ASME, etc.,

Si bien estas normas contribuyen a la eficiencia de la organización, para ser aplicadas y certificadas es necesario realizar una inversión, disponer de capital humano y financiero para su mantenimiento. Numerosos estudios indican que para mejorar la utilidad neta de la empresa debemos lograr una correcta utilización y aplicación del sistema de calidad. Esto se debe a una disminución de costos como tiempos improductivos, disminución de transporte de mercaderías, mejora en el layout de la empresa y mejora en la conformidad de la satisfacción del cliente por estandarización de la calidad.

El acrilonitrilo es utilizado como co-monómero en la producción de fibras acrílicas, como así también es un intermediario químico en la síntesis de varios antioxidantes, resinas ABS, productos farmacéuticos, tintes y agentes activos de superficie. Es por ello que resulta fundamental la aplicación de estas normas de calidad para asegurar en los procesos posteriores de utilización de este producto intermedio ciertos estándares y poder lograr buena calidad en productos petroquímicos.

10.2. Normas a certificar

10.2.1. Normas ISO

La Organización Internacional de Normalización ^[48], por sus siglas en inglés que conocemos como ISO, es una federación mundial de organismos nacionales de normalización. El trabajo de preparación de las Normas Internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrónica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrónica.

La adopción de un sistema de gestión de calidad debería ser una decisión estratégica de la organización. El diseño y la implementación del sistema de gestión de la calidad de la organización están influenciados por:

- a) El entorno de la organización, los cambios en ese entorno y los riesgos asociados con el.
- b) Sus necesidades cambiantes.
- c) Sus objetivos particulares.
- d) Los productos que proporciona.
- e) Los procesos que emplea.

f) Su tamaño y la estructura de la organización.

En la Figura 10-1 se exhibe el modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos, en él puede verse que los clientes juegan un papel significativo para definir los requisitos como elementos de entrada. El seguimiento de la satisfacción del cliente requiere la evaluación de la información relativa a la percepción del mismo acerca de si la organización ha cumplido sus requisitos. El modelo mostrado en esta figura cubre todos los requisitos de esta Norma Internacional, pero no se reflejan los procesos de una forma detallada.



Figura 10-1: Ciclo PHVA - Fuente: Elaboración propia en base a normas ISO

De manera adicional, puede aplicarse a todos los procesos la metodología conocida como "Planificar-Hacer-Verificar-Actuar" (PHVA), que brevemente puede describirse como:

- Planificar: establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.
- Hacer: implementar los procesos.
- Verificar: realizar el seguimiento y la medición de los procesos y productos respecto a las políticas, los objetivos y los requisitos para el producto, e informar sobre los resultados.
- Actuar: tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos.

10.2.2. ISO 9000: Sistemas de Gestión de Calidad

La serie de Normas ISO 9000 son un conjunto de enunciados, los cuales especifican qué elementos deben integrar el sistema de gestión de la calidad de una organización y cómo deben funcionar en conjunto estos elementos para asegurar la calidad de los bienes y servicios que produce la organización.

Estas normas ISO 9000 no definen cómo debe ser el sistema de gestión de la calidad de una organización, sino que fija requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas de gestión de la calidad. Dentro de estos requisitos hay una amplia gama de posibilidades que permite a cada

organización definir su propio sistema de gestión de la calidad, de acuerdo con sus características particulares.

Las Normas ISO relacionadas con la calidad son las siguientes:

- ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad – fundamentos y vocabulario. En ella se definen términos relacionados con la calidad y establece lineamientos generales para los sistemas de gestión de la calidad.
- ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad – requisitos. Puede utilizarse para su aplicación interna, para certificación o para fines contractuales.
- ISO 9004: Sistemas de gestión de la calidad – directrices para la mejora del desempeño. Proporciona orientación para ir mas allá de los requisitos de la ISO 9001, persiguiendo la mejora continua del sistema de gestión de la calidad.

10.2.3. ISO 14000: Sistemas de Gestión Medioambiental

La ISO 14000 es una serie de normas internacionales para la gestión medioambiental. Es la primera que permite a las organizaciones de todo el mundo realizar esfuerzos medioambientales y medir la actuación de acuerdo con criterios aceptados internacionalmente. El objetivo general es apoyar a la protección medioambiental y la prevención de la contaminación en armonía con las necesidades socioeconómicas.

La ISO 14001 es la primera de la serie 14000 y especifica los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión medioambiental.

Está dirigida a ser aplicable a “organizaciones de todo tipo y dimensiones, y albergar diversas condiciones geográficas, culturales y sociales”. Además, no prescribe requisitos de actuación medioambiental, salvo el requisito de compromiso de mejora continua, la obligación de cumplir la legislación y regulación relevantes. La norma no declara la cantidad máxima permisible de emisión de óxido nitroso de gases de combustión, ni el nivel máximo de contenido bacteriológico en el efluente de aguas residuales. La ISO especifica los requisitos del propio sistema de gestión, que, si se mantienen adecuadamente, mejorarán la actuación medioambiental reduciendo los impactos, tales como emisiones de óxido nitroso y efluentes bacteriológicos.

10.2.4. ISO 18000: Seguridad y calidad de vida en el trabajo

Son una serie de estándares voluntarios internacionales relacionados con la gestión de seguridad y salud ocupacional. Que buscan a través de una gestión sistemática y estructurada asegurar el mejoramiento de la salud y seguridad en el lugar de trabajo.

El objetivo de la norma es proporcionar a las organizaciones un sistema de gestión de la seguridad y la salud ocupacional que permita identificar y evaluar riesgos laborales desde el punto de vista de requisitos legales.

10.2.5. ISO 26000: Responsabilidad social empresaria (RS)

La RS es una tendencia de acción social, que estimula la participación solidaria de empresas privadas, para el desarrollo sustentable y humano de las comunidades donde ésta presta sus servicios y desarrolla sus actividades.

Las 7 materias que integran la ISO 26000 sirven como guía para aplicación de la Responsabilidad Social, y son las siguientes:

1. **Gobernanza de la organización:** es el sistema por el cual una organización toma e implementa decisiones para lograr sus objetivos, haciendo posible un cambio hacia una conducta socialmente más responsable.
2. **Derechos humanos:** se recomienda a las organizaciones que tengan el compromiso y la protección sobre los derechos humanos constantemente haciendo conocer la normativa internacional sobre derechos humanos, incluyendo la Declaración Universal de Derechos Humanos (DUDH), el Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (PIDCP) y el Pacto Internacional sobre Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC).
3. **Prácticas laborales de una organización:** son todas aquellas prácticas en las que una organización puede influir en el contexto social y políticas que involucra a los trabajadores de la organización o a trabajadores subcontratados. Las políticas incluyen, por ejemplo: reclutamiento, formación y desarrollo, salud, seguridad, procedimientos disciplinarios, promoción, jornada laboral, remuneración, etc.
4. **Medio ambiente:** la utilización de los recursos, la localización física y la producción de residuos y agentes contaminantes son factores que afectan la estabilidad de los ecosistemas. La ISO 26000 aconseja adoptar un enfoque considerando múltiples interacciones para abordar el tema del medio ambiente que, además de reconocer la importancia de los factores económicos, sociales, de salubridad y ambientales que se derivan de sus acciones, teniendo en cuenta la interrelación que existe entre ellos.
5. **Prácticas justas de operación:** hacen referencia a la necesidad de que la organización tenga un comportamiento ético en sus relaciones con otras organizaciones y con sus partes interesadas. Para la ISO 26000, es una herramienta útil para generar resultados socialmente favorables, por ejemplo, proporcionando liderazgo y promoviendo conductas de responsabilidad social en la esfera de influencia de la organización.
6. **Asuntos de consumidores:** destaca la importancia de que la organización asuma ciertas responsabilidades con sus consumidores, brindándoles educación e información concreta sobre las estrategias de marketing y contratación, fomentando el consumo responsable y sostenible.
7. **Participación activa y desarrollo de la comunidad:** para que la responsabilidad social pueda ser desarrollada en su totalidad, la ISO 26000 propone desarrollar políticas y procesos que contribuyan al desarrollo político, económico y social de las comunidades que estén dentro de su esfera de influencia.



Figura 10-2: Siete materias que integran la ISO 26000 - Fuente: Instituto superior de Educación, Administración y Desarrollo (EURO –EAD)

De esta manera se plantean como beneficios esperados de la implementación del estándar, los siguientes:

- Facilitar el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejora de la estructura o marcos de RS en organizaciones que contribuyan al desarrollo sustentable.
- Contribuir a incrementar la confianza y satisfacción en las organizaciones entre los accionistas y grupos de interés (incluyendo a los gestores);
- Incrementar las garantías en materia de RS a través de la creación de un estándar único aceptado por un amplio rango de stakeholders;
- Fortalecer las garantías de una observancia de conjuntos de principios universales, como se expresa en las convenciones de las Naciones Unidas, y en la declaración incluida en los principios del pacto global y particularmente en la declaración universal de los derechos humanos, las declaraciones y convenciones de OIT, la declaración de Río sobre el medioambiente y desarrollo, y la convención de las Naciones Unidas contra la corrupción.
- Facilitar las liberaciones del mercado y remover las barreras del comercio (implementación de un mercado abierto y libre), complementar y evitar conflictos con otros estándares y requerimientos de RS ya existentes.

10.2.6. Normas IRAM

El Instituto de Racionalización Argentino de Materiales (IRAM) ^[49] es el encargado de la normalización y certificación en Argentina. Se trata de un organismo público cuyos orígenes se remontan al 2 de mayo de 1935, fue el primer organismo de normalización en América Latina.

Tiene convenios con distintos organismos internacionales, y con universidades. Entre los primeros, se encuentran AENOR, AFNOR y ABNT; mientras que entre las universidades se cuenta la UBA y la UNLP, entre otras.

El IRAM cuenta con distintas filiales dentro de Argentina y filiales en Chile, Bolivia, Ecuador y Perú.

IRAM es el representante argentino de la ISO, en la “Comisión Panamericana de Normas Técnicas” (COPANT) y en la “Asociación MERCOSUR de Normalización” (AMN).

Las normas IRAM que aplicarán sobre este proyecto son las siguientes:

Tabla 10-1: Normas IRAM de calidad y certificación – Fuente: Elaboración propia en base a IRAM

Normas sobre seguridad	
IRAM 10004	Lentes para sistemas fijos de señalamiento luminoso para tránsito. Características generales.
IRAM 10005-1	Colores y señales de seguridad. Colores y señales fundamentales.
IRAM 10005-2	Colores y señales de seguridad. Aplicación de los colores de seguridad en señalizaciones particulares.
IRAM 10007	Señales de advertencia. Sistema de señalización de riesgos para eventual incendio u otra emergencia.
IRAM 10031	Juego de balizas triangulares retrorreflectoras.
IRAM 10032	Baliza cónica para señalización vial.
IRAM 10033	Señales de advertencia. Láminas reflectoras adhesivas.
IRAM 10036	Retrorreflectores. Definiciones y coordenadas geométricas para la medición de cantidades vinculadas con la retrorreflexión.
IRAM 10037	Retrorreflectores. Método de ensayo para la medición de las características fotométricas.
IRAM 113094	Plantas y tacos de caucho para calzado de seguridad. Características de los compuestos de caucho.
IRAM 113095	Compuestos de poliuretano para plantas y tacos de calzado de seguridad.
IRAM 13300	Guantes de polil (cloruro de vinilo) plastificado para uso general.
IRAM 13301	Guantes entelados de polil (cloruro de vinilo) plastificado para uso industrial.
IRAM 2507	Sistema de seguridad para la identificación de cañerías.
Normas de calidad ambiental	
IRAM 29001	Ecología. Aire. Definiciones.
IRAM 29002-1	Ecología. Calidad del agua. Definiciones.
IRAM 29004	Calidad del medio ambiente. Definiciones de términos generales.
IRAM 29005	Medio ambiente y recursos de base. Vocabulario sobre materias primas. Términos utilizados para la gestión de desechos.
IRAM 29006	Calidad del medio ambiente. Agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno después de 5 d (DBO5), por dilución y siembra.
IRAM 29007-1	Calidad del agua. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) por la técnica del dicromato.
IRAM 29007-2	Calidad del agua. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Parte 2: Método colorimétrico con reflujo cerrado.
IRAM 29008	Medio ambiente. Calidad del agua. Determinación del oxígeno disuelto. Método yodométrico.

IRAM 29009	Medio ambiente. Calidad del agua. Determinación del oxígeno disuelto. Método electroquímico de la sonda.
IRAM 29010-1	Calidad ambiental. Calidad de agua. Determinación de cianuro. Parte 1: Determinación de cianuro total.
IRAM 29010-2	Calidad ambiental - Calidad del agua. Determinación de cianuro. Parte 2. Determinación de cianuro fácilmente liberable.
IRAM 29011	Calidad ambiental. Calidad de agua. Determinación de turbidez.
IRAM 29012-1	Calidad ambiental - Calidad de agua. Muestreo. Parte 1: Directivas generales para el diseño de programas de muestreo.
IRAM 29012-10	Medio ambiente. Calidad del agua. Muestreo de aguas residuales.
IRAM 29 012-11	Calidad ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 11. Directivas para el muestreo de aguas subterráneas.
IRAM 29012-12	Calidad ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 12: Directivas para el muestreo de sedimentos.
IRAM 29012-13	Calidad ambiental. Calidad de agua. Muestreo - Parte 13. Directivas para el muestreo de lodos de aguas residuales y de aguas tratadas, y lodos relacionados.
IRAM 29012-14	Calidad ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Parte 14: Directivas sobre aseguramiento de la calidad del muestreo y manipulación de agua.
IRAM 29012-15	Calidad ambiental - Calidad de agua. Muestreo. Parte 15: Directivas para la preservación y manipulación de muestras de barros y sedimentos.
IRAM 29012-16	Calidad ambiental - Calidad del agua. Muestreo. Parte 16: Guía para el bioensayo de muestras.

10.3. Control de calidad de las materias primas y producto final

Es muy importante realizar un control de calidad interno de manera de auditar el proceso y poder corregir cualquier desvío que se presente en las especificaciones finales del producto.

Para ello existen una gran variedad de técnicas que pueden utilizarse, y dentro de éstas se han seleccionado las que se consideran de mayor relevancia.

Debido a las características del proceso productivo descrito en el Capítulo 5 “Ingeniería de procesos” tanto las materias primas como los insumos que se utilizan en el proceso se les exigirá a los proveedores que cuenten con las condiciones y características necesarias para el desarrollo del mismo, tales como pureza, nivel de contaminantes, y residuos.

10.3.1. Ensayos sobre el producto final

En este inciso se tiene en consideración los ensayos técnicos que deben realizarse sobre el acrilonitrilo como principal producto para poder ser comercializado con los estándares de calidad correspondientes y en estado líquido. ^[50]

10.3.1.1. Determinación de la densidad específica

La densidad específica o peso específico es la relación entre la densidad de una sustancia y la de otra, tomada como patrón, en este caso, el agua destilada.

Esta propiedad depende de la concentración de masa por unidad de volumen de cada elemento. Dicha concentración de masa estará afectada por la estructura tridimensional molecular y número másico de los átomos.

El instrumento que utilizamos para la medición de la densidad específica del acrilonitrilo es un picnómetro de vidrio, el cual es un pequeño frasco con un cierre sellado de vidrio que dispone de un tapón provisto de un finísimo capilar, de tal manera que permite conocerse el volumen exacto llamado V_p .

El método operativo que se lleva a cabo es el siguiente:

1. Pesamos el picnómetro vacío, limpio y seco, obteniendo la masa m_1 .
2. Con la muestra a la temperatura previamente establecida, llenamos el picnómetro hasta el borde inferior del cuello, sosteniéndolo en alto y evitando el derrame de la muestra.
3. Colocamos la tapa del frasco, limpiamos y secamos el cuerpo del picnómetro cuidando de emplear papel absorbente libre de pelusas.
4. Pesamos el picnómetro lleno obteniendo la masa m_2 , y anotamos la temperatura de trabajo.
5. A través de la diferencia entre m_1 y m_2 se obtiene la masa del líquido y según la capacidad del picnómetro definida se conoce el volumen V_p a la temperatura de trabajo.
6. Una vez concluida la actividad, vaciamos el contenido del picnómetro y lavamos, si es necesario.

10.3.1.2. Determinación del contenido de agua

Debido a la solubilidad que presenta el acrilonitrilo en agua formando una solución, resulta relevante su determinación por métodos específicos.

El método que utilizamos es el de Karl Fischer en forma directa, la cual es una determinación volumétrica de agua basada en la reacción cuantitativa de la misma con una solución anhidra de SO_2 e I_2 en presencia de una solución amortiguadora, que reacciona con los iones hidrógeno, según la siguiente ecuación:



Existen dos métodos diferentes basados en la reacción con el yodo: uno es la titulación volumétrica y el otro es un método de titulación coulombimétrica. Nuestro ensayo lo realizamos por medio de la titulación volumétrica, donde el yodo se disuelve en el reactivo y el contenido de agua es determinado midiendo la cantidad de yodo consumido como resultado de la reacción con el agua. La muestra en ensayo puede valorarse con el reactivo directamente.

La estequiometría de la reacción no es exacta y la reproducibilidad de la determinación depende de factores tales como las concentraciones relativas de los componentes del reactivo, la naturaleza del solvente inerte utilizado para disolver la muestra en ensayo y la técnica utilizada en la determinación. Por lo tanto, resulta necesario estandarizar previamente la técnica a fin de conseguir una exactitud adecuada.

En cuanto al instrumento utilizado, dado que el reactivo de Karl Fischer es altamente higroscópico, el aparato debe garantizar una exclusión de la humedad atmosférica. Los aparatos disponibles comercialmente comprenden por lo general un sistema cerrado que consta de una o dos buretas automáticas y un vaso de valoración cubierto herméticamente, equipado con los

electrodos necesarios y un agitador magnético. El aire en el sistema se mantiene seco con un desecante adecuado, por ejemplo, cloruro de calcio anhidro o gel de sílice, y el vaso de valoración puede purgarse mediante una corriente de nitrógeno seco o de aire seco. En el caso de la valoración directa de una solución incolora, el punto final se puede observar visualmente como un cambio de color amarillo intenso a ámbar.

Para llevar a cabo este método volumétrico directo se llevan a cabo las siguientes etapas:

- **Preparación del reactivo de Karl Fischer:** este puede ser preparado por distintos métodos, donde debe estandarizarse dentro de un período de 1 hora antes de su uso o diariamente si su uso es continuo, dado que su actividad para la determinación de agua cambia con el tiempo. Además, se debe almacenar el reactivo refrigerado, protegido de la luz y la humedad. Puede utilizarse una solución estabilizada de reactivo de tipo Karl Fischer disponible comercialmente. También pueden utilizarse reactivos disponibles comercialmente que contengan disolventes o bases diferentes a la piridina o alcoholes diferentes al metanol. Éstos pueden ser soluciones individuales o reactivos formados in situ combinando los componentes de los reactivos presentes en dos soluciones distintas.
- **Preparación de la muestra:** utilizar una cantidad pesada o medida con exactitud de la muestra en análisis con un contenido de agua estimado entre 2 y 250 mg. La cantidad de agua depende del factor de equivalencia de agua del Reactivo y del método de determinación del punto final. En la mayoría de los casos, se puede estimar la cantidad mínima de la muestra (P_m), en mg, por la fórmula: $P_m = \frac{F \cdot CV}{K_f}$

En donde F es el factor de equivalencia de agua del Reactivo, en mg por ml. C es el volumen usado, en porcentaje de la capacidad de la bureta. V es el volumen de la bureta, en ml y K_f es el límite o contenido esperado de agua en la muestra, en porcentaje.

C está generalmente entre 30% y 100% para la valoración manual, y entre 10% y 100% para el método instrumental de determinación del punto final. Se recomienda que el producto de FCV sea mayor o igual a 200 para el cálculo, a fin de asegurar que la cantidad mínima de agua valorada sea mayor o igual a 2 mg. Para determinar el peso de la muestra analizada, es a partir de la diferencia en peso con respecto al peso inicial del recipiente. Cuando sea apropiado, el agua puede ser desorbida o liberada de la muestra mediante calor en un horno externo conectado al vaso, al que se transfiere con ayuda de un gas inerte y seco como nitrógeno puro.

- **Procedimiento:** transferimos suficiente metanol u otro solvente adecuado al vaso de valoración asegurándose de que el volumen sea suficiente para cubrir los electrodos, aproximadamente 30-40 ml y valorar con el reactivo hasta el punto final electrométrico o visual para consumir la humedad que pudiera estar presente. Luego agregamos rápidamente la muestra preparada según se indica en preparación de la muestra, mezclar y valorar con el reactivo hasta el punto final electrométrico o visual.

Por último, calculamos el contenido de agua en la muestra, en porcentaje, por la fórmula:

$$\%agua = \frac{V \cdot F \cdot 100}{m}$$

Dónde V es el volumen, en ml, del reactivo consumido en la valoración, F es el factor de equivalencia de agua del Reactivo y m la masa de la muestra, en mg.

10.3.1.3. Cromatografía de Gases FID

La cromatografía de gases es una técnica muy utilizada para separar los diferentes compuestos volátiles de una muestra. La fase móvil es un gas inerte como el nitrógeno y el helio, que transporta la muestra volatilizada en el inyector a través de la columna cromatográfica. La fase estacionaria generalmente está constituida por una columna de metil polisiloxano, o derivados de éste. Los diferentes compuestos se separan en función de su grado de volatilidad como punto de ebullición, peso molecular y su afinidad por la fase estacionaria. Para llevar a cabo este método se utiliza un cromatógrafo de gases; columna de metil polisiloxano DB5, que presenta un detector FID de ionización de llama, donde por su alta versatilidad hace posible la detección de un elevado tipo de compuestos, un inyector split/splitless y un Automuestreador

El método analítico que llevamos a cabo es el NIOSH S156, el cual consiste en la absorción en carbón y la desorción con metanol para la determinación por cromatografía de gases de acrilonitrilo en aire. Esta técnica está indicada para la separación de compuestos orgánicos volátiles como el acrilonitrilo, donde el rango de trabajo para muestras líquidas es de 0.7 a 46 ppm (1.5 a 100 mg/m³) para 10 litros de aire muestreado, aplicable para muestreos límites de 15 minutos. La misma presenta las siguientes etapas:

Muestreo

1. Calibramos cada bomba de muestreo personal con una muestra representativa.
2. Rompemos los extremos del muestreador inmediatamente antes del muestreo. Adjuntamos muestra a muestra por medio de una bomba con tubo flexible.
3. La muestra se encuentra a un caudal conocido con precisión entre 0.01 y 0.2 L/min para un tamaño de muestra total de 3.5 hasta 20 L.
4. Tapamos el paquete de muestras de forma segura.

Preparación de la muestra

5. Colocamos las secciones delantera y trasera del tubo de muestreo en recipientes separados. Desechamos el vaso con tapones de lana y espuma.
6. Agregamos 1.0 mL de eluyente a cada recipiente. Colocamos la tapa a cada recipiente. En este paso, se puede agregar un estándar interno, por ejemplo, benceno o n-hexano al 0.1% (v / v).
7. Dejamos reposar 30 minutos con agitación ocasional.

Calibración y control de calidad

8. Calibramos diariamente con al menos cinco patrones de trabajo en el rango de 1 a 1000 µg de acrilonitrilo por muestra.

- a. Agregamos cantidades conocidas de solución madre de calibración, o una dilución en serie de la misma, al eluyente en 10 ml matraces volumétricos y diluir hasta la marca con eluyente (2% de acetona)
- b. Analizamos junto con muestras y espacios en blanco (pasos 11 y 12)
- c. Realizamos el gráfico de calibración (área de pico frente a μg de acrilonitrilo).

Comparamos las áreas de pico de los estándares de trabajo con un estándar de referencia de 0.1 mg / mL preparado a partir de acrilonitrilo estabilizado si destilar en hexano. Cuando la concentración de los estándares de trabajo comienza a disminuir, preparamos nuevos estándares de trabajo.

9. Determinamos la eficiencia de desorción (DE) al menos una vez por cada lote de carbón utilizado para el muestreo en el rango de calibración (paso 8). Preparamos tres tubos en cada uno de los cinco niveles más tres medios en blanco.
 - a. Retiramos y desecharmos la sección sobrante de una muestra de muestra en blanco. Inyectamos una cantidad conocida de solución madre de calibración directamente en la sección frontal con una jeringa de microlitros.
 - b. Tapamos el tubo y dejamos reposar toda la noche.
 - c. Desorbemos (pasos 5 a 7) y analizamos junto con los estándares de trabajo (pasos 11 y 12).
 - d. Realizamos un gráfico de DE frente a μg de acrilonitrilo recuperado.
10. Analizamos tres picos ciegos de control de calidad y tres picos de analista para asegurar que la calibración graph y DE graph están en control.

Medición

11. Ajustamos el cromatógrafo de gases de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y las condiciones indicadas. Inyectamos la alícuota de muestra manualmente utilizando la técnica de lavado con solvente o con un inyector automático.

Si el área del pico está por encima del rango lineal de los estándares de trabajo, diluya con eluyente, vuelva a analizar y aplique el factor de dilución apropiado en los cálculos. En estas condiciones, t_r para acrilonitrilo es 8,5 min.

12. Mida el área del pico.

Cálculos

13. Determinamos la masa, μg corregida para DE del acrilonitrilo que se encuentra en el frente de la muestra (W_f) y de regreso (W_b) secciones del tubo, y en los medios en blanco frente (B_f) y atrás (B_b) secciones del tubo
14. Calculamos la concentración, C, de acrilonitrilo en el volumen de aire muestreado, V (L):

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{V} = \frac{mg}{m^3}$$

11. ASPECTOS AMBIENTALES

11.1. Introducción

Desde hace relativamente poco los residuos industriales no eran tratados y se depositaban en los ríos, mares o en el propio punto donde eran generados. No había conciencia del grado que esta actitud podía afectar al medio ambiente o a la salud e higiene de las personas. Actualmente la preocupación por el medio ambiente trasciende del ámbito científico, convirtiéndose en una prioridad política y social.

La correcta gestión de los aspectos ambientales resulta un factor fundamental para cualquier proyecto. Para garantizar el desarrollo sustentable debemos conseguir tanto el beneficio económico como la protección del medio ambiente. Además, el cumplimiento de las leyes ambientales, así como también la búsqueda del consenso social para la actividad favorecen una producción amigable con el entorno.

La industria química del acrilonitrilo desarrolla una actividad potencialmente contaminante, y por tanto el tratamiento de residuos tiene un papel especialmente relevante. El acrilonitrilo puede encontrarse en el suelo, el agua, o el aire, cerca de sitios industriales donde se manufactura, o en sitios de residuos peligrosos donde se ha desechado.

La evaluación de impacto ambiental es un procedimiento técnico-administrativo que se utiliza para identificar, prevenir e interpretar el conjunto de factores influyentes en el ambiente que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado. Implica anticipar las consecuencias de una acción y poder así buscar alternativas que minimicen los efectos sobre el ambiente. Para ello, se requiere de una clara comprensión de distintos procesos tecnológicos, económicos y sociales.

Se define como impacto ambiental a toda acción o actividad que produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes de éste. Las alteraciones pueden ser de distintos grados de intensidad en el entorno en el que se desarrolle.

En este capítulo, se analizarán los residuos y emisiones que se generan en una planta de producción de acrilonitrilo y se estudiarán las medidas necesarias para tratarlos y reducirlos. Se realizará un estudio preliminar de los potenciales impactos que podrían tener lugar en las distintas fases del proyecto (construcción, operación y mantenimiento).

Se deja constancia que el análisis deberá ser ampliado en la etapa de factibilidad.

11.2. Responsabilidad social ambiental en la industria

La Responsabilidad Social Empresarial (RSE), definida en el Capítulo 8 “Aspectos normativos y de calidad” es un concepto de gran importancia para el presente capítulo.

La RSE se encuentra ligada íntimamente con la Responsabilidad Ambiental la cual recae en las organizaciones, como principales fuentes de contaminación ambiental. Por esa misma razón es que las empresas deben incluir, dentro de sus programas, estrategias que minimicen los impactos ambientales generados por la propia actividad del proyecto.

Muchas empresas han instaurado dentro de su organización, el Sistema de Gestión Ambiental (SGA). Se trata de un sistema estructurado de gestión que incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procesos, los procedimientos y los recursos para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día, los compromisos en materia de protección ambiental a los que suscribe una compañía.

En cuanto a la empresa, el modelo de gestión propuesto se basa en un modelo de autocontrol que permita conocer todos los impactos ambientales generados por la empresa para valorarlos según criterios objetivos. Una vez determinados los impactos, se ponderan en función de su importancia, para operar posteriormente, sobre ellos priorizando el orden instituido y su evolución a través del tiempo.

Para establecer este sistema de autocontrol y poder verificar su validez se sigue una serie de pasos que se plasman y sintetizan en una Matriz de Impacto Ambiental.

11.3. Problemática ambiental asociada al proyecto

La empresa se trata de una planta de producción de acrilonitrilo que será ubicada en el polo petroquímico de Bahía Blanca, perteneciente al Consorcio del Parque Industrial (CPI) de dicha ciudad, provincia de Buenos Aires. Por esto se disponen de una serie de ventajas asociadas a uno de los factores más complejos de satisfacer, que es la aceptación social.

Teniendo en cuenta el proceso productivo, dentro de la planta, la mayoría de los efluentes generados son de origen gaseoso, los cuales posteriormente deberán ser tratados.

En cuanto a la producción de residuos líquidos, debido al proceso se obtienen aguas residuales con acetonitrilo, y otros compuestos químicos, que deberán ser tratadas. El tratamiento es necesario, para evitar la contaminación al eliminar estos efluentes y también para disminuir el uso del recurso hídrico recirculándolo al proceso.

Respecto de los residuos sólidos, la producción de acrilonitrilo requiere un catalizador conformado con óxidos de metales como bismuto (Bi) y Molibdeno (Mo) que se recupera posteriormente en una planta de recuperación de metales dada la peligrosidad de los mismos sobre el medio ambiente.

Otros residuos sólidos que se presentan son aquellos que se generan en cualquier tipo de industria, como el vidrio, papel, el cartón, plástico y residuos urbanos. Estos no manifiestan un elevado grado de peligrosidad sobre el medio ambiente, pero deben de ser considerados para trabajar en correcto orden y limpieza en la empresa.

11.4. Marco legal

Como se determinó con anterioridad, el proyecto se instalará en el sur de la provincia de Buenos Aires visto en el Capítulo 3 “Localización”, por lo tanto, la legislación nacional y provincial aplicable al mismo fue detallada en el Capítulo 9 “Aspectos Jurídicos”.

11.5. Estructura de la evaluación de impacto ambiental

La estructura de la Evaluación de Impacto Ambiental comprende los siguientes ítems:

- Determinación de la línea de base ambiental o línea cero: descripción general del entorno del proyecto.
- Identificación y valoración de impactos ambientales.
- Plan de gestión ambiental.

11.5.1. Descripción de los factores ambientales y determinación de la línea de base ambiental

A continuación, se describen las características del entorno de donde se ubicará la planta de producción de acrilonitrilo conforme a los aspectos ambientales, el medio natural y el antrópico.

11.5.1.1. Medio Físico

Para la descripción del medio físico se consideraron las coordenadas geográficas de Bahía Blanca con latitud: $-38,720^\circ$, longitud: $-62,272^\circ$, y elevación: 21 m.

Dentro de la clasificación de regiones fitogeográficas de América Latina, el área de estudio se sitúa sobre el límite de la Región Pampeana y de la Patagonia, en la ciudad de Bahía Blanca al sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

La ciudad de Bahía Blanca antes de ser territorio exclusivo de viviendas, edificios y otras construcciones, lo fue de montes y salitrales. Los intensos vientos que castigaban la zona desde distintas direcciones y un suelo poco profundo, generaron las condiciones para el nacimiento y desarrollo de árboles achaparrados, espinosos y con forma de copa.

El área en estudio se sitúa en el parque industrial de Bahía Blanca que cuenta con 136 hectáreas estratégicamente ubicadas en cercanías del Puerto de Bahía Blanca, Polo Petroquímico y la Zona Franca Bahía Blanca-Coronel Rosales. ^[51]

Por ser una Bahía, y por su cercanía al Océano Atlántico, posee un clima templado de transición, con temperaturas medias anuales que van entre 10 y 22°C, teniendo una alta variabilidad en el año.

Este parque industrial presenta una conectividad naval con el sistema portuario de Bahía Blanca de aguas profundas y grandes buques-tanques que nos ofrece un amplio espectro de servicios y alternativas de operaciones, con directa salida al Océano Atlántico. Además es un nodo ferroviario y carretero que aunque se encuentra a casi 10 km del Mar Argentino, está conurbada con otras ciudades y poblaciones costeras como el puerto de Ingeniero White. [52]

El hecho de constituirse como un parque industrial implica que la fisiografía natural del terreno se ha visto modificada debido a la acción antrópica ofreciendo a las empresas instaladas una importante infraestructura básica además de un conjunto de servicios de apoyo logístico y administrativo. La construcción de zanjas, la realización de tareas de dragado, desvíos de los cursos de agua y modificación de los accidentes geográficos y su pendiente natural son algunas de las acciones realizadas que posiblemente hayan modificado el paisaje natural. Por tratarse una zona industrial urbanizada, la mayoría de dichos arroyos se encuentran entubados.

11.5.1.1.1. Climatología

El conocimiento del clima y la predicción del tiempo son aspectos relevantes a tener en cuenta a la hora de prever diversos aspectos de los proyectos. Estos guardan relación con los días de avance y retraso de obras por lluvias, problemas de anegamiento, ascenso de napas, demanda de servicio de agua, dispersión de olores, emanaciones gaseosas y polvo por el viento, durante la construcción de las obras y cuando éstas están en funcionamiento.

Con el objeto de caracterizar el clima del área, se han analizado los datos meteorológicos correspondientes a las estadísticas de los últimos años procesados por el Servicio Meteorológico Nacional de la estación meteorológica más cercana como puede observarse en los títulos posteriores.

El clima de la ciudad es templado, subhúmedo, tornándose moderado a seco y más ventoso en dirección al oeste con temperaturas moderadas y alta variabilidad.

Según la clasificación climática de Köppen, es pampeano o subtropical húmedo, puesto que supera los 22 °C de temperatura media en los meses más cálidos y no hay estación seca.

11.5.1.1.2. Precipitaciones

La probabilidad de días mojados en Bahía Blanca varía durante el año, definiendo un día mojado cuando se tiene por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. Los meses más lluviosos son enero, marzo y octubre mostrando valores entre 72 y 90 mm de precipitaciones mensuales, mientras que los meses de menores precipitaciones son los meses invernales de junio y julio rondando entre 12 y 30 mm. El promedio anual de lluvias es de 600 mm.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos.

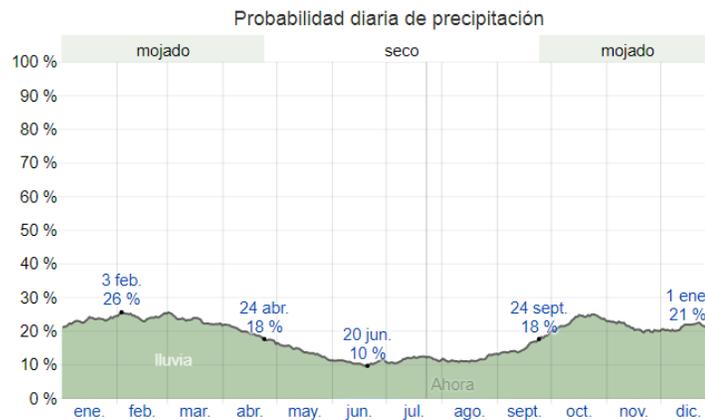


Figura 11-1: Temperatura máxima y mínima promedio - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica del Aeropuerto Comandante Espora

En la Figura 11-1 se muestra el porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día).

11.5.1.1.3. Temperatura

La temporada calurosa dura 3, 4 meses, del 28 de noviembre al 8 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 28 °C. El día más caluroso del año es en enero, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 18 °C.

La temporada fresca dura 2, 3 meses, del 18 de mayo al 25 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 17 °C. El día más frío del año es en julio, con una temperatura mínima promedio de 4 °C y máxima promedio de 14 °C.

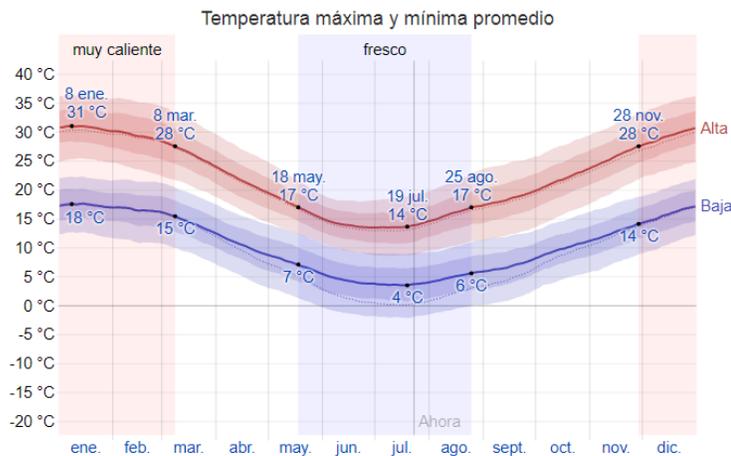


Figura 11-2: Temperatura máxima y mínima promedio - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica, Aeropuerto Comandante Espora

En la Figura 11-2 se puede observar la temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

11.5.1.1.4. Humedad relativa

Debido a la proximidad que presenta el parque industrial de Bahía Blanca del Océano Atlántico, como así también de los numerosos canales y dos cursos fluviales permanentes es que la humedad relativa promedio anual es del 68 %.

En la Tabla 11-1, se pueden observar los valores máximos de humedad relativa comprendidos en los meses de junio y julio con un 74 %, mientras que se registran los valores mínimos en enero con un 52%. Su oscilación es muy pequeña siendo característico de la región.

Tabla 11-1: Parámetros climáticos promedio de Bahía Blanca - Fuente: Oficina de riesgo Agropecuario - Servicio Meteorológico Nacional

MES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Humedad Relativa	52	56	65	70	73	74	74	67	64	65	58	53	64

11.5.1.1.5. Vientos

En esta sección tratamos el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local, como así también la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Bahía Blanca tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, siendo moderados en diciembre, enero y en febrero se incrementan notablemente.

La parte más ventosa del año dura 3,9 meses, del 14 de noviembre al 10 de marzo, con velocidades promedio del viento de más de 18,5 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es en diciembre, con una velocidad promedio del viento de 19,8 kilómetros por hora como puede observarse en la Figura 11-3.

El tiempo más calmado del año dura 8,1 meses, del 10 de marzo al 14 de noviembre. El día más calmado del año es el 10 de mayo, con una velocidad promedio del viento de 17,2 kilómetros por hora.

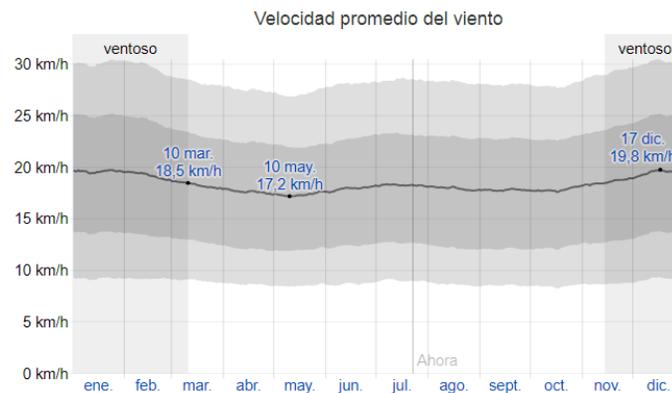


Figura 11-3: Velocidad promedio del viento - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica, Aeropuerto Comandante Espora

Se observa el promedio de la velocidad media del viento por hora por medio de una línea de color gris y con las bandas de percentil 25º a 75º y 10º a 90º.

La dirección predominante promedio por hora del viento en Bahía Blanca varía durante el año, siendo en su mayoría provenientes del norte y noroeste en verano y del sur y sureste en invierno.

El viento con más frecuencia viene del oeste durante 2,4 meses, del 21 de mayo al 2 de agosto, con un porcentaje máximo del 46 % en 18 de junio. El viento con más frecuencia viene del norte durante 9,6 meses, del 2 de agosto al 21 de mayo, con un porcentaje máximo del 37 % en 1 de enero.

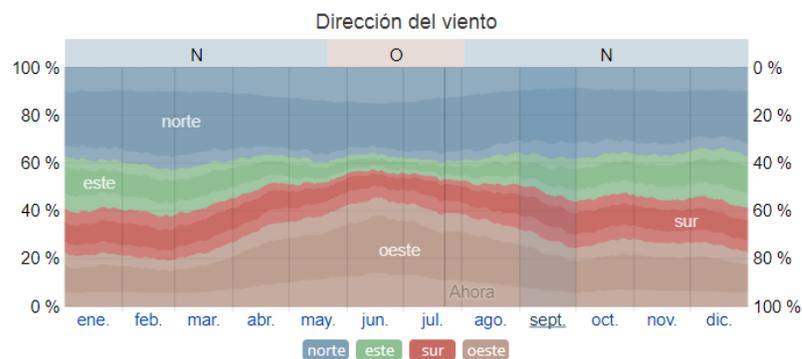


Figura 11-4: Dirección del viento en Bahía Blanca - Fuente: Informe climatológico de la estación meteorológica, Aeropuerto Comandante Espora

En la Figura 11-4, se observa el porcentaje de horas en las que la dirección media del viento viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 1,6 km/h. Las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noroeste, sureste, suroeste y noroeste).

11.5.1.1.6. Relieve

La ciudad de Bahía Blanca presenta una planicie con desniveles que descienden hacia la costa, mientras al noreste a un radio de 3 kilómetros aparecen variaciones modestas de altitud de 88 metros de altura, y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 23 metros, ofreciendo una vista de la ciudad.

En un radio de 16 kilómetros se muestran las primeras elevaciones que alcanzan entre los 200 y 500 m, a excepción de la zona de Sierra de la Ventana, que llega a los 1200 m. Por otra parte, su sector de máximo declive, se recorta el mar, como límite natural en forma de bahía, a la cual la ciudad debe su nombre, junto con la visión blanquecina que se observa desde el mar debido a la abundante salinidad del suelo.

Los suelos se consideran terrenos resistentes o aptos para cimentar, constituidos por tierra compacta, greda blanca arenosa, tosquilla, tosca, arcilla y arena confinada.

11.5.1.1.7. Hidrología

El área de estudio del parque industrial de Bahía Blanca presenta dos cursos fluviales permanentes que vierten sus aguas en esta bahía. Uno de esos cursos es conocido como el río Sauce Chico que desarrolla una cuenca en forma alargada, nace en el Cerro Luisa a 825 metros sobre el nivel del mar, en el sistema serrano Sierra de la Ventana, en el suroeste de la provincia de Buenos Aires y desemboca en cercanías de la ciudad de General Daniel Cerri. Su curso central es de 140 km de longitud y la cuenca abarca una superficie de 1588 km².

Otro de los cursos fluviales es el arroyo Napostá Grande nace en la localidad de Sierra de La Ventana, provincia de Buenos Aires, y tras un recorrido de 130 km atraviesa el interior de Bahía Blanca por el margen este del Parque de Mayo desembocando por la bahía en mar Argentino. Esta posición contribuye a que reciba el escurrimiento generado aguas arriba además de aumentar el peligro de inundación por sus crecidas. Sin embargo, distintas obras hidráulicas han disminuido la ocurrencia de este tipo de problemáticas.

Hasta la localidad de Tres Picos (suroeste de la provincia de Buenos Aires), sus aguas son especialmente cristalinas y en ellas conviven muchas especies de peces.

11.5.1.2. Medio Biótico

El área de estudio se encuentra urbanizada, por lo tanto, las particularidades del medio físico natural se encuentran fuertemente modificadas por la acción del hombre. Aunque es necesario mencionar que quedan relictos naturales representativos de la biota original como la Reserva Natural Bahía Blanca, Falsa y Verde que preserva la flora y fauna autóctona como así también rasgos históricos y donde es posible realizar diversas actividades científicas. Esta reserva cuenta con una superficie de más de 300 000 ha y se encuentra ubicada al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires.

11.5.1.2.1. Flora

La zona del parque industrial correspondiente al Ingeniero White es una zona urbana, donde la vegetación primitiva es inexistente.

En lugar de la vegetación original se encuentran distintas especies de árboles y arbustos de diverso porte ya que es un área que cuenta con espacios libres y verdes, mientras que en la reserva Natural falsa y verde de Bahía Blanca podemos observar la flora autóctona de la zona como el palo azul, chañares, algarrobos, molles, jumes, carquejas, gramóneas y zampa crespa, entre otras.

La vegetación primitiva predominantemente de carácter mesófita que viven en condiciones de humedad intermedia, fue reemplazada puntualmente por plantas con tendencias hidromórficas que se adaptan a medios húmedos o acuáticos. Se encuentran con mayor frecuencia plantas utilizadas para ornamentación.

En un radio de 3 kilómetros, Bahía Blanca está cubierta de un 53% de superficies artificiales, un 15% de arbustos y un 13% de vegetación escasa, mientras que en un radio de 16 kilómetros aparece un 38% en arbustos y un 16% de agua. Considerando un radio de 80 kilómetros se nota un 44 % de arbustos y un 20% de tierra de cultivo.

11.5.1.2.2. Fauna

La fauna originaria asociada a la vegetación nativa corrió la misma suerte que la vegetación y actualmente se reduce a la avifauna, habituada al medio urbano y ambientes con arbustos o arboleda de las calles, plazas y jardines mayormente exóticos.

En la Reserva Natural Falsa y Verde de Bahía Blanca es posible encontrar la fauna autóctona terrestre representada por guanacos, pumas, zorros, ñandúes y peludos, la marina representada por tiburones, lobos marinos, delfines franciscanos, toninas, corvinas, langostinos, camarones, pejerreyes, lenguados, gatuzos, orcas y ocasionalmente ballenas francas. También es posible encontrar aves en distintas épocas del año como las garzas, flamencos, gaviotas, cormoranes, playeros, chorlitos, gaviotines, palomas antárticas y pingüinos (vinculados a ambientes marinos). Halcones, chimangos, jotes, chingolos y calandrias, entre otras. En cuanto a animales exóticos o introducidos dentro de la reserva encontramos los conejos, chivos salvajes, jabalíes, liebres y ciervos. ^[53]

11.5.1.3. Medio Antrópico

Las obras se realizarán en el Parque Industrial de Bahía Blanca que se encuentra ubicado en la localidad Ingeniero White en el partido de Bahía Blanca, a 10 kilómetros de la ciudad, con la que se encuentra conurbada en el denominado Gran Bahía Blanca. El mismo se encuentra a una

latitud de 38° 46' sur, una longitud de 62° 16' oeste y una altitud media de 5 m s.n.m. Su superficie es de 136 hectáreas.

El parque industrial está situado a 5 km de la ciudad de Bahía Blanca, sur de la Provincia de Buenos Aires en la ruta acceso sudoeste a puertos. La localidad de Ingeniero White presenta uno de los principales puertos de ultramar de la Argentina, y el movimiento económico alrededor de él fue el factor más importante en el crecimiento de la ciudad de Bahía Blanca.

11.5.1.3.1. Población

De acuerdo al último censo nacional realizado en Bahía Blanca en el año 2010 según INDEC se reportó una población de 301.501 de habitantes. Su actual magnitud poblacional la ubica como el decimoséptimo centro más poblado de la Argentina y el cuarto de la provincia de Buenos Aires, detrás del Gran Buenos Aires, el Gran La Plata y Mar del Plata.

Según el INDEC, la población estimada para el año 2018 será de 308 mil habitantes considerando el aglomerado urbano de Bahía Blanca compuesto también por los barrios de Villa Harding Green y Villa Stella Maris, más las localidades de Ingeniero White, Grünbein, Villa Espora y Villa Bordeau.

Tabla 11-2: Evolución poblacional y la variación intercensal porcentual de la ciudad Bahía Blanca - Fuente: INDEC

	1869	1895	1914	1947	1960	1970	1980	1991	2001	2010
Población	1468	14.238	70.269	122.059	153.631	191.624	234.047	272.191	284.776	301.531
Tasa de crecimiento intercensal	-	+867,25%	+393,53%	+73,70%	+25,86%	+24,73%	+22,13%	+16,29%	+4,62%	+5,88%

En la localidad Ingeniero White de Bahía Blanca el número de habitantes para el año 2010 según el Centro Regional de Estudios Económicos de Bahía Blanca Argentina (CREEBA) es de unos 12.489 habitantes, lo que indica un incremento de 19,1% con respecto a los 10.486 habitantes que indicó el INDEC en el censo del 2001.

11.5.1.3.2. Actividad Productiva

Las actividades productivas constituyen uno de los factores de sostenibilidad fundamental por actuar como soporte generador de recursos y de puestos de trabajo.

El parque industrial de Bahía Blanca ubicado en las cercanías del puerto Ingeniero White está representado por un consorcio conformado por 75 empresas de una gran variedad de rubros, en las que podemos destacar las que han logrado un gran prestigio dentro del polo petroquímico

local como Dow, Petrobras, PBB Polisor, Unipar Indupa, Compañía Mega, Air Liquide, TGS y Profertil.

El Polo Petroquímico de Bahía Blanca, constituye una cadena productiva integrada que conforma una red horizontal (entre esas mismas actividades) y vertical (con otros sectores productivos), siendo el mayor centro petroquímico de la provincia con una participación a nivel provincial de un 58%, mientras que a nivel nacional concentra un 45% de la producción del país. El aporte que realiza a la economía local no descendería de \$125 millones anuales.

Actualmente, el Polo Petroquímico Bahía Blanca está compuesto por tres tipos de industrias:

- Industria petrolera, con una capacidad instalada de 4 millones de toneladas por año. Productos: etano, naftas, GLP, fuel-oil, gas-oil, gasolina, asfalto, kerosén.
- Industria petroquímica: con una capacidad instalada de 3,4 millones por año. Productos: etileno, VCM, PVC, polietileno, urea, amoníaco puro.
- Industria química, con una capacidad instalada de 350 mil toneladas por año. Productos: cloro, soda cáustica, oxígeno, nitrógeno.

Otro sitio de gran interés en la localidad Ingeniero White es la presencia de uno de los principales puertos marítimos de aguas profundas del país. Este puerto históricamente ha sido un puerto de cereales por su proximidad a las principales zonas agroexportadoras del país y también pesquero antes que la mayoría de las empresas se mudaran a Puerto Deseado. Hoy es además químico y petroquímico, y exporta principalmente materias primas. La existencia del mismo promovió la radicación de industrias en la zona, conformando uno de los polos petroquímicos más importantes de la Argentina.

11.5.1.3.3. Nivel Socio-habitacional

Según los datos registrados en el último Censo Nacional de Población y Vivienda (INDEC – MBB 2010), Bahía Blanca cuenta con una población de 3015072 habitantes teniendo una participación porcentual en el país de un 0,75% y 105342 hogares de 132 mil viviendas totales mostrando una participación porcentual en el país del 0,87%.

La localidad de Ingeniero White se componía en sus comienzos de precarias viviendas de chapa y madera, muchas de ellas aún existentes, lo cual ha contribuido a dar una nota característica al paisaje urbano. Según el Censo 2010 por el centro regional de estudios económicos de Bahía Blanca (CREEBA) cuenta con una población de 12489 habitantes y en el día de hoy con fondos aportados por el Plan Federal y el Municipio, contempla la construcción de 42 viviendas.

Existen numerosos asentamientos informales y/o marginales localizados principalmente en áreas sin urbanizar, siguiendo los cursos hídricos.

11.5.1.3.4. Calidad del aire

Existen normas de calidad de aire determinadas por la Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires, la cual fija límites correspondientes a niveles para contaminantes básicos y específicos, durante un período de tiempo dado. Buenos Aires excede, para ciertos períodos y ciertas áreas, los máximos de concentración de gases recomendados por los organismos internacionales.

La concentración de los contaminantes del aire en el polo petroquímico de la ciudad de Bahía Blanca depende de la magnitud de las fuentes (tales como antorchas, chimeneas, evaporaciones, venteos de válvulas, etc.) y eficiencias de la dispersión. Las variaciones cotidianas en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes.

Por tal motivo la ciudad cuenta con una Estación de Monitoreo Continuo del aire (EMCABB), la cual es una cabina móvil equipada con analizadores de los contaminantes del aire tales como CO, NOX, SO₂, O₃ provenientes de diferentes fuentes de emisión, móviles fijas, naturales e industriales y un analizador gravimétrico para el material particulado de concentración PM10 a través de un filtro calibrado, a flujo constante.

Mediante este equipo, se puede realizar un monitoreo durante las 24 horas del día de la calidad de aire, para determinar los niveles base de la zona en la cual se encuentra emplazada. Los resultados obtenidos se transfieren automáticamente a una computadora, que los almacena e informa como promedios de diferentes períodos de tiempo, definidos por el usuario y según establezca la legislación.

Actualmente, el Comité Técnico Ejecutivo del municipio de Bahía Blanca plantea como objetivos el desarrollo respecto al Monitoreo de Calidad de Aire de los siguientes programas:

- Evaluación de resultados obtenidos en la estación de monitoreo continuo de aire de Bahía Blanca (EMCABB).
- Programa de Monitoreo de Otros Contaminantes específicos por cromatografía gaseosa alrededor de fuentes determinadas para los compuestos en estudio.
- Programa de Medición de Nivel Sonoro, llevado a cabo en diferentes sectores de la población de Ingeniero White.
- Programa de Olores mediante el cual se confecciona un Inventario de fuentes de olores, a través del relevamiento de todas las instalaciones tanto industriales como de otro tipo que puedan generar este tipo de emisiones.

Por medio del consorcio del parque industrial de Bahía Blanca se está llevando a cabo el monitoreo de la calidad de aire ambiente en zona próxima a industrias petroquímicas y refinerías de Ingeniero White.

11.5.1.3.5. Sitios de interés cultural, histórico y/o arqueológico

En la ciudad de Bahía Blanca se encuentra el Puerto de Ingeniero White y la localidad del mismo nombre, como así también uno de los polos petroquímicos más importantes de la Argentina. El complejo portuario abarca 25 kilómetros sobre la costa norte de la ría de Bahía Blanca y posee un moderno balizamiento con 62 boyas luminosas alimentadas por energía solar. Este sistema portuario es el primer puerto autónomo de la Argentina donde ofrece una salida directa al Océano Atlántico desde el único puerto de aguas profundas del país, con muelles para operar todo tipo de buques y mercaderías.

También frente a la ciudad de Bahía Blanca y a 650 km de la provincia de Buenos Aires se encuentra la Reserva Natural Bahía Blanca, Falsa y Verde de uso múltiple que comprende varias islas e islotes adyacentes y que conforma un ambiente histórico y cultural para la zona.

Como sitios culturales históricos y/o arqueológicos en la localidad encontramos dos museos y un teatro. Ambos museos son interactivos y cuentan historias sobre el auge de la villa, el puerto y los primeros inmigrantes. El Teatro Ingeniero White es un espacio dedicado a la cultura, donde tienen cabida desde el teatro a la música, pasando por congresos, eventos, desfiles, etc.

11.5.2. Identificación y valoración de los impactos ambientales

En este apartado se enumeran y describen las distintas actividades que causan impacto sobre diferentes factores ambientales, y que, a su vez forman parte de los procesos de construcción y operación de la planta de producción de acrilnitrilo. Además, se identifica y evalúa el impacto que presentaría cada una de estas actividades sobre el medio de forma cualitativa por medio de una matriz de impacto y posteriormente en forma cuantitativa a través de una matriz de importancia.

El objetivo del presente capítulo, es la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el montaje de una planta productora de acrilnitrilo. La EIA es un instrumento preventivo de gestión ambiental que permite definir en qué condiciones la implantación o ampliación de proyectos o actividades serán compatibles con el medio ambiente.

La finalidad del estudio es identificar y evaluar los posibles impactos que podría ocasionar la ejecución del proyecto sobre los factores analizados (social, económico, ambiental, etc.) en las etapas de instalación y operación, y poder dictaminar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), promulgada por un órgano decisor y con la participación pública. Además, se recomendarán medidas de mitigación correspondientes para minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente.

También se identificarán los residuos generados durante la etapa de operación, los que deberán ser tratados correctamente con el objetivo de evitar impactos negativos sobre el medio ambiente.

11.5.2.1. Etapa de construcción de la planta

Las actividades que se desarrollan en esta etapa son las siguientes:

- Construcción de accesos viales: hace mención a las tareas de adecuación y construcción de los caminos necesarios para el ingreso de maquinaria y personal a la zona de trabajo. Esta etapa incluye la instalación provisoria de señalizaciones, cercos, líneas eléctricas, etc.
- Limpieza de la zona de obra: se refiere a movimientos de suelos y otros elementos que dificulten las obras de construcción de la planta.
- Instalaciones temporarias: incluye la colocación de obradores, sanitarios, depósitos, etc., que se necesitan para la correcta ejecución de las tareas referentes a la instalación de la industria, depósitos de herramientas y materiales demandados.
- Transporte de maquinaria: en esta etapa existe movimiento de equipos de excavación y nivelación, camiones y demás maquinarias necesarias de manera temporal o permanente.
- Transporte de materiales: implica la circulación de camiones y otros equipos de transporte de los insumos necesarios para llevar a cabo las tareas constructivas.
- Acondicionamiento del terreno: involucra toda acción vinculada a la excavación y construcción de las fundaciones necesarias para el montaje de los equipos asociados a la planta.
- Obras civiles en el predio: comprende el desarrollo de las tareas de construcción de las instalaciones de la planta propiamente dicha.
- Instalación y montaje de equipos: una vez terminadas las obras civiles se ejecutan las distintas tareas necesarias para la instalación de todos los equipos intervinientes en el proceso productivo.
- Gestión de residuos: durante el proceso de construcción de la planta se genera una gran cantidad de residuos, que dependiendo de su naturaleza deberá transportarse, tratarse y llevar a su disposición final.
- Limpieza de la obra: esta etapa consta de una serie de trabajos necesarios para dejar las instalaciones en condiciones para comenzar la operación.
- Contingencias: en caso de que se produzca alguna situación de excepción que pueda ser crítica (explosiones, derrumbes, derrames de sustancias peligrosas, etc.), debe estar contemplada dentro de los planes de acción.

11.5.2.2. Etapa de producción y mantenimiento

Las actividades que se desarrollan en esta etapa son las siguientes:

- Operación de la planta: tiene que ver con todas las tareas propias del proceso productivo y el impacto particular de estas tareas fue detallado con anterioridad.
- Mantenimiento de las instalaciones: incluye las tareas de mantenimiento, ya sea de forma preventiva o correctiva en caso de que sea necesario.

- Gestión de residuos: durante las dos etapas planteadas anteriormente existe una producción de residuos. Estos residuos deben ser tratados, transportados y dispuestos según corresponda.
- Contingencias: comprende accidentes o eventos extraordinarios durante la fase de operación y mantenimiento: salidas de servicio por fuertes lluvias, incendios, atentados, entre otros. En todos los casos se evaluarán como la peor situación.

11.5.2.3. Parámetros evaluados

Para realizar la EIA se construye una matriz de relación causa efecto. Las cuales son cuadros de doble entrada, en donde en uno de los cuadros se disponen las acciones detalladas del proyecto que causan un impacto perteneciente a su etapa correspondiente y en la otra los elementos los parámetros o factores ambientales receptores de los efectos.

Las matrices que utilizamos dentro de la evaluación de prefactibilidad de este proyecto son la de identificación de impactos que nos brinda resultados cualitativos, y la matriz de importancia que nos da resultados cuantitativos acerca del impacto generado por cada una de las actividades detalladas sobre una serie de factores que componen el ambiente sobre el cual se implanta el proyecto.

Los parámetros o factores ambientales sobre los cuales se analiza la afección de estas actividades son las siguientes:

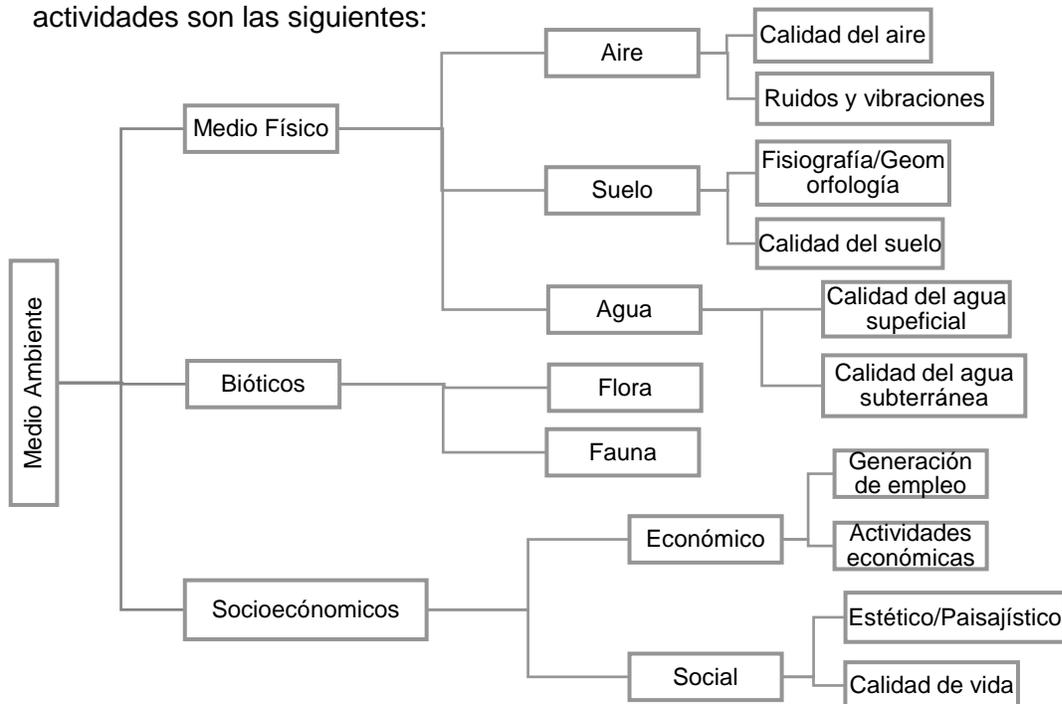


Figura 11-5: Factores ambientales analizados. Fuente: Elaboración propia.

11.5.2.4. Matriz de impacto ambiental

Para determinar el alcance del impacto se toma una escala cromática para definir la afección que cada actividad genera sobre el parámetro ambiental, ya sea positivo o negativo.

Tabla 11-3: Criterios de identificación de los impactos. Fuente: Elaboración propia.

Color	Intensidad	
	Crítico	Negativo
	Severo	
	Moderado	
	Compatible	Positivo
	Sin afección	
	Bajo	
	Moderado	
	Alto	
	Altísimo	

Tabla 11-4: Matriz de impacto ambiental etapa de construcción de la planta - Fuente: Elaboración propia

Categoría	Componente Ambiental	Acciones	Parámetros											
			Construcción de accesos viales	Limpieza de la zona de obra	Instalaciones temporarias	Transporte de maquinarias	Transporte de materiales	Acondicionamiento del terreno	Obras civiles en el predio	Instalación y montaje de equipos	Gestión de residuos	Limpieza de obra	Contingencias	
Físico	Aire	Calidad del aire												
		Ruidos y vibraciones												
	Suelo	Fisiografía/Geomorfología												
		Calidad del suelo												
	Agua	Calidad del agua superficial												
		Calidad del agua subterránea												

Biótico	Flora													
	Fauna													
Socioeconómico	Económico	Generación de empleo												
		Actividades económicas												
	Social	Estético / Paisajístico												
		Calidad de vida												

Tabla 11-5: Matriz de impacto ambiental etapa de producción y mantenimiento - Fuente: Elaboración propia

Categoría	Componente Ambiental	Acciones				
		Operación de la planta	Mantenimiento de instalaciones	Gestión de residuos	Contingencias	
		Parámetros				
Físico	Aire	Calidad del aire				
		Ruidos y vibraciones				
	Suelo	Fisiografía/Geomorfología				
		Calidad del suelo				
Agua	Calidad del agua superficial					
	Calidad del agua subterránea					
Biótico	Flora					
	Fauna					
Socioeconómico	Económico	Generación de empleo				
		Actividades económicas				
	Social	Estético / Paisajístico				
		Calidad de vida				

Como puede observarse en la matriz de impactos, las contingencias figuran como acción de obra, considerándolas una emergencia que debe ser controlada, mediante la ejecución de un plan específico, para evitar o minimizar daños.

En este caso se excluye del análisis la etapa de abandono del proyecto, debido a que este tipo de plantas opera durante un periodo de tiempo mucho mayor al planteado como horizonte de evaluación del proyecto.

11.5.2.5. Matriz de importancia

Luego de obtener de la matriz de impacto los resultados cualitativos, se realiza una matriz de importancia, que se construye a partir de la matriz de identificación de impactos y determina la importancia del mismo sobre cada factor ambiental en base a los atributos que lo caracterizan.

La importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental no debe confundirse con la importancia del factor afectado. Los impactos se cuantificarán dándole un valor de la siguiente manera:

Tabla 11-6: Escala de importancia - Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación de impacto ambiental

Valores Negativos		Valores Positivos
I mayor a 74	Crítico	I mayor a 74
I entre 50 y 75	Severo	I entre 50 y 75
I entre 25 y 50	Moderado	I entre 25 y 50
I menor a 25	Compatible	I menor a 25
0	Sin Afectación	0

En la Tabla 11-7: matriz de importancia según la naturaleza simbolizada con la letra "N" los impactos pueden ser positivos o negativos, tomando valores extremos entre 13 y 100 indicando mediante el signo la naturaleza del impacto. A tal efecto, se ha seguido la metodología propuesta por Vicente Conesa Fernández – Vítora (1997, Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental) ^[54], que utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de la importancia (I):

$$I = \pm(3 IN + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Dónde:

- Intensidad (IN): hace referencia al grado de incidencia o destrucción de la acción sobre el factor.
- Extensión (EX): se refiere al área de influencia teórica del impacto, respecto a la del factor afectado.
- Momento (MO): hace referencia al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor considerado.

- Persistencia (PE): se refiere al tiempo, que supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición.
- Reversibilidad (RV): se refiere a la posibilidad de reconstruir el factor afectado por medios naturales (reconstrucción por medios naturales).
- Sinergia (SI): hace referencia al grado de reforzamiento del efecto de una acción sobre un factor debido a la presencia de otra acción.
- Acumulación (AC): hace referencia al incremento progresivo de la manifestación del efecto.
- Efecto (EF): hace referencia a la relación causa efecto, es decir, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
- Periodicidad (PR): se refiere a la regularidad de la manifestación del efecto.
- Recuperabilidad (MC): se refiere a la posibilidad de reconstruir el factor, por medio de intervención humana.

El desarrollo de la ecuación I (Importancia del Impacto) se lleva a cabo mediante el modelo propuesto en el siguiente cuadro:

<p>Intensidad (IN)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja 1 • Media 2 • Alta 4 • Muy alta 8 • Total 12 	<p>Extensión (EX)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puntual 1 • Parcial 2 • Extenso 4 • Crítica 12 	<p>Momento (MO)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largo plazo 1 • Medio plazo 2 • Inmediato 4 • Crítico 8 	<p>Persistencia (PE)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fugaz 1 • Temporal 2 • Permanente 4
<p>Sinergia (SI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sin sinergismo 1 • Sinérgico 2 • Muy sinérgico 4 	<p>Acumulación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simple 1 • Acumulativo 4 	<p>Reversibilidad (RV)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corto plazo 1 • Medio plazo 2 • Irreversible 4 	<p>Efecto (EF)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indirecto (secundario) 1 • Directo 4
<p>Periodicidad (PR)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Irregular - esporádico y discontinuo 1 • Periódico 2 • Continuo 4 		<p>Recuperabilidad (MC)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inmediato 1 • Medio plazo 2 • Parcialmente - Mitigable y/o compensable 4 • Irrecuperable 8 	

Figura 11-6: Modelo de importancia de impacto - Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto ambiental

Tabla 11-7: Matriz de importancia - Fuente: Elaboración propia

Categoría	Componente Ambiental	Importancia	N	IN	E X	M O	P E	R V	SI	A C	E F	P R	M C	TOTAL
		Parámetros												
Físico	Aire	-	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	-48
	Nivel sonoro	-	2	1	4	2	1	2	1	4	2	2	-26	
	Suelo	-	2	2	4	4	2	4	1	4	4	2	-35	
	Agua	-	2	2	2	2	4	4	1	4	4	2	-33	
Biótico	Flora y Fauna	-	4	4	2	4	2	4	1	4	4	2	-46	
	Paisaje	-	8	2	4	4	2	4	1	4	4	2	-53	
Salud humana		-	2	2	2	2	2	2	4	1	4	4	-31	
Sistema socioeconómico		+	4	4	4	4	1	2	4	4	4	2	+45	

Se puede observar que el paisaje, la flora y la fauna y el aire son los factores ambientales más afectados negativamente. De todas formas, hace falta remarcar que, según el rango de importancia mencionado, todos los factores se encuentran dentro del impacto moderado.

Cualquier proyecto, por más beneficioso que sea, ocasionará sobre el entorno en el que se ubique una perturbación. Estas afectaciones negativas se producirán, especialmente, durante la etapa constructiva, la mayoría de ellas de carácter temporal, cesando cuando finaliza la acción que los produce.

11.5.3. Plan de gestión ambiental

Con el motivo de conseguir un desarrollo sostenible de la producción de acrilonitrilo y mitigar sus impactos negativos sobre el medio natural llevamos a cabo un plan de gestión ambiental. Este plan engloba los procedimientos y acciones que debe cumplir nuestra empresa y brinda las herramientas necesarias para realizar su actividad garantizando el logro de sus objetivos ambientales.

Nos basamos en un sistema de gestión ambiental construida bajo la certificación de la norma ISO 14 000 llevando a cabo la metodología conocida como “Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” (PHVA) visto en el Capítulo 10 “Aspectos Normativos y de calidad”.

Con el motivo de minimizar los impactos se establecieron las siguientes medidas correctoras:

- En cuanto al paisaje, es inevitable que la instalación de una planta no lo afecte. Una forma de minimizar este impacto es crear zonas ajardinadas e intentar no instalar equipos muy altos. Al estar ubicada en un parque industrial el impacto visual se ve atenuado porque dicha zona es industrializada.
- Para el caso del suelo, el impacto sobre este factor es muy complicado, ya que se ha de construir una planta. Se puede intentar construirla en zonas donde no haya aguas subterráneas. De esta forma no se minimizaría el impacto sobre el suelo, pero sí sobre las aguas subterráneas.
- Para efluentes líquidos y gaseosos generados, se lleva a cabo un tratamiento por métodos físicos, químicos y biológicos, con el fin de reducir la DBO de los mismos hasta los límites fijados por las reglamentaciones vigentes y permitir reducir los impactos ambientales. Es importante reducir los vertidos de aguas residuales recirculando más efluentes líquidos y reducir aún más las emisiones a la atmósfera controlando tanto las emisiones (liberaciones de partículas a la atmósfera) como la inmisión (concentración de sustancias en el aire).
- Para el nivel sonoro se puede minimizar insonorizando la planta.

11.6. Conclusión

A lo largo de este capítulo se evaluó la repercusión que tendría sobre el ambiente en el cual opera la planta de producción de acrilonitrilo objeto de este proyecto.

El proyecto se califica como viable desde este punto de vista al hacer un balance de los impactos que se pudiesen generar sobre el medio en el cual se implementa esta industria.

Si bien los niveles de los impactos potenciales sobre el ambiente son bajos, se plantearon las medidas correctoras que mencionamos anteriormente correspondientes en los casos en los que se consideró necesario.

12. HIGIENE Y SEGURIDAD

12.1. Generalidades

Los elevados riesgos que pueden presentarse en una planta petroquímica, relacionados con los procesos llevados a cabo en la misma, hacen necesaria la implantación de una serie de normas de seguridad aumentada que aseguren la minimización de dichos riesgos hasta niveles aceptables.

Desde la fase de ingeniería hasta la operación y mantenimiento en planta, se desarrollan teniendo en cuenta la seguridad como una de las bases principales, dando lugar a un gran conjunto de actividades encaminadas a asegurar ese elevado nivel de seguridad requerido.

Dependiendo de su campo de acción, las medidas adoptadas para disminuir daños sobre personas y medio ambiente pueden agruparse en dos, es decir, las aplicadas directamente sobre los procesos o equipos, como son la instalación de sistemas instrumentados de seguridad, o las medidas directas de protección de personas, como es la utilización de Equipos de Protección Personal (EPPs).

Toda planta industrial de este tipo debe tener implantadas las acciones y normas necesarias para la disminución de los riesgos asociados siguiendo la legislación vigente aplicable.

Además de la legislación vigente, se debe tener en cuenta que se hará uso de las instalaciones del puerto de Bahía Blanca, entonces de debe cumplir con lo que el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca exige en el Manual de Seguridad.

12.2. Manejo del acrilonitrilo

12.2.1. Identificación de riesgos

Según la NFPA 704, que es la norma estadounidense que explica el "diamante de materiales peligrosos" establecido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (inglés: National Fire Protection Association).

La clasificación para el AN es:



Figura 12-1: Diamante del AN – Fuente: Norma NFPA 704

Tabla 12-1: Significado diamante del AN - Fuente: Norma NFPA 704

Azul/Salud 4- Elemento que, con una muy corta exposición, puede causar la muerte o un daño permanente, incluso en caso de atención médica inmediata.	Amarillo/Inestabilidad/Reactividad 2- Experimenta cambio químico violento en condiciones de temperatura y presión elevadas, reacciona violentamente con agua o puede formar mezclas explosivas con agua.
Rojo/Inflamabilidad 3- Líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental.	Blanco/Peligros especiales/riesgo específico 'W' - reacciona con agua de manera inusual o peligrosa.

12.2.2. Riesgos de fuego o explosión

Medio de extinción: niebla de agua, espuma, CO₂, polvo químico seco. Para situaciones de incendio, se recomienda equipo estructural para bomberos y equipo de respiración autocontenido de máscara completa operado bajo presión positiva.

Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio:

1. Aplicar enfriamiento para dispersar los vapores más pesados que el aire con niebla de agua.
2. Enfriar contenedores adyacentes,
3. Aislar el área de peligro,
4. Atacar en forma coordinada,
5. Eliminar fuentes de alimentación.

Condiciones que conducen a otro riesgo especial: Los vapores son más pesados que el aire, pueden viajar a considerables distancias a una fuente de ignición y regresar con flama, la mezcla de vapores-aire es explosiva, riesgo de incendio y explosión por polimerización con bases y oxidantes fuertes.

Productos de la combustión nocivos para la salud: humos o gases irritantes, CO, HCN Y NOX

12.2.3. Datos de reactividad

Es una sustancia muy inestable.

Condiciones a evitar: Altas temperaturas en contenedores, chispas y flamas abiertas.

Incompatibilidad con álcalis y materiales oxidantes, ya que pueden ocasionar incendios y explosiones

Productos peligrosos de la descomposición: humos muy tóxicos de cianuro de hidrogeno, nitrógeno y monóxido de carbono.

Polimerización espontanea: puede ocurrir al exponerse a la luz o cuando está caliente y este calor da lugar a una presión interna excedente y puede hacer que exploten los contenedores.

Prevención: Evitar la exposición a la luz solar.

12.2.4. Peligros para la salud y primeros auxilios

Por exposición crónica y/o aguda:

Tabla 12-2: Riesgo, efectos y primeros auxilios por contacto crónico y/o agudo al ACN - Fuente: Hoja de seguridad del AN de PEMEX

RIESGO	EFFECTOS A LA SALUD POR EXPOSICION	PRIMEROS AUXILIOS
CONTACTO CON LOS OJOS	EFFECTOS LEVES: IRRITACIÓN OCULAR, ENROJECIMIENTO. EFFECTOS MODERADOS: DOLOR Y VISIÓN BORROSA.	LAVAR OJOS CON AGUA ABUNDANTE POR 20 MIN. PEDIR AYUDA MÉDICA INMEDIATA.
CONTACTO CON LA PIEL Y ABSORCIÓN:	EFFECTOS LEVES: IRRITACIÓN EN LA PIEL, ENROJECIMIENTO, DOLOR LEVE: QUEMADURAS DE PRIMER GRADO O SUPERFICIALES. EFFECTOS MODERADOS: DOLOR MÁS INTENSO, FLICTENAS, AMPOLLAS O VEJIGAS: QUEMADURAS DE SEGUNDO GRADO O DE ESPESOR PARCIAL. EFFECTOS SEVEROS: DESTRUCCIÓN COMPLETA DEL TEJIDO DE LA PIEL (NECROSIS DE LA PIEL), DOLOR PROFUNDO: QUEMADURAS QUÍMICAS DE TERCER GRADO O DE ESPESOR COMPLETO. EN DOSIS IMPORTANTES, LA ABSORCIÓN POR VÍA CUTÁNEA PUEDE LLEGAR A PRODUCIR LA MUERTE.	LAVAR PIEL CONTAMINADA CON AGUA ABUNDANTE POR 20 MIN. PEDIR AYUDA MÉDICA INMEDIATA.
INGESTION ACCIDENTAL O VOLUNTARIA	EFFECTOS LEVES: DOLOR DE CABEZA, MAREOS. EFFECTOS MODERADOS: VÓMITO, DIARREA. EFFECTOS SEVEROS: PROFUNDA DEBILIDAD, PARO CARDIORRESPIRATORIO Y MUERTE.	EN EL MEDIO LABORAL LA INGESTIÓN ES POCO PROBABLE. SE DEBE EVITAR TOMAR LÍQUIDOS EN ÁREAS DONDE SE ALMACENE O TRANSPORTE ACRILONITRILLO. PEDIR AYUDA MÉDICA INMEDIATA. EN CASO DE INGESTIÓN SE DEBE REALIZAR LAVADO GÁSTRICO.
INHALACION	EFFECTOS LEVES: CEFALEA (DOLOR DE CABEZA), VÓMITO, TOS, OPRESIÓN TORÁCICA, IRRITACIÓN EN LA MUCOSA OROFARÍNGEA EFFECTOS MODERADOS: DESMAYO, TAQUICARDIA (AUMENTO EN LA FRECUENCIA CARDIACA), RESPIRACIÓN IRREGULAR, ARRITMIA (PÉRDIDA DEL RITMO CARDIACO) EFFECTOS SEVEROS: CONVULSIONES, MIDRIASIS (DILATACIÓN PUPILAR), DISNEA (DIFICULTAD PARA RESPIRAR), HIPOTENSIÓN ARTERIAL, PARA CARDIORRESPIRATORIO Y MUERTE.	- RETIRAR AL TRABAJADOR DE LA EXPOSICIÓN O TRASLADAR A LA VÍCTIMA A UNA ZONA CON AIRE NO CONTAMINADO, - SUMINISTRAR OXÍGENO AL 100% POR MASCARILLA CON BOLSA RESERVORIO A 15 LITROS POR MINUTO -NO USAR EL MÉTODO DE RESPIRACIÓN DE BOCA A BOCA SI LA VÍCTIMA INGIRIÓ O INHALÓ LA SUSTANCIA. PEDIR AYUDA MÉDICA DE INMEDIATO.

Probabilidad de efectos carcinogénicos, mutagénicos, pero no teratogénicos, ni daños reproductivos.

Datos para el médico: con referencia al Manual de toxicología en la industria petrolera del Departamento General de Medicina del Trabajo, la aspiración de esta sustancia hacia los pulmones puede causar inflamación y riesgo de infección de bronquios y pulmones, por lo que no debe inducirse el vómito a las víctimas inconscientes.

12.2.5. En caso de fuga o derrame

- Eliminar todas las fuentes de ignición.
- No tocar el material derramado, detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo, absorber con tierra o arena para evitar su introducción a vías pluviales.
- Para derrames mayores, el área debe aislarse por lo menos 100 a 200 metros (330 a 660 pies) en todas las direcciones.
- No toque o camine a través del material contaminado.
- Usar herramientas que no generen chispas.
- Para los derrames mayores, hacer un dique.
- Controle los vapores, aplicando una capa de espuma de alcohol resistente.
- El residuo restante puede neutralizarse con un 5-10% de solución acuosa de metabisulfito de sodio.
- Disponga del residuo neutralizado según las regulaciones gubernamentales aplicables.

12.2.6. Manejo y almacenamiento

Manejo:

- Evitar exposición al líquido o al vapor.
- Prevenir cualquier fuente de ignición, incluso descargas electrostáticas.
- Manejar el material en atmosferas cerradas cuando sea posible.

Almacenamiento:

- Proveer sistemas de ventilación apropiadamente diseñados, donde no sean posible sistemas confinados.
- En el lugar de almacenamiento o de uso, debe haber equipamientos para lavado de ojos y duchas de seguridad.
- Mantener los contenedores en una atmosfera inerte.
- El almacenaje debe ser en un lugar fresco, con buena ventilación y sin peligros de golpes.
- El material de los contenedores, debe ser de acero al carbono, acero inoxidable o de aluminio.
- Mantener alejado de los sistemas de drenaje.
- Proveer un contenedor secundario.
- Se recomienda agitación en el almacenamiento.
- Debe ser estabilizado con un 35-45 ppm de monometil éter de hidroquinona o p-metilfenol y pequeñas cantidades de oxígeno (ca. 5 ppm), para evitar la polimerización espontánea. No debe eliminarse completamente todo el O₂, para almacenarlo sin O₂, debe agregarse N₂, y después de un tiempo debe reinyectarse O₂ a través de aire diluido, a niveles que eviten explosiones. Deben controlarse los niveles de estabilizadores, si el almacenamiento es mayor a 6 semanas, sin agregar AN fresco.
- Evitar almacenamientos por periodos mayores a 6 meses.

12.2.7. Control de exposición y protección personal

Controles de exposición durante el trabajo:

- Evitar cualquier contacto con el líquido y el vapor de este monómero.
- Las concentraciones atmosféricas deben estar debajo del valor límite de exposición en el ámbito laboral, que según la norma inglesa EH40/2005 es de 4.4 mg/m³ por ocho horas.
- Usar los EPP.
- Usar equipos de contención de respiración.
- Protección de las manos, resistente a lo químicos como el material caucho de butilo de 0,7mm de espesor.
- Para proteger la vista, usar gafas de protección visual, mascara o gafa para protección contra los químicos.
- Protección cutánea, trajes de neopreno y botas de caucho butilo, no usar calzado con suela de cuero.

Higiene ocupacional:

- No fumar, comer o tomar mientras se manipula.
- Siempre mantener buena higiene y las prácticas de seguridad.
- Lavarse manos, brazos y cara inmediatamente después de trabajar con el material.
- Cambiar vestimenta contaminada y lavar si se va a volver a usar.

12.2.8. Información ambiental

- Es un contaminante de moderada toxicidad para organismos acuáticos en concentraciones de 7,6 mg/L a 70mg/L
- Tiene una solubilidad limitada en agua, de 7.45.10⁴ mg/L a 25°C.
- El material se degrada en agua, lo hace fácilmente en medios aeróbicos, pero no en medios anaeróbicos, en esos sistemas incluso se inhibe.
- En la atmosfera, es degradado por foto oxidación.
- No se bioacumula, por su alta degradabilidad.

12.3. Manejo de las materias primas y productos secundarios

En los siguientes incisos, se definirán de manera muy simple los puntos de mayor importancia a tener en cuenta para la manipulación las MMPP y productos secundarios que forma parte del proceso en estudio, en base a las hojas de seguridad de cada compuesto. ^[55]

12.3.1. Propileno

Es un gas extremadamente inflamable, cualquier fuente de ignición puede generar un incendio. Puede formar atmósferas potencialmente explosivas en aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.

Los medios de extinción apropiados son: agua pulverizada o niebla, polvo seco o espuma, pero no dióxido de carbono.

Al trabajar con el mismo, se deben usar gafas de seguridad, guantes de seguridad de neopreno y pantalla de protección facial para evitar el riesgo de exposición por salpicadura de líquido, además de equipos de protección respiratoria.

12.3.2. Amoníaco

El amoníaco es tóxico por inhalación, corrosivo en todas las partes del cuerpo y las salpicaduras líquidas pueden causar quemaduras severas.

Se deben usar guantes protectores de goma nitrilo, goma butilo, neopreno para manipularlo, lentes de sellado hermético, ropa y botas de goma nitrilo y mascarilla.

En caso de incendio, se debe utilizar espuma, polvo seco o CO₂ para extinguirlo, y utilizar chorros de agua para refrescar los envases y estructuras expuestos al fuego,

No se debe echar agua sobre amoníaco líquido.

12.3.3. Acetonitrilo

Este compuesto es muy inflamable en estado líquido y vapor. Es nocivo.

En caso de incendio se desprenden humos tóxicos e irritantes y se extingue, con agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono, no es apropiado el chorro de agua.

Como elementos de seguridad, se deben utilizar gafas de protección con protección a los costados y guantes de caucho de butilo.

12.3.4. Acroleína

Es altamente inflamable y para extinguir el incendio, se puede usar espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono.

Se sabe muy poco acerca de cómo la exposición a la acroleína puede afectar la salud de seres humanos, pero se sabe que respirar grandes cantidades daña los pulmones y puede causar la muerte.

12.3.5. Ácido sulfúrico

Es un producto no combustible, no se debe utilizar agua en caso de incendio en el entorno, pero si polvo, espuma o dióxido de carbono.

Es un ácido corrosivo, y solo puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.

Para manipularlo, se debe usar protección respiratoria y protección ocular, en las manos, se deben usar guantes de neopreno o PVC y botas de caucho nitrilo.

12.3.6. Ácido cianhídrico

El ácido cianhídrico en forma líquida o gas es inflamable y presenta un grave riesgo de incendio. Para detener el fuego, se puede usar agua, polvo químico, espuma o CO₂.

12.3.7. Sulfato de amonio

Este compuesto, es clasificado como no peligroso. Es estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento. Para su manipulación se recomienda el uso de guantes de materiales como el neopreno, nitrilo, y cloruro de polivinilo, para proporcionar relativamente buena protección contra la penetración de este producto químico, además se debe contar con protección ocular y respiratoria.

En caso de incendio, se puede usar cualquier agente de extinción, agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono, excepto el chorro de agua. Pero no es un producto combustible.

12.4. Ley de higiene y seguridad

La Ley 19587/72 de Higiene y Seguridad en el Trabajo, Decreto Reglamentario 351/79 establece una serie de lineamientos que se tratarán a continuación. Teniendo en cuenta el manejo de las MP y subproductos, que fueron detallados en los incisos anteriores, y la ley nacional de Higiene y Seguridad, se definirá como trabajar de manera segura en la planta. ^[46]

12.4.1. Condiciones generales de construcción y sanitarias

La construcción, modificación y reparación de establecimientos se regirán según las normas de urbanismo y construcciones vigentes.

Los revestimientos de pisos serán sólidos no resbaladizos. Donde se manipulen elementos tóxicos deben ser resistentes a los mismos, impermeables y no porosos. Cuando el proceso exponga el piso a líquidos debe haber sistemas de drenaje. Las paredes interiores y cielorrasos, puertas y ventanas serán mantenidos en buen estado de limpieza.

Los pisos de los lugares de trabajo, los pasillos de tránsito deben estar libres de obstáculos para facilitar el libre y seguro desplazamiento sobre todo en situaciones de emergencia.

Los espacios entre máquinas o equipos deben ser amplios para permitir el movimiento del personal sin exposición a accidentes.

12.4.2. Ruidos

Este riesgo se monitoreará a través de la realización de mediciones de ruido en las diferentes fuentes sonoras y a través de un cálculo se determinará, por local de trabajo, si los niveles hallados superan el máximo establecido, y de ser así sugerir las medidas correspondientes. Para ello se utiliza un decibelímetro integrador.

La ley reglamenta que, si los niveles son inferiores a los 85 db de Nivel Sonoro Continuo Equivalente, sólo se realizarán nuevos relevamientos para controlar que el nivel medido se mantenga y detectar posibles cambios a causa de incorporación de nuevos equipos o maquinarias, sistemas de ventilación o extracción, falta de mantenimiento, etc.

Si el nivel supera los 85 db, se deberá reducir el ruido al mínimo posible desde la fuente que lo produce, colocando carteles indicativos del uso de protección auditiva y además proveer al personal de protectores auditivos.

En este caso no se dispondrán equipos que generen altos niveles de ruido. Sin embargo, es importante disponer de los elementos protectores a todo el personal que se encuentre en planta a modo de prevención y por las exposiciones prolongadas a ruidos aún de bajo nivel.

12.4.3. Ventilación

La ventilación en los locales de trabajo debe contribuir a mantener condiciones ambientales que no perjudiquen la salud del trabajador. A su vez los locales deben poder ventilarse perfectamente en forma natural, según la normativa.

En la planta estudiada en este proyecto la mayor parte de las instalaciones se encuentran al aire libre, por esta razón los requerimientos en cuanto a ventilación son bajos.

Además, en las zonas que se encuentran bajo techo, la distribución de equipamientos es tal que permite la libre circulación de aire.

12.4.4. Iluminación

Según lo establecido por ley, la iluminación en los puestos de trabajo debe cumplir básicamente con los requisitos mínimos que son:

- La composición espectral de la luz debe ser adecuada a la tarea a realizar, de modo que permita observar o reproducir los colores en la medida que sea necesario.
- Se debe evitar el efecto estroboscópico en los lugares de trabajo.
- La iluminación debe ser adecuada a la tarea a efectuar.
- Las fuentes de iluminación no deben producir deslumbramientos, directo o reflejado.

Los niveles de iluminación deben encuadrarse dentro de lo establecido en la ley para industria química:

Tabla 12-3: Niveles de iluminación - Fuente: Red Seguros

Planta de procesamiento	
Circulación general	100
Iluminación general sobre escaleras y pasarelas	200
Sobre aparatos	
Iluminación sobre el plano vertical	200
Iluminación sobre mesas y pupitres	400
Laboratorio de ensayo y control	
Iluminación general	400
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600

12.4.5. Elementos de protección personal (EPP)

Los EPPs tienen como objetivo, proteger al trabajador frente a agresiones externas, que puedan presentarse en el desempeño de la actividad laboral sea:

- Agresivos físicos: (mecánicos, térmicos, acústicos, eléctricos, etc.)
- Agresivos Químicos (tóxicos)
- Agresivos Biológicos de tipo (físico, químico o biológico)

La misión de los EPP es reducir o eliminar las consecuencias personales o lesiones que éste pueda producir en el trabajador.

Éstos deben reunir las siguientes condiciones:

- a) Materiales empleados en su fabricación: Las propiedades físicas y químicas de los materiales empleados deberán adecuarse a la naturaleza del trabajo y al riesgo de la lesión a evitar, para una protección eficaz. Los materiales no deberán producir efectos nocivos en el usuario.
- b) Condiciones de diseño y construcción: Su forma deberá ser adecuada a la mayoría de personas teniendo en cuenta aspectos ergonómicos y de salud del usuario, valores estéticos y reducir al mínimo su incomodidad, compatibilizándose ésta con su función protectora, además de adaptarse al usuario tras el ajuste necesario. Diseño y construcción, deben ser de fácil manejo y mantenimiento.

Es función del empleador brindar los elementos de protección personal y velar por su correcta utilización. En este caso, el operador debe utilizar equipo adecuado como botas con suela de caucho, pantalón y camisa con una talla ajustada y cómoda, casco de seguridad y gafas en toda la planta. Y en algunas zonas, que estarán señalizadas con la cartelería necesaria, se usara protecciones auditivas y guantes de caucho butilo o de neopreno.

12.4.6. Elementos de protección industrial

En líneas generales las máquinas y herramientas deben reunir las siguientes condiciones de seguridad:

- a) Las máquinas y herramientas deben ser seguras y en caso que presenten algún riesgo para las personas que la utilizan, deben estar provistas de la protección adecuada.
- b) Los motores que originen riesgos deben estar aislados. Asimismo, deben estar provistos de parada de emergencia que permita detener el motor desde un lugar seguro.
- c) Todos los elementos móviles que sean accesibles al trabajador por la estructura de las máquinas, deben estar protegidos o aislados adecuadamente.
- d) Las transmisiones -árboles, acoplamientos, poleas, correas, engranajes, mecanismos de fricción y otros- deben contar las protecciones más adecuadas al riesgo específico de cada transmisión, a efectos de evitar los posibles accidentes que éstas pudieran causar al trabajador.
- e) Las partes de las máquinas y herramientas en las que existan riesgos mecánicos y donde el trabajador no realice acciones operativas, deben contar con protecciones eficaces, tales como cubiertas, pantallas, barandas y otras.

Los requisitos mínimos que debe reunir una protección de los distintos equipos son:

- Eficacia en su diseño.
- De material resistente.
- Desplazamiento para el ajuste o reparación.
- Permitir el control y engrase de los elementos de las máquinas.
- Su montaje o desplazamiento sólo puede realizarse intencionalmente.
- No constituyan riesgos por sí mismos.
- Constituir parte integrante de las máquinas.
- Actuar libres de entorpecimiento.
- No interferir, innecesariamente, al proceso productivo normal.
- No limitar la visual del área operativa.
- Dejar libres de obstáculos dicha área.
- No exigir posiciones ni movimientos forzados.
- Proteger eficazmente de las proyecciones.

12.4.7. Información de seguridad para la manipulación de equipos

Se sugiere leer y entender los manuales de instalación, operación y mantenimiento que provee el fabricante de la maquinaria. Si no se tiene alguno puede utilizar este programa como guía:

No hay que pasar desapercibidos los avisos de advertencia y cuidado, generalmente un aviso de advertencia indica una condición posiblemente insegura que podría causar lesiones a personas, mientras que un aviso de cuidado indica una condición que podría ocasionar daños a los equipos.

Para protección personal, se deben seguir ciertos lineamientos y normas que evitaren accidentes, y daños a los equipos.

El operador de la maquinaria no debe llevar ningún artículo como cadenas o anillos. No debe llevar la ropa suelta y si en alguna ocasión utiliza el pelo largo debe tenerlo atado.

Para mayor seguridad, las máquinas deben ser operadas solamente por el personal autorizado por la empresa para tal tarea. Esto deja implícito que el empleador es quien debe asegurar la capacitación suficiente del personal según las tareas que se le asignen.

Si el operador no es técnico, en ningún momento debe tratar de reparar el equipo a la hora de que éste sufra un desperfecto, sino que debe abocarse a personal altamente especializado, es decir, al jefe de su sector.

Durante el funcionamiento de la maquinaria, se debe evitar que personal no especializado se acerque al área de operación.

Todo el cableado se debe tener en perfectas condiciones. Se deben aislar los contactos de las cintas calefactoras y verificar las conexiones a tierra. Se deben señalar los canales de cableado eléctrico, así como colocar letreros o afiches de precaución para indicar lugares de alta tensión.

El plástico genera electricidad estática y para evitar choques eléctricos se deben utilizar zapatos adecuados.

Mantener las instalaciones limpias, ordenadas, no colocar piezas, accesorios o herramientas encima de la maquinaria; mantener las escaleras y el área perimetral libre de sustancias deslizantes como lubricantes y grasas.

12.4.8. Equipos extintores y señalización

La ley reglamenta que la cantidad de matafuegos necesarios en los lugares de trabajo, se determinarán según las características y áreas de los mismos, importancia del riesgo, carga de fuego, clases de fuegos involucrados y distancia a recorrer para alcanzarlos.

Las clases de fuegos que pueden existir en esta planta son:

- Clase A: Fuegos que se desarrollan sobre combustibles sólidos, como ser madera, papel, telas, gomas, plásticos y otros.
- Clase B: Fuegos sobre líquidos inflamables, grasas, pinturas, ceras, gases y otros.
- Clase C: Fuegos sobre materiales, instalaciones o equipos sometidos a la acción de la corriente eléctrica.

En la Figura 12-2, se puede ver cuál es el medio extintor adecuado para cada clase de fuego:

						
	AGUA	ESPUMA	POLVO ABC	ANHIDRIDO CARBONICO	HALON	POLVOS ESPECIALES
 A SÓLIDOS	SI Muy eficiente	SI Relativamente eficiente	SI Muy eficiente	NO utilizar	SI Relativamente eficiente	NO utilizar
 B LIQ. INFLAM.	SI Relativamente eficiente	SI Muy eficiente	SI Muy eficiente	SI Relativamente eficiente	SI Muy eficiente	NO utilizar
 C ELECTRICIDAD	NO utilizar	NO utilizar	SI Muy eficiente	SI Muy eficiente	SI Muy eficiente	NO utilizar

Figura 12-2: Clase de extintores - Fuente: Grippaldi

Deberá instalarse como mínimo un matafuego cada 200 m² de superficie a ser protegida, por ende, como la planta en estudio tiene 1100 m², serán necesarios 6 matafuegos de clase A, B y C. La ubicación de los mismos, será tal que se cumpla que la máxima distancia a recorrer hasta el matafuego sea de 20 m para fuegos de clase A y 15 m para fuegos de clase B.

Teniendo en cuenta la clase de fuego, y lo especificado en las hojas de seguridad de los compuestos que participan en este proceso, se define que se usará polvo químico seco para combatir los incendios.

Para señalar la ubicación de un matafuego se debe colocar una chapa baliza, que es una superficie con franjas inclinadas en 45 ° respecto de la horizontal blancas y rojas de 10 cm de ancho.

Habrà un sistema de enfriamiento con agua en las instalaciones que contengan compuestos inflamables, para disminuir la temperatura si están expuestas a un incendio.

12.4.9. Sistema de alarmas

En esta planta se dispondrá de una serie de sonidos de alarma, asociados a sendos riesgos que puedan presentarse dentro de la planta.

Es importante la diferenciación en los riesgos teniendo en cuenta los distintos alcances que puedan tener los siniestros propios de este tipo de industria. A partir de cada sonido de alarma, se acciona un protocolo de seguridad considerando el riesgo al cual se expone la planta.

Cualquier persona que ingrese a la planta debe estar capacitada a fin de poder diferenciar las distintas alarmas en caso de que se activen y poder actuar en consecuencia.

Con el fin de verificar su funcionamiento y familiarizar a la población, las terminales cerealeras, las plantas industriales de la zona portuaria y del polo petroquímico realizan pruebas de sus correspondientes sirenas de alarma todos los días jueves de 11:00 a 11:10 h.

12.5. Conclusión

En suma, la seguridad e higiene dentro de una empresa es importante porque mediante la corrección de problemas, la detección de fallas y la evaluación de riesgos, se pueden llegar a prevenir un número importante de accidentes y enfermedades dentro del ámbito laboral.

Esto es importante para la organización no solo del punto de vista humano, sino también económico, teniendo en cuenta que un ambiente laboral sano permite una mayor productividad por parte de los trabajadores de la planta.

13. EVALUACIÓN ECONÓMICA

13.1. Introducción

La viabilidad o factibilidad económica, se determinará respecto a criterios de Valor Actual Neto (VAN), que dará el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros evaluados a 10 años; y la Tasa Interna de Retorno (TIR), que establece la tasa a la cual se recuperará la inversión.

Se llevará a cabo una evaluación detallada de las características del proyecto propuesto: se estudiará la tasa de descuento, estructura de costos, se realizará el cálculo del punto de equilibrio, y beneficios; y se observará la rentabilidad. Luego se completará el estudio en los capítulos posteriores, por medio de un análisis de riesgos y sensibilidad, por último, se determinará hasta qué punto se puede modificar una variable para que el proyecto siga siendo rentable.

13.2. Evaluación económica

La tasa de descuento o costo de capital es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro.

La tasa de descuento empleada en la actualización de los flujos de caja de un proyecto, es una de las variables que más influyen en el resultado de la evaluación del mismo, teniéndose así que la utilización de una tasa de descuento inapropiada puede llevar a un resultado equivocado de la evaluación.

El método más empleado en la actualidad para determinar esta tasa es el basado en el modelo de precios de los activos de capital, conocido con las siglas CAPM (Capital Asset Pricing Model).

Por este método la tasa de descuento se calcula de la siguiente forma:

$$r = R_f + (R_m - R_f) \beta + R_p$$

- Tasa libre de riesgo (R_f): Es práctica habitual, y aceptada en forma generalizada, evaluar la tasa de libre riesgo como el rendimiento de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos (Treasury Bonds o T-Bonds) con una madurez equivalente a la vida útil del activo que se desea evaluar. Para un horizonte de evaluación a diez años el T-bonds es del 5%.
- Tasa de rentabilidad (R_m): es la tasa de rentabilidad observada en el mercado de EEUU. Se considera de un 10% y abarca a todos los sectores de la economía.
- Sensibilidad (β): relaciona el riesgo del proyecto con el riesgo del mercado. Los bienes producidos por este proyecto se consideran materiales del sector químico especializado y presentan una sensibilidad de alto riesgo o mayor riesgo que el del mercado. Se utilizó un valor de beta igual a 1,17. ^[56]
- Riesgo país (R_p): Se ha optado por determinar el riesgo país mediante el EMBI+ (Emerging Market Bond Index Plus). Según la fuente Ámbito.com la serie histórica da un promedio de alrededor de 850 puntos básicos, el cual se considera como el escenario de mayor probabilidad.

Con los datos obtenidos ya puede procederse al cálculo de la tasa de descuento aplicable a este proyecto.

$$r = R_f + (R_m - R_f)\beta + R_p = 5 + (10 - 5) 1,17 + 8,5 = \mathbf{19,35 \%}$$

13.3. Estructura de costos

13.3.1. Inversión inicial

Las erogaciones que deberían realizarse previo a comenzar a operar una planta industrial son los denominados costos de inversión, éstos involucran los activos fijos, tangibles e intangibles, y los activos corrientes que es el capital de trabajo y juntos son esenciales para el constitución y funcionamiento de la empresa. Éstos representan una significativa cantidad de dinero, el cual será destinado a realizar varias acciones requeridas antes de la puesta en marcha.

Así, las inversiones efectuadas antes de la puesta en marcha del proyecto se pueden agrupar en:

- **Activos Fijos Tangibles:** son aquellas inversiones que se realizan en los bienes tangibles que se utilizarán en los procesos de transformación de los insumos o que sirvan de apoyo a la operación normal del proyecto, tales como el terreno, obras físicas, infraestructura de servicios, etc.
- **Activos Fijos Intangibles:** son todas aquellas inversiones que se realizan sobre activos constituidos por los servicios adquiridos necesarios para la puesta en marcha del proyecto, tales como gastos de organización, patentes, licencias, gastos de puesta en marcha, etc.

13.3.1.1. Activos Tangibles

La realización de un proyecto implica utilizar recursos para dos etapas distintas:

- a. La instalación y el montaje del proyecto
- b. La etapa de operación o funcionamiento del proyecto

Se debe disponer de toda inversión relativa a la distribución de la planta, a las dimensiones y al rendimiento de la maquinaria, las características y el costo de los edificios, construcciones y equipo complementario, etc. Esto permite la estimación del valor de los activos necesarios para obtener el total de la inversión requerida.

Es necesario mencionar que antes de realizar una inversión se tiene que considerar si esto llevará a obtener ingresos mayores que los costos de inversión.

Las erogaciones que deberían realizarse previo a comenzar a operar una planta industrial son los denominados costos de inversión.

13.3.1.1.1. Terreno

Se adquiere un lote en el Parque Industrial de Bahía Blanca, lo cual obliga a cumplir con todos los requisitos planteados por las correspondientes ordenanzas municipales. El costo de los servicios y gastos comunes depende de la superficie de terreno que sea utilizada.

El cierre perimetral se hará con una malla metálica de acero galvanizado cuya presentación es en secciones de 2 m de alto y 12 m de largo. Teniendo en cuenta que el perímetro del terreno es de 24 m x 48 m, se utilizarán 12 unidades cuyo costo de instalación se estima en un 40% más del precio de venta.

Tabla 13-1: Inversión inicial en terreno - Fuente: Elaboración propia

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
TERRENO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO CON INSTALACIÓN
Adquisición m ²	1100	USD 795,45	USD 874.995,00	
Trámites	1	USD 2.776,00	USD 2.776,00	
Cierre	12	USD 130,00	USD 1.560,00	USD 182,00
SUBTOTAL			USD 879.331,00	USD 879.513,00

13.3.1.1.2. Edificio e instalaciones

La inversión en edificaciones se calcula en base al costo unitario de cada tipo de instalación. Las dimensiones ya han sido determinadas en el Capítulo 8 “Diseño y distribución de planta”. El costo correspondiente a instalaciones eléctricas se estima como el 30% del total del costo de las edificaciones. En el caso de las tuberías, se procede de la misma manera considerando un 4% del costo de la edificación.

Tabla 13-2: Inversión inicial en edificio e instalaciones - Fuente: Elaboración propia

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
EDIFICIOS E INSTALACIONES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO CON INSTALACIÓN
Producción m ²	115	USD 235,00	USD 27.025,00	
Almacén de MMPP m ²	303	USD 190,00	USD 57.570,00	
Almacén PPF m ²	19	USD 190,00	USD 3.610,00	
Laboratorio de calidad m ²	30	USD 320,00	USD 9.600,00	
Tratamiento de agua y medioambiente m ²	100	USD 235,00	USD 23.500,00	
Comedor m ²	30	USD 280,00	USD 8.400,00	
Sanitarios y vestidores m ²	50	USD 280,00	USD 14.000,00	
Oficinas administrativas m ²	50	USD 235,00	USD 11.750,00	

Estacionamiento m²	400	USD 190,00	USD 76.000,00	
Instalación eléctrica	1	USD 69.436,50	USD 69.436,50	
Tuberías	1	USD 86,20	USD 86,20	
Caminos km	0,1	USD 40.000,00	USD 4.000,00	
SUBTOTAL			USD 304.977,70	USD 304.977,70

13.3.1.1.3. Maquinaria y equipos

En el Capítulo 6 “Selección y diseño de equipos”, se determinó de forma detallada todas las necesidades en cuanto a equipos. Al costo ya determinado, se lo debe multiplicar por el factor de Lang, de forma de calcular el costo total necesario a invertir para que el equipo se encuentre instalado en la planta, considerando el transporte. En este caso el factor de Lang es de 1,9, obtenido de la revista Chemical Engineering en la sección de “Economics Indicator”.

En el ítem Instrumentos, se consideran bombas, válvulas, elementos de automatización y control y accesorios en base al tamaño de la planta.

También se incluye la inversión para la adquisición de una zorra hidráulica y se estima el costo total de equipamiento de laboratorio comparando con laboratorios de prestaciones similares.

Tabla 13-3: Inversión inicial en equipamiento y maquinarias - Fuente: Elaboración propia

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
MAQUINARIA Y EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO CON INSTALACIÓN
Tanque amoníaco T-01	1	USD 10.000,00	USD 10.000,00	USD 19.000,00
Tanque propileno T-02	2	USD 75.000,00	USD 150.000,00	USD 285.000,00
Tanque aire comprimido T-03	1	USD 50.000,00	USD 50.000,00	USD 95.000,00
Tanque ácido sulfúrico T-04	2	USD 3.500,00	USD 7.000,00	USD 13.300,00
Tanque mezclador M-01	1	USD 50.000,00	USD 50.000,00	USD 95.000,00
Reactor R-01	1	USD 10.000,00	USD 10.000,00	USD 19.000,00
Ciclón C-01	1	USD 20.000,00	USD 20.000,00	USD 38.000,00
Intercambiador de calor ICT-01	1	USD 198.000,00	USD 198.000,00	USD 376.200,00
Quench Q-01	3	USD 1.000.000,00	USD 3.000.000,00	USD 13.680.000,00
Intercambiador de calor IDT-01	1	USD 8.400,00	USD 8.400,00	USD 15.960,00
Torre de absorción TA-01	1	USD 500.000,00	USD 500.000,00	USD 950.000,00
Stripper ST-01	1	USD 800.000,00	USD 800.000,00	USD 1.520.000,00
Splitter SP-01	1	USD 750.000,00	USD 750.000,00	USD 1.425.000,00
Torre de absorción TA-02	1	USD 950.000,00	USD 950.000,00	USD 1.805.000,00

Torre de destilación TD-01	1	USD 1.560.000,00	USD 1.560.000,00	USD 2.964.000,00
Torre de destilación TD-02	2	USD 2.000.000,00	USD 4.000.000,00	USD 7.600.000,00
Torre de destilación TD-03	1	USD 2.000.000,00	USD 2.000.000,00	USD 3.800.000,00
Tanque acrilonitrilo T-05	1	USD 500,00	USD 500,00	USD 950,00
Agitador de hélice A-01	1	USD 1.000,00	USD 1.000,00	USD 1.900,00
Tanque ácido cianhídrico T-06	1	USD 660,00	USD 660,00	USD 1.254,00
Tanque acetonitrilo T-07	1	USD 6.500,00	USD 6.500,00	USD 12.350,00
Tanque sulfato de amonio T-08	1	USD 5.000,00	USD 5.000,00	USD 9.500,00
Instrumentación	1	USD 400.000,00	USD 400.000,00	USD 760.000,00
Zorra hidráulica	1	USD 250,00	USD 250,00	USD 250,00
Equipos de laboratorio	1	USD 20.000,00	USD 20.000,00	USD 20.000,00
SUBTOTAL			USD 14.497.310,00	USD 27.526.664,00

13.3.1.1.4. Muebles y útiles

En este apartado se considera la inversión a realizar en elementos para equipar las oficinas administrativas y de operación, laboratorio de calidad y el comedor. A esta inversión se le adiciona un 5% para contemplar útiles de oficina e imprevistos.

Tabla 13-4: Inversión inicial en muebles y útiles - Fuente: Elaboración propia

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
MUEBLES Y ÚTILES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO CON INSTALACIÓN
Computadoras	5	USD 571,00	USD 2.855,00	
Impresoras	2	USD 283,00	USD 566,00	
Escritorios	5	USD 60,00	USD 300,00	
Sillas	30	USD 40,00	USD 1.200,00	
Mesas	6	USD 42,00	USD 252,00	
Armarios	4	USD 180,00	USD 720,00	
Aire acondicionado	3	USD 350,00	USD 1.050,00	
Teléfonos	8	USD 35,00	USD 280,00	
Imprevistos (5%)	1	USD 361,15	USD 361,15	
SUBTOTAL			USD 7.584,15	USD 7.584,15

13.3.1.1.5. Rodados

Para el movimiento dentro y fuera de la planta de las personas que trabajan en la organización, se contara con una camioneta de pequeño porte.

Tabla 13-5: Inversión inicial en rodados - Fuente: Elaboración propia

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
RODADOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO CON INSTALACIÓN
Camioneta	1	USD 8.333,33	USD 8.333,33	
SUBTOTAL			USD 8.333,33	USD 8.333,33

13.3.1.2. Activos Intangibles

Las inversiones en activos intangibles son todas aquellas que se realizan sobre activos constituidos por los servicios o derechos adquiridos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.

El total de cargos diferidos se estima como un porcentaje de las inversiones descriptas anteriormente y son susceptibles de amortización, afectando al flujo de caja indirectamente. En concepto de planeación e integración del proyecto se estima un 0,3% de la inversión total en activos fijos. La ingeniería del proyecto tiene un costo equivalente al 0,35% del costo total de los equipos de planta. En supervisión del proyecto se debe invertir un 0,15% del capital invertido en activos fijos.

La administración del proyecto tiene un costo equivalente al 0,5% de la inversión en activos fijos. La puesta en marcha del equipo tiene un costo igual al 2% del costo de los equipos de planta.

Por último, la inversión inicial para obtener la patente se estima, según información provista por empresas del sector en U\$D 1500. Si se superan las 1000 toneladas mensuales, se adiciona un costo fijo del 2% de los beneficios por ventas, percibidos por la empresa.

Entre los costos de constitución de una empresa está la inscripción en la Subsecretaría de Trabajo, en distintos organismos, como el Sindicato, ART, AFIP, Seguridad Social, etc.

Por ser Sociedad Anónima, para constituir una empresa, se deben abonar dos códigos tributarios en la Dirección de Personas Jurídicas con un costo de \$6700, se deben comprar los Libros Societarios y Contables con un costo de \$10000, en la Subsecretaría de Trabajo se deben inscribir a los trabajadores y eso conlleva un costo de \$3000, los honorarios mínimos de un asesor en el ámbito contable para realizar la constitución de sociedades de cualquier naturaleza son de \$25000, además la remuneración estipulada de un abogado es aproximadamente \$30000. Esto conlleva a un total de \$74700 para la constitución de la empresa. Además, pueden surgir otros tipos de gastos difíciles de prever quedando los cargos diferidos en un total de \$100000.

Tabla 13-6: Inversión inicial en cargos diferidos - Fuente: Elaboración propia

ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES				
CARGOS DIFERIDOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO CON INSTALACIÓN
Planeación e integración del proyecto	1	USD 47.067,61	USD 47.067,61	
Ingeniería del proyecto	1	USD 50.740,59	USD 50.740,59	

Supervisión del proyecto	1	USD 23.533,80	USD 23.533,80	
Administración del proyecto	1	USD 78.446,01	USD 78.446,01	
Constitución de la empresa	1	USD 1.666,70	USD 1.666,70	
Puesta en marcha	1	USD 289.946,20	USD 289.946,20	
Patentes y licencias	1	USD 1.500,00	USD 1.500,00	
SUBTOTAL			USD 492.900,91	USD 492.900,91

13.3.1.3. Inversión necesaria

Para la instalación y puesta en marcha de una planta de producción de acrílonitrilo de las características planteadas en este proyecto, se necesita una inversión inicial igual a la suma de los costos de activos fijos tangibles e intangibles.

En este caso ese valor asciende a los U\$D 16182103,76. Si se considera la instalación, U\$D 29219973,10.

13.3.2. Cronograma de inversiones

El cronograma de inversiones es la presentación de las inversiones detalladas por cada uno de los conceptos básicos en función del tiempo en que se van a realizar, indicando las sumas a invertir en cada concepto, totalizadas por la unidad de tiempo que en este caso es años.

En una industria de este tipo, y debido a las características del proceso, se considera óptimo que la inversión total de puesta en marcha sea realizada en el primer año.

Dentro de este año, la adquisición del terreno se realiza en el primer mes. La construcción de la edificación e instalaciones se plantea hacer en los primeros seis meses en desembolsos de igual valor.

Los costos diferidos se emplean en su totalidad en el primer mes, a excepción de los costos de puesta en marcha de la planta que, lógicamente, se necesitan en el último mes de inversión.

La adquisición de maquinarias y equipos se determina que se realizará desde el séptimo al doceavo mes en valores equivalentes todos los meses.

Por último, tanto muebles y útiles son adquiridos en el último mes debido a que no demandan una gran cantidad de tiempo para su instalación.

Como la inversión total se realiza en periodos distintos de tiempo, para el cálculo de su valor real al momento cero de este proyecto, se realiza una actualización de los distintos costos mensuales.

El primer paso para realizar este cálculo es determinar la tasa equivalente mensual a la tasa de descuento anual calculada para este proyecto.

$$TEM = (1 + r)^{\frac{1}{12}} - 1 = (1 + 0,1935)^{\frac{1}{12}} - 1 = 1,485\%$$

Con esta tasa se actualizan las inversiones a realizar cada mes, considerando que la erogación correspondiente se hace a la mitad de cada mes.

Tabla 13-7: Cronograma de Inversión - Fuente: Elaboración propia

CONCEPTO	MES				
	1	2	3	4	5
Edificios e instalaciones	USD 930.342,62	USD 50.829,62	USD 50.829,62	USD 50.829,62	USD 50.829,62
Maquinaria y equipos					
Cargos diferidos	USD 202.954,71				
Muebles y útiles					
TOTAL MENSUAL	USD 1.133.297,33	USD 50.829,62	USD 50.829,62	USD 50.829,62	USD 50.829,62

CONCEPTO	MES			
	6	7	8	9
Edificios e instalaciones	USD 50.829,62			
Maquinaria y equipos		USD 4.587.777,33	USD 4.587.777,33	USD 4.587.777,33
Cargos diferidos				
Muebles y útiles				
TOTAL MENSUAL	USD 50.829,62	USD 4.587.777,33	USD 4.587.777,33	USD 4.587.777,33

CONCEPTO	MES		Inicio de actividades	
	11	12	Valor futuro	Tasa de descuento
Edificios e instalaciones			USD 1.390.345,86	19,35 %
Maquinaria y equipos	USD 4.587.777,33	USD 4.587.777,33	USD 28.780.398,29	Tasa mensual equivalente
Cargos diferidos		USD 289.946,20	USD 532.538,82	1,49 %
Muebles y útiles		USD 7.584,15	USD 7.640,25	
TOTAL MENSUAL	USD 4.587.777,33	USD 4.885.307,68	USD 30.710.923,22	

$$I_0 = \sum_{i=1}^n VF_i(1+r)^{n_i} = \text{U\$D } 30.710.923,22$$

De esta forma, el valor de la inversión inicial, actualizada el momento cero del proyecto asciende a U\\$D 30710923,22.

13.3.3. Inversión en capital de trabajo (ICT)

La definición más básica de capital de trabajo lo considera como todo aquel recurso que requiere la empresa para poder operar. En este sentido el capital de trabajo es lo que comúnmente se conoce como activo corriente, que son efectivo, inversiones a corto plazo, cartera e inventarios.

La empresa para poder operar requiere de recursos para cubrir necesidades de insumos, materia prima, mano de obra, reposición de activos fijos, etc. Estos recursos deben estar disponibles a corto plazo para cubrir las necesidades de la empresa a tiempo durante un ciclo productivo para una capacidad y tamaño determinado.

Para determinar el capital de trabajo de una forma más objetiva, se debe restar de los activos corrientes, los pasivos corrientes. De esta forma se obtiene lo que se llama el capital de trabajo neto contable, que es determinar con cuántos recursos cuenta la empresa para operar si se pagan todos los pasivos a corto plazo.

Se conoce como pasivo circulante a las deudas exigibles a corto plazo, y al activo circulante como el fondo de maniobra.

13.3.3.1. Métodos de cálculo

Existen diversas formas de cálculo del capital de trabajo. A continuación, se exponen las más utilizadas:

- Método del período de desfase

Este método consiste en determinar la cuantía de los costos de operación que deben financiarse desde el momento en que se efectúa el primer pago por la adquisición de la materia prima hasta el momento en que se recauda el ingreso por la venta de los productos, que se destinará a financiar el período de desfase siguiente. Es decir, este método tiene en cuenta el tiempo de recuperación.

El intervalo de tiempo obtenido se utiliza para calcular junto con el costo unitario, la inversión en el costo de capital (ICT).

- Método del déficit acumulado máximo

Éste se basa en que se calculan los flujos de egresos e ingresos proyectados mes a mes, se calcula el saldo, y posteriormente el saldo acumulado mes a mes. Se toma como valor de ICT para financiar la operación normal del proyecto, el máximo saldo acumulado, ya que este refleja la cuantía de los recursos a cubrir durante todo el tiempo para que se mantenga el nivel de operación que permitió su cálculo. El déficit acumulado máximo deberá estar disponible, ya que siempre existirá un desfase entre ingresos y egresos.

- Método contable

Aquí lo que se hace es cuantificar la inversión requerida en cada uno de los rubros del activo corriente, considerando que estos activos pueden financiarse con pasivos de corto plazo (créditos de proveedores, préstamos bancarios, etc.). Los rubros del activo corriente que se cuantifican en el cálculo son los siguientes:

- Saldo óptimo a mantener en efectivo.
- Nivel de cuentas por cobrar apropiado.
- Volumen de existencias a mantener.
- Niveles esperados de deudas a corto plazo.

En este proyecto se realiza un análisis de prefactibilidad, es por ello que no se determinarán estos factores y por lo tanto no permite que se aplique este método.

13.3.3.2. Selección de método

Generalmente el método del déficit acumulado máximo es el más utilizado para proyectos cuya estacionalidad es marcada, por otro lado el sistema de período de desfase es muy útil para aquellos proyectos que tienen períodos de recuperación cortos, sin embargo éste último manifiesta la deficiencia de no considerar los ingresos que se podrían percibir durante el periodo de recuperación, por ventas realizadas a otros consumidores, con lo que el monto así calculado tiende a sobre evaluarse, castigando el resultado de la evaluación.

Pese a lo expuesto previamente, para el caso de este proyecto resulta de mayor utilidad la aplicación del método de desfase.

13.3.3.3. Cálculo de la Inversión en capital de trabajo

El cálculo del capital de trabajo a través del método seleccionado se realiza empleando la siguiente fórmula: $ICT = \frac{CA}{365} n_d$

Dónde:

ICT: Inversión inicial en capital de trabajo.

CA: costo anual erogable proyectado para el primer año de operación.

n_d : número de días de desfase entre la ocurrencia de los egresos y la generación de ingresos.

Para calcular el período de desfase se tendrá en cuenta:

Tiempo de elaboración del producto: 60 días.

Tiempo de comercialización: 30 días.

Tiempo en que se hace efectivo el cobro: 30 días.

Entonces, $n_d = 120$ días.

El detalle del cálculo del costo anual de operación erogable se presenta en apartados posteriores, y su valor final es de USD 6.105.596,28.

Reemplazando estos valores en la fórmula de cálculo se determina la inversión en capital de trabajo alcanza un valor de USD 2.012.833,94.

13.3.3.3.1. Costos fijos

Los costos fijos son aquellos costos que la empresa debe pagar independientemente de su nivel de operación, es decir, produzca o no produzca, debe pagarlos. Es una erogación en la que la empresa debe incurrir obligatoriamente, y por eso su importancia en la estructura financiera. Costos fijos incluyen casi todos los pagos laborales, servicios públicos, seguros, alquileres, etc., los cuales serán descriptos y cuantificados en los posteriores apartados.

- Costos por depreciaciones y amortizaciones

Las definiciones de depreciación y amortización se refieren en ambos casos a la pérdida de valor económico que sufre un activo con el transcurrir del tiempo.

La diferencia entre ambos conceptos es que la depreciación hace referencia a la pérdida de valor en el caso de los activos tangibles, mientras que la amortización se refiere a bienes intangibles.

El porcentaje de depreciación/amortización depende del tipo de activo que se esté analizando y se encuentra establecido por ley para cada caso.

En la siguiente serie de tablas se presentan los costos en conceptos de amortizaciones y depreciaciones para los activos que componen la inversión de la empresa.

Tabla 13-8 Depreciaciones - Fuente: Elaboración propia

EDIFICIO E INSTALACIONES	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Producción m ²	4,00%	USD 27.025,00	USD 1.081,00	25	USD 10.810,00
Almacén de MMPP	4,00%	USD 57.570,00	USD 2.302,80	25	USD 23.028,00
Tratamiento de agua y MA	4,00%	USD 23.500,00	USD 940,00	25	USD 9.400,00
Almacén de PPF	4,00%	USD 3.610,00	USD 144,40	25	USD 1.444,00
Laboratorio de calidad	4,00%	USD 9.600,00	USD 384,00	25	USD 3.840,00
Estacionamiento	4,00%	USD 76.000,00	USD 3.040,00	25	USD 30.400,00
Instalación eléctrica	4,00%	USD 69.436,50	USD 2.777,46	25	USD 27.774,60
Tuberías	4,00%	USD 86,20	USD 3,45	25	USD 34,48
Comedor	4,00%	USD 8.400,00	USD 336,00	25	USD 3.360,00
Caminos km	4,00%	USD 4.000,00	USD 160,00	25	USD 1.600,00
SUBTOTAL		USD 279.227,70	USD 11.169,11		USD 111.691,08

MUEBLES Y ÚTILES	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Computadoras	33%	USD 2.855,00	USD 951,67	3	USD 2.855,00
Impresoras	33%	USD 566,00	USD 188,67	3	USD 566,00
Escritorios	33%	USD 300,00	USD 100,00	3	USD 300,00
Sillas	33%	USD 1.200,00	USD 400,00	3	USD 1.200,00
Mesas	33%	USD 252,00	USD 84,00	3	USD 252,00
Armarios	33%	USD 720,00	USD 240,00	3	USD 720,00
Aire acondicionado	33%	USD 1.050,00	USD 350,00	3	USD 1.050,00
Teléfonos	33%	USD 280,00	USD 93,33	3	USD 280,00
Imprevistos (5%)	33%	USD 361,15	USD 120,38	3	USD 361,15
SUBTOTAL		USD 7.584,15	USD 2.528,05		USD 7.584,15

MAQUINARIA Y EQUIPOS	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Tanque amoníaco T-01	10%	USD 19.000,00	USD 1.900,00	10	USD 19.000,00
Tanque propileno T-02	10%	USD 285.000,00	USD 28.500,00	10	USD 285.000,00
Tanque aire comprimido T-03	10%	USD 95.000,00	USD 9.500,00	10	USD 95.000,00
Tanque ácido sulfúrico T-04	10%	USD 13.300,00	USD 1.330,00	10	USD 13.300,00
Tanque mezclador M-01	10%	USD 95.000,00	USD 9.500,00	10	USD 95.000,00
Reactor R-01	10%	USD 19.000,00	USD 1.900,00	10	USD 19.000,00
Ciclón C-01	10%	USD 38.000,00	USD 3.800,00	10	USD 38.000,00
Intercambiador de calor ICT-01	10%	USD 376.200,00	USD 37.620,00	10	USD 376.200,00
Quench Q-01	10%	USD 5.700.000,00	USD 570.000,00	10	USD 5.700.000,00
Intercambiador de calor IDT-01	10%	USD 15.960,00	USD 1.596,00	10	USD 15.960,00
Torre de absorción TA-01	10%	USD 950.000,00	USD 95.000,00	10	USD 950.000,00
Stripper ST-01	10%	USD 1.520.000,00	USD 152.000,00	10	USD 1.520.000,00
Splitter SP-01	10%	USD 1.425.000,00	USD 142.500,00	10	USD 1.425.000,00
Torre de absorción TA-02	10%	USD 1.805.000,00	USD 180.500,00	10	USD 1.805.000,00
Torre de destilación TD-01	10%	USD 2.964.000,00	USD 296.400,00	10	USD 2.964.000,00
Torre de destilación TD-02	10%	USD 7.600.000,00	USD 760.000,00	10	USD 7.600.000,00
Torre de destilación TD-03	10%	USD 3.800.000,00	USD 380.000,00	10	USD 3.800.000,00
Tanque acrilonitrilo T-05	10%	USD 950,00	USD 95,00	10	USD 950,00
Agitador de hélice A-01	10%	USD 1.900,00	USD 190,00	10	USD 1.900,00
Tanque ácido cianhídrico T-06	10%	USD 1.254,00	USD 125,40	10	USD 1.254,00
Tanque acetonitrilo T-07	10%	USD 12.350,00	USD 1.235,00	10	USD 12.350,00
Tanque sulfato de amonio T-08	10%	USD 9.500,00	USD 950,00	10	USD 9.500,00
Instrumentación	10%	USD 760.000,00	USD 76.000,00	10	USD 760.000,00
Zorra hidráulica	10%	USD 250,00	USD 25,00	10	USD 250,00
Equipos de laboratorio	10%	USD 20.000,00	USD 2.000,00	10	USD 20.000,00
SUBTOTAL		USD 27.526.664,00	USD 2.752.666,40		USD 27.526.664,00

RODADOS	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Camioneta	10%	USD 8.333,33	USD 833,33	10	USD 8.333,33
SUBTOTAL		USD 8.333,33	USD 833,33		USD 8.333,33

Tabla 13-9 Amortizaciones en cargos diferidos - Fuente: Elaboración propia

CARGOS DIFERIDOS	Tasa de amortización anual	Inversión inicial	Amortización anual	Vida útil contable (años)	Amortización total
Planeación e integración del proyecto	50%	USD 175.587,61	USD 87.793,80	2	USD 175.587,61
Ingeniería del proyecto	50%	USD 200.680,59	USD 100.340,29	2	USD 200.680,59
Supervisión del proyecto	50%	USD 87.793,80	USD 43.896,90	2	USD 87.793,80
Administración del proyecto	50%	USD 292.646,01	USD 146.323,01	2	USD 292.646,01
Constitución de la empresa	50%	USD 1.666,70	USD 833,35	2	USD 1.666,70
Puesta en marcha	50%	USD 1.146.746,20	USD 573.373,10	2	USD 1.146.746,20
Patentes y licencias	50%	USD 1.500,00	USD 750,00	2	USD 1.500,00
SUBTOTAL		USD 1.906.620,91	USD 953.310,46		USD 1.906.620,91

El costo anual del total de amortizaciones y depreciaciones varía dependiendo el año que se analice en el horizonte de evaluación, debido a que dependiendo el concepto que se analice, varía la vida útil contable. En el primer año, este valor representa un total de USD 3012814,01.

- Costos fijos de mano de obra

En el Capítulo 7 “Estructura organizacional” se presentó un análisis del organigrama de la empresa. Partiendo de esta información se determina cuáles son las funciones que componen la mano de obra permanente.

Su definición se realiza planteando un escenario de parada de producción, y en este caso se analiza cuáles son las personas que deben seguir prestando función para que la planta pueda seguir funcionando.

En conclusión, la MO fija serán los trabajadores del sector administrativo junto con los gerentes y jefes del sector productivo. Para el cálculo del sueldo, se considera la categoría, un extra que incluye vacaciones, aguinaldo, etc., jubilación, obra social, ART, cuota sindical, etc. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 13-10:

Tabla 13-10: Costo fijo en mano de obra permanente - Fuente: Elaboración propia

Función	Puestos	Categoría	Sueldo Básico	Extra (0,6)	Sueldo bruto	Jubilación (0,11)
Gerente general	1	Fuera CCT	USD 2.248,00	USD 1.348,80	USD 3.596,80	USD 247,28
Gerente de operaciones	1	Fuera CCT	USD 2.000,00	USD 1.200,00	USD 3.200,00	USD 220,00
Jefe de mantenimiento	1	Fuera CCT	USD 1.370,00	USD 822,00	USD 2.192,00	USD 150,70
Jefe de control de calidad	1	Fuera CCT	USD 1.067,00	USD 640,20	USD 1.707,20	USD 117,37
Jefe de producción	1	Fuera CCT	USD 1.067,00	USD 640,20	USD 1.707,20	USD 117,37
Encargado de contabilidad	1	Fuera CCT	USD 952,00	USD 571,20	USD 1.523,20	USD 104,72
Gerente de economía y finanzas	1	Fuera CCT	USD 1.905,00	USD 1.143,00	USD 3.048,00	USD 209,55
Encargado de logística	1	Fuera CCT	USD 867,00	USD 520,20	USD 1.387,20	USD 95,37
Encargado de marketing	1	Fuera CCT	USD 952,00	USD 571,20	USD 1.523,20	USD 104,72

Obra social (0,03)	ART (0,01)	Cuota sindical (0,03)	Aporte personal (0,03)	Sueldo neto	Total anual empleados
USD 67,44	USD 22,48	USD 67,44	USD 67,44	USD 4.068,88	USD 48.826,56
USD 60,00	USD 20,00	USD 60,00	USD 60,00	USD 3.620,00	USD 43.440,00
USD 41,10	USD 13,70	USD 41,10	USD 41,10	USD 2.479,70	USD 29.756,40
USD 32,01	USD 10,67	USD 32,01	USD 32,01	USD 1.931,27	USD 23.175,24
USD 32,01	USD 10,67	USD 32,01	USD 32,01	USD 1.931,27	USD 23.175,24
USD 28,56	USD 9,52	USD 28,56	USD 28,56	USD 1.723,12	USD 20.677,44
USD 57,15	USD 19,05	USD 57,15	USD 57,15	USD 3.448,05	USD 41.376,60
USD 26,01	USD 8,67	USD 26,01	USD 26,01	USD 1.569,27	USD 18.831,24
USD 28,56	USD 9,52	USD 28,56	USD 28,56	USD 1.723,12	USD 20.677,44

Aportes patronales anuales (0,345)	Previsión por despidos anual (0,2)	Total anual
USD 16.845,16	USD 9.765,31	USD 75.437,04
USD 14.986,80	USD 8.688,00	USD 67.114,80
USD 10.265,96	USD 5.951,28	USD 45.973,64
USD 7.995,46	USD 4.635,05	USD 35.805,75
USD 7.995,46	USD 4.635,05	USD 35.805,75
USD 7.133,72	USD 4.135,49	USD 31.946,64
USD 14.274,93	USD 8.275,32	USD 63.926,85
USD 6.496,78	USD 3.766,25	USD 29.094,27
USD 7.133,72	USD 4.135,49	USD 31.946,64
TOTAL		USD 417.051,37

- Costos fijos de servicios y otros

En este apartado se incluyen aquellos costos fijos que no pueden ser incluidos en los ítems anteriores. Así se contabilizan por ejemplo costos de librería, agua y gas utilizados en el área de administración, baños y comedor, internet, teléfonos, etc.

Tabla 13-11: Costos fijos de servicios y otros - Fuente: Elaboración propia

Servicio	Costo anual
Gastos de librería y limpieza	USD 1.600,00
Teléfonos e internet	USD 3.000,00
Seguridad	USD 230.000,00
Limpieza	USD 20.000,00
Recursos Humanos	USD 160.000,00
Atención médica	USD 100.000,00
Comedor	USD 10.000,00
Gas natural m ³	USD 3.000,00
Agua	USD 164,14
TOTAL	USD 524.600,00

En la figura siguiente, se presenta un análisis de los diferentes valores de costos fijos obtenidos, para observar la influencia de cada ítem en el total.



Figura 13-1: Distribución de costos fijos - Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, la gran mayoría de costos fijos están relacionados con el costo debido a depreciaciones y amortizaciones de la inversión inicial. Sin embargo, el grado de influencia de este costo disminuye a medida que avanza el horizonte de evaluación.

13.3.3.3.2. Costos variables

Como su nombre lo indica, el costo variable hace referencia a los costos de producción que varían dependiendo del nivel de producción, aumentan si la producción aumenta.

La organización debe intentar que la mayor parte de sus costos sean variables, para disminuir al mínimo posible sus costos totales cuando se deba reducir la producción.

- Costos variables por materias primas e insumos

Tanto las materias primas como los insumos necesarios para la obtención de acrílonitrilo se han mencionado y cuantificado en el Capítulo 5 “Ingeniería de proceso”.

En la Tabla 13-12 se muestran los resultados de los costos variables debidos a materias primas e insumos. Estos se calculan multiplicando el costo unitario de cada factor por las cantidades necesarias.

Tabla 13-12: Costos variables de materia prima e insumos - Fuente: Elaboración propia

MMPP/Insumos	Cantidad	Consumo/t de AN	Costo unitario	Costo total
Propileno	4.576,40 t/a	0,91528	USD 800,00	USD 3.661.120,00
Amoníaco	1.918,54 t/a	0,3837078	USD 430,00	USD 824.971,77
Ácido sulfúrico	0,18 t/a	0,0000356	USD 545,00	USD 97,01
Aire comprimido	25.276,27 t/a	5,055254	USD 7,35	USD 185.780,58
Catalizador	0,33 t/a	0,000066912	USD 20.000,00	USD 6.691,20
TOTAL				USD 4.678.660,56

- Costos variables por mano de obra variable

Entran en esta clasificación todas aquellas funciones incluidas en el organigrama de la empresa y que no se hayan considerado anteriormente dentro de los costos fijos de mano de obra, estos son los operarios.

Tabla 13-13: Costos variables en mano de obra - Fuente: Elaboración propia

Función	Puestos	Categoría	Sueldo Básico	Extra (0,6)	Sueldo bruto	Jubilación (0,11)
Oficial Instrumentista	8	A3	USD 1.167,00	USD 700,20	USD 3.596,80	USD 247,28
Analista de calidad	5	A3	USD 1.167,00	USD 700,20	USD 3.200,00	USD 220,00
Encargado de reacción	5	A3	USD 1.167,00	USD 700,20	USD 2.192,00	USD 150,70
Encargado de purificación	8	A3	USD 1.167,00	USD 700,20	USD 1.707,20	USD 117,37
Encargado de tratamiento de agua y MA	5	A3	USD 1.167,00	USD 700,20	USD 1.707,20	USD 117,37

Obra social (0,03)	ART (0,01)	Cuota sindical (0,03)	Aporte personal (0,03)	Sueldo neto	Total anual empleados
USD 1.867,20	USD 128,37	USD 35,01	USD 11,67	USD 35,01	USD 35,01
USD 1.867,20	USD 128,37	USD 35,01	USD 11,67	USD 35,01	USD 35,01
USD 1.867,20	USD 128,37	USD 35,01	USD 11,67	USD 35,01	USD 35,01

USD 1.867,20	USD 128,37	USD 35,01	USD 11,67	USD 35,01	USD 35,01
USD 1.867,20	USD 128,37	USD 35,01	USD 11,67	USD 35,01	USD 35,01

Aportes patronales anuales (0,345)	Previsión por despidos anual (0,2)	Total anual
USD 69.958,38	USD 40.555,58	USD 313.291,89
USD 8.744,80	USD 5.069,45	USD 39.161,49
USD 8.744,80	USD 5.069,45	USD 39.161,49
USD 8.744,80	USD 5.069,45	USD 39.161,49
USD 8.744,80	USD 5.069,45	USD 39.161,49
TOTAL		USD 469.937,83

- Costos variables por servicios y otros

En este caso se procede de igual forma que en el caso de los costos fijos en este tipo de conceptos, incluyendo aquellos cuyo consumo depende de la cantidad de producto que se genere, como el agua y la electricidad para el proceso y algunos insumos necesarios para mantenimiento.

Tabla 13-14: Costos variables en servicios y otros - Fuente: Elaboración propia

SERVICIOS Y OTROS COSTOS	Cantidad anual	Consumo/t de AN	Precio unitario	Costo anual
Energía eléctrica kWh	75000	15	USD 0,09	USD 6.963,75
Tratamiento de efluentes y emisiones	2100	0,42	USD 1,00	USD 2.100,00
Agua t/a	7,7	0,00154	USD 426,33	USD 3.282,77
Insumos para mantenimiento				USD 3.000,00
TOTAL				USD 15.346,52

En la figura siguiente, se presenta un análisis de los diferentes valores de costos variables obtenidos, para observar la influencia de cada ítem en el total.

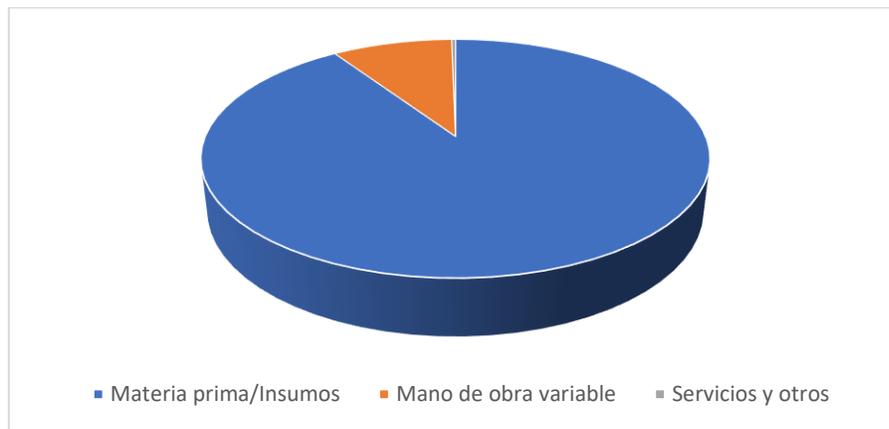


Figura 13-2: Distribución de costos variables - Fuente: Elaboración propia

En esta figura se observa claramente que el concepto que mayor influencia presenta sobre el costo variable del producto es el de materias primas e insumos. Es por ello que deben concentrarse los mayores esfuerzos en reducir estos costos, a través de convenios con los proveedores, o reducir el consumo mediante el aumento de la eficiencia del proceso, por ejemplo.

13.3.3.3.3. Costos totales

El costo total de la empresa está dado por la suma de los costos variables y los costos fijos calculados.

El costo total de producción para el plan de producción estudiado es de U\$D 9118410,29 por año.

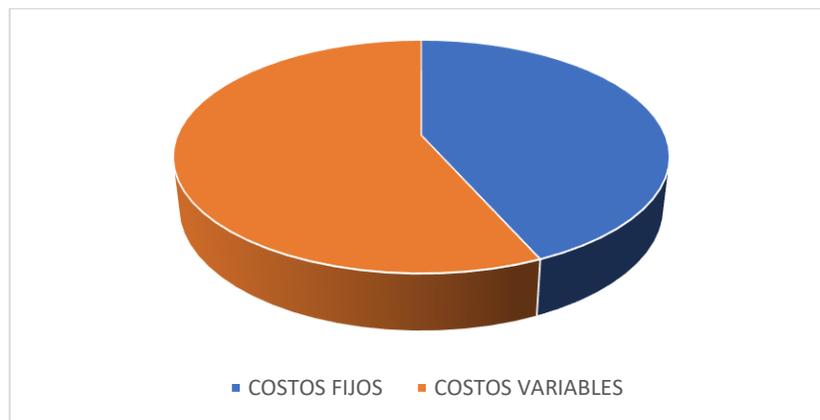


Figura 13-3: Distribución entre costos fijos y variables - Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13-3, se ve la relación entre los costos fijos y los variables, lo que sirve para reforzar la idea de que la empresa debe enfocarse principalmente en disminuir los costos de producción y así aumentar los niveles de rentabilidad.

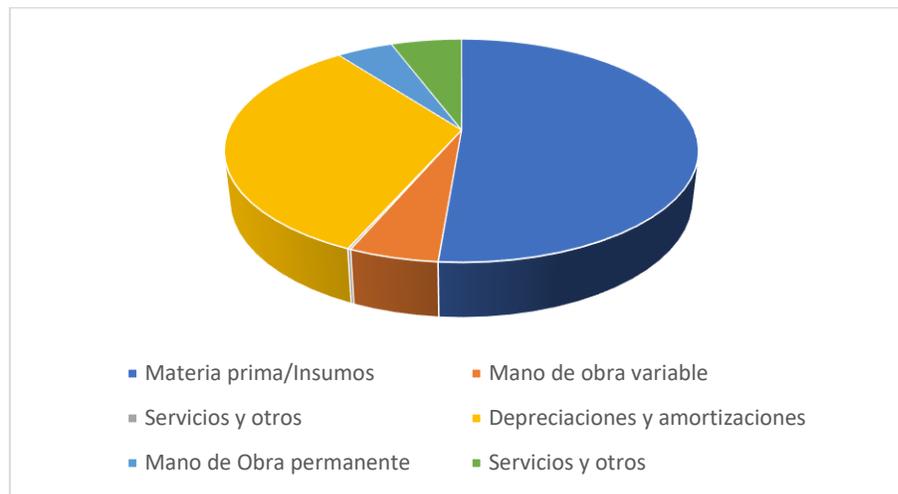


Figura 13-4: Distribución de los costos totales - Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13-4, se observa la distribución de los costos en los diferentes ítems, siendo las depreciaciones y amortizaciones, las que más incidencia tienen, seguida por la mano de obra permanente.

13.4. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio o punto muerto es una herramienta clave en la estrategia de una empresa, que es fundamental para ponderar el grado de solvencia de una empresa y su potencial de rentabilidad.

En concreto, determina cuál es el nivel de ventas preciso para poder cubrir el total de los costos de la empresa, puesto que predice el punto de ventas anuales que se debe conseguir para no tener pérdidas y comenzar a disfrutar de los beneficios.

El punto de equilibrio de una empresa se caracteriza por ser el punto justo en el que una empresa comienza a cubrir sus costos. Por ello, si incrementa sus ventas, ubicándose por encima del punto de equilibrio, empezará a percibir un beneficio positivo. Por el contrario, si las ventas se sitúan por debajo de este punto de equilibrio se hablaría de pérdidas.

Partiendo de su definición se puede establecer la fórmula de cálculo, es decir, se igualan los ingresos por venta de productos con la suma de los costos fijos y variables. Realizando los despejes necesarios se llega a la ecuación de cálculo del punto de equilibrio que se presenta a continuación:

$$Q_e = \frac{CF}{P_v - CV_U} = \frac{USD\ 3954465,38}{1771 \frac{USD}{t} - 1032,79 \frac{USD}{t}} = 5356,83\ t$$

Dónde:

Q_e : cantidad de producto que determina el punto de equilibrio

CF: costos fijos totales

P_v : precio de venta del producto

CV_U : costo variable unitario

13.4.1. Costo variable unitario

El costo variable unitario es el resultado de la relación entre el total de costos variables en los que incurre la organización para llevar a cabo un determinado plan de producción y la cantidad de unidades que incluye dicho plan de producción.

$$CV_U = \frac{CVT}{Q} = \frac{\text{USD } 5163944,91}{5000 \text{ t}} = \mathbf{1032,79 \frac{\text{USD}}{\text{t}}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en el análisis de costos en esta ecuación llegamos a que la cantidad necesaria para que la empresa no tenga pérdidas ni ganancias es de t.

Tabla 13-15: Punto de equilibrio - Fuente: Elaboración propia

Cantidad producida (t)	Ingreso por ventas	Costo fijo total	Costo variable	Costo total	Resultado
0	USD 0,00	USD 3.954.465,38	USD 0,00	USD 3.954.465,38	-USD 3.954.465,38
500	USD 885.500,00	USD 3.954.465,38	USD 516.394,49	USD 4.470.859,87	-USD 3.585.359,87
1000	USD 1.771.000,00	USD 3.954.465,38	USD 1.032.788,98	USD 4.987.254,36	-USD 3.216.254,36
1500	USD 2.656.500,00	USD 3.954.465,38	USD 1.549.183,47	USD 5.503.648,85	-USD 2.847.148,85
2000	USD 3.542.000,00	USD 3.954.465,38	USD 2.065.577,96	USD 6.020.043,35	-USD 2.478.043,35
2500	USD 4.427.500,00	USD 3.954.465,38	USD 2.581.972,46	USD 6.536.437,84	-USD 2.108.937,84
3000	USD 5.313.000,00	USD 3.954.465,38	USD 3.098.366,95	USD 7.052.832,33	-USD 1.739.832,33
3500	USD 6.198.500,00	USD 3.954.465,38	USD 3.614.761,44	USD 7.569.226,82	-USD 1.370.726,82
4000	USD 7.084.000,00	USD 3.954.465,38	USD 4.131.155,93	USD 8.085.621,31	-USD 1.001.621,31
4500	USD 7.969.500,00	USD 3.954.465,38	USD 4.647.550,42	USD 8.602.015,80	-USD 632.515,80
5000	USD 8.855.000,00	USD 3.954.465,38	USD 5.163.944,91	USD 9.118.410,29	-USD 263.410,29
5356,82	USD 9.486.932,63	USD 3.954.465,38	USD 5.532.467,24	USD 9.486.932,63	USD 0,00
5500	USD 9.740.500,00	USD 3.954.465,38	USD 5.680.339,40	USD 9.634.804,78	USD 105.695,22
6000	USD 10.626.000,00	USD 3.954.465,38	USD 6.196.733,89	USD 10.151.199,27	USD 474.800,73
6500	USD 11.511.500,00	USD 3.954.465,38	USD 6.713.128,38	USD 10.667.593,77	USD 843.906,23
7000	USD 12.397.000,00	USD 3.954.465,38	USD 7.229.522,88	USD 11.183.988,26	USD 1.213.011,74
7500	USD 13.282.500,00	USD 3.954.465,38	USD 7.745.917,37	USD 11.700.382,75	USD 1.582.117,25
8000	USD 14.168.000,00	USD 3.954.465,38	USD 8.262.311,86	USD 12.216.777,24	USD 1.951.222,76
8500	USD 15.053.500,00	USD 3.954.465,38	USD 8.778.706,35	USD 12.733.171,73	USD 2.320.328,27

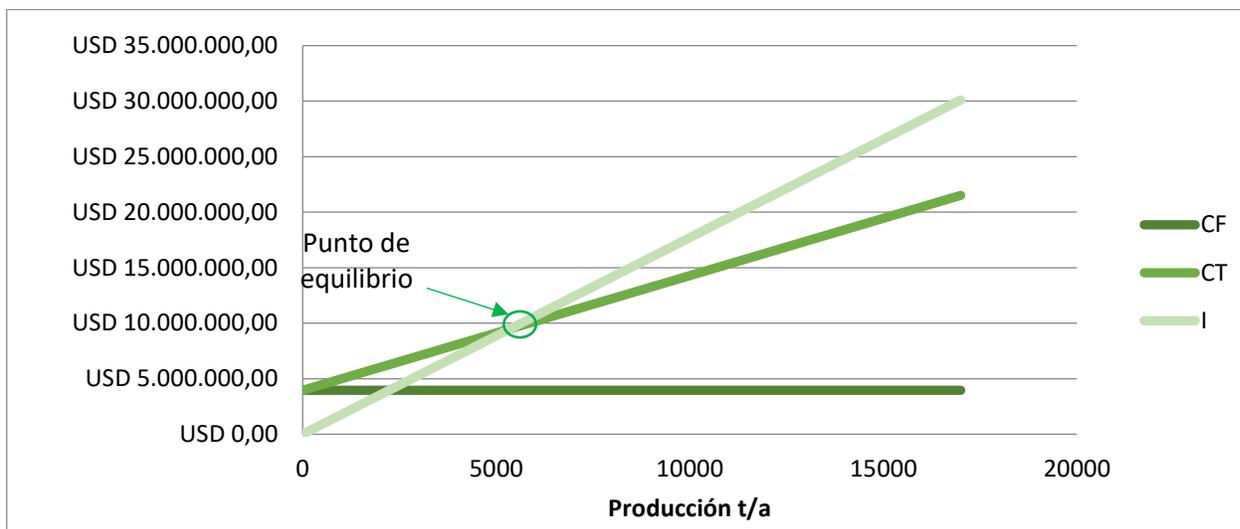


Figura 13-5: Punto de equilibrio - Fuente: Elaboración propia

13.5. Beneficios del proyecto

13.5.1. Precio de venta

El precio de venta de un producto va a estar determinado por la suma de los costos totales más el margen de utilidad de la organización. De aquí se observa que para lograr una mayor rentabilidad se debe lograr una disminución en los costos.

En el caso del AN el precio de venta se considerará como un promedio de los últimos años del costo de importación según Anuario IPA del año 2018, U\$D 1771.

13.5.2. Ingresos totales

Los ingresos totales anuales van a ser el resultado del producto entre la cantidad de acrílonitrilo vendida y su precio de venta.

Tabla 13-16: Ingresos Totales por ventas - Fuente: Elaboración propia

INGRESOS					
Año	1	2	3	4	5
Producción (t)	5000	5000	5000	5000	5000
Precio (U\$D/t)	USD 1.771,00				
Ingresos	USD 8.855.000,00				

INGRESOS					
Año	6	7	8	9	10
Producción (t)	5000	5000	5000	5000	5000
Precio (U\$/t)	USD 1.771,00				
Ingresos	USD 8.855.000,00				

13.5.3. Contribución marginal

Se llama contribución marginal a la diferencia entre el precio de venta y el costo variable unitario, muestra como contribuyen los precios de los productos o servicios a cubrir los costos fijos y a generar utilidad, que es la finalidad de toda empresa.

El concepto de contribución marginal es muy importante en las decisiones de mantener, retirar o incorporar nuevos productos de la empresa, por la incidencia que pueden tener los mismos en la absorción de los costos fijos y la capacidad de generar utilidades.

También es importante relacionar la contribución marginal de cada artículo con las cantidades vendidas, porque una empresa puede tener productos de alta rotación con baja contribución marginal pero la ganancia total que generan, supera ampliamente la de otros artículos que tienen mayor contribución marginal pero menor venta y menor ganancia total.

Tabla 13-17 Contribución Marginal - Fuente: Elaboración propia

CONTRIBUCIÓN MARGINAL	
Ingreso total anual (U\$/año)	USD 8.855.000,00
Costo variable anual (U\$/año)	USD 5.163.944,91
Contribución marginal (U\$/año)	USD 3.691.055,09
Unidades producidas (t/año)	5000
Contribución marginal (U\$/t)	USD 738,21
Costo fijo anual unitario (U\$/t)	USD 790,89
Utilidad (U\$/t)	-USD 52,68

13.5.4. Utilidad anual

La utilidad anual de la empresa está dada por la diferencia entre la contribución marginal y los costos fijos anuales.

No se puede hablar de ganancias porque en este caso aún no se ha deducido el porcentaje que debe emplearse para el pago de los correspondientes impuestos y otros costos. Este análisis se hará posteriormente cuando se plantee el flujo de caja de la empresa.

Tabla 13-18: Utilidad Anual - Fuente: Elaboración propia

UTILIDAD ANUAL	
Contribución marginal	USD 3.691.055,09
Costos fijos anuales	USD 3.954.465,38
Utilidad anual	-USD 263.410,29

13.5.5. Flujo de caja

El flujo de caja o flujo de efectivo, es la diferencia entre ingresos y egresos de una empresa o persona que vuelve a ser utilizado en su operación o proceso productivo; esto representa la disponibilidad neta de dinero en efectivo para cubrir los costos y gastos en que incurre la empresa o persona, lo que le permite obtener un margen de seguridad para operar durante el horizonte del proyecto, siempre y cuando dicho flujo sea positivo.

En este caso se presenta el flujo de caja analizado para los 10 años que representan el horizonte de evaluación del proyecto.

Tabla 13-19: Flujo de Caja - Fuente: Elaboración propia

FLUJO DE CAJA						
Horizonte temporal	0	1	2	3	4	5
Ingresos por ventas (+)	USD 0,00	USD 8.855.000,00				
Ingresos Brutos (-4%)	USD 0,00	USD 354.200,00				
Costos Fijos Erogables (-)	USD 0,00	USD 941.651,37				
Costos Variables (-)		USD 5.163.944,91				
Amortizaciones y depreciaciones (-)	USD 0,00	USD 3.012.814,01	USD 3.012.814,01	USD 2.766.363,56	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41
Utilidad antes de IG	USD 0,00	-USD 617.610,29	-USD 617.610,29	-USD 371.159,84	-USD 363.575,69	-USD 363.575,69
Impuesto a las ganancias (-35%)	USD 0,00	-USD 216.163,60	-USD 216.163,60	-USD 129.905,94	-USD 127.251,49	-USD 127.251,49

Utilidad neta	USD 0,00	-USD 401.446,69	-USD 401.446,69	-USD 241.253,89	-USD 236.324,20	-USD 236.324,20
Amortizaciones y depreciaciones (+)	USD 0,00	USD 3.012.814,01	USD 3.012.814,01	USD 2.766.363,56	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41
Inversión inicial (-)	USD 30.710.923,22					
Inversión de capital de trabajo (-)(+)	-USD 2.012.833,94					
Valor residual						
Flujo de caja	-USD 32.723.757,16	USD 2.611.367,32	USD 2.611.367,32	USD 2.525.109,66	USD 2.522.455,21	USD 2.522.455,21

FLUJO DE CAJA					
Horizonte temporal	6	7	8	9	10
Ingresos por ventas (+)	USD 8.855.000,00	USD 8.855.000,00	USD 8.855.000,00	USD 8.855.000,00	USD 8.855.000,00
Ingresos Brutos (-4%)	USD 354.200,00	USD 354.200,00	USD 354.200,00	USD 354.200,00	USD 354.200,00
Costos Fijos Erogables (-)	USD 941.651,37	USD 941.651,37	USD 941.651,37	USD 941.651,37	USD 941.651,37
Costos Variables (-)	USD 5.163.944,91	USD 5.163.944,91	USD 5.163.944,91	USD 5.163.944,91	USD 5.163.944,91
Amortizaciones y depreciaciones (-)	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41
Utilidad antes de IG	-USD 363.575,69	-USD 363.575,69	-USD 363.575,69	-USD 363.575,69	-USD 363.575,69
Impuesto a las ganancias (-35%)	-USD 127.251,49	-USD 127.251,49	-USD 127.251,49	-USD 127.251,49	-USD 127.251,49
Utilidad neta	-USD 236.324,20	-USD 236.324,20	-USD 236.324,20	-USD 236.324,20	-USD 236.324,20
Amortizaciones y depreciaciones (+)	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41	USD 2.758.779,41
Inversión inicial (-)					
Inversión de capital de trabajo (-)(+)					USD 2.012.833,94
Valor residual					USD 167.536,62
Flujo de caja	USD 2.522.455,21	USD 2.522.455,21	USD 2.522.455,21	USD 2.522.455,21	USD 4.702.825,77

13.5.5.1. Valor actual neto

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable.

Es muy útil para definir la mejor opción dentro de un mismo proyecto, considerando distintas proyecciones de flujos de ingresos y egresos. Igualmente, este indicador permite, al momento de vender un proyecto o negocio, determinar si el precio ofrecido está por encima o por debajo de lo que se ganaría en caso de no venderlo.

Una manera de establecer el VAN es mediante la siguiente fórmula:

$$\text{VAN} = \text{Beneficio neto actualizado (BNA)} - \text{Inversión inicial}$$

El BNA es el valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado, que ha sido actualizado mediante una tasa de descuento (r). Esta última es la tasa de rendimiento o rentabilidad mínima que se espera obtener, y fue calculada en el inciso 13.2 Evaluación económica de este capítulo.

- $\text{VAN} < 0$ el proyecto no es rentable. Cuando la inversión es mayor que el BNA significa que no se satisface la r .
- $\text{VAN} = 0$ el proyecto es rentable, porque ya está incorporado ganancia de la r . Cuando el BNA es igual a la inversión se ha cumplido con la r .
- $\text{VAN} > 0$ el proyecto es rentable. Cuando el BNA es mayor que la se ha cumplido con dicha tasa y, además, se ha generado una ganancia o beneficio adicional.

En este proyecto, el VAN es -USD 21400430,00, lo que indica que el proceso presentado no posee una factibilidad económica.

13.5.5.2. Tasa interna de retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) 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.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero para un proyecto de inversión dado.

La TIR nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, esta expresada en porcentaje. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático, en este caso utilizaremos el último recurso.

La TIR puede ser utilizada como un parámetro indicador de la rentabilidad de un proyecto, esto es, a mayor TIR, mayor rentabilidad; además se usa como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para llevar a cabo esto, la TIR se compara con la tasa de descuento. Si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera a la tasa de descuento, se acepta la inversión; en caso contrario se rechaza.



La TIR calculada en este caso es de -2,83%, inferior a la tasa de descuento del proyecto, lo que confirma la no factibilidad del proyecto.

13.6. Conclusión

Luego de realizar la evaluación económica del proyecto propuesto se determinó que, acorde a la situación económica-financiera pronosticada de Argentina y el mundo, manteniéndose en el horizonte temporal estipulado de 10 años, el proyecto no sería rentable. Esto se puede argumentar desde un punto de vista contable, ya que, en el escenario planteado, los datos arrojados por el proyecto son negativos.

En el período de evaluación de 10 años: el VAN es de -U\$D 21400430,00, y la TIR es de -2,83%.

14. ANÁLISIS DE RIESGOS

14.1. Introducción

En este capítulo se busca determinar y analizar los riesgos presentes en una planta de acrilonitrilo. Se califica la importancia relativa de cada uno de ellos, realizando una estimación de la probabilidad de ocurrencia, y así se obtiene una idea de las distintas magnitudes de influencia de estos sobre el proyecto.

Este análisis es una herramienta fundamental para la determinación de variables a sensibilizar en eventuales simulaciones del flujo de caja del proyecto y de la rentabilidad obtenida.

14.2. Riesgos identificados

Se buscan y analizan las principales variables que tengan influencia y significancia para este tipo de industrias, ya que, para definir todos los riesgos, es necesario un análisis que excede los límites de un estudio de prefactibilidad.

14.2.1. Aspectos tecnológicos

14.2.1.1. Baja de productividad

El plan de producción de la planta fue definido teniendo en cuenta la demanda de AN y la capacidad actual de las plantas proveedoras de materia prima y sus proyecciones de ampliación. Sin embargo, pueden producirse variaciones en sus funcionalidades que afecten de manera directa la producción de esta planta.

El propileno, una de las materias primas, depende de la producción de petróleo que puede sufrir variaciones de manera permanente. En este sentido, debido al crecimiento que se proyecta en Argentina considerando la explotación de Vaca Muerta, se generan buenas expectativas en cuanto a la disponibilidad de propileno para esta empresa.

Otro factor que podría afectar sería una baja en la cantidad demandada por el mercado, pero no es un escenario probable debido a la tendencia creciente en la demanda de plásticos en los últimos años.

Si se produjese cualquiera de las dos situaciones planteadas, la consecuencia sería una disminución en la cantidad de acrilonitrilo producido por la planta.

14.2.1.2. Falta de insumos y/o servicios

Para poder asegurar la cantidad y calidad de producto deseada, es fundamental que se disponga de los insumos y servicios necesarios.

En este proceso, el insumo de mayor relevancia es el catalizador y el ácido sulfúrico es otro de menor importancia, pero esto no se plantea como un riesgo debido a que se realiza un contrato directo con la empresa proveedora para asegurar el abastecimiento del mismo.

Los servicios fundamentales son la disponibilidad de gas, agua y energía eléctrica, los cuales se utilizan tanto para la producción como para la puesta en condiciones de la planta. Con respecto a este factor se posee la ventaja de estar instalados en un parque industrial lo que asegura estabilidad en la disponibilidad de estos servicios básicos.

Teniendo en cuenta estos riesgos, se establece un plan de contingencia compuesto por las siguientes medidas:

- El stock de insumos se mantendría maximizado, teniendo en cuenta posibilidades de almacenamiento y el nivel de stock que sea económicamente viable.
- En los contratos realizados con los proveedores de insumos se establecerían cláusulas que aseguren disponibilidad.
- Se evaluarían proveedores alternativos en caso de faltante de alguno de los insumos necesarios.
- Se dispondría de alternativas para la obtención de servicios, por ejemplo, la utilización de generadores de energía eléctrica.

14.2.1.3. Falla de maquinaria

Para ser eficaces y eficientes, garantizando una alta calidad del producto es de vital importancia que todos los equipos involucrados en el proceso productivo funcionen a la perfección, es por eso que se debe hacer un mantenimiento predictivo, preventivo, para reducir el correctivo.

En este caso en el plan de contingencia se establecen las siguientes medidas:

- Fijar Programas de Mantenimiento Predictivo y Preventivo, a fin de evitar roturas o fallas en equipos, que podrían derivar en una detención de la producción por un tiempo considerable, no respetando de este modo los estándares de calidad propuesto, ni los tiempos preestablecidos.
- Brindar capacitaciones al personal para que realice un mantenimiento correctivo eficiente, que reduciría el tiempo muerto o improductivo.

La siguiente tabla indica las necesidades de mantenimiento para distintos elementos que pueden componer un equipo del proceso.

Tabla 14-1: Mantenimiento para distintos elementos - Fuente: Elaboración propia

UNIDAD	ELEMENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA EN HORAS					
			24	160	600	2500	4800	
SISTEMA MOTRIZ	Motores	Revisión del amperaje	X					
		Revisión de la temperatura exterior	X					
		Revisión interna y limpieza			X			
		Escuchar ruidos y analizar vibraciones anormales	X					
	Poleas	Alineación		X				
	Conectores y cables	Revisión	X					
	Cajas reductoras	Desarmar y revisar					X	
		Cambio de empaques y retenedores					X	
		Cambio de rodamientos					X	
		Escuchar ruidos y analizar vibraciones	X					
		Nivel y fugas de lubricante	X					
		Reapretar los tornillos				X		
		Cambio de lubricante y limpieza interna				X		
		Temperatura de trabajo	X					
SISTEMA ELÉCTRICO	Panel de control	Limpieza externa	X					
		Limpieza interna		X				
		Revisión interna: cables, contactores y pirómetros		X				
	Resistencias	Revisar su estado	X					
		Limpieza		X				
	Cables	Revisar todo el cableado			X			
	Termocuplas	Revisar su estado	X					
	BOMBAS	Motor	Cambio de aceite		X			

14.2.2. Aspectos económicos

14.2.2.1. Aumento del precio de las materias primas

La incidencia de los costos de las materias primas en los costos de producción, de acuerdo a un aumento significativo o no, podrían provocar una modificación en la estructura de los costos, la que influiría negativamente en el flujo de caja del proyecto.

Se fija un plan de contingencias que incluye las siguientes medidas:

- Buscar y contactar a varios proveedores de materias primas.
- Fijar acuerdos comerciales a largo plazo con los mejores proveedores de materias primas.

14.2.2.2. Baja en el precio del producto

Una disminución en el precio de venta puede ser crítico para la factibilidad económica del proyecto por lo cual es un factor fundamental a tener en cuenta.

Teniendo en cuenta la tendencia producida en los últimos años, el precio de venta que se estableció en el Capítulo 2 “Estudio de mercado”, en base al precio de importación ha sido conservador, ya que los costos de importación han tenido valores mayores al establecido como precio de venta. De esta manera, se disminuyen las probabilidades de que el precio baje por debajo del umbral planteado para la empresa.

Otro aspecto que aminora las posibilidades de un descenso del precio del acrilonitrilo es propio de las características de la industria petroquímica. Esto es porque la demanda de los productos plásticos sufre una creciente demanda, y la instalación de plantas de producción o la expansión de las existentes, son decisiones que llevan mucho tiempo de ejecución. Es por esto que siempre hay un sector de demanda insatisfecha, tanto a nivel nacional como internacional, lo que mantiene el precio en alza.

En caso de que se produjese una baja en el precio de venta se establece una serie de medidas que componen el plan de contingencia que son las siguientes:

- Revisar los costos de materias primas.
- Reestructurar el precio de venta.
- Determinar el punto mínimo en el que el proyecto sigue siendo rentable.

14.2.3. Siniestros e imprevistos

14.2.3.1. Incendios y explosiones

En esta planta el principal riesgo de incendios y/o explosiones se encuentra en la zona de almacenamiento de materias primas inflamables y productos. Es por ello que el almacenamiento de estos productos se realiza en zonas especiales y en tanques con todas las medidas de seguridad para prevención de este tipo de siniestros.

Considerando esto, se puede concluir que el riesgo de que se produzca algún tipo de incendio es bajo. Sin embargo, si se produce un accidente de este tipo el efecto que puede producir en la planta es altamente negativo, generando daños en la planta, en el personal, entre otros.

Teniendo en cuenta el riesgo existente, se traza el siguiente plan de contingencias:

- Realizar continuas capacitaciones del personal para que, en caso de un siniestro, sepan cómo actuar.
- Disponer de buenas y correctas instalaciones de almacenes o depósitos de inflamables.
- Realizar mantenimiento de las condiciones del sistema de alarmas y lucha contra incendios.

- Disponer de zonas debidamente indicadas en la planta para la evacuación del personal en caso de un accidente
- Capacitar en conductas operativas acordes a los lineamientos de las normas de seguridad e higiene.
- Colocar toda la cartelería correspondiente en las zonas de peligro para evitar confusiones y medidas de negligencia por parte del personal.

14.2.3.2. Accidentes de trabajo

Se deberá tener especial precaución y tomar todos los recaudos necesarios para evitar cualquier tipo de accidente laboral. Esto permitiría disminuir los riesgos existentes, teniendo en cuenta los diversos aspectos constructivos, realizando una correcta elección de la tecnología, entre otros.

Considerando estas medidas, las posibilidades de que se presente algún tipo de accidente laboral, sin embargo, es de un impacto importante debido a que afecta al personal de la planta que es fundamental para el correcto funcionamiento del proceso.

El plan de contingencias diagramado propone las siguientes medidas:

- Adoptar todas las normas de higiene y seguridad adaptables a este tipo de industrias.
- Capacitar periódicamente acerca de estas normas.
- Contar con los seguros pertinentes que contemplen la cobertura de los accidentes laborales.
- Prever elementos de seguridad personal y promover su uso, señalizando las áreas donde se requiera.

14.3. Resumen

A modo de resumen se presenta un cuadro donde se detalla la importancia, probabilidad y magnitud de cada uno de los riesgos que se han analizado en este capítulo.

Tabla 14-2: Resumen análisis de riesgos - Fuente: Elaboración propia

Aspectos	Riesgo	Importancia	Probabilidad	Magnitud	Mitigación
Tecnológicos	Falta de MMPP e II	Alta	Baja	Alta	Acuerdos con los proveedores – Aumento de stock
	Falla de la maquinaria	Alta	Baja	Media	Plan de mantenimiento Preventivo
	Falta de servicios	Alta	Baja	Alta	Fuentes alternativas – Almacenamiento de gas
Económicos	Aumento de precios de MMPP	Media	Baja	Media	Acuerdos comerciales a largo plazo
	Baja de ventas	Alta	Baja	Alta	Modificación del precio de venta
	Disminución de precio de venta	Alta	Baja	Media	Reestructuración de costos

Siniestros e imprevistos	Incendios y explosiones	Alta	Baja	Alta	Sistemas hidrantes y de extintores
	Accidentes de trabajo	Alta	Baja	Media	Capacitación – Elementos de protección personal

14.4. Conclusión

En este capítulo se analizaron cualitativamente los distintos riesgos que se pueden presentar en el funcionamiento de una planta de producción de acrilonitrilo. Para cada uno de estos riesgos observados se definió el plan de contingencias a ejecutar.

Los aspectos económicos son fundamentales en este caso, considerando que se está trazando un análisis de prefactibilidad. Y en algunos casos una variación en estos factores puede llevar a la viabilidad o no del proyecto. Es por esto que se analizará en mayor profundidad en el Capítulo 15 “Análisis de sensibilidad”, se hará un análisis cuantitativo de algunos de estos factores.

15. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

15.1. Introducción

El objetivo que persigue este capítulo es analizar diferentes escenarios posibles y evaluar cómo responde el proyecto frente a éstos.

En el Capítulo 13 “Evaluación económica”, se plantea una situación estática y estable. Al sensibilizar ciertas variables, se puede ver la respuesta del proyecto a las variaciones y verificar en qué condiciones el proyecto seguirá siendo rentable.

Para llevar a cabo el análisis se utiliza el modelo Unidimensional de la sensibilización del VAN, en el cual se modifica únicamente un parámetro por vez. El principio fundamental de este modelo define a cada elemento del flujo de caja como el de más probable ocurrencia. Luego la sensibilización de una variable siempre se hará sobre la evaluación preliminar.

En este caso, como se puede deducir, se plantea un cambio de escenario de carácter económico. Sin embargo, se pueden sensibilizar variables tales como localización, tamaño, etc. Este tipo de análisis no se lleva a cabo en este estudio de prefactibilidad por su dificultad de aplicación y porque los resultados que se podrían obtener exceden los objetivos de este proyecto.

15.2. Parámetro a sensibilizar

La elección de los parámetros a sensibilizar resulta fundamental para el éxito de este análisis. Se buscan aquellos parámetros que tengan un significativo impacto en la viabilidad del proyecto, por sobre el rango esperado de variación.

Según lo analizado en la estructura de costos del proyecto, se observa que la variable crítica es el precio de venta del acrílonitrilo.

15.3. Sensibilización frente al precio de venta del AN

Respecto a la cuantificación de la sensibilidad del proyecto referido al precio de venta del producto final, se plantean distintos escenarios con precios superiores al planteado en la evaluación económica, analizando cuánto debe aumentarse para obtener la rentabilidad. Los resultados se presentan en la Tabla 15-1.

Tabla 15-1: Sensibilidad del proyecto al precio de venta del AN - Fuente: Elaboración propia

Precio de venta			
Precio de venta (USD/t)	Variación (%)	VAN (USD)	TIR (%)
1771	0	-USD 21.400.430,00	-2,83%
2213,75	25	-USD 15.478.844,25	4,34%
2656,5	50	-USD 9.557.258,50	10,52%
3099,25	75	-USD 3.635.672,75	16,11%

3371,08	90,35	USD 66,53	19,35%
3542	100	USD 2.285.913,00	21,33%
3984,75	125	USD 8.207.498,75	26,30%

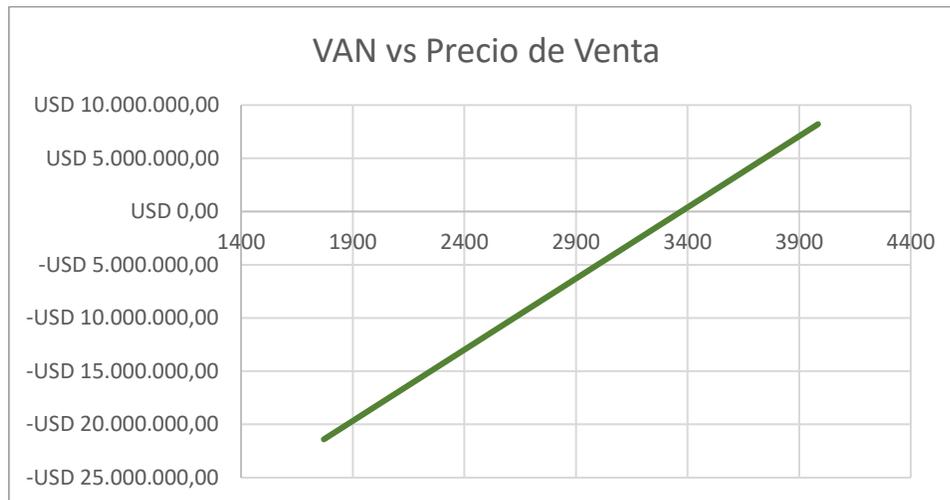


Figura 15-1: Variación del VAN con el precio de venta del AN - Fuente: Elaboración propia

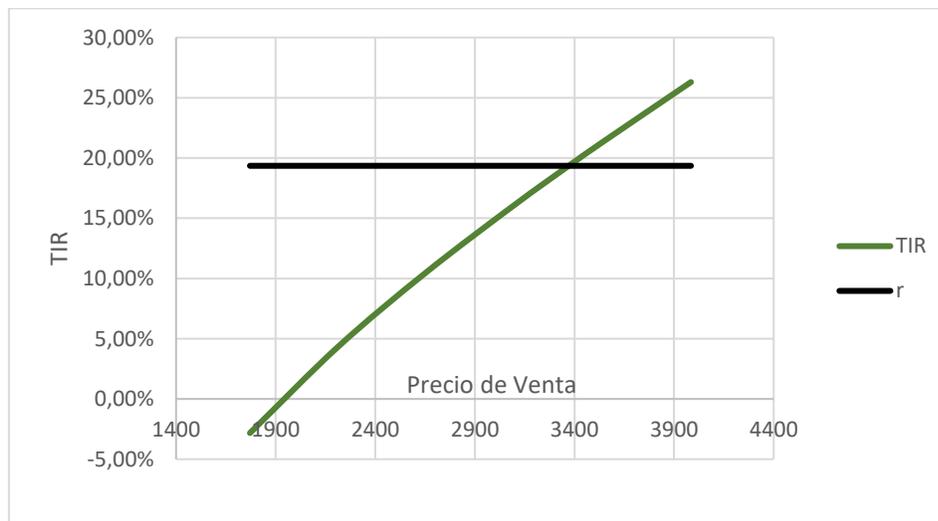


Figura 15-2: Variación de la TIR con el precio de venta del AN - Fuente: Elaboración propia

Analizando la tabla y los gráficos anteriores puede concluirse que el proyecto presenta una sensibilidad del 90%, lo cual representa el valor al que se debe aumentar el precio del AN para comenzar a obtener utilidades. Esto puede analizarse dado que un aumento del precio de venta por encima de 3771,08 dólares por tonelada, genera un VAN igual a cero y la TIR asciende por encima de la tasa de descuento del proyecto.

16. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://econojournal.com.ar/>
- [2] <https://www.iprofesional.com/>
- [3] Anuario del IPA año 2018
- [4] <http://www.ptq.pemex.com>
- [5] <https://www.atsdr.cdc.gov/>
- [6] <https://ihsmarkit.com/>
- [7] <https://www.icis.com/>
- [8] <http://www.yarnsandfibers.com/>
- [9] <https://faic.org/>
- [10] <https://www.businesswire.com/>
- [11] <https://www.technavio.com/>
- [12] <https://www.revistapetroquimica.com/>
- [13] Anuario del APLA año 2014, 2018 y 2019
- [14] <https://www.gbreports.com/>
- [15] Informe Market Watch
- [16] Informe Global Info Research
- [17] <https://www.lifeder.com/>
- [18] <https://www.economia.gob.ar/>
- [19] <https://www.ssecoconsulting.com/>
- [20] <http://www.energy.gov.tt/>
- [21] <https://www.amoniaco.org/>
- [22] <https://www.revistapetroquimica.com/>
- [23] <http://www.energy.gov.tt/>
- [24] Bibliografía: Preparación y Evaluación de Proyectos – Nassig Sapag Chain, Reinaldo Sapag Chain
- [25] <http://www.encampana.com/>
- [26] <https://puertobahiablanca.com>
- [27] <http://www.pliz.com.ar/>
- [28] <https://www.quiminet.com/>
- [29] <http://www.ijasrp.stringsjournal.com/>
- [30] <http://tekim.undip.ac.id/>
- [31] <https://es.khanacademy.org/>
- [32] Eduardo Cao; Transferencia de calor e ingeniería de procesos, 7 ed. - 2007
- [33] <https://steemit.com/spanish/>
- [34] McCabe Smith Harriott; Operaciones Unitarias en Ingeniería química, 7 ed. - 2007
- [35] <https://www.crecenegocios.com/>
- [36] <http://www.festiqypra.com.ar/>
- [37] <http://www.festiqypra.com.ar/>
- [38] <https://www.argentina.gob.ar/>
- [39] Constitución Nacional Argentina
- [40] Ley 24 354/94
- [41] Ley 25 675/02 (Ley general de ambiente)
- [42] Ley 25 612/02 (Gestión integral de residuos industriales)
- [43] Ley 25 688



Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria
Producción de Acrilonitrilo



-
- [44]Ley 20 284 (Ley de contaminación atmosférica)
 - [45]Ley 24 051/91(Residuos peligrosos)
 - [46]Ley 19 857 decreto 351: Ley de higiene y seguridad laboral
 - [47]Legislaciones provinciales
 - [48]Normas ISO
 - [49]Normas IRAM
 - [50]<http://www.anmat.gov.ar>
 - [51]<http://www.cpibb.com/>
 - [52]<https://www.bahia.gob.ar/ciudad/>
 - [53]www.creebba.org.ar
 - [54]Vicente Conesa Fernández – Vítora (1997, Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental)
 - [55]<https://www.insst.es> (hojas de seguridad)
 - [56]<http://people.stern.nyu.edu/adamodar/>