

# PROYECTO FINAL: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO

---

MARIN, FRANCISCO JOSÉ

FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



# “Producción de Ácido Nítrico”

**Autor:** Marin, Francisco José

**Carrera:** Ingeniería Química con orientación en Petroquímica

**Tutor:** Ing. Martínez Silvana

**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**

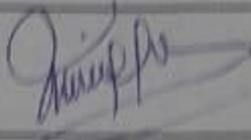
**2024**

## Producción de Ácido Nítrico

Autor/a: Marin, Francisco José

Título al que se aspira: Ingeniero Químico

Trabajo aprobado por:

Presidente: Maggioni, Ricardo		Fecha: 31-05-24
Vocal: Di Santo, Rogelio		Fecha: 31-05-24
Director/a: Martinez Silvana		Fecha: 31-05-24

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA

San Rafael, Mendoza, 2025



# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	I
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI
1 - INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 - Descripción del producto .....	1
1.2 - Propiedades físicas .....	2
1.3 - Propiedades químicas .....	2
2 - ESTUDIO DE MERCADO .....	4
2.1 - Introducción .....	4
2.2 - Productos sustitutos .....	4
2.3 - Productos complementarios .....	4
2.4 - Producción de ácido nítrico a nivel mundial .....	4
2.5 - Producción de ácido nítrico a nivel nacional .....	6
2.5.1 - Mercado consumidor .....	6
2.6 - Mercado importador en países latinoamericanos .....	9
2.7 - Proyección de la demanda .....	14
2.7.1 - A partir de coeficientes .....	14
2.7.2 - A partir de una recta de regresión lineal .....	17
2.8 - Proyección del precio .....	18
2.9 - Mercado del amoníaco .....	19
2.9.1 - Producción de amoníaco en Latinoamérica .....	19
2.9.2 - Producción de amoníaco en Argentina .....	20
2.9.3 - Proyección del precio .....	22
2.9.4 - Conclusión .....	22
3 - ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA .....	24
3.1 - Introducción .....	24



---

3.2 - Materias primas y catalizador .....	24
3.2.1 - Amoníaco.....	24
3.2.2 - Aire .....	24
3.2.3 - Agua .....	26
3.2.4 - Catalizador .....	26
3.3 - Subproductos.....	28
3.4 - Métodos de obtención del ácido nítrico .....	29
3.4.1 - A partir de Chile Saltpetre .....	29
3.4.2 - Método Birkland-Eyde.....	29
3.4.3 - Método de fijación de nitrógeno .....	29
3.4.4 - Método Ostwald.....	29
3.5 - Selección de tecnología .....	32
4 - ESTUDIO DE TAMAÑO .....	33
4.1 - Introducción .....	33
4.2 - Factores que condicionan el tamaño del proyecto.....	33
4.2.1 - Mercado proveedor de MP .....	33
4.2.2 - Tecnología .....	34
4.2.3 - Financiamiento .....	34
4.2.4 - Recursos humanos.....	34
4.2.5 - Mercado.....	35
4.2.6 - Medio ambiente .....	35
4.3 - Conclusión .....	36
5 - ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN.....	37
5.1 - Introducción .....	37
5.2 - Macrolocalización.....	37
5.2.1 - Buenos Aires .....	40
5.2.2 - Córdoba.....	41
5.2.3 - Conclusión.....	42
5.3 - Microlocalización.....	42



---

5.3.1 - Factores analizados para decidir la microlocalización.....	42
5.3.2 - Selección del terreno .....	44
5.3.3 - Conclusión.....	46
6 - INGENIERÍA DE DETALLE.....	47
6.1 - Introducción .....	47
6.2 - Descripción del proceso .....	47
6.3 - Balances de masa y energía.....	51
6.3.1 - Suposiciones .....	51
6.3.2 - Balances de masa .....	52
6.3.3 - Balances de energía.....	64
6.3.4 - Diseño preliminar de equipos.....	78
7 - ASPECTOS ORGANIZACIONALES .....	88
7.1 - Introducción .....	88
7.2 - Organigrama .....	88
7.3 - Fichas de funciones .....	89
7.3.1 - Gerente general.....	89
7.3.2 - Gerente de operaciones .....	90
7.3.3 - Gerente de economía y finanzas .....	91
7.3.4 - Gerente de recursos humanos.....	91
7.3.5 - Gerente comercial .....	92
7.3.6 - Jefe de compras y ventas .....	92
7.3.7 - Jefe de producción .....	93
7.3.8 - Jefe de mantenimiento.....	94
7.3.9 - Jefe de control de calidad .....	94
7.3.10 - Jefe de logística.....	95
7.4 - Escalas salariales .....	96
7.5 - Turnos de trabajo .....	96
7.6 - Sectores.....	97
7.6.1 - Sector de mantenimiento .....	97



---

7.6.2 - Oficinas administrativas .....	98
7.6.3 - Sector de producción .....	98
7.6.4 - Zona de carga de camiones.....	98
7.6.5 - Laboratorio de análisis de calidad.....	99
7.7 - Lay-out de la planta.....	99
8 - ASPECTOS LEGALES .....	101
8.1 - Legislación nacional .....	101
8.2 - Legislación provincial .....	101
8.2.1 - Marco regulatorio para industrias.....	101
8.2.2 - Marco regulatorio de impacto ambiental .....	102
9 - ASPECTOS NORMATIVOS.....	105
9.1 - Introducción .....	105
9.2 - Norma ISO 9001:2008 – Gestión de Calidad .....	105
9.3 - Norma ISO 14001 – Sistemas de Gestión Medioambiental.....	107
10 - ESTUDIO AMBIENTAL .....	109
10.1 - Introducción.....	109
10.2 - Matriz de impacto ambiental.....	109
10.2.1 - Transporte de maquinaria de construcción .....	109
10.2.2 - Acondicionamiento del terreno y construcción de la planta .....	110
10.2.3 - Funcionamiento de la planta .....	111
10.2.4 - Funcionamiento de las oficinas .....	111
10.2.5 - Despacho del producto .....	112
10.3 - Plan de gestión ambiental .....	113
11 - ESTUDIO ECONÓMICO.....	116
11.1 - Introducción.....	116
11.2 - Costos de inversión .....	116
11.3 - Costos fijos.....	119
11.3.1 - Depreciaciones y amortizaciones.....	119
11.3.2 - Mano de obra.....	119



---

11.3.3 - Energía eléctrica .....	121
11.3.4 - Mantenimiento .....	121
11.3.5 - Insumos de laboratorio.....	121
11.4 - Costos variables.....	122
11.4.1 - Mano de obra.....	122
11.4.2 - Materia prima .....	123
11.4.3 - Energía .....	123
11.4.4 - Catalizador.....	124
11.5 - Determinación del punto de equilibrio.....	125
11.6 - Contribución marginal.....	127
11.7 - Tasa de descuento .....	128
11.8 - Flujo de caja.....	129
11.9 - Conclusión.....	131
12 - ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	132
12.1 - Introducción.....	132
12.2 - Variables a sensibilizar .....	132
12.2.1 - Precio de venta del producto .....	132
12.2.2 - Precio del amoníaco .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
12.3 - Conclusión .....	136
13 - ANÁLISIS DE RIESGO .....	137
13.1 - Introducción.....	137
13.2 - Aspectos a analizar .....	137
13.2.1 - Aspectos tecnológicos .....	137
13.2.2 - Aspectos económicos .....	138
13.2.3 - Siniestros e imprevistos .....	139
13.3 - Matriz de riesgo.....	140
14 - BIBLIOGRAFÍA.....	142





# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estructura molecular del ácido nítrico – Fuente: Wikipedia .....	1
Figura 2-1: Contribución de distintos países o continentes a la producción de ácido nítrico – Fuente: SP Global.....	5
Figura 2-2: Producción de ácido nítrico en Argentina – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023.....	6
Figura 2-3: Porción del mercado nacional del ácido nítrico ocupada por cada aplicación – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023 .....	7
Figura 2-4: Consumo aparente del $\text{NH}_4\text{NO}_3$ – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023 .....	7
Figura 2-5: Consumo aparente de mezcla líquida UAN - Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023 .....	8
Figura 2-6: Consumo aparente del TDI - Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023 .....	9
Figura 2-7: Importaciones de ácido nítrico en Brasil – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap.....	10
Figura 2-8: Importaciones de ácido nítrico en Uruguay – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap.....	11
Figura 2-9: Importaciones de ácido nítrico en Paraguay – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap .....	12
Figura 2-10: Importaciones de ácido nítrico en Perú – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap.....	13
Figura 2-11: Importaciones de ácido nítrico en Chile – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap.....	13
Figura 2-12: Capacidad instalada de plantas de ácido nítrico en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	14
Figura 2-13: Proyección de la demanda de ácido nítrico mediante coeficientes de crecimiento – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	16
Figura 2-14: Proyección consumo aparente vs capacidad instalada – Fuente: Elaboración propia .....	17
Figura 2-15: Proyección de la demanda de ácido nítrico mediante regresión lineal – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	18
Figura 2-16: Proyección del precio FOB del ácido nítrico en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	19



Figura 2-17: Producción de amoníaco en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	20
Figura 2-18: Capacidad instalada de plantas de amoníaco en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	21
Figura 2-19: Porción del mercado nacional del ácido amoníaco ocupada por cada aplicación – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023 .....	21
Figura 2-20: Proyección del precio FOB del amoníaco en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	22
Figura 3-1: Efecto de la proporción de rodio en la conversión a monóxido de nitrógeno y pérdidas de platino – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial Ullmann .....	26
Figura 3-2: Gasa de catalizador – Fuente: Johnson Matthey .....	27
Figura 3-3: Tejido por trama – Fuente: China national chemical supply & sales corporation Taiyuan precious metals Co., LTD.....	27
Figura 3-4: Tejido por urdimbre – Fuente: China national chemical supply & sales corporation Taiyuan precious metals Co., LTD.....	27
Figura 3-5: Superficie activa del catalizador para (a) trama y (b) urdimbre – Fuente: China national chemical supply & sales corporation Taiyuan precious metals Co., LTD .....	28
Figura 3-6: Diagrama simplificado del proceso monopresión – Fuente: Ammonia Know How .....	31
Figura 3-7: Diagrama simplificado del proceso doble presión – Fuente: Ammonia Know How .....	32
Figura 5-1: Superficie de parques industriales en cada provincia – Fuente: CEP .....	38
Figura 5-2: Polos petroquímicos en Argentina – Fuente: Anuario IPA 2023.....	38
Figura 5-3: Provincias con mayor superficie de parques industriales – Fuente: Elaboración propia .....	40
Figura 5-4: Mapa de puertos de la provincia de Buenos Aires – Fuente: Argentina.gob.ar...	41
Figura 5-5: Posibles terrenos dentro del polo petroquímico de Bahía Blanca – Fuente: Elaboración propia en base a Google Maps .....	44
Figura 5-6: Terreno seleccionado para el proyecto – Fuente: Google Maps.....	45
Figura 5-7: Localización de Profertil con respecto a la localización del proyecto – Fuente: Google Maps .....	45
Figura 5-8: Mapa de puertos de Bahía Blanca – Fuente: PuertoBahíaBlanca.....	46
Figura 6-1: Esquema de un conjunto reactor e intercambiador de calor – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann .....	48
Figura 6-2: Esquema de una torre de absorción – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann .....	50



Figura 6-3: Diagrama de bloques – Fuente: Elaboración propia .....	51
Figura 6-4: Representación en bloque del mezclador – Fuente: Elaboración propia .....	54
Figura 6-5: Representación en bloque del reactor – Fuente: Elaboración propia .....	55
Figura 6-6: Representación en bloque del sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia .....	56
Figura 6-7: Representación en bloque del generador de vapor saturado – Fuente: Elaboración propia .....	57
Figura 6-8: Representación en bloque del filtro de catalizador – Fuente: Elaboración propia .....	58
Figura 6-9: Representación en bloque del precalentador con gas de cola – Fuente: Elaboración propia .....	59
Figura 6-10: Representación en bloque del enfriador/condensador – Fuente: Elaboración propia .....	60
Figura 6-11: Representación en bloque del recipiente de oxidación no catalítica – Fuente: Elaboración propia .....	61
Figura 6-12: Representación en bloque de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia .....	62
Figura 6-13: Representación en bloque de la torre de blanqueo – Fuente: Elaboración propia .....	64
Figura 6-14: Compresor centrífugo – Fuente: Havayar .....	65
Figura 6-15: Ciclo termodinámico ideal – Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 6-16: Diagrama del proceso – Fuente: Elaboración propia .....	77
Figura 6-17: Aeroenfriador – Fuente: Daikin Applied .....	83
Figura 6-18: Plato perforado de acero inoxidable – Fuente: Kempro .....	84
Figura 6-19: Tanques de ácido – Fuente: Neonickel .....	86
Figura 6-20: Tanque de amoníaco – Fuente: Fusion Weld .....	87
Figura 7-1: Organigrama – Fuente: Elaboración propia .....	89
Figura 7-2: Brazo de descarga – Fuente: Zipfluid .....	98
Figura 7-3: Tanque plástico de 200 L – Fuente: Google .....	99
Figura 7-4: Lay-out de la planta – Fuente: Elaboración propia .....	99
Figura 9-1: Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en proceso – Fuente: Norma ISO 9001:2008 .....	106
Figura 9-2: Modelo de sistema de gestión ambiental para la Norma Internacional ISO 14001 – Fuente: Norma ISO 14001:2004 .....	108
Figura 10-1: Esquema de un sistema SCR – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial Ullmann .....	114



---

Figura 11-1: Incidencia de cada costo fijo – Fuente: Elaboración propia .....	122
Figura 11-2: Incidencia de cada costo variable – Fuente: Elaboración propia .....	125
Figura 11-3: Punto de equilibrio – Fuente: Elaboración propia .....	127
Figura 12-1: VAN en función del precio de venta – Fuente: Elaboración propia .....	133
Figura 12-2: TIR en función del precio de venta – Fuente: Elaboración propia .....	134
Figura 12-3: VAN en función de la producción – Fuente: Elaboración propia .....	135
Figura 12-4: TIR en función de la producción – Fuente: Elaboración propia .....	135



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Producción de distintos tipos de fertilizante en Argentina en 2023 – Fuente: FERTILIZAR .....	1
Tabla 1-2: Propiedades físicas – Fuente: UNAM.....	2
Tabla 2-1: Coeficientes de crecimiento – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023 .....	15
Tabla 3-1: Propiedades físicas del amoníaco – Fuente: UNAM.....	24
Tabla 3-2: Propiedades físicas del aire seco – Fuente: Wikipedia.....	26
Tabla 3-3: Propiedades físicas del agua – Fuente: Wikipedia .....	26
Tabla 3-4: Comparación entre temperaturas y presiones en el método de monopresión y doble presión – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio Umweltbundesamt y la enciclopedia Ullmann .....	31
Tabla 3-5: Ventajas del proceso monopresión y doble presión – Fuente: Elaboración propia en base al sitio Ammonia Know How .....	31
Tabla 5-1: Superficie y disponibilidad de materia prima en distintas zonas industriales – Fuente: Elaboración propia .....	39
Tabla 5-2: Tabla de factores ponderados para la microlocalización – Fuente: Elaboración propia .....	44
Tabla 6-1: Producción anual en distintas unidades – Fuente: Elaboración propia .....	53
Tabla 6-2: Pesos moleculares – Fuente: Elaboración propia.....	53
Tabla 6-3: Corrientes másicas de amoníaco y aire – Fuente: Elaboración propia .....	54
Tabla 6-4: Corrientes molares del mezclador – Fuente: Elaboración propia.....	54
Tabla 6-5: Corrientes molares por especie del mezclador – Fuente: Elaboración propia.....	54
Tabla 6-6: Corrientes molares por especie del reactor – Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 6-7: Corrientes molares por especie del sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia .....	56
Tabla 6-8: Corrientes molares por especie del generador de vapor saturado – Fuente: Elaboración propia .....	58
Tabla 6-9: Corrientes molares por especie del filtro de catalizador – Fuente: Elaboración propia .....	58
Tabla 6-10: Corrientes molares por especie del precalentador de gas de cola – Fuente: Elaboración propia .....	59
Tabla 6-11: Corrientes molares por especie del enfriador/condensador – Fuente: Elaboración propia .....	61



---

Tabla 6-12: Corrientes molares por especie del recipiente de oxidación no catalítica – Fuente: Elaboración propia .....	62
Tabla 6-13: Corrientes molares por especie de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia .....	63
Tabla 6-14: Corrientes molares por especie de la torre de blanqueo – Fuente: Elaboración propia .....	64
Tabla 6-15: Parámetros de cálculo de la potencia del compresor – Fuente: Elaboración propia .....	65
Tabla 6-16: Parámetros de cálculo del calor del interenfriador – Fuente: Elaboración propia .....	65
Tabla 6-17: Parámetros de cálculo del flujo de agua en el interenfriador – Fuente: Elaboración propia .....	66
Tabla 6-18: Parámetros de cálculo del calor para evaporar el amoníaco – Fuente: Elaboración propia .....	66
Tabla 6-19: Parámetros de cálculo del agua necesaria en el evaporador de amoníaco – Fuente: Elaboración propia .....	67
Tabla 6-20: Parámetros de cálculo del calor intercambiado en el sobrecalentador de amoníaco – Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 6-21: Parámetros de cálculo del flujo de vapor para sobrecalentar el amoníaco – Fuente: Elaboración propia .....	67
Tabla 6-22: Parámetros de cálculo de la temperatura de salida del mezclador – Fuente: Elaboración propia .....	68
Tabla 6-23: Coeficientes polinomiales para el cálculo de $C_p$ – Fuente: Reklaitis.....	69
Tabla 6-24: Entalpías estándar de formación y corrientes molares por especie en el reactor – Fuente: Elaboración propia .....	69
Tabla 6-25: Temperaturas del reactor – Fuente: Elaboración propia .....	69
Tabla 6-26: Calor del reactor – Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 6-27: Parámetros de cálculo del calor para precalentar aire y gas de cola – Fuente: Elaboración propia .....	70
Tabla 6-28: Parámetros de cálculo del calor para precalentar el aire – Fuente: Elaboración propia .....	70
Tabla 6-29: Calor para precalentar el gas de cola – Fuente: Elaboración propia.....	70
Tabla 6-30: Temperaturas del conjunto de generación de vapor – Fuente: Elaboración propia .....	71
Tabla 6-31: Parámetros por especie para calcular el calor necesario para producir vapor – Fuente: Elaboración propia .....	71



---

Tabla 6-32: Calor necesario para producir vapor – Fuente: Elaboración propia .....	71
Tabla 6-33: Parámetros para el cálculo de la producción de vapor sobrecalentado – Fuente: Elaboración propia .....	72
Tabla 6-34: Parámetros para el cálculo del calor cedido en el condensador – Fuente: Elaboración propia .....	72
Tabla 6-35: Parámetros para el cálculo del agua de enfriamiento en el enfriador/condensador – Fuente: Elaboración propia .....	72
Tabla 6-36: Entalpías estándar de formación y corrientes molares por especie en la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 6-37: Temperaturas de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia .....	74
Tabla 6-38: Calor cedido en la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia.....	74
Tabla 6-39: Parámetros para el cálculo del flujo de agua fría en serpentín – Fuente: Elaboración propia .....	74
Tabla 6-40: Parámetros para el cálculo del calor a extraer en el aereoenfriador – Fuente: Elaboración propia .....	74
Tabla 6-41: Parámetros para calcular la potencia generada por la turbina de gas – Fuente: Elaboración propia .....	75
Tabla 6-42: Corrientes másicas que pasan por la turbina de gas – Fuente: Elaboración propia .....	75
Tabla 6-43: Parámetros para el cálculo de la temperatura de salida de la turbina de gas – Fuente: Elaboración propia .....	76
Tabla 6-44: Parámetros para el cálculo de la densidad de la mezcla gaseosa – Fuente: Elaboración propia .....	78
Tabla 6-45: Parámetros para el cálculo del diámetro del reactor – Fuente: Elaboración propia .....	79
Tabla 6-46: Números de gases recomendado según la presión del reactor – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann .....	79
Tabla 6-47: Dimensión del catalizador – Fuente: Elaboración propia .....	79
Tabla 6-48: Especificaciones del reactor – Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 6-49: Especificaciones del catalizador – Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 6-50: Parámetros en el sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia .....	80
Tabla 6-51: Parámetros para el cálculo de la DTML, R y S – Fuente: Elaboración propia....	81
Tabla 6-52: Parámetros para el cálculo del área de transferencia – Fuente: Elaboración propia .....	81
Tabla 6-53: Dimensiones de los tubos propuestas – Fuente: Elaboración propia.....	81



---

Tabla 6-54: Parámetros para el cálculo de la velocidad del gas dentro de los tubos – Fuente: Elaboración propia.....	82
Tabla 6-55: Especificaciones del sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia...	83
Tabla 6-56: Especificaciones del aerofriador – Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 6-57: Especificaciones de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia .....	84
Tabla 6-58: Especificaciones de la torre de blanqueo – Fuente: Elaboración propia .....	85
Tabla 6-59 – Especificaciones del recipiente de oxidación no catalítica – Fuente: Elaboración propia .....	85
Tabla 6-60: Especificaciones de bombas – Fuente: Elaboración propia .....	85
Tabla 6-61: Especificaciones de tanque de ácido – Fuente: Elaboración propia .....	86
Tabla 6-62: Especificaciones de tanque de amoníaco – Fuente: Elaboración propia .....	87
Tabla 7-1: Ficha de función del gerente general – Fuente: Elaboración propia .....	90
Tabla 7-2: Ficha de función del gerente de operaciones – Fuente: Elaboración propia .....	91
Tabla 7-3: Ficha de función del gerente de economía y finanzas – Fuente: Elaboración propia .....	91
Tabla 7-4: Ficha de función del gerente de recursos humanos – Fuente: Elaboración propia .....	92
Tabla 7-5: Ficha de función del gerente comercial – Fuente: Elaboración propia.....	92
Tabla 7-6: Ficha de función del jefe de compras y ventas – Fuente: Elaboración propia.....	93
Tabla 7-7: Ficha de función del jefe de producción – Fuente: Elaboración propia .....	94
Tabla 7-8: Ficha de función del jefe de mantenimiento – Fuente: Elaboración propia .....	94
Tabla 7-9: Ficha de función del jefe de control de calidad – Fuente: Elaboración propia.....	95
Tabla 7-10: Ficha de función del jefe de logística – Fuente: Elaboración propia.....	96
Tabla 7-11: Puestos de trabajo – Fuente: Elaboración propia con información del convenio 564/09 .....	97
Tabla 7-12: Referencias del lay-out – Fuente: Elaboración propia .....	100
Tabla 10-1: Escala de impactos – Fuente: Elaboración propia .....	109
Tabla 10-2: Matriz de impacto ambiental – Fuente: Elaboración propia .....	113
Tabla 11-1: Costos de compra de equipos – Fuente: Elaboración propia .....	116
Tabla 11-2: Factores de Lang para estimación del costo de instalación de equipos – Fuente: Coulson and Richardson’s Chemical Engineering.....	117
Tabla 11-3: Factores de Lang para estimación del costo de inversión en edificios – Fuente: Coulson and Richardson’s Chemical Engineering.....	117
Tabla 11-4: Inversión en insumos de oficina – Fuente: Elaboración propia .....	118
Tabla 11-5: Inversión en capital de trabajo – Fuente: Elaboración propia.....	118
Tabla 11-6: Depreciaciones y amortizaciones – Fuente: Elaboración propia .....	119



---

Tabla 11-7: Grilla salarial de administrativos – Fuente: FESTIQyPYRA .....	119
Tabla 11-8: Costos fijos de mano de obra – Fuente: Elaboración propia .....	120
Tabla 11-9: Trabajadores administrativos por puesto – Fuente: Elaboración propia .....	121
Tabla 11-10: Costos fijos – Fuente: Elaboración propia.....	122
Tabla 11-11: Grilla salarial de operarios – Fuente: FESTIQyPRA.....	122
Tabla 11-12: Costo de mano de obra variable – Fuente: Elaboración propia.....	123
Tabla 11-13: Operarios por puesto – Fuente: Elaboración propia.....	123
Tabla 11-14: Costos variables – Fuente: Elaboración propia.....	124
Tabla 11-15: Incidencia de costos fijos y variables en el costo total – Fuente: Elaboración propia .....	125
Tabla 11-16: Parámetros para el cálculo del punto de equilibrio – Fuente: Elaboración propia .....	125
Tabla 11-17: Punto de equilibrio – Fuente: Elaboración propia.....	127
Tabla 11-18: Parámetros para el cálculo de utilidad y contribución marginal – Fuente: Elaboración propia.....	127
Tabla 11-19: Parámetros para el cálculo de la tasa de descuento – Fuente: Elaboración propia .....	128
Tabla 11-20: Tabla de depreciaciones por año – Fuente: Elaboración propia .....	129
Tabla 11-21: Valores residuales – Fuente: Elaboración propia .....	129
Tabla 11-22: Flujo de caja – Fuente: Elaboración propia .....	130
Tabla 11-23: Flujo de caja – Fuente: Elaboración propia .....	131
Tabla 11-24: VAN y TIR – Fuente: Elaboración propia.....	131
Tabla 12-1: Precio de venta mínimo rentable – Fuente: Elaboración propia.....	132
Tabla 12-2: Producción mínima rentable – Fuente: Elaboración propia.....	134
Tabla 13-1: Criterio de determinación de la magnitud de riesgos – Fuente: Proyecto final sobre producción de dimetil éter .....	140
Tabla 13-2: Matriz de riesgo – Fuente: Elaboración propia.....	141



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo contiene el estudio de prefactibilidad técnica y económica de la construcción y operación de una planta de producción de ácido nítrico con concentración del 65%.

En el estudio de mercado se encuentra que los principales usos a nivel nacional son la producción del nitrato de amonio y la producción de diisocianato de tolueno, aunque no es un mercado fácil de acceder debido a que existe capacidad ociosa. Por otro lado, a nivel latinoamericano, varios países, especialmente en América del Sur, no tienen su propia producción de ácido por lo que constituirían posibles destinos de exportación.

Según lo hallado en el análisis de tecnología, se concluyó que la tecnología empleada sería el método Ostwald, ya que es el estándar en la industria. En particular, la variante de monopresión sería la más apropiada dado que la planta potencialmente no sería de muy gran envergadura.

En cuanto al estudio de tamaño, se determinó que la capacidad de la planta sería de 45 toneladas diarias. Dicho tamaño está principalmente condicionado por el potencial mercado que existiría en el exterior y por el que existiría a nivel doméstico. Además se ajusta con los tamaños comunes para la tecnología elegida, cuando se contrasta con otras plantas similares.

Del estudio de localización se desprende que la mejor alternativa sería la instalación de la planta en la provincia de Buenos Aires, específicamente en el polo petroquímico de la provincia de Bahía Blanca. Citando las ventajas más importantes, esta localización otorgaría el acceso a un puerto para facilidad de exportación por vía marítima, cercanía a Profertil como principal proveedor de materia prima y amplia disponibilidad de servicios.

El proyecto estaría atado a las normas ISO 9001 y 14001, con el objetivo de implementar sistemas de mejora continua tanto para disminuir costos de producción como para mitigar el impacto ambiental.

En el estudio ambiental se encontró que el impacto más significativo que podría tener el funcionamiento del proyecto sería la emisión de gases NO<sub>x</sub> a la atmósfera. Como medida de mitigación, a modo de propuesta se sugiere implementar un equipo de reducción catalítica que transforme los gases NO<sub>x</sub> en gases inocuos como nitrógeno.

El estudio económico fue realizado para un horizonte de evaluación de diez años. La inversión inicial sería de USD 11.395.626,95, mientras que la inversión en capital de trabajo alcanzaría los USD 653.336,31. La tasa de descuento del proyecto se calculó a partir del método CAPM y arrojó un valor de 23,17%. El VAN es de USD 6.261.815,68 y la TIR sería de 38,28%. El punto de equilibrio se alcanzaría con la venta de 6228 toneladas.

Se realizó un análisis de sensibilidad en el que se determinó que el precio de venta podría bajar hasta en un 27% hasta que el proyecto deje de ser rentable, mientras que la producción podría caer hasta en un 32% hasta que el proyecto deje de ser rentable.

# 1 - INTRODUCCIÓN

## 1.1 - Descripción del producto

El ácido nítrico o ácido trioxonítrico, de fórmula química  $\text{HNO}_3$  es un ácido inorgánico fuerte. Tiene un característico olor irritante puede presentar en forma de líquido incoloro, o de color naranja en caso de tener dióxido de nitrógeno disuelto.

Es muy corrosivo y tóxico. Cuando se encuentra a temperatura ambiente, este ácido libera humos amarillos o rojos y tiñe la piel al contacto como reacción con la cisteína que se encuentra en la queratina.

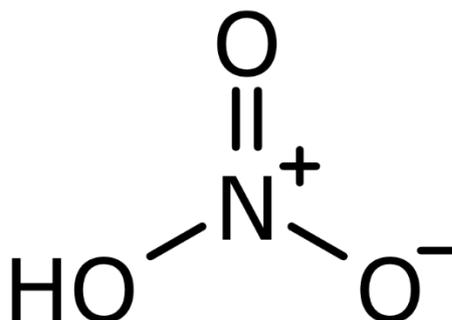


Figura 1-1: Estructura molecular del ácido nítrico – Fuente: Wikipedia

Tiene aplicaciones en varias industrias:

- Producción de fertilizantes: los fertilizantes nitrogenados lideran el mercado de fertilizantes en Argentina, como muestra la tabla de abajo. En particular, el nitrato de amonio (AN), la urea y el UAN son los más utilizados. El ácido nítrico es una de las materias primas para la producción de nitrato de amonio, y por extensión, del UAN. El principal uso final de los fertilizantes AN está en declive debido a las preocupaciones sobre la contaminación del agua subterránea por nitratos y problemas de seguridad. Como resultado, el fertilizante AN está siendo sustituido cada vez más por urea sólida, que tiene un mayor contenido de nitrógeno (46%) que el AN (34%), es menos costosa y menos peligrosa.

Estimación en Volumen (expresado en 1.000 ton)

Grupo de Fertilizantes	1er Cuatrimestre	2do Cuatrimestre	3er Cuatrimestre	Total
NITROGENADOS	450	1.024		1.474
FOSFATADOS	172	598		770
AZUFRADOS	32	58		90
POTASICOS	8	27		35
OTROS	18	41		59
<b>Total general</b>	<b>680</b>	<b>1748</b>	<b>0</b>	<b>2.428</b>

Tabla 1-1: Producción de distintos tipos de fertilizante en Argentina en 2023 – Fuente: FERTILIZAR<sup>1</sup>

- Procesos de fertirrigación: el ácido nítrico se usa para fertirrigación en goteo, como aporte de ácido para limpieza de emisores de riego o como aporte de nitrógeno, en todos los cultivos, en suelo y en sustratos.<sup>2</sup>
- La fabricación de explosivos como el trinitrotolueno: el ácido nítrico se utiliza con frecuencia como reactivo de laboratorio en la fabricación de explosivos como el TNT o la nitroglicerina cuando se combina con compuestos aromáticos.<sup>3</sup>
- Adhesivos.
- Minería: cuando se mezcla con ácido clorhídrico, el ácido nítrico forma un reactivo que tiene la capacidad de disolver el oro y el platino.
- Tintas.
- Como reactivo de laboratorio: es un potente reactivo oxidante.
- Producción de ácido adípico: es un ácido dicarboxílico de seis átomos de carbono en cadena lineal, cuya principal aplicación es la producción de nylon por policondensación con hexametildiamina y posterior procesado en fibras para elaboración de alfombras, aplicaciones textiles y cordado de neumáticos.

## 1.2 - Propiedades físicas

Propiedad	Valor
Punto de ebullición	86 °C
Punto de fusión	-42 °C
Presión de vapor	51 mmHg a 25 °C (fumante)
	113 mmHg a 38 °C (95-98%)
	6,8 mmHg a 20 °C (67%)
	8-11 mmHg a 25 °C (40%)
Concentración del azeótropo con agua	68% en peso
Punto de ebullición del azéotrope	122 °C
Solubilidad	Completamente miscible en agua
Densidad a 20 °C	1,05 – 1,51 g/ml
Peso molecular	63 g/mol

Tabla 1-2: Propiedades físicas – Fuente: UNAM

## 1.3 - Propiedades químicas

- El ácido nítrico se descompone con cierta facilidad, generando óxidos de nitrógeno.
- Reacciona con álcalis, óxidos y sustancias básicas, generando sales. Es un oxidante fuerte, dependiendo de su concentración.
- Se ha informado de reacciones violentas entre el ácido nítrico y:
  - Acido y anhídrido acético, acetona, acetonitrilo y alcoholes, por lo que no se recomienda para limpiar material de laboratorio.
  - 2-aminotiazol, amoniaco, aminas aromáticas, derivados de benzo[b]tiofeno, pentafluoruro de bromo, butanetiol, celulosa, nitruro de cobre, crotonaldehido, ciclohexilamina, fluor, hidracina, hidrocarburos en general, yoduro de hidrógeno, peróxido de hidrógeno, resinas de intercambio iónico, óxido de hierro(II), ácido láctico mas fluoruro de hidrógeno, acetiluros metálicos,



salicilatos metálicos, 4-metil-ciclohexanona, nitrobenceno, nitrometano, hidruros no metálicos, no metales, fenilacetileno, derivados de fosfina, haluros de fósforo, anhídrido ftálico mas ácido sulfúrico, polialquenos, dióxido de azufre, haluros de azufre, tioaldehidos, tiocetonas, tiofeno, triazinas, 2,4,6-trimetiltrioxano, trementina, madera y otros productos celulósicos, especialmente si están finamente divididos.

- Ataca a la mayoría de los metales, excepto platino y oro y, en el caso de aluminio y cromo, los pasiva, presentando un ataque muy leve. Algunos son convertidos a óxidos, como en el caso de arsénico, antimonio y estaño; otros son convertidos a nitratos.
- Es capaz de oxidar a elementos en estado de bajo número de oxidación hasta su mas alto valor, como en el caso de óxidos, sulfuros, etc.<sup>4</sup>



## **2 - ESTUDIO DE MERCADO**

### **2.1 - Introducción**

Se realizarán tareas de recopilación y análisis de información de mercado de distintas fuentes con el objetivo de encontrar un sector o sectores donde resultaría atractivo vender el producto.

### **2.2 - Productos sustitutos**

Entre los productos que pueden llegar a sustituir parcial o completamente al ácido nítrico, se encuentran el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico para la industria de los fertilizantes. En las demás áreas en las cuales el ácido nítrico es utilizado (polímeros, tratamientos superficiales, explosivos) casi no presenta productos sustitutos, debido a que en estos campos se lo utiliza por su comportamiento de fuerte agente oxidante. Como ejemplo se tiene la nitración, la cual sólo puede realizarse con ácido nítrico.

### **2.3 - Productos complementarios**

Los principales productos complementarios al ácido nítrico son el amoníaco y el ácido sulfúrico. El amoníaco; además de ser la materia prima para la producción del ácido nítrico, también es materia prima para producir nitrato de amonio junto con el ácido nítrico.

La nitración del benceno se lleva a cabo por reacción con una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico con agua. El benceno no es soluble en ácido nítrico (se forman dos fases) por lo que la reacción requiere una fuerte agitación. El ácido sulfúrico concentrado protona al ácido nítrico y promueve la formación del ión nitronio,  $\text{NO}_2^+$ , que actúa como electrófilo. Además el ácido sulfúrico aumenta la solubilidad del benceno en ácido nítrico y evita la disociación del  $\text{HNO}_3$  a nitrato,  $\text{NO}_3^-$ .

### **2.4 - Producción de ácido nítrico a nivel mundial**

El mayor mercado del ácido nítrico es la producción de nitrato de amonio (AN) y nitrato de calcio y amonio (CAN), que representa más del 78% del consumo mundial total de ácido nítrico en 2023. Algunas de las empresas líderes mundiales en la producción de ácido nítrico son:

- 1) Yara
- 2) LSB INDUSTRIES
- 3) Deepak Fertilisers and Petrochemicals Corporation Ltd (DFPCL)
- 4) HUCHEMS
- 5) CF Industries Holdings Inc.

## 6) BASF SE

El conjunto de ellas contribuyen a la gran mayoría de la producción mundial, que se estima en unas 67 millones de toneladas en 2024 y está proyectado que crezca hasta 78 millones de toneladas en 2029.<sup>5</sup>

Los factores que están impulsando este crecimiento incluyen el incremento en la demanda de ácido adípico como precursor en la fabricación de partes de automóviles, y el creciente uso de espumas poliuretánicas.

El siguiente gráfico circular muestra el consumo mundial de ácido nítrico por región:

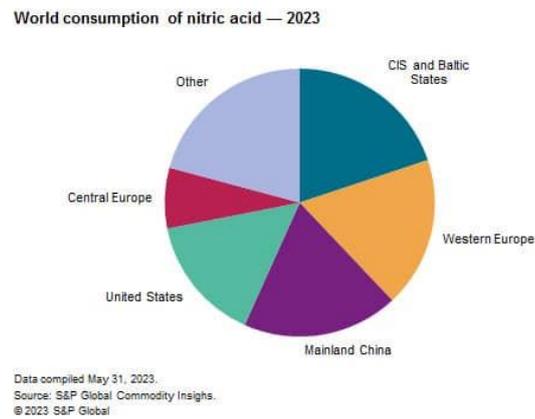


Figura 2-1: Contribución de distintos países o continentes a la producción de ácido nítrico – Fuente: SP Global<sup>6</sup>

## 2.5 - Producción de ácido nítrico a nivel nacional

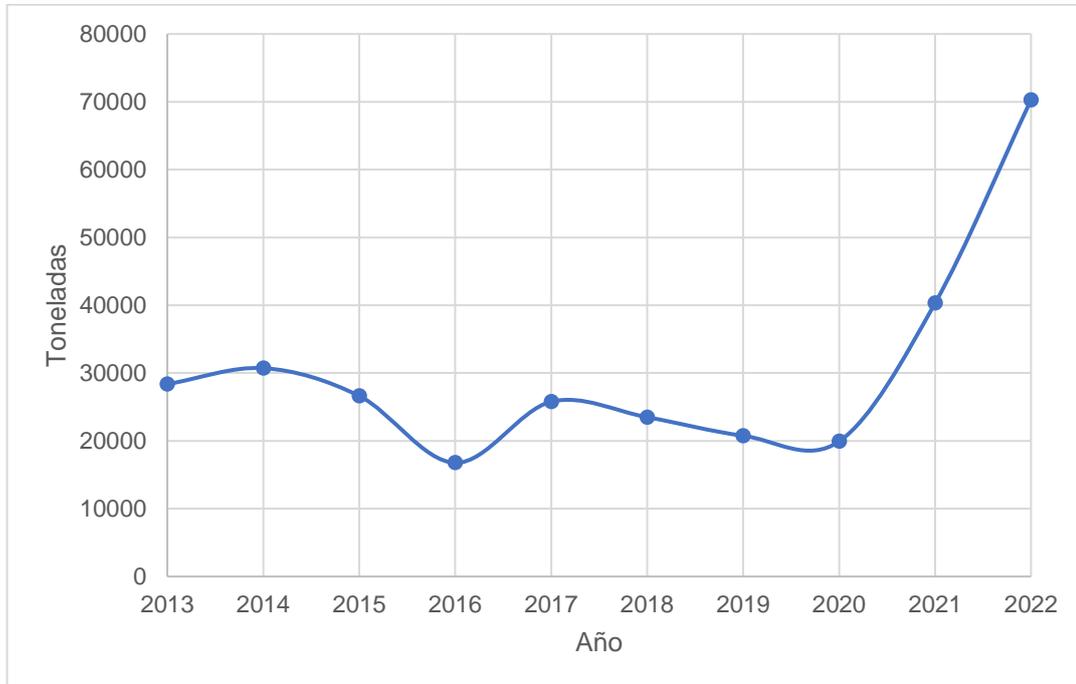


Figura 2-2: Producción de ácido nítrico en Argentina – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Los niveles de producción anuales muestran fluctuaciones no muy grandes, pero con una tendencia a la baja.

En 2016, la caída de producción de ácido nítrico se debe a que hubo una parada de planta en la Petroquímica Río Tercero motivada por una crisis económica vinculada a la apertura de importaciones, lo que causó que por un par de meses dejara de comprarle ácido nítrico a la Fábrica Militar Río Tercero.<sup>8</sup>

Lo más importante a destacar es el rápido crecimiento que generó la puesta en marcha de la planta de Austin Powder Argentina S.A. en la provincia de Salta, en junio de 2021. La producción durante todo 2022 alcanzó el máximo histórico para el país, con más de 70000 toneladas, que en un 55% fueron destinadas a la producción de nitrato de amonio. A causa del fenómeno de La Niña que provocó sequía<sup>9</sup> en el período 2020 – 2022, aumentó la demanda de fertilizantes entre los que se encuentra el nitrato de amonio y la urea.

### 2.5.1 - Mercado consumidor



Figura 2-3: Porción del mercado nacional del ácido nítrico ocupada por cada aplicación – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

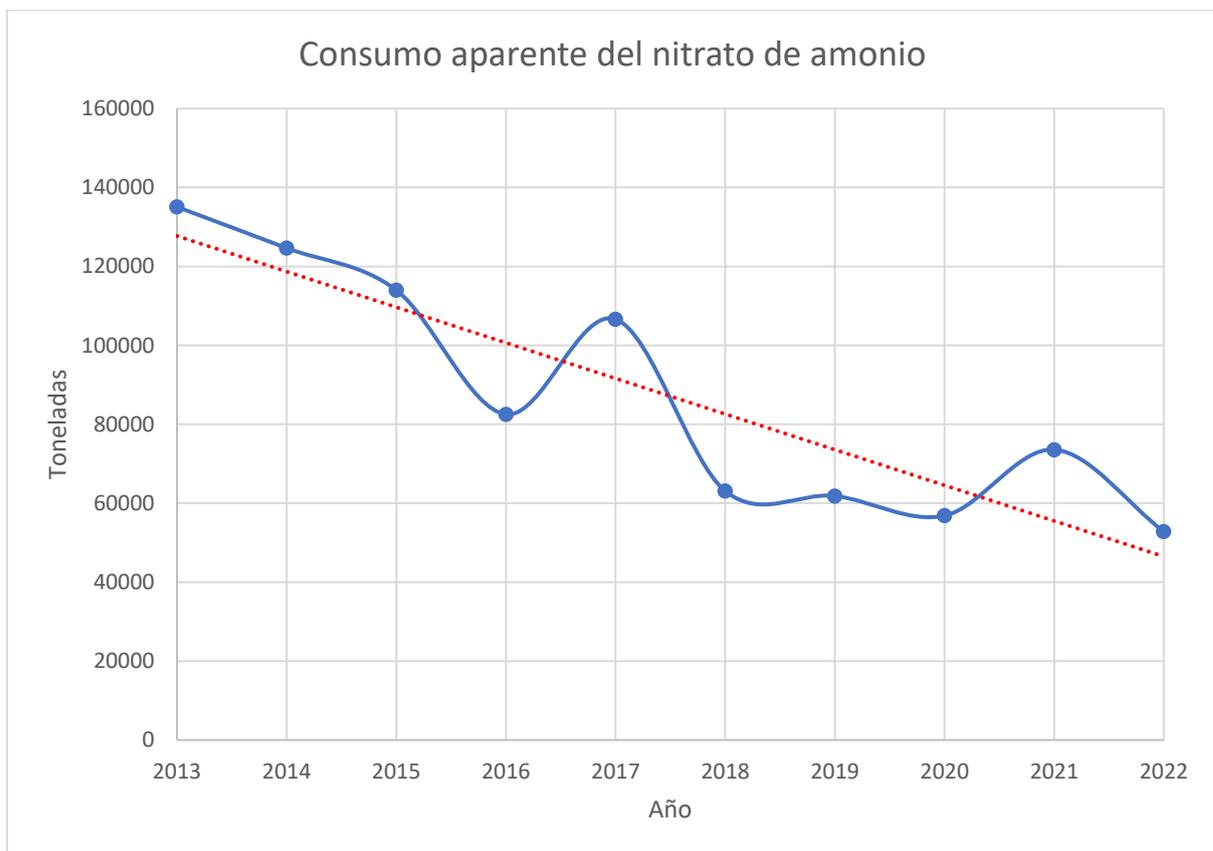


Figura 2-4: Consumo aparente del  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Según la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos, desde incluso antes de 2010 no se comercializa nitrato de amonio puro como fertilizante en Argentina ya que desde las empresas entendieron que no se podía garantizar las condiciones de seguridad, respecto al manipuleo de este producto.

Existen dos tipos de nitrato de amonio (en su forma pura). El de baja densidad, que se utiliza para la fabricación de explosivos en municiones o en minería, y el de alta densidad, que se utiliza en la industria del fertilizante y que tiene un comportamiento mucho más estable.

A nivel mundial la tendencia es reemplazar el nitrato de amonio puro por productos que contienen nitrato de amonio en distintas proporciones con otros fertilizantes e incluso agua en formulaciones tanto granuladas como líquidas, que es el caso del UAN.<sup>10</sup>

El nitrato de amonio se usa en el país para "cultivos intensivos, lo que se llama fertiriego, cuando uno fertiliza a través del riego por goteo, riego localizado". Está prohibido usarlo como fertilizante simple para fertilizar los cultivos. En Argentina se usa, en una porción muy pequeña del mercado total, lo que se llama nitrato de amonio calcáreo, que es mezclado con carbonato de calcio, y eso reduce muchísimo el riesgo de explosión cuando se lo pone en situación de confinamiento y evita que pueda detonar.

Esto explica la tendencia a la baja que se aprecia en el gráfico de consumo.

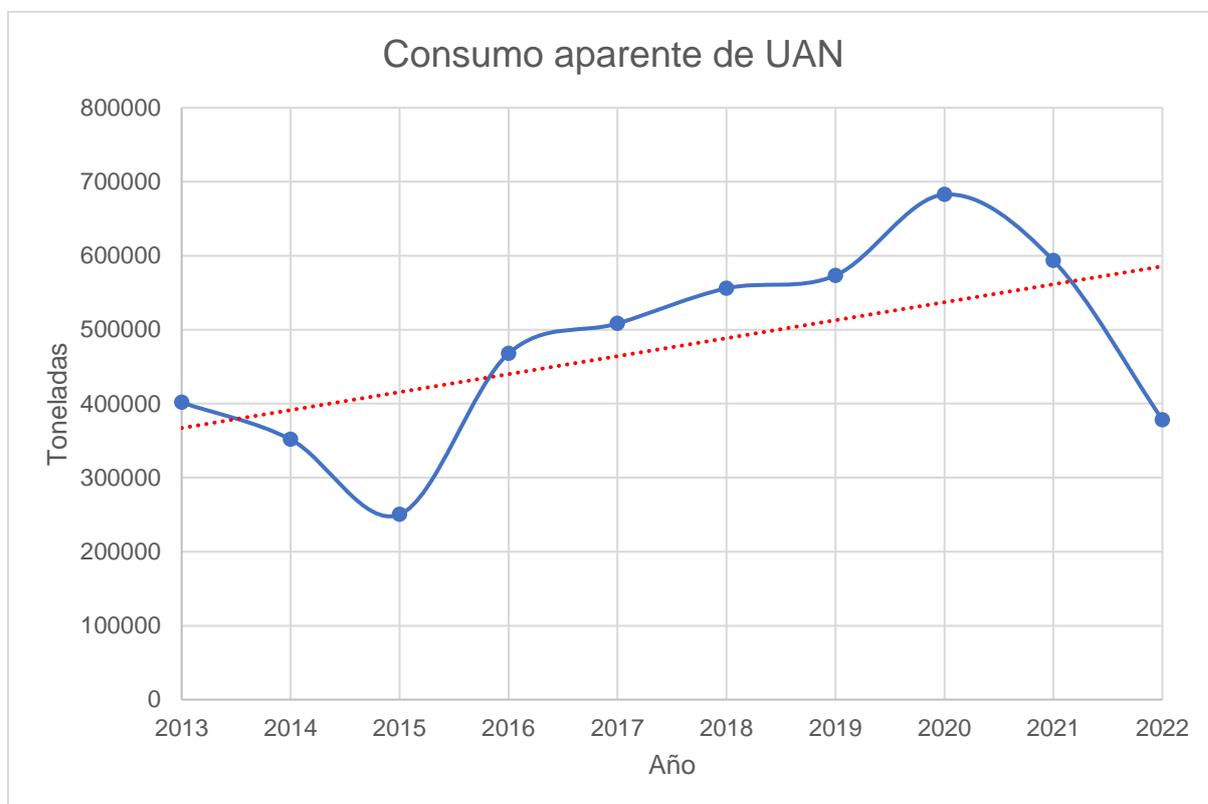


Figura 2-5: Consumo aparente de mezcla líquida UAN - Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Por otro lado, el fertilizante UAN, que es una mezcla líquida cuya composición es en promedio 36% urea, 44% nitrato de amonio y 20% agua, muestra un consumo con apreciable tendencia al crecimiento. Actualmente, y desde 2018, la totalidad proviene de importaciones. Con este fertilizante se logra un reemplazo, que satisface la necesidad de fertilizar evitando el manipuleo y uso de nitrato de amonio puro.

Podría resultar atractivo para empresas productoras de amoníaco y urea, como Profertil o Bunge, producir nitrato de amonio e inmediatamente mezclarlo para producir UAN en vez de importarlo.

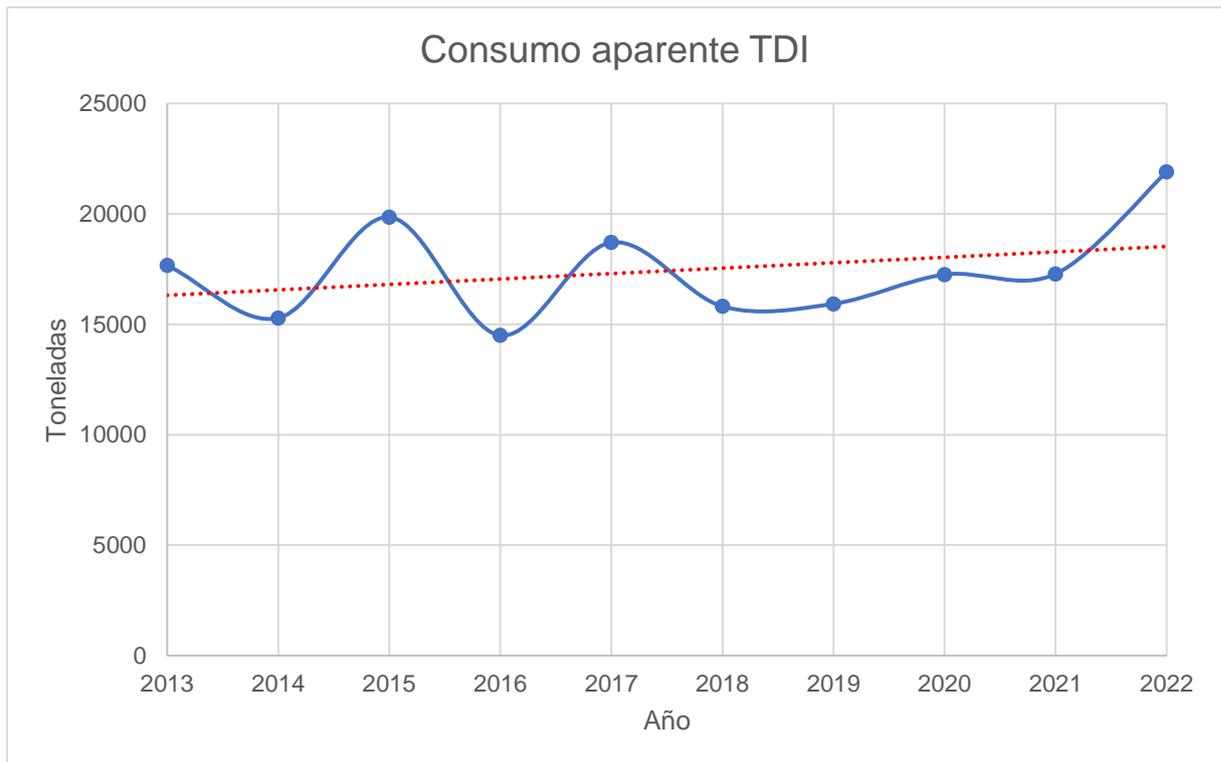


Figura 2-6: Consumo aparente del TDI - Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

El TDI, precursor de espumas flexibles de poliuretano, que se utilizan ampliamente en la fabricación de colchones, almohadas y asientos de vehículos, entre otras aplicaciones.

Al ser productos asociados al confort y la calidad de vida, poseen una creciente demanda tanto a nivel nacional e internacional.

Si bien la Petroquímica Río Tercero le compra el ácido nítrico para producir TDI a la Fábrica Militar que está en el mismo parque, ha habido casos como a fines de 2021 en que la Petroquímica realizó gestiones a nivel de la Secretaría de Comercio de la Nación para poder importar nítrico en meses donde tuvo muy buenos niveles de producción con demanda de altas cantidades que el FM no pudo abastecer en su totalidad.<sup>11</sup>

También hay un potencial mercado que podría requerir ácido nítrico para fertirrigación en zonas como Buenos Aires y Santa Fe que tienen grandes superficies cultivadas.

## **2.6 - Mercado importador en países latinoamericanos**

Varios países vecinos carecen de plantas de producción propias y por ello satisfacen su demanda de ácido nítrico importando.

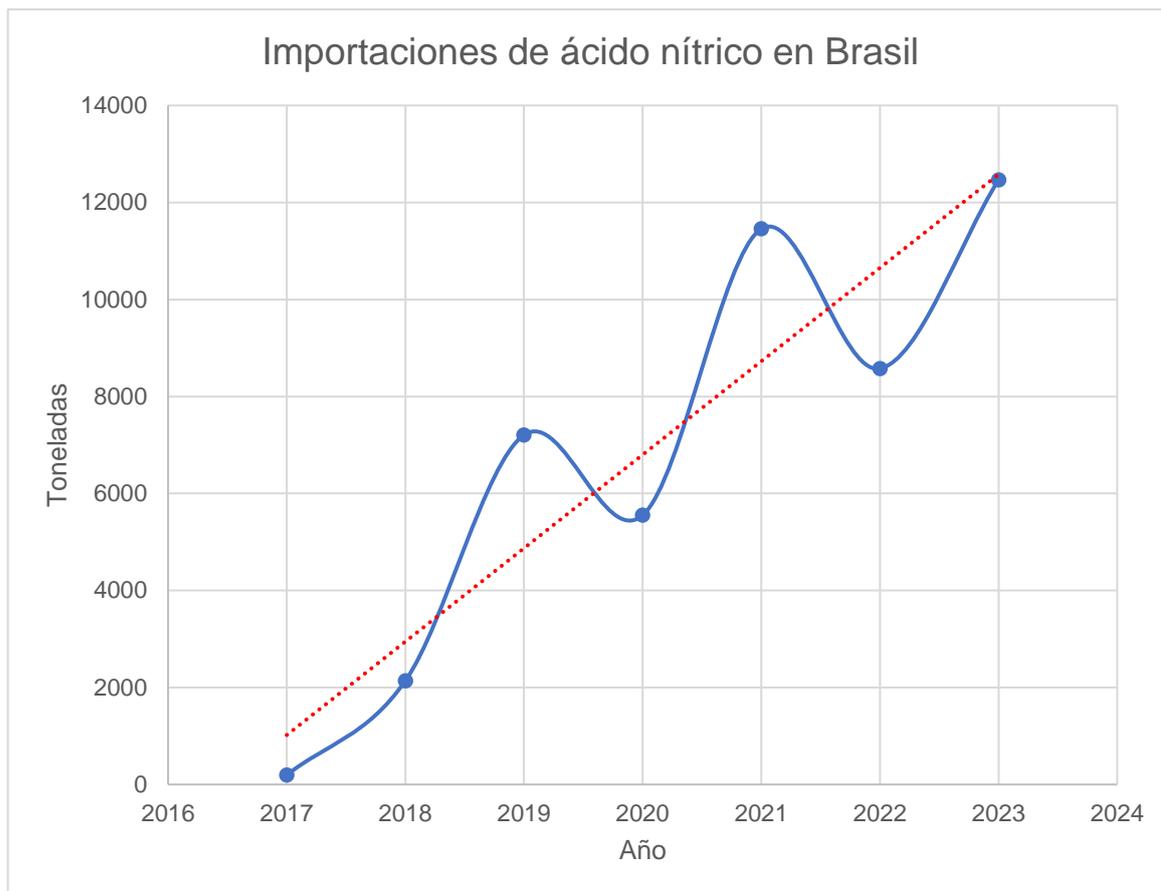


Figura 2-7: Importaciones de ácido nítrico en Brasil – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap<sup>12</sup>

Brasil importa prácticamente todo el ácido nítrico que consume de Chile, y los datos que provee el sitio TradeMap que son para período 2017 – 2023 marcan una notable tendencia alcista.

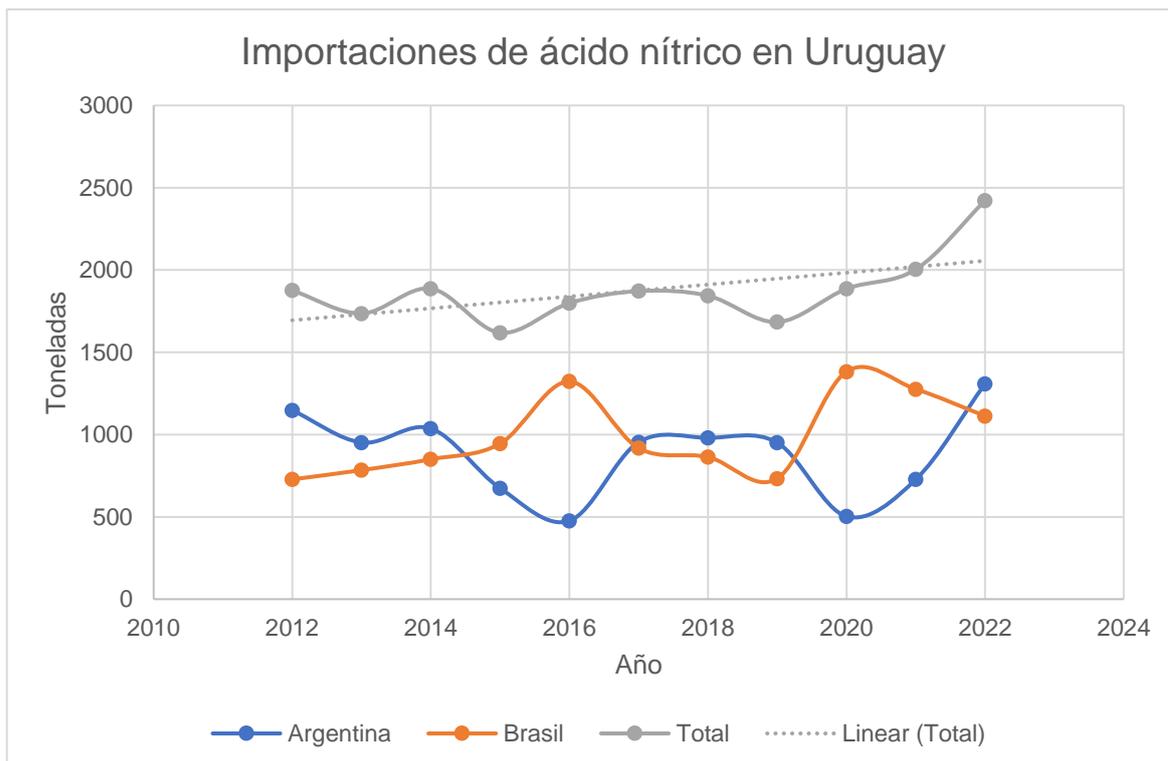


Figura 2-8: Importaciones de ácido nítrico en Uruguay – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap<sup>12</sup>

Uruguay muestra una leve tendencia al alza de las importaciones, aunque esta vez medido en un período de tiempo mayor, siendo Brasil y Argentina los principales exportadores.

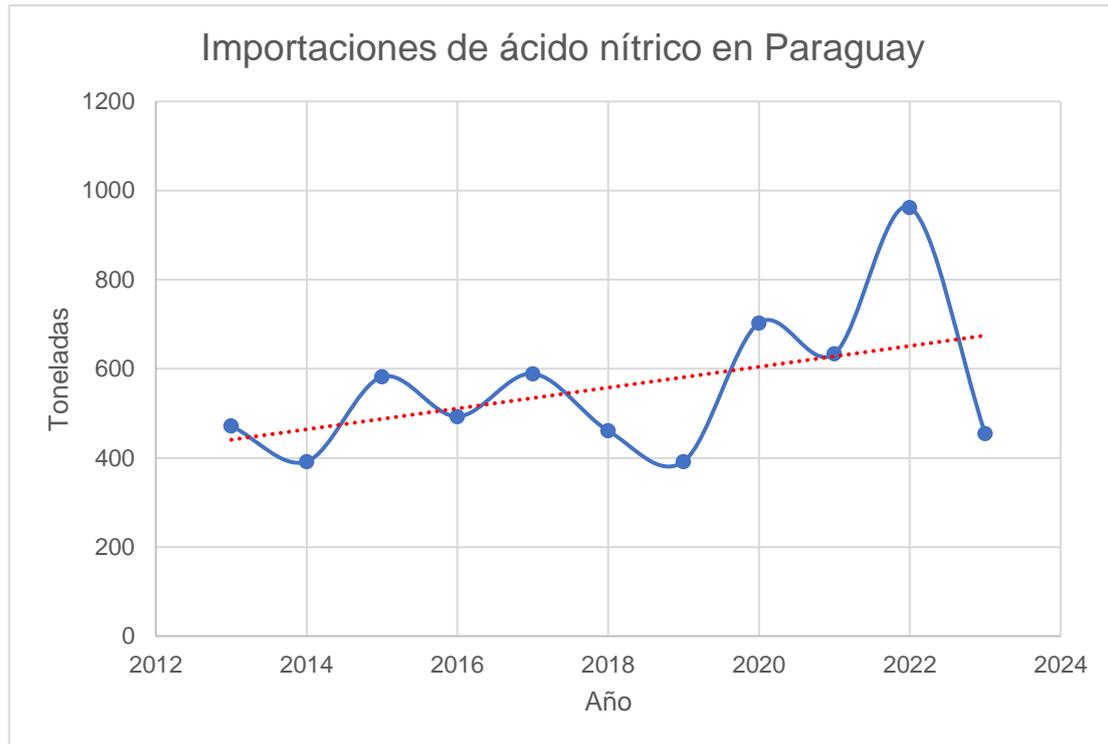


Figura 2-9: Importaciones de ácido nítrico en Paraguay – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap<sup>12</sup>

En el caso particular de Paraguay, las importaciones provienen en su totalidad de Países Bajos y Bélgica.

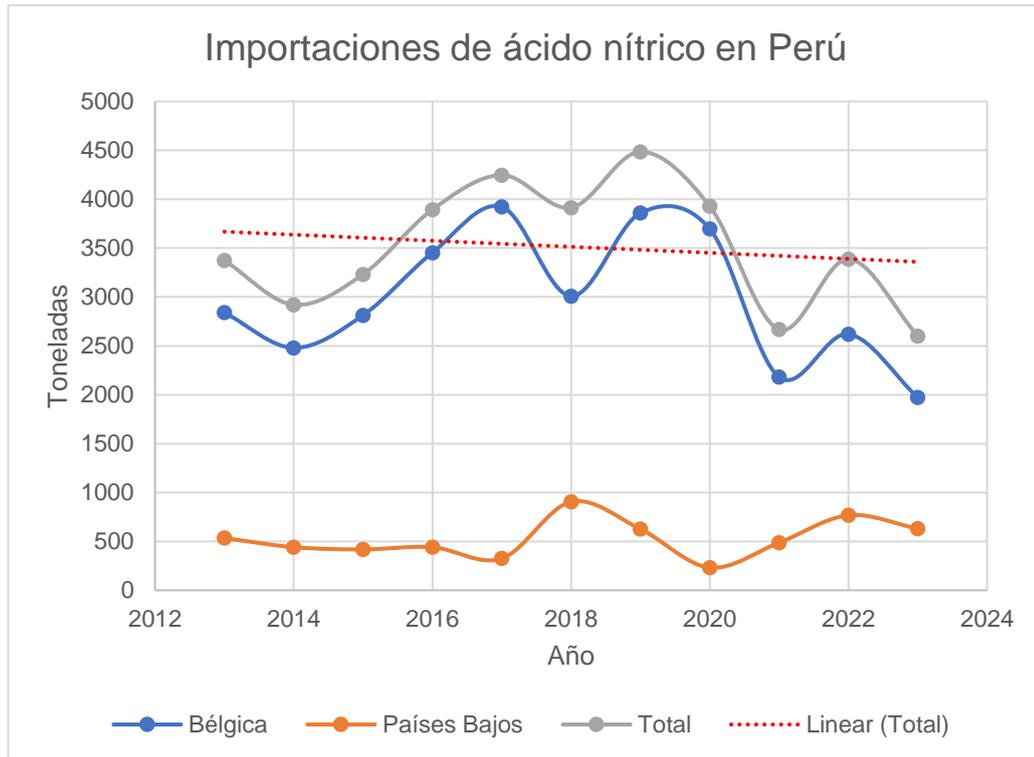


Figura 2-10: Importaciones de ácido nítrico en Perú – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap<sup>12</sup>

Perú tiene una demanda muy estable en los últimos once años, importando principalmente de los mismos países que Paraguay.

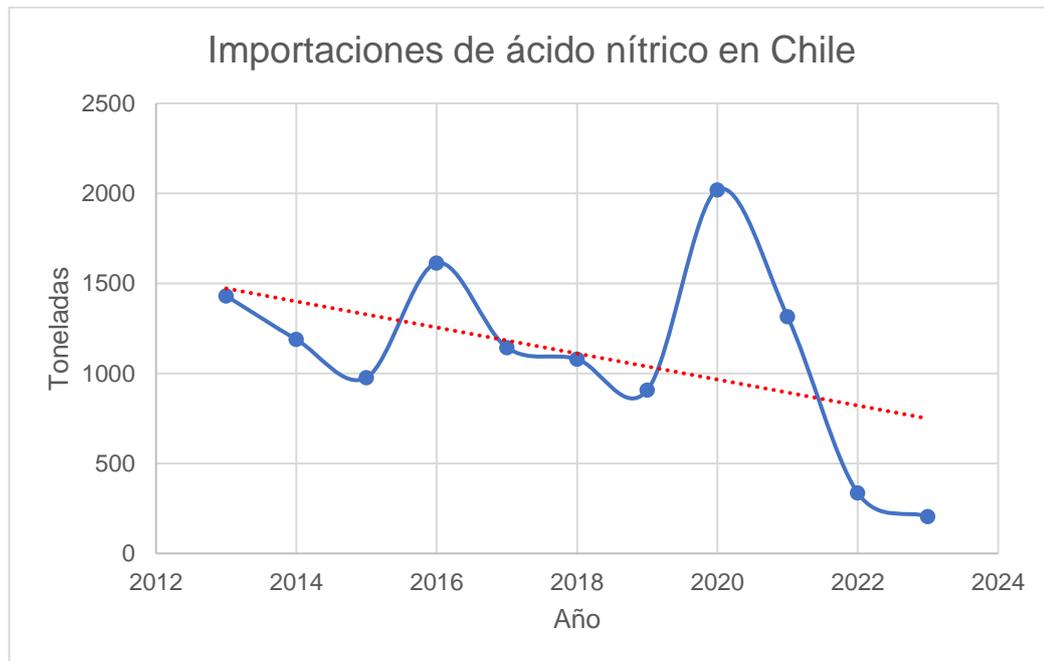


Figura 2-11: Importaciones de ácido nítrico en Chile – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio TradeMap<sup>12</sup>

Los proveedores de Chile son Alemania y Bélgica, y el consumo en el período 2013 – 2023 muestra una tendencia moderada a la baja.

Haciendo un promedio para cada país en el período 2018 – 2022 de cinco años (por ser el único período que tiene información de todos estos países), y sumando todos los promedios, se obtiene una cantidad de 14.137 toneladas anuales.

Como resumen, se puede decir que hay varios potenciales mercados, aunque todos son de difícil ingreso dado que generalmente las plantas se autoabastecen de ácido nítrico. La mayor ventaja a la que apunta este proyecto es a tener menores costos de materia prima y buena localización para exportar. La concentración del producto al 65% lo hace válido para aplicación en industria fertilizante y petroquímica, haciendo que haya una variedad de fuentes de demanda que informen el tamaño del proyecto.

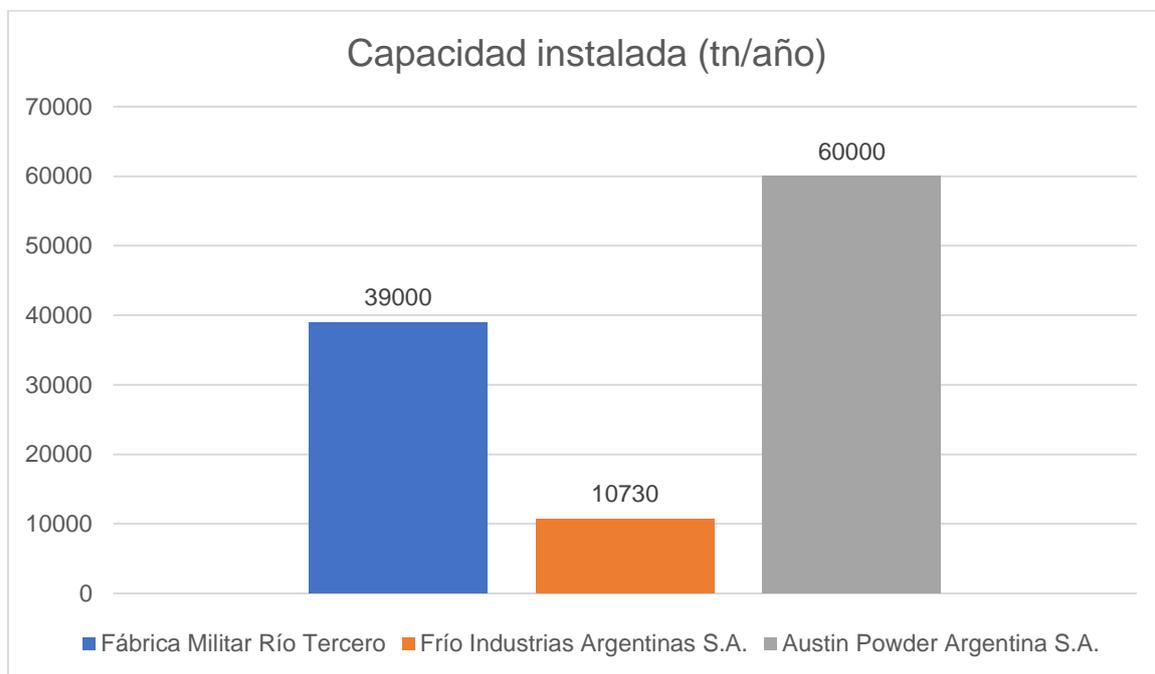


Figura 2-12: Capacidad instalada de plantas de ácido nítrico en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

La capacidad instalada total es de 109730 toneladas anuales, con una capacidad ociosa de 39447 toneladas a fines del año 2022.

## 2.7 - Proyección de la demanda

### 2.7.1 - A partir de coeficientes

Con el objetivo de hacer un pronóstico de la demanda a nivel nacional, se puede emplear el método de coeficientes de crecimiento con datos históricos.

<b>AÑO</b>	<b>CONSUMO APARENTE (ton)</b>	<b>COEFICIENTE DE CRECIMIENTO</b>
2013	29735	-0,120
2014	31310	0,053
2015	27859	-0,110
2016	20794	-0,254
2017	29627	0,425
2018	26001	-0,122
2019	21083	-0,189
2020	20836	-0,012
2021	39994	0,919
2022	69019	0,726
2023	80030,48	
2024	92798,76	
2025	107604,13	
2026	124771,59	
2027	144677,99	
2028	167760,31	
2029	194525,25	
2030	225560,35	
2031	261546,86	
2032	303274,76	
2033	351660,05	

Tabla 2-1: Coeficientes de crecimiento – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

$$\text{Coeficiente promedio} = 0.16$$

Calculando el promedio de todos los coeficientes se obtiene 0,16 , que indica una tendencia de la demanda a crecer. Calculando la demanda futura para cada año según:

$$\text{Demanda}_{\text{Año siguiente}} = \text{Demanda}_{\text{año actual}} * (1 + \text{Coef. Promedio})$$

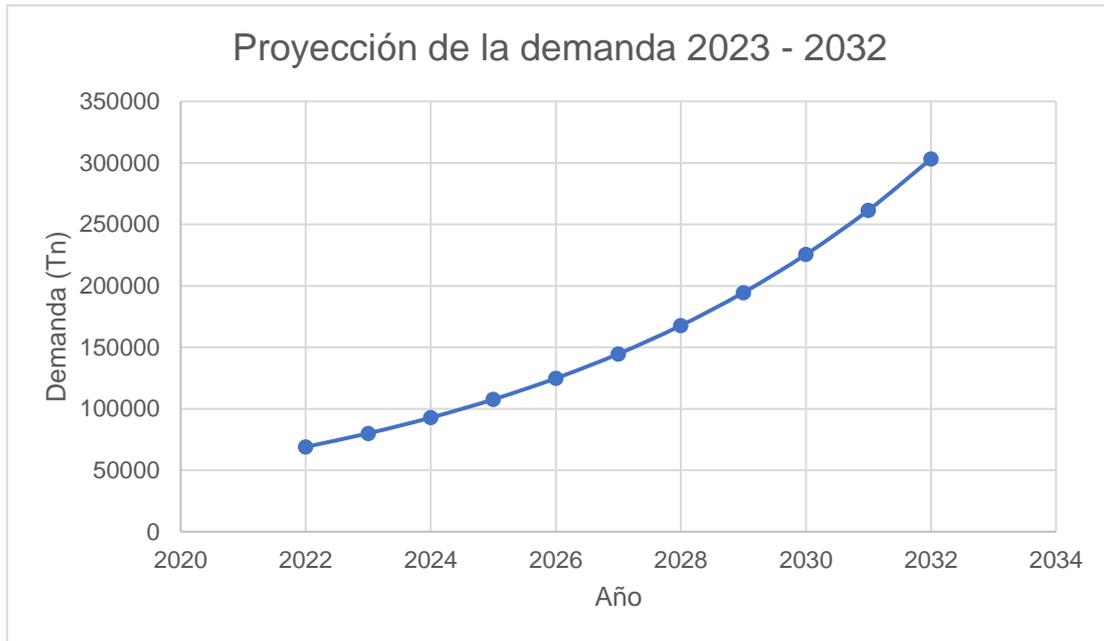


Figura 2-13: Proyección de la demanda de ácido nítrico mediante coeficientes de crecimiento – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Al cabo de 10 años según este método, la demanda se encontraría por encima de 300000 toneladas. En 2025 la demanda igualaría la capacidad instalada y de ahí en adelante habría demanda insatisfecha. Con este método de proyección de demanda, se obtienen resultados muy probablemente demasiado optimistas. El salto en 2021 y 2022 por la puesta en marcha de la planta Austin Powder tiene asociado dos coeficientes de crecimiento significativamente más grandes que los demás, provocando un sesgo positivo notable. Una interpretación más cuidadosa que se podría hacer de la proyección es que el salto en consumo del ácido nítrico fue destinada principalmente al mismo predio donde se produjo, para ser materia prima en la producción de nitrato de amonio, que anteriormente se importaba.

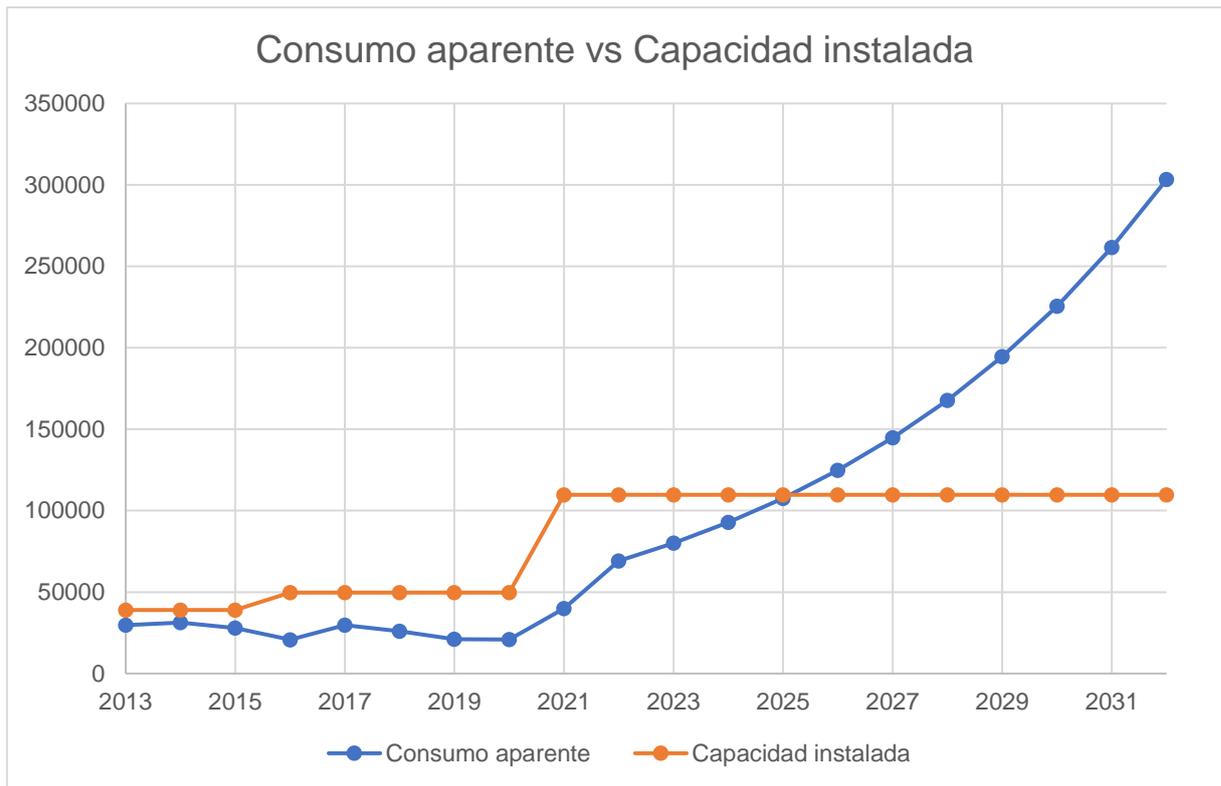


Figura 2-14: Proyección consumo aparente vs capacidad instalada – Fuente: Elaboración propia

## 2.7.2 - A partir de una recta de regresión lineal

Se podría tomar como un escenario intermedio la demanda proyectada para el 2026, que supera a la capacidad instalada, aunque es muy probable que la realidad no sea tal en un plazo de tiempo tan corto.

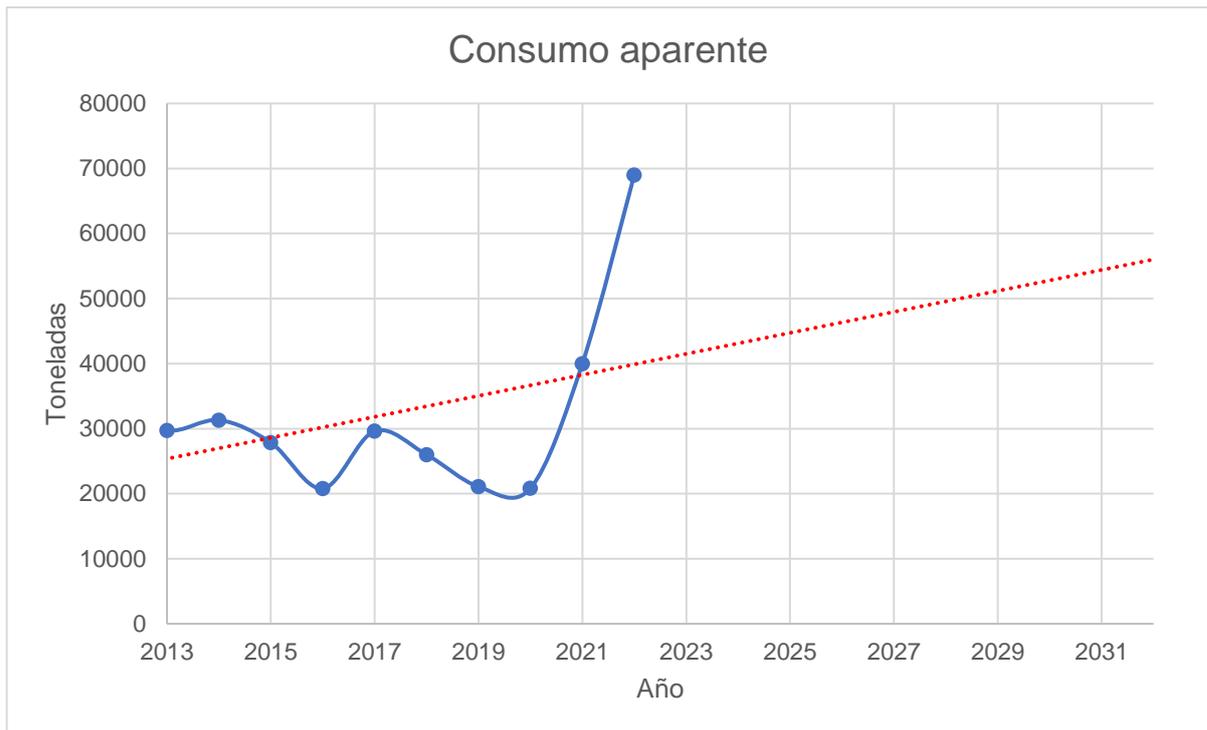


Figura 2-15: Proyección de la demanda de ácido nítrico mediante regresión lineal – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

A efectos de hacer un pronóstico más conservador, se aplica el método de regresión lineal. La recta marca una leve tendencia al crecimiento, contrastando con el método anterior que por el sesgo de los años 2020 y 2021 daba resultados a futuro muy optimistas. Bajo este método podría esperarse un consumo de aproximadamente 55.000 toneladas al cabo de diez años.

## 2.8 - Proyección del precio

Con el fin de estimar un precio de venta, se toma como referencia el precio FOB publicado en el anuario IPA para un período de los últimos quince años hasta el 2022 que es el último disponible.

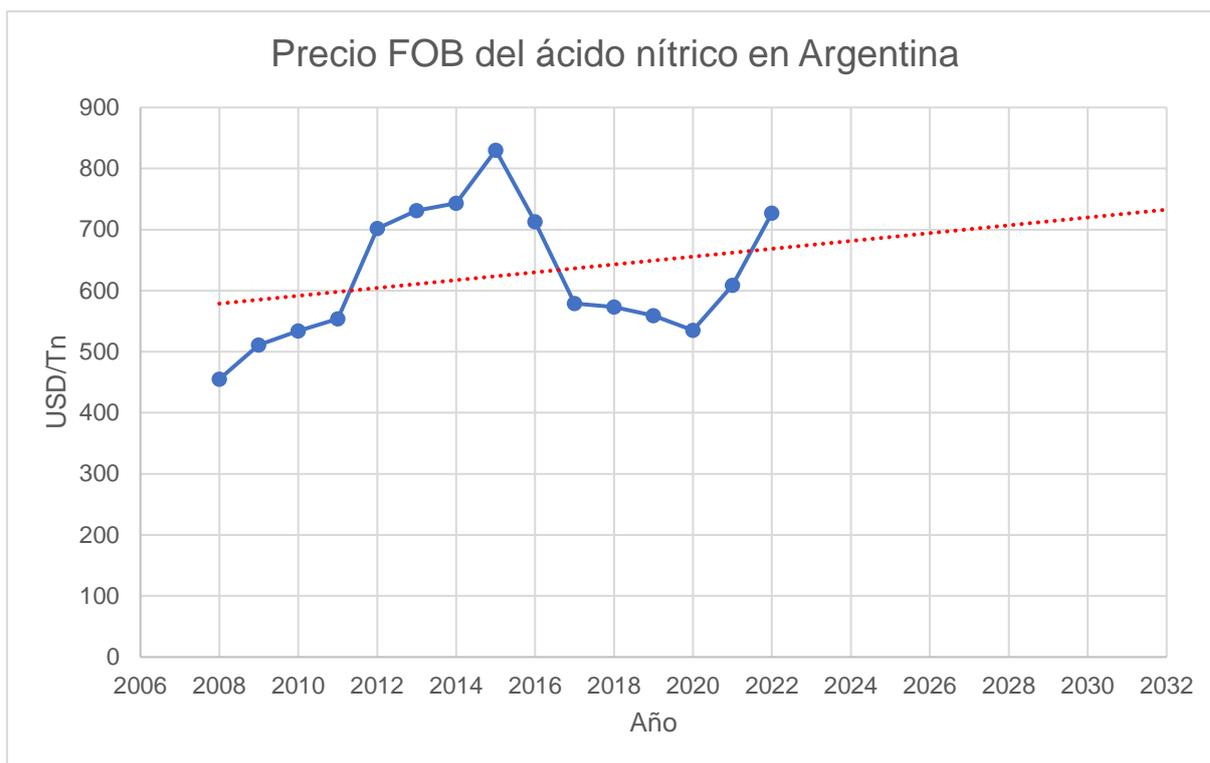


Figura 2-16: Proyección del precio FOB del ácido nítrico en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Se observa que el precio de exportación FOB se ha mantenido la mayor cantidad de tiempo por encima de 550 USD.

La proyección a 2032 marca una leve tendencia al crecimiento, siendo USD 700 el promedio en los diez años proyectados.

El promedio de los quince años históricos es USD 623. Basándose en dicho promedio, se adoptará un precio de venta para el producto de USD 650.

## 2.9 - Mercado del amoníaco

### 2.9.1 - Producción de amoníaco en Latinoamérica

A nivel latinoamericano, BASF SE y CF Industries Holdings, Inc son proveedores líderes, con capacidad de 1,7 millones de toneladas anuales y 9,3 millones de toneladas anuales, respectivamente.

Otros proveedores son Yara International ASA, Unigel y Proman GmbH. Unigel posee dos plantas en Brasil, que combinadas producen unas 925000 toneladas anuales de amoníaco.<sup>13</sup>

<sup>14</sup>

Trinidad y Tobago posee varias plantas de amoníaco pertenecientes a CF, con una capacidad total de 360000 ton/año.<sup>15</sup> En total, produce 5,2 millones ton/año en sus once plantas.<sup>16</sup>

En la actualidad en Colombia, Monómeros cuenta con un complejo industrial en Barranquilla que tiene capacidad de almacenamiento de 10000 toneladas métricas de amoniaco. Además, tienen más de cinco décadas de experiencia en el manejo de este compuesto químico, y cuando entre a operar una nueva planta en 2027 tendrán capacidad para producir cerca de 100000 toneladas anuales de amoniaco verde.<sup>17</sup>

En México, Pemex es líder en la producción de amoníaco, con una capacidad de 277800 toneladas anuales.<sup>18</sup>

## 2.9.2 - Producción de amoníaco en Argentina

No existe ninguna tendencia destacable. La producción se mantiene en un promedio levemente por encima de 700000 toneladas anuales, de los cuales se exportan entre 25000 y 30000.

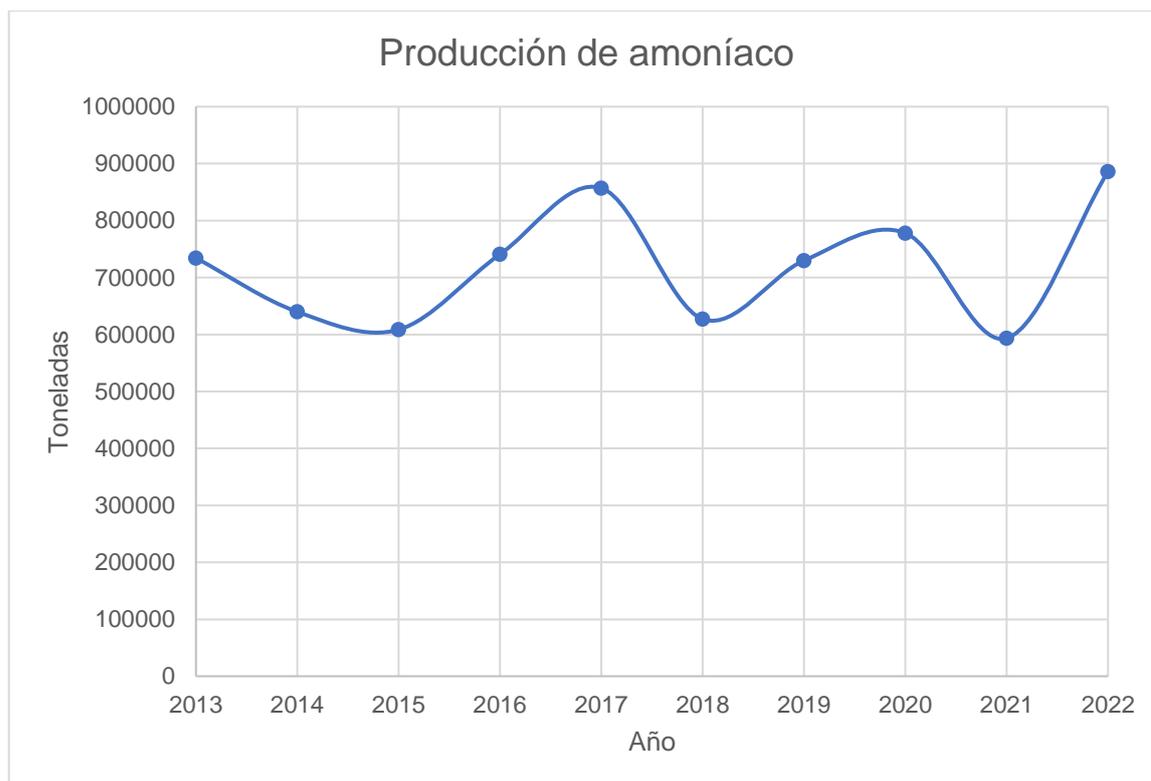


Figura 2-17: Producción de amoníaco en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

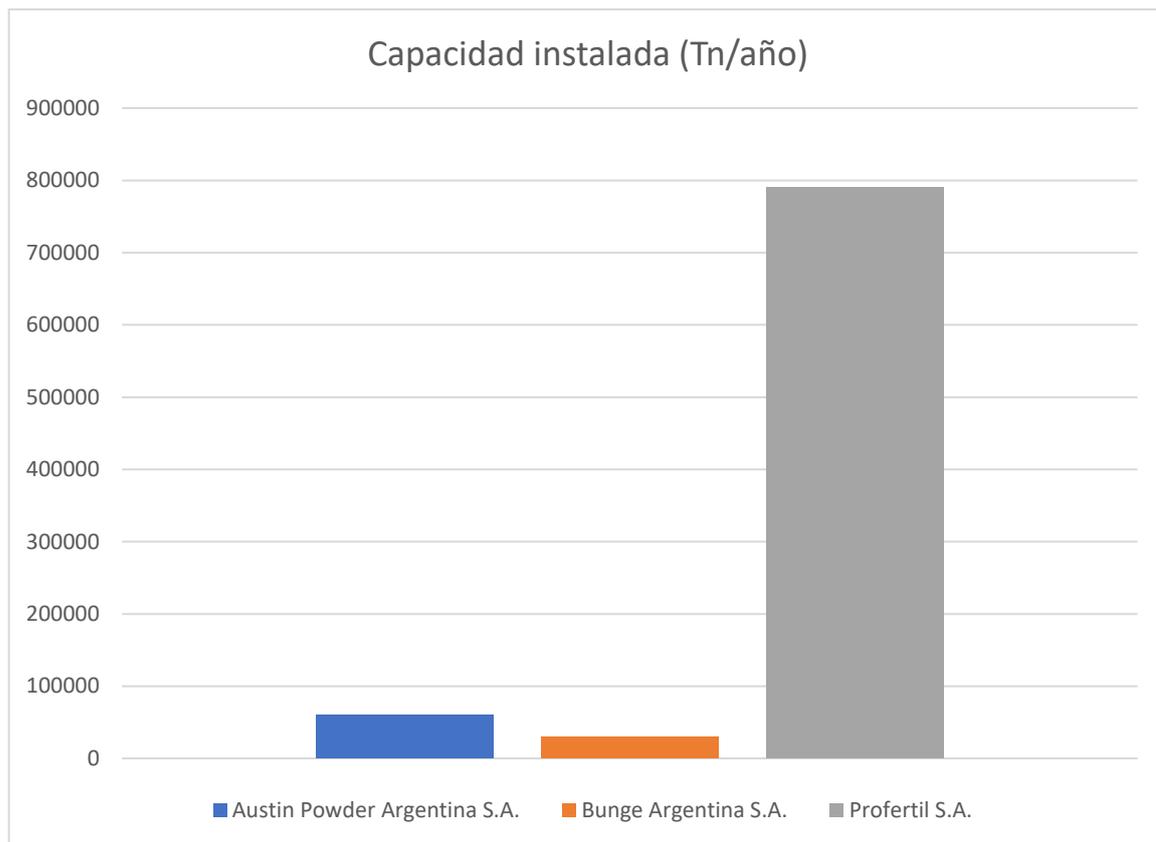


Figura 2-18: Capacidad instalada de plantas de amoníaco en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>



Figura 2-19: Porción del mercado nacional del ácido amoníaco ocupada por cada aplicación – Fuente: Elaboración propia con datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Dentro del 5% del mercado local que no se destina a la producción de urea se encuentra el ácido nítrico.

### 2.9.3 - Proyección del precio

Con el fin de estimar un precio de venta, se toma como referencia el precio FOB publicado en el anuario IPA para un período de los últimos quince años hasta el 2022 que es el último disponible.

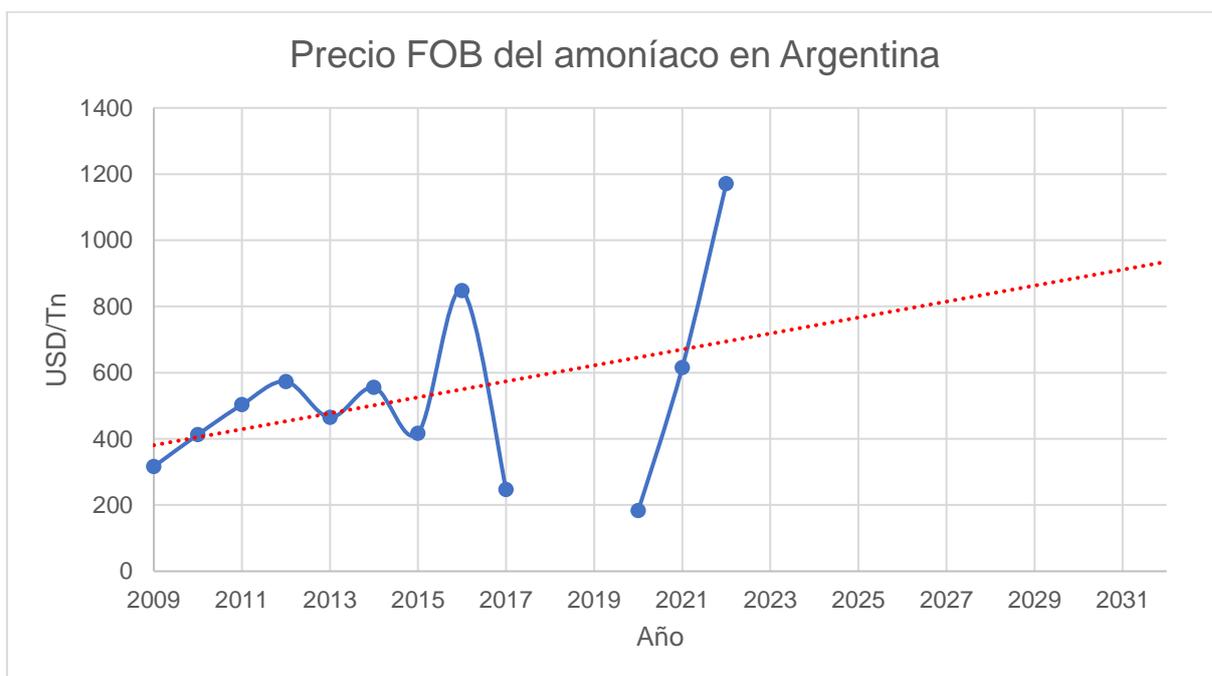


Figura 2-20: Proyección del precio FOB del amoníaco en Argentina – Fuente: Elaboración propia en base a datos del anuario IPA 2023<sup>7</sup>

Se observa que el precio de exportación FOB del amoníaco en Argentina se ha mantenido el mayor tiempo por encima de los USD 300.

La proyección a 2032 marca una leve tendencia al crecimiento, siendo algo más de USD 800 el promedio en los diez años proyectados.

El promedio en los quince años históricos es USD 525.

Estos son precios que incluyen costos de embarque. Como en el proyecto se comparará el amoníaco directamente desde Profertil por cañerías, el precio se reduciría porque no habría costos de embarque asociados. Para este proyecto se tomará como precio de compra del amoníaco USD 500.

### 2.9.4 - Conclusión



---

Existe una amplia gama de aplicaciones para el ácido nítrico, cada una con su mercado, aunque no es sencillo introducirse como un nuevo competidor debido a que existe capacidad ociosa. Por otro lado, resulta particularmente atractivo el mercado en países vecinos a los que se podría exportar, y también dentro del país buscando alguna ventaja para diferenciarse de los competidores.

## 3 - ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA

### 3.1 - Introducción

En este capítulo se analizan las distintas tecnologías del proceso de obtención de ácido nítrico, las materias primas involucradas y el catalizador, con el fin de seleccionar la más apropiada para el proyecto.

### 3.2 - Materias primas y catalizador

#### 3.2.1 - Amoníaco

El amoníaco es un compuesto químico, formado por tres átomos de hidrógeno y por un átomo de nitrógeno ( $\text{NH}_3$ ), 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 altamente volátil, las industrias lo venden en forma líquida bajo presión, constituyendo un negocio considerablemente rentable, ya que se produce en grandes cantidades. El amoníaco será adquirido en forma de amoníaco anhidro como gas licuado en cilindros de acero.

Propiedad	Valor
Punto de ebullición	-33,35 °C
Punto de fusión	-77,7 °C
Densidad (líquido)	0,6818 (-33,35 °C y 1 atm)
Densidad de vapor (aire = 1)	0,6
Presión de vapor (a 25,7 °C)	760 mmHg
Temperatura de autoignición	651 °C
Solubilidad	Muy soluble en etanol, cloroformo y éter etílico
Solubilidad en agua (% en peso)	42,8 (0 °C)
	33,1 (20 °C)
	23,4 (40 °C)
	14,1 (60 °C)
Temperatura crítica	133 °C
Presión crítica	11.425 KPa
Peso molecular	17 g/mol

Tabla 3-1: Propiedades físicas del amoníaco – Fuente: UNAM

#### 3.2.2 - Aire

El aire es una mezcla de gases que constituyen la atmósfera terrestre. Su composición molar es de 78% nitrógeno, 21% oxígeno, y el 1% restante es argón y otros gases inertes.

Las propiedades fisicoquímicas del aire seco a 0 kPag y a 27 °C se indican en la tabla siguiente:

Temperatura [°C]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosidad absoluta [Pa s]	Viscosidad cinemática [m <sup>2</sup> /s]	Constante particular [J/kg K]	Calor específico a presión constante [J/kg K]	Calor específico a volumen constante [J/kg K]	Coefficiente de dilatación adiabática
0	1.29	1.71 × 10 <sup>-5</sup>	1.33 × 10 <sup>-5</sup>	287	1000	716	1.40
50	1.09	1.95 × 10 <sup>-5</sup>	1.79 × 10 <sup>-5</sup>	287	-	-	-
100	0.946	2.17 × 10 <sup>-5</sup>	2.30 × 10 <sup>-5</sup>	287	1010	723	1.40
150	0.835	2.38 × 10 <sup>-5</sup>	2.85 × 10 <sup>-5</sup>	287	-	-	-
200	0.746	2.57 × 10 <sup>-5</sup>	3.45 × 10 <sup>-5</sup>	287	1020	737	1.39
250	0.675	2.75 × 10 <sup>-5</sup>	4.08 × 10 <sup>-5</sup>	287	-	-	-
300	0.616	2.93 × 10 <sup>-5</sup>	4.75 × 10 <sup>-5</sup>	287	1040	758	1.38
400	0.525	3.25 × 10 <sup>-5</sup>	6.20 × 10 <sup>-5</sup>	287	1070	781	1.37

500	0.457	$3.55 \times 10^{-5}$	$7.77 \times 10^{-5}$	287	1090	805	1.36
-----	-------	-----------------------	-----------------------	-----	------	-----	------

Tabla 3-2: Propiedades físicas del aire seco – Fuente: Wikipedia

### 3.2.3 - Agua

El agua es un líquido incoloro, insípido e inodoro. Es el único líquido común en la superficie terrestre, también se halla en estado sólido y gaseoso. En este proceso cumple la función tanto de materia prima como fluido de intercambio térmico.

Propiedad	Valor
Punto de fusión (a 1 atm)	0 °C
Punto de ebullición (a 1 atm)	100 °C
Punto crítico (a 217,7 atm)	374 °C
Densidad (a 4°C)	1.000 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad (a 20 °C)	1 cP

Tabla 3-3: Propiedades físicas del agua – Fuente: Wikipedia

### 3.2.4 - Catalizador

Cuando la tecnología lo requiere, el catalizador está generalmente en forma de gasas de malla fina (usualmente 80), tejida con alambre de aleación 90% platino - 10 % rodio, aunque también existen de 95 – 5 – 5 Pt – Pd – Rh y otras proporciones. El rodio aumenta la resistencia mecánica de la aleación y reduce las pérdidas de metal in-situ, particularmente a temperaturas encima de 800 °C. Las aleaciones de Pt – Pd – Rh tienen un rendimiento similar a las de Pt – Rh, pero el costo del paladio es mucho menor al del platino y rodio, lo que torna atractiva económicamente a esta opción.

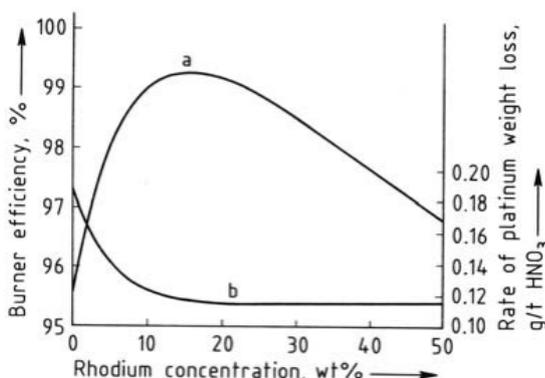
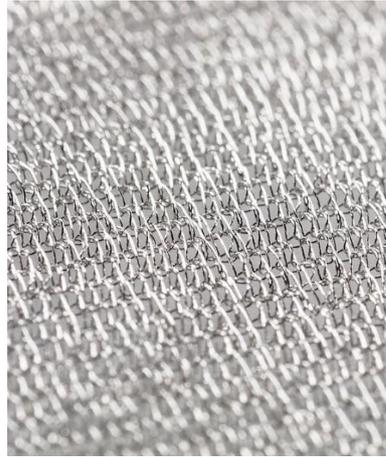
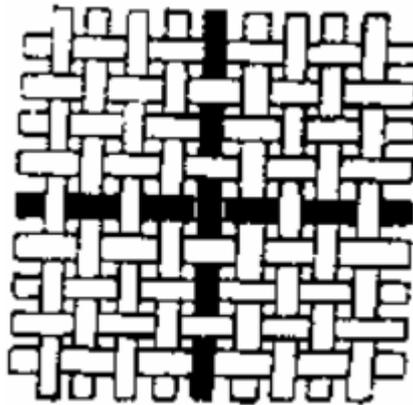


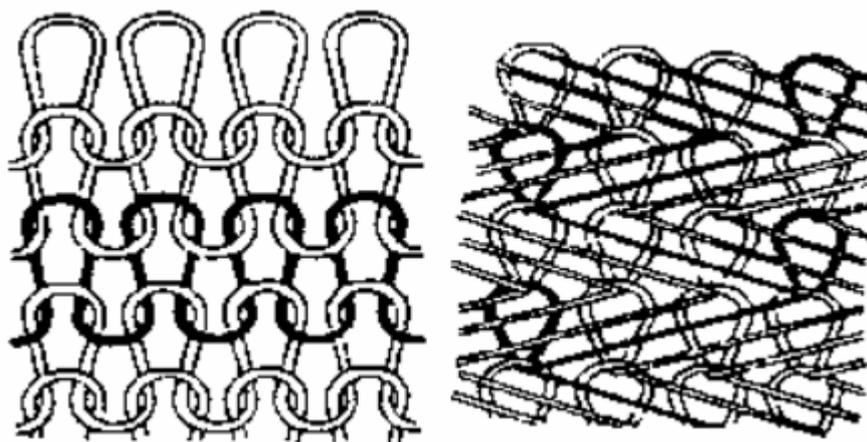
Figura 3-1: Efecto de la proporción de rodio en la conversión a monóxido de nitrógeno y pérdidas de platino – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial Ullmann



*Figura 3-2: Gasa de catalizador – Fuente: Johnson Matthey*



*Figura 3-3: Tejido por trama – Fuente: China national chemical supply & sales corporation Taiyuan precious metals Co., LTD*



*Figura 3-4: Tejido por urdimbre – Fuente: China national chemical supply & sales corporation Taiyuan precious metals Co., LTD*

En comparación con la gasa tejida por trama, la gasa de tejido por urdimbre tiene una mayor superficie efectiva para catálisis debido a su estructura tridimensional. Otra ventaja es la menor resistencia al flujo de gas, mayor conversión del amoníaco, menor formación de óxido de rodio, menor pérdida de rodio, menor cantidad de material necesario, tiempo de producción más corto y mayor vida útil. Es por estas ventajas que el tejido por urdimbre representa la mejor alternativa actualmente.

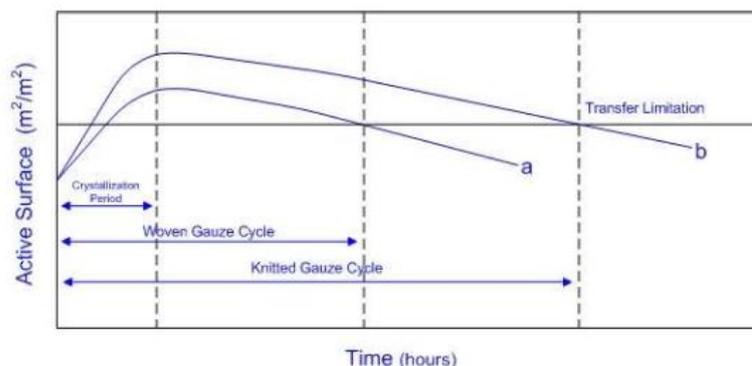


Figura 3-5: Superficie activa del catalizador para (a) trama y (b) urdimbre – Fuente: China national chemical supply & sales corporation Taiyuan precious metals Co., LTD

### 3.3 - Subproductos

Las emisiones procedentes de la fabricación de ácido nítrico incluyen principalmente óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) y posiblemente trazas de amoníaco y niebla de ácido nítrico. El gas de cola de la torre de absorción de ácido es la mayor fuente de emisiones de óxido de nitrógeno. Estas emisiones pueden aumentar cuando se suministra aire insuficiente al oxidante y al absorbedor, en condiciones de baja presión del absorbedor y durante condiciones de alta temperatura en el enfriador/condensador y el absorbedor.

El control de las emisiones de las plantas de ácido nítrico generalmente se logra mediante absorción prolongada o reducción catalítica. La absorción extendida funciona aumentando la eficiencia del proceso de absorción. La reducción catalítica oxida los óxidos de nitrógeno en el gas de cola y los reduce a nitrógeno. Si bien la reducción catalítica consume más energía, logra mayores reducciones de emisiones que el método de absorción extendida. En el capítulo de Impacto Ambiental se ahonda más en este tema.

Los desechos sólidos de la fabricación de ácido nítrico incluyen catalizadores gastados que se devuelven al fabricante o se eliminan. El polvo del catalizador puede depositarse en el equipo, pero si contiene metales preciosos, se recupera y se envía para su reprocesamiento a un proveedor externo. Los metales preciosos arrastrados por la corriente de gases que sale del convertidor de amoníaco, son capturados por un filtro con gasa de recuperación (getter), que debe ser reemplazada periódicamente y reprocesada por un fabricante de gasas. También se deben reemplazar periódicamente los filtros utilizados para la filtración de amoníaco/aire.

## 3.4 - Métodos de obtención del ácido nítrico

### 3.4.1 - A partir de Chile Saltpetre

Este proceso utiliza como materia prima principal el Chile Saltpetre, una sal blanca que contiene 34,0 - 60,0% p/p de  $\text{NaNO}_3$  y el resto de  $\text{KNO}_3$  y  $\text{NaCl}$ . El  $\text{NaNO}_3$  se extrae y se procesa para obtener  $\text{HNO}_3$ . Esta sal se encuentra en mayor medida en el norte de Chile y, aunque se calcula que las reservas son suficientes como para abastecer siglos de este proceso, la recuperación del  $\text{NaNO}_3$  es un proceso muy complicado. Por esta razón se descarta como tecnología posible.

### 3.4.2 - Método Birkland-Eyde

Este proceso requiere aire como materia prima principal. El  $\text{N}_2$  y el  $\text{O}_2$  reaccionan a temperatura elevada (mayor a  $3.000^\circ\text{C}$ ), la cual es alcanzada mediante energía eléctrica. La implementación de dicha tecnología no tuvo éxito debido a la baja conversión (4%) y a sus elevados costos energéticos. Por estos motivos se descarta la tecnología.

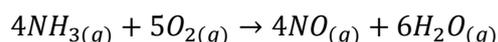
### 3.4.3 - Método de fijación de nitrógeno

La oxidación de  $\text{N}_2$  atmosférico es llevada a cabo bajo la exposición de este con radiación de uranio 235. Debido al mantenimiento, manejo y transporte del material altamente radiactivo, la tecnología aquí mencionada es descartada.<sup>19</sup>

### 3.4.4 - Método Ostwald

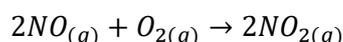
El  $\text{HNO}_3$  se produce, industrialmente, por oxidación catalítica del  $\text{NH}_3$  a alta temperatura con exceso de aire. Este método se lleva a cabo en tres etapas:

- 1) Oxidación catalítica de  $\text{NH}_3$  con  $\text{O}_2$  del aire para producir NO



Una etapa de oxidación mediante la cual el amoníaco reacciona con aire en un convertidor catalítico a temperaturas en el rango de  $850\text{-}970^\circ\text{C}$ .

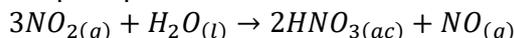
- 2) Oxidación del NO a  $\text{NO}_2$



El segundo paso involucra la oxidación del NO a  $\text{NO}_2$  y la dimerización del  $\text{NO}_2$  a  $\text{N}_2\text{O}_4$ . El tercer paso implica el enfriamiento de la corriente de gases que salen del convertidor, hasta debajo del punto de rocío, de tal manera que se forma una fase

líquida de ácido nítrico débil. Este paso efectivamente promueve la oxidación y dimerización, y elimina agua de la fase gaseosa.

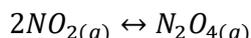
- 3) Absorción del NO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O para producir HNO<sub>3</sub>



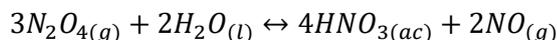
Finalmente, se forma ácido nítrico por la reacción del NO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> disueltos en el agua. La formación de dos moles de ácido va acompañada de la formación de un mol de NO. Este gas debe ser recirculado en el proceso.

Además de esas tres reacciones principales, existen otras secundarias:

- 1) Dimerización del NO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>



- 2) Absorción del N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> en H<sub>2</sub>O



Los dos procesos modernos para la producción de ácido nítrico diluido (60-69% en peso) que fueron desarrollados son el proceso de presión dual y el proceso de una sola presión. Ambos procesos son capaces de producir eficientemente productos de calidad similar, con las mismas limitaciones en cuanto a polución atmosférica.<sup>20</sup>

### 3.4.4.1 - Comparación entre variantes del proceso Ostwald

Ambos procesos siguen el esquema básico de reacciones descrito arriba, para la oxidación catalítica de amoníaco.

Los gases de reacción pasan por una serie de etapas de recuperación de energía antes de ingresar a una columna de absorción. Los fondos de la columna se blanquean de dióxido de nitrógeno disuelto usando aire, y la solución resultante es de ácido nítrico entre 60 y 69% de concentración en peso.

Actualmente la variante de baja presión del proceso de una sola presión ha caído en desuso. Fabricantes que buscan una rápida recuperación del capital invertido, frecuentemente aprovechan la variante de alta presión del proceso de una sola presión, dado que una única torre de absorción es suficiente para producir hasta 10000 toneladas por día. La mayor presión también implica que el convertidor, tuberías y otros equipos pueden ser hechos en menor tamaño y con ello ocupar menor superficie e invertir menos en los equipos por ser estos más pequeños, llegando más rápido a la rentabilidad.<sup>21</sup>

	<b>Monopresión</b>	<b>Doble presión</b>
<b>Presión en el convertidor</b>	100 – 220 kPa (baja presión)	101 - 350 kPa
<b>Presión en el absorbedor</b>	230 – 600 kPa (media presión)	800 – 1.100 kPa

	700 – 1.100 kPa (alta presión)	
<b>Temperatura en el convertidor</b>	Aprox. 920 °C	Aprox. 865 °C

Tabla 3-4: Comparación entre temperaturas y presiones en el método de monopresión y doble presión – Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio Umweltbundesamt y la enciclopedia Ullmann<sup>23 24</sup>

Ventajas del proceso monopresión	Ventajas del proceso de doble presión
Menor costo de inversión	Reemplazo menos frecuente de catalizador debido a menores presiones y temperaturas en el convertidor
Mejor recuperación de energía a partir de vapor	Admite una mayor proporción de NH <sub>3</sub> en la mezcla
Menor tiempo de recuperación de la inversión	Mayor selectividad hacia la formación de NO en el convertidor
Menor complejidad	Mayor eficiencia de absorción debido a la alta presión en la columna de absorción

Tabla 3-5: Ventajas del proceso monopresión y doble presión – Fuente: Elaboración propia en base al sitio Ammonia Know How<sup>22</sup>

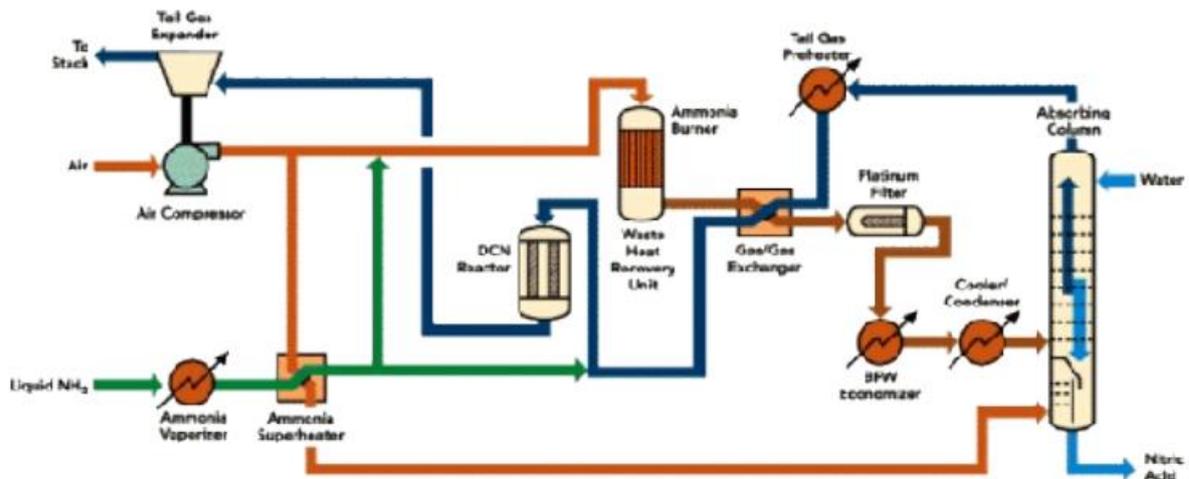


Figura 3-6: Diagrama simplificado del proceso monopresión – Fuente: Ammonia Know How<sup>22</sup>

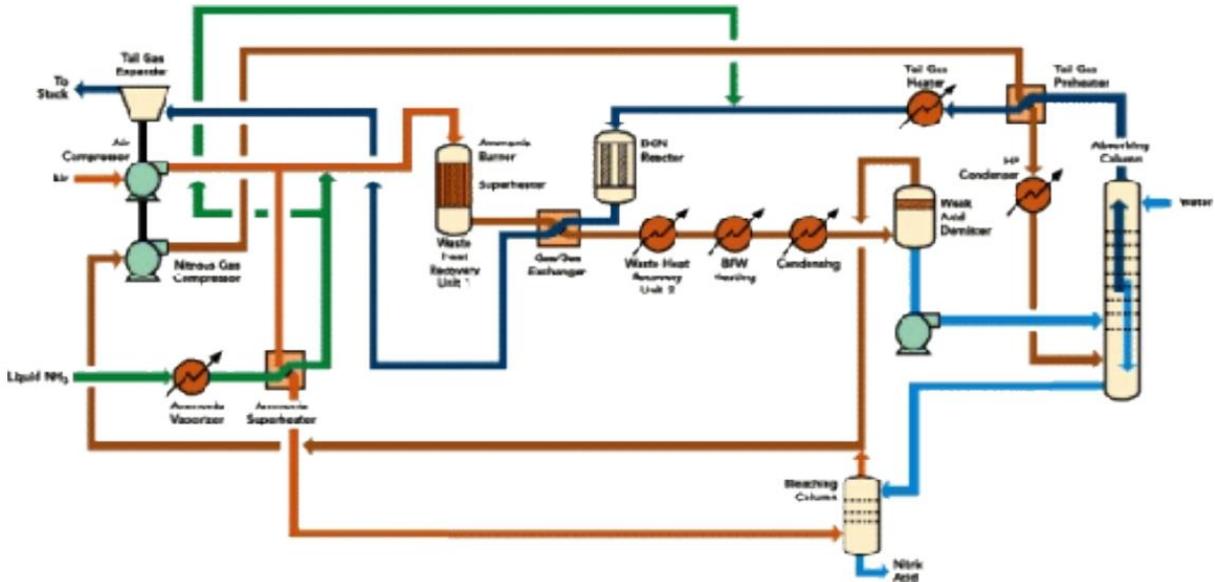


Figura 3-7: Diagrama simplificado del proceso doble presión – Fuente: Ammonia Know How<sup>22</sup>

### 3.5 - Selección de tecnología

La tecnología seleccionada es el método de Ostwald, por ser una tecnología madura y bien establecida a nivel mundial como la estándar para la producción industrial de ácido nítrico.

En particular se elige la variante de monopresión, ya que por lo visto en el estudio de tamaño, el rango de tamaños de planta dentro del cual razonablemente se podría elegir uno, queda por debajo de la capacidad de plantas que emplean el método de doble presión. Además, no se justificarían los altos costos de inversión de una planta de doble presión.



## **4 - ESTUDIO DE TAMAÑO**

### **4.1 - Introducción**

El tamaño del proyecto influye directamente sobre los costos tanto operativos como de inversión, lo cual tiene un efecto al momento de estimar la rentabilidad. Para este proyecto, el tamaño está dado por la capacidad instalada de producción de ácido nítrico, 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.

### **4.2 - Factores que condicionan el tamaño del proyecto**

Para establecer el tamaño de un proyecto, el aspecto más usado y más importante es la demanda del mercado, ya que este es de acuerdo a las necesidades del mercado, aunque tomar esta como única variable sería dejar de lado varios aspectos cruciales que pueden hacer que un proyecto funcione o no:

#### **4.2.1 - Mercado proveedor de MP**

En el presente proyecto la materia prima, específicamente el amoníaco, impone una restricción ya que es un compuesto químico peligroso y su transporte en recipientes a presión es complejo. Es por ello que lo ideal sería ubicar la planta en cercanías a un proveedor, de manera de reducir al mínimo el costo y tiempo del transporte.

Para el caso del aire y el agua no se tienen problemas acerca de la disponibilidad de los mismos, ya que el aire es un recurso infinito y el agua está disponible en la mayoría de las zonas industriales. La materia prima a comprar es el amoníaco, cuyos mercados proveedores se analizaron en la sección de Estudio de Mercado.

El amoníaco que es producido en Argentina se utiliza en un 95% para producir Urea y un 5% para refrigeración, fertilización, entre otras aplicaciones. Además se exporta una parte del amoníaco.

Distintas fuentes indican distintas cantidades de  $\text{NH}_3$  requeridas por tonelada de  $\text{HNO}_3$  puro.

Por ejemplo, en una planta de ácido nítrico construida en Uzbekistán por la empresa suiza Casale, se consumen 283 kg  $\text{NH}_3$  por tonelada de  $\text{HNO}_3$  puro. En la enciclopedia de química industrial, del autor Ullmann, se menciona un consumo de  $\text{NH}_3$  entre 279 y 283 kg por tonelada de  $\text{HNO}_3$  puro, dependiendo si se trata de un proceso monopresión o doble presión. Plantas de referencia según el sitio Umweltbundesamt con el método de doble presión media-alta y

atmosférica-media, tienen consumo específico de alrededor de 0,29 tn  $\text{NH}_3$ /tn  $\text{HNO}_3$  puro, lo cual es un valor que se asemeja a los mencionados en los otros ejemplos.<sup>23 24 25</sup>

Para este proyecto en particular, se tomará un valor de 282 kg de  $\text{NH}_3$  por tonelada de ácido puro.

Para una producción de 10.000 toneladas de ácido nítrico puro al año, hay 2820 toneladas de amoníaco consumidas. En el 2022 se exportaron unas 32000 toneladas de amoníaco.

Como conclusión, considerando la cantidad de amoníaco necesario, existe suficiente oferta a nivel nacional para producir sin inconvenientes.

## **4.2.2 - 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.

Se podría dar el caso en que el proceso tecnológico impone una producción mínima que, en algunos casos, podría ser superior a la capacidad de uso planeada y que conlleva a una elevación en los costos de operación a niveles no rentables.

Distintas empresas que asesoran y concretan la construcción de plantas de ácido nítrico, mencionan aproximadamente las mismas capacidades recomendadas y que se pueden encontrar usualmente tanto para la tecnología de mono presión como la de doble presión. Stamicarbon tiene plantas hasta 600 tn/día con mono presión y de 2000 tn/día o superior con doble presión. La empresa alemana Thyssenkrupp Uhde recomienda el proceso de mono presión para capacidades debajo de 500 tn/día. La empresa suiza Casale construye plantas compactas con mono presión a partir de 50 tn/día hasta 1000 tn/día. A nivel local se tiene la planta de Frío Industrias con capacidad de 30 tn/día.

Tomando como referencia esos valores, la demanda del producto a nivel nacional y la capacidad de las plantas instaladas en el país, no se consigue suficiente información para afirmar que la tecnología de mono presión impone una capacidad mínima. Se puede asignar un tamaño tan bajo como 20 tn/día contando con que los costos operativos no serán prohibitivos.

## **4.2.3 - Financiamiento**

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.

## **4.2.4 - Recursos humanos**

Este factor es tomado en cuenta en el estudio de localización. 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.

### **4.2.5 - Mercado**

Del capítulo de estudio de mercado se desprende que la mayoría del mercado del ácido nítrico es como materia prima del nitrato de amonio, luego como materia prima del TDI y finalmente usos varios. También se halla que hay capacidad ociosa, lo cual puede ser un factor en contra de construir una nueva planta en el país. Sin embargo, también hay factores favorables que podrían contrarrestar eso y justificar insertarse en el mercado:

- La leve tendencia al aumento de la demanda cuando se proyecta a futuro.
- La posibilidad de mejoras en el ámbito fiscal e impositivo.
- El mercado consumidor en países que no tienen su propia producción de ácido nítrico, como Paraguay y Uruguay. Adoptar una zona portuaria como localización del proyecto le da aún más peso a este factor. Incluso Brasil, que si bien tiene su propia producción, constituye una parte del mercado exportador de Argentina.
- La existencia de importaciones de nitrato de amonio, a pesar de la puesta en marcha de una planta productora en 2021. Esto presenta una oportunidad porque podría resultar atractivo económicamente para aquellas empresas que actualmente importan el nitrato de amonio tener su propia planta. En tal caso, este proyecto puede proponer la construcción de una planta que sea proveedora de ácido nítrico de alguna de esas empresas, como por ejemplo Profertil. Un escenario similar es tomado como base para determinar el tamaño en un proyecto de inversión en una planta de ácido nítrico elaborado por alumnos de la Universidad de La Plata en el año 2016.

### **4.2.6 - Medio ambiente**

El impacto que pueda generar el proyecto sobre el medio ambiente, así como la necesidad de grandes equipos 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.

Para el caso de este proyecto, la generación de efluentes líquidos es prácticamente nula y las emisiones gaseosas quedan limitadas únicamente a la corriente del gas de cola, que contiene gases NO<sub>x</sub> perjudiciales para el medio ambiente por formación de lluvia ácida. Es una ventaja de la variante de alta presión de la tecnología mono presión, la baja generación de gases NO<sub>x</sub> en la torre de absorción.

Como el análisis del entorno y el mercado arroja que no se justificaría la construcción de una planta de gran tamaño, o sería muy riesgoso, tampoco será muy grande el tamaño de un eventual equipo de mitigación.



---

## **4.3 - Conclusión**

El tamaño elegido será de 45 toneladas diarias de ácido al 65%, que equivale a unas 15300 anuales. Con este tamaño se tiene similar capacidad a la de uno de los competidores (35 toneladas diarias) y es favorable para la tecnología seleccionada.

Si bien como se mencionó antes hay capacidad ociosa, también hay un entorno que podría favorecer al proyecto. La localización puede suponer la principal ventaja para compensar la capacidad ociosa, ya que una localización portuaria, y al mismo tiempo dentro del mismo parque industrial que el principal proveedor, permite ofrecer un precio competitivo por el ahorro en costos de transporte de materia prima y facilidad para exportar por vía marítima también a un precio menor.



## 5 - ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN

### 5.1 - Introducción

En este capítulo se hace un estudio de posibles localizaciones geográficas para el proyecto.

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 tiene consecuencias negativas a largo plazo.

El objetivo del estudio de la localización física del proyecto es el de maximizar los beneficios, sacando el máximo provecho, minimizando los costos de inversión y los del ciclo operativo del proyecto.

En este estudio de localización del proyecto, se debe tener en cuenta dos aspectos: la macro localización; la cual consiste en evaluar el sitio que ofrece las mejores condiciones para la ubicación del proyecto, en el país o en el espacio rural y urbano de alguna región y la micro localización; que es la determinación del punto preciso donde se construirá la planta de producción de ácido nítrico dentro de la región, y en ésta se hará la distribución de las instalaciones en el terreno elegido.

### 5.2 - Macrolocalización

En primer lugar se elige localizar la planta en un parque industrial dentro de Argentina con el objetivo de abastecer al mercado consumidor interno y eventualmente el externo.

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), define los **Parques Industriales** como *“un terreno urbanizado y subdividido en parcelas, conforme a un plan general, dotado de carreteras, medios de transporte y servicios públicos, que cuenta o no con fábricas construidas (por adelantado), que a veces tiene servicios e instalaciones comunes y a veces no, y que está destinado al uso de una comunidad de industriales”*

### Parques Industriales en el país

Hay 8.423 hectáreas ocupadas por parque industriales.

Distribución, cantidad de has. y participación porcentual

Buenos Aires	3.675	43,6%
Conurbano	1.658	19,7%
Resto provincia	2.077	23,9%
Entre Ríos	712	8,5%
Mendoza	635	7,5%
Río Negro	429	5,1%
Chubut	406	4,8%
San Luis	379	4,5%
Salta	357	4,2%
Córdoba	344	4,1%
La Rioja	301	3,6%
Sgo. del Estero	266	3,2%
La Pampa	257	3,1%
Chaco	252	3,0%
Santa Fe	218	2,6%
San Juan	95	1,1%
Tucumán	50	0,6%
Jujuy	47	0,6%



Fuente: CEP a partir de Secretarías Provinciales de Desarrollo e Industria

Figura 5-1: Superficie de parques industriales en cada provincia – Fuente: CEP

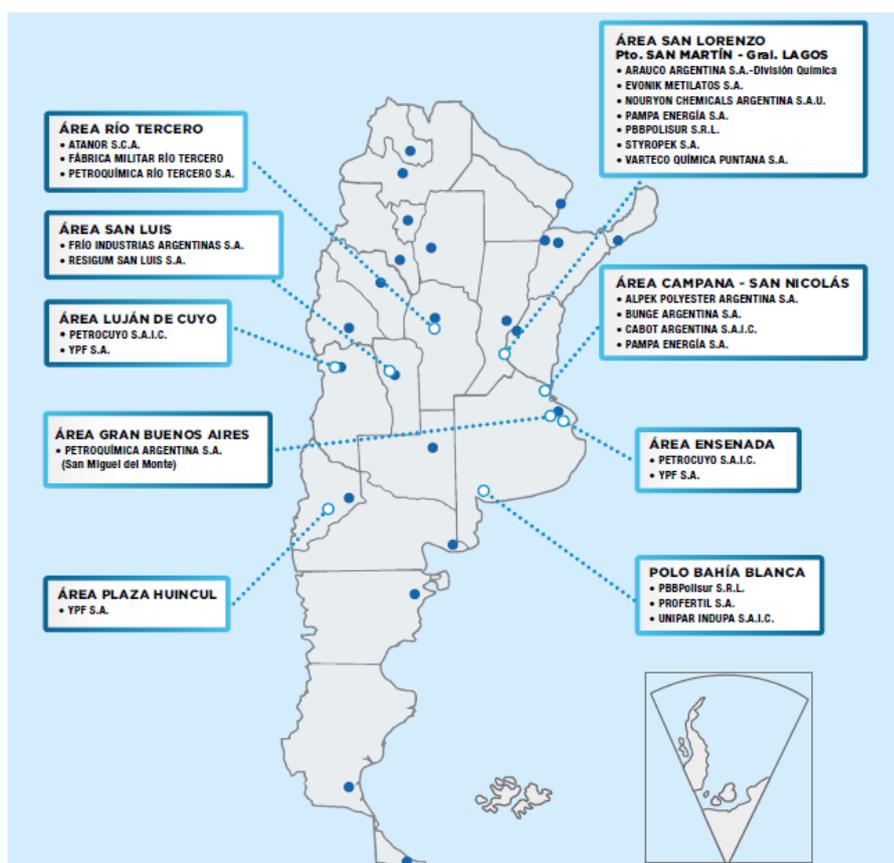


Figura 5-2: Polos petroquímicos en Argentina – Fuente: Anuario IPA 2023<sup>7</sup>



La decisión de que la ubicación de la planta será en un parque industrial se basa en que los mismos son predios dedicados al establecimiento de la actividad industrial, respetando las particularidades regionales y están localizados en armonía con los planes de desarrollo urbano locales y el medio ambiente. Además, poseen una oferta de infraestructura y servicios comunes (energía eléctrica, gas, suministro de agua), disposición y tratamiento de aguas servidas, régimen tributario más flexible. Por lo que, al ubicar la planta industrial en uno de esos aglomerados se resolverían, de algún modo, y en gran medida, los factores de disponibilidad de servicios, tratamiento, disposición y destino de efluentes y, además, estarían controlados los factores tributarios, legales y políticos.

Para un análisis preliminar de macrolocalización se analizarán en conjunto tres factores:

- Disponibilidad de zonas industriales
- Disponibilidad de materias primas para el proceso
- Ubicación y tamaño del mercado consumidor

Este último factor es algo más complejo de evaluar en este proyecto, debido a la forma de operar que tienen las empresas productoras de ácido nítrico. En particular porque estas empresas tienen complejos industriales donde el ácido producido en su mayoría o totalidad se utiliza allí mismo como materia prima para un producto subsiguiente que es el comercializado. Por ejemplo: el complejo de Austin Powder en Salta tiene una planta de ácido nítrico, una de amoníaco y una de nitrato de amonio que es el producto final.

Algo distinto es el caso de la Fábrica Militar Río Tercero, que si bien le vende ácido nítrico a la Petroquímica Río Tercero que está dentro del mismo parque industrial, no deja de ser un proveedor vendiéndole materia prima a un cliente que puede estar abierto a otro proveedor si así le conviene. Tal podría ser el caso si por ejemplo el precio de venta en este proyecto es lo suficientemente bajo como para compensar la mayor distancia.

El resto del mercado consumidor que no comprende producción de TDI o nitrato de amonio, se puede considerar como distribuido en todo el país, para uso en laboratorios, fabricación de explosivos, fertirrigación y otras aplicaciones donde se comercializa el ácido como tal.

Queda limitado el estudio de macrolocalización a la franja central del país, que comprende las provincias de Mendoza, San Luis, Córdoba, Buenos Aires y Entre Ríos.

	<b>Disponibilidad de zonas industriales</b>	<b>Disponibilidad de materias primas</b>
<b>Mendoza</b>	635 ha	No
<b>San Luis</b>	379 ha	No
<b>Córdoba</b>	344 ha	Sí
<b>Buenos Aires</b>	3675 ha	Sí
<b>Entre Ríos</b>	712 ha	No

Tabla 5-1: Superficie y disponibilidad de materia prima en distintas zonas industriales – Fuente: Elaboración propia



*Figura 5-3: Provincias con mayor superficie de parques industriales – Fuente: Elaboración propia*

En cuanto a consumo de ácido nítrico, aproximadamente la mitad del mercado es la producción de nitrato de amonio, que únicamente se produce en Salta con autoabastecimiento de ácido nítrico, un cuarto del mercado está localizado en Córdoba para la producción de TDI y el resto se reparte en usos varios en diferentes provincias.

Como muestra la tabla de arriba, la provincia de Buenos Aires y Córdoba son las únicas en la franja central que tienen fábricas de la materia prima que es el amoníaco, y por lo tanto la decisión final de macrolocalización se decide entre estas dos alternativas. Se le da más peso a la cercanía al proveedor de materia prima por sobre la cercanía al mercado consumidor y el costo de transporte de producto final a causa del mayor peligro y costo que supone transportar la materia prima, siendo que se almacena en recipientes a altas presiones, lo cual no es el caso con el producto final.

## **5.2.1 - Buenos Aires**

### **5.2.1.1 - Disponibilidad de parques industriales**

Con una extensión de 3675 hectáreas tiene la mayor superficie de parques industriales del país. En la provincia de Buenos Aires hay 196 agrupamientos industriales, distribuidos en 107 municipios -el 60% de ellos se encuentran en el interior, y el 40% en el AMBA. 94 agrupamientos cuentan con su Decreto Provincial de aprobación, lo cual garantiza que funcionan en condiciones de regularidad ambiental, hidráulica, y administrativa, y 102 tienen Disposición Previa, lo que asegura que están en condiciones de avanzar con los trámites para su regularización definitiva. A modo de destacar algunos, se puede mencionar el Parque Industrial Pilar, el Polo Industrial Ezeiza, el Parque Industrial Chivilcoy y el Polo Petroquímico de Bahía Blanca, entre otros.<sup>26</sup>

### 5.2.1.2 - Disponibilidad de materias primas

La presencia de dos productores de amoníaco, Bunge y Profertil, contribuye a hacer de esta provincia una mejor opción frente a Córdoba para la macrolocalización del proyecto. Bunge tiene su planta de amoníaco en un complejo industrial en las afueras de la ciudad de Campana, mientras que Profertil tiene su planta en la ciudad de Bahía Blanca, dentro del Polo Petroquímico de Bahía Blanca.

### 5.2.1.3 - Disponibilidad de transporte

Hay más de 20 puertos para buques de carga a lo largo de la costa y sobre el Río Paraná, siendo algunos de ellos Rosales, Bahía Blanca, La Plata, Campana - Muelle Provincial, Pan American Energy (Campana), Bunge (Ramallo), San Pedro y San Nicolás – Muelle Provincial. La existencia de estos muelles permite el cómodo acceso a importaciones de insumos y exportaciones de producto final.

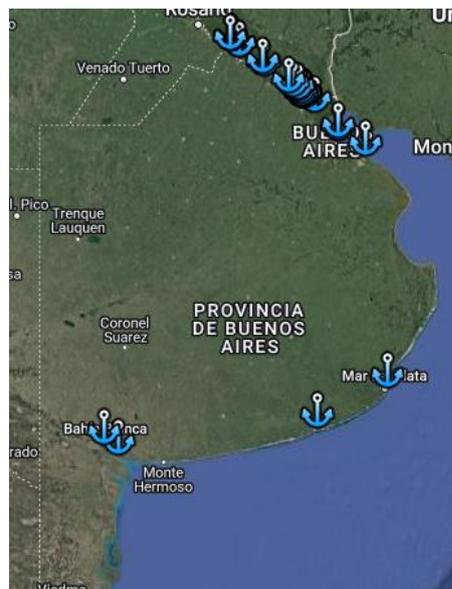


Figura 5-4: Mapa de puertos de la provincia de Buenos Aires – Fuente: Argentina.gob.ar

## 5.2.2 - Córdoba

### 5.2.2.1 - Disponibilidad de parques industriales

Con 344 hectáreas y 52 parques industriales, es la octava provincia con más superficie de parques industriales, siendo algunos de ellos el Polo 52, Parque Industrial Leonardo DaVinci, Parque Industrial Calchín y Parque Industrial Villa del Rosario.

### **5.2.2.2 - Disponibilidad de materias primas**

Dentro del Parque Industrial Leonardo DaVinci se encuentra la Fábrica Militar Río Tercero, que es uno de los productores de amoníaco a nivel nacional, aunque en menores cantidades.<sup>27</sup>

### **5.2.2.3 - Disponibilidad de transporte**

Para esta provincia el transporte queda limitado a lo terrestre, ya sean camiones o ferrocarriles. Los costos de transporte pueden resultar una desventaja en aquellos casos que se desee exportar o importar.

## **5.2.3 - Conclusión**

La macrolocalización elegida es Buenos Aires, por tener más de un proveedor de la materia prima, disponibilidad amplia de puertos para exportaciones e importaciones, abundancia de parques industriales y latitud central. Existen otros factores que entran en juego al evaluar alternativas de localización, como los incentivos, la disponibilidad de mano de obra y servicios, pero para este proyecto ya se tiene la idea preliminar de posicionar la planta en un parque industrial, donde no presentan inconvenientes ninguno de esos tres factores.

## **5.3 - Microlocalización**

Para el estudio de microlocalización, se empleará el método de factores ponderados, que consiste en asignarle un puntaje a cada alternativa de localización y elegir aquella que tenga la ponderación mayor. La ponderación en sí surge de, para una serie de aspectos evaluados como pueden ser la cercanía al proveedor, incentivos, cercanía a un puerto, etc., asignar un valor que es el peso relativo y otro valor que es la calificación que se le da a ese aspecto. Por ejemplo: al aspecto "Cercanía al proveedor" se le asigna un peso relativo de 0.2 con respecto a los otros aspectos (siendo 1 la suma total de los pesos relativos), y un 8 como calificación, dando una ponderación de  $0.2 * 8 = 1.6$

Se eligen parques industriales de la provincia como las alternativas a evaluar. Dado que la provisión de materia prima vendrá de Profertil o Bunge, se tendrán en cuenta dos sitios: el polo petroquímico de Bahía Blanca, y el parque industrial de Campana.

### **5.3.1 - Factores analizados para decidir la microlocalización**

### 5.3.1.1 - Cercanía al proveedor de MP

Esto es un parámetro crítico, porque el transporte de la MP es costoso y peligroso.

### 5.3.1.2 - Disponibilidad de MP

Esto es un parámetro crítico porque el amoníaco es la principal MP del proceso. Se supone que el aire y el agua no representan la misma importancia porque se pueden encontrar en cualquier parque industrial.

### 5.3.1.3 - Disponibilidad de servicios

Esto es un parámetro de media importancia. El servicio más necesario en el proceso es el agua, para enfriamiento y como una MP más. Puede inyectar excedente de vapor para uso en otra parte del parque industrial, e incluso también agua caliente.

### 5.3.1.4 - Disponibilidad de transporte de cargas

Es un factor de media importancia. Es un plus disponer de accesos a ferrocarriles, aunque el transporte por camiones es adecuado y también tiene sus ventajas. Transporte fluvial o marítimo también es importante.

### 5.3.1.5 - Disponibilidad de personal

Es un factor de baja importancia. Como se están evaluando parques industriales en una provincia con muchas industrias, se presume que en cualquier opción habrá suficiente personal idóneo. Incluso si en una no hubiera, se pueden contratar empleados de otras partes de la provincia.

### 5.3.1.6 - Cercanía a un puerto

Es un factor de media-alta importancia. Facilita la recepción de equipos al momento de construir la planta, y a largo plazo da acceso fácil para exportar el producto final o importar un insumo como es el catalizador o eventualmente reemplazar un equipo.

Factores	Peso relativo	Bahía Blanca		Campana	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Cercanía al proveedor de MP	0,25	10	2,5	8	2

Disponibilidad de MP	0,22	10	2,2	7	1,54
Disponibilidad de servicios	0,14	9	1,26	9	1,26
Disponibilidad de transporte de cargas	0,15	9	1,35	9	1,35
Disponibilidad de personal	0,08	8	0,64	7	0,56
Cercanía al puerto	0,16	10	1,6	8	1,28
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>9,55</b>		<b>7,99</b>

Tabla 5-2: Tabla de factores ponderados para la microlocalización – Fuente: Elaboración propia

Por el método de factores ponderados se elige como microlocalización óptima para el proyecto el polo petroquímico de Bahía Blanca, ya que constituye un parque industrial muy amplio en cuanto a superficie y tiene disponibilidad de todos los servicios necesarios. La ventaja clave es la presencia de Profertil dentro del mismo parque, lo que disminuye notablemente los costos y tiempos de transporte del amoníaco.

### 5.3.2 - Selección del terreno

En la figura de abajo se muestran posibles terrenos a ser utilizados por el proyecto. En particular, se elegirá el terreno 1 por ser aquel que está más cerca de Profertil.

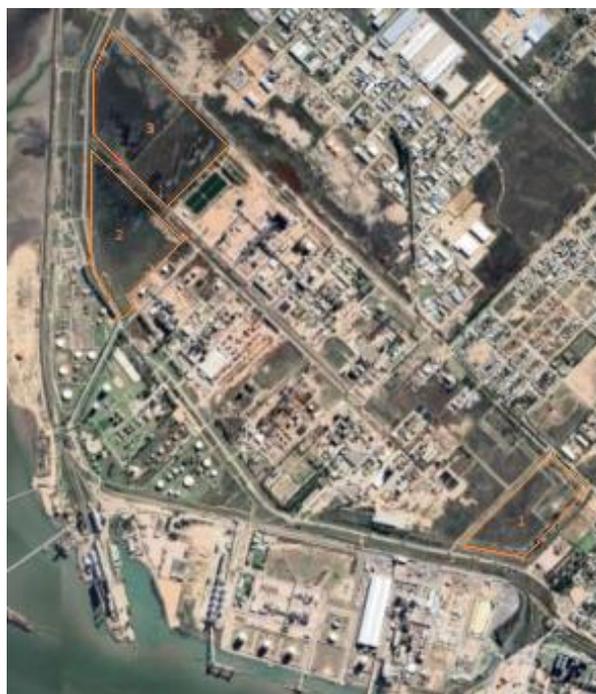


Figura 5-5: Posibles terrenos dentro del polo petroquímico de Bahía Blanca – Fuente: Elaboración propia en base a Google Maps



*Figura 5-6: Terreno seleccionado para el proyecto – Fuente: Google Maps*

Una vista más amplia de la zona, con mejor perspectiva de la ubicación del terreno con respecto a Profertil se muestra en la figura siguiente:



*Figura 5-7: Localización de Profertil con respecto a la localización del proyecto – Fuente: Google Maps*

El puerto por el que se importará lo necesario y exportará el producto será el puerto Ingeniero White.



Figura 5-8: Mapa de puertos de Bahía Blanca – Fuente: PuertoBahíaBlanca

### 5.3.3 - Conclusión

La planta que propone este proyecto estará ubicada en Buenos Aires, en la zona de Bahía Blanca, y específicamente en el polo petroquímico de Bahía Blanca, debido a las ventajas que posee frente a otras localizaciones cuando se analizan los factores vistos en este capítulo.

## 6 - INGENIERÍA DE DETALLE

### 6.1 - Introducción

En este capítulo se describe en detalle el proceso y se presentan los cálculos de los balances de masa y energía, así como el diseño de algunos equipos.

### 6.2 - Descripción del proceso

Como ya se explicó en el capítulo 3, la tecnología de proceso elegida para producir el ácido nítrico al 65% en peso, es el método Ostwald, a presión única alta (de unos 1.000 kPa<sub>g</sub>)

El aire es tomado del ambiente a temperatura de 30 °C e ingresa a un compresor centrífugo, donde su presión aumenta desde presión atmosférica hasta 1.090 kPa en dos etapas. Puesto que el compresor está montado en un eje accionado por turbinas que giran con gases y vapor producidos por el mismo proceso, no consume potencia. Ambas turbinas realizan una expansión adiabática: a la turbina de vapor entra vapor sobrecalentado a 380 °C y 4.000 kPa y sale vapor saturado a 250 °C, y a la turbina de gas ingresa gas a 620 °C y sale a 223 °C.

Un 80% de la corriente de aire tiene carácter de “aire primario” y será precalentado y alimentado al reactor, mientras que el 20% restante es el “aire secundario” e irá directo a la torre de blanqueo al final de todo el proceso.

El amoníaco es tomado en estado líquido a 15 °C y posteriormente evaporado a 35 °C en un intercambiador de calor con agua a 50 °C como fluido de intercambio. Luego el sobrecalentador de amoníaco lo lleva a 177 °C con aporte de calor de una parte del vapor producido en el sobrecalentador de vapor, siendo la otra parte la que va a la turbina.

El aire comprimido sale de la compresión a 230 °C y se precalienta hasta 262 °C por aporte de calor de los gases producto.

El amoníaco sobrecalentado y el aire comprimido y precalentado se mezclan en un mezclador estático. Eventualmente puede ser necesario otro mezclador para mezclar amoníaco y gas de cola en una relación 1:100 previo a la reducción catalítica de los NO<sub>x</sub>.

La mezcla reaccionante ingresa al reactor, donde la totalidad del amoníaco se convierte. El 95% forma NO y el 5% forma N<sub>2</sub>, con una temperatura en la superficie del catalizador de unos 920 °C. El reactor es un recipiente a presión que opera en el rango de 1.050 kPa a 1.100 kPa. Por motivos de seguridad, la presión de diseño debe ser de aproximadamente 1.400 kPa. El recipiente debe ser diseñado para asegurar que el gas de alimentación fluya a través de la gasa de catalizador de Pt-Rh.

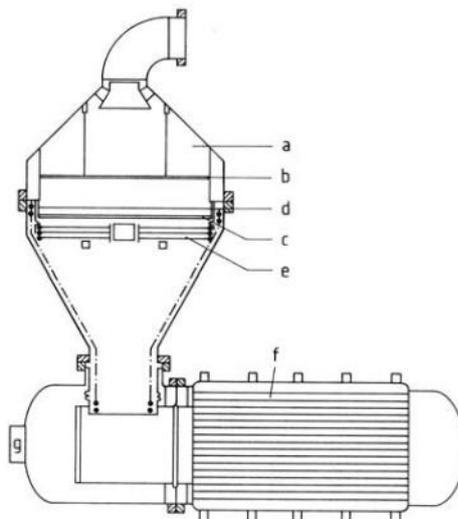


Figura 6-1: Esquema de un conjunto reactor e intercambiador de calor – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann

Los productos salen del reactor y pasan por dos etapas de enfriamiento directamente dentro del reactor:

- 1) Precalentamiento del aire: los productos ceden calor para precalentar el aire a 262 °C mediante una camisa.
- 2) Precalentamiento del gas de cola: los productos avanzan a un intercambiador de casco y tubos inmediatamente posterior a la camisa. Allí le ceden calor al gas de cola que proviene de la cabeza de la torre de absorción, saliendo a 645 °C y enfriando al gas de cola hasta 620 °C. El gas de cola al salir del intercambiador de calor va hacia la turbina de gas, donde se expande y hace girar la turbina. Al salir de la turbina va hacia un economizador, que es un intercambiador de calor con agua como fluido frío que baja la temperatura de los gases hasta alrededor de 65 °C, y finalmente llega al tratamiento de efluentes NOx.

A continuación hay un tren de intercambiadores de calor cuyo objetivo es seguir aprovechando el calor que lleva la corriente de productos. Son las siguientes etapas:

- 1) Producción de vapor sobrecalentado: los productos que salieron a 645 °C del segundo intercambiador de calor del reactor, también llamado precalentador de gas de cola, ingresan al sobrecalentador de vapor, que toma vapor saturado y produce vapor sobrecalentado a 380 °C y 4000 kPa. Este vapor luego se emplea como fluido caliente para sobrecalentar el amoníaco, y sale como vapor saturado a 250 °C y 4000 kPa.
- 2) Hervidor con calor residual: el agua que se precalentó en el economizador por aporte de calor del gas de cola, ingresa a este hervidor, y sale como vapor saturado a 250 °C y 4000 kPa. El aporte de calor lo hacen los gases provenientes del sobrecalentador de vapor y salen a 280 °C.

El camino de los productos sigue con el filtro de platino, cuya función es retener las partículas de platino que se volatilizaron o arrastraron. Por las condiciones de este proceso, se utilizan más comúnmente filtros mecánicos. El Pt es recolectado en un filtro de retención de partículas aguas abajo del reactor. El filtro mecánico se construye de vidrio, lana mineral, cerámica o fibras de amianto y se instala normalmente aguas abajo en donde la temperatura del gas es



menor que 400°C. Su costo es bajo pero la caída de presión que experimenta la corriente de proceso al atravesarlo es elevada y por esto debe realizarse una limpieza periódica para retirar la torta formada y recuperar el metal precioso.

A continuación sigue el enfriamiento progresivo:

- 3) Precalentamiento del gas de cola: el gas de cola hace su segundo precalentamiento por aporte de calor de los productos, habiendo ocurrido el primer precalentamiento en un intercambiador de calor que se describirá más adelante. El último precalentamiento ya fue explicado antes, cuando se aclaró que enfría los productos hasta 645 °C.
- 4) Enfriamiento y condensación del vapor de agua: los productos se enfrían hasta 60 °C en un intercambiador de calor que tiene agua a 20 °C como fluido frío y condensa el vapor de agua que iba en los productos. Esa agua reacciona con el NO<sub>2</sub> y se forma una solución de ácido nítrico diluido al 37%.

Los productos y la solución de ácido al 37% ingresan a un recipiente similar al reactor pero sin catalizador, donde ocurre lo siguiente:

- 1) La solución cae por el fondo del recipiente sin intervenir en la reacción. Será bombeada a cierta altura de la torre de absorción.
- 2) Se aporta una corriente adicional que consiste del aire secundario más el N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> arrastrado de la torre desorbedora.
- 3) Se oxida el NO a NO<sub>2</sub> y el NO<sub>2</sub> se dimeriza N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.
- 4) Los productos salen por la cabeza de ese recipiente a unos 130 – 150 °C.

Los productos avanzan hasta una última etapa de enfriamiento en un intercambiador de calor cuya agua de enfriamiento está en un ciclo con el vaporizador de amoníaco. Es decir, el vaporizador devuelve agua a 50 °C a este intercambiador, que le envía al vaporizador agua a 80 °C. La temperatura de salida de los productos es de alrededor de 60 °C, que favorece la reacción de absorción dentro de la torre.

En la torre de absorción ingresan los gases de reacción a 60 °C cerca del fondo y la solución de ácido al 37% por una parte superior de la torre, encima del plato en el cual se supone que existe la misma concentración de ácido. Los mecanismos cinéticos y de transferencia de masa son sumamente complejos en el interior de la torre, así como los modelos matemáticos para diseñarla. A modo de simplificación, se toma que solo ocurren tres reacciones:

- 1) Oxidación del resto de NO a NO<sub>2</sub>.
- 2) El N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> se descompone en NO<sub>2</sub>.
- 3) Formación de HNO<sub>3</sub> por reacción de H<sub>2</sub>O con NO<sub>2</sub>.

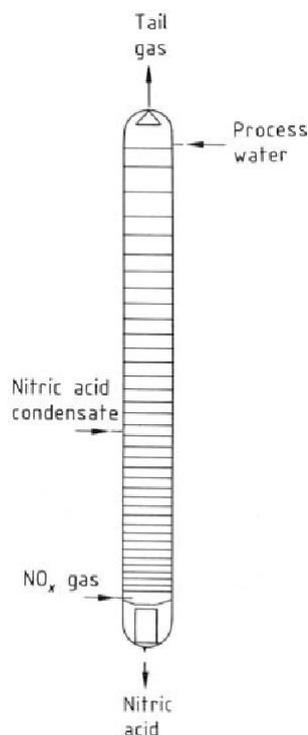


Figura 6-2: Esquema de una torre de absorción – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann

Como la oxidación procede más lentamente a medida que se agota el contenido de NO<sub>x</sub>, el espaciado entre platos va aumentando.

En un aerofriador es pre-enfriada agua a 7 °C y se divide en dos corrientes. Una corriente ingresa cerca de la cabeza de la columna en forma de lluvia y otra circula por un serpentín de enfriamiento. Por la cabeza de la columna sale el gas de cola a 10 °C. Este gas pasa a un primer precalentamiento en un intercambiador de calor que tiene la particularidad de emplear al aire secundario como fluido caliente. El aire secundario sale más frío, a unos 80 °C y va a la torre de blanqueo. Por el fondo de la torre sale ácido nítrico rojo al 65% arrastrando consigo la totalidad del N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, a una temperatura de 45 °C.

Una simplificación que es tomada en algunas fuentes bibliográficas, es que la torre opera de forma isotérmica e isobárica, manteniendo 30 °C y alrededor de 990 - 1.000 kPa en su interior<sup>28</sup>. Dado que las reacciones son exotérmicas, se requiere un sistema de serpentín que emplea agua a 7 °C en la zona superior y a 20 °C en la zona inferior para mantener la temperatura baja y favorecer la producción de HNO<sub>3</sub>.

La etapa final es el blanqueo. La torre de blanqueo es una columna de platos de menores dimensiones que la torre de absorción, y es alimentada en su parte inferior con el aire secundario mientras que por la parte superior cae el ácido rojo. El objetivo es que el aire circulando a contracorriente de la solución de ácido arrastre todo el N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> disuelto en el agua de la solución y sale por cabeza en dirección al recipiente de oxidación. Por el fondo de la torre de blanqueo sale el producto final.

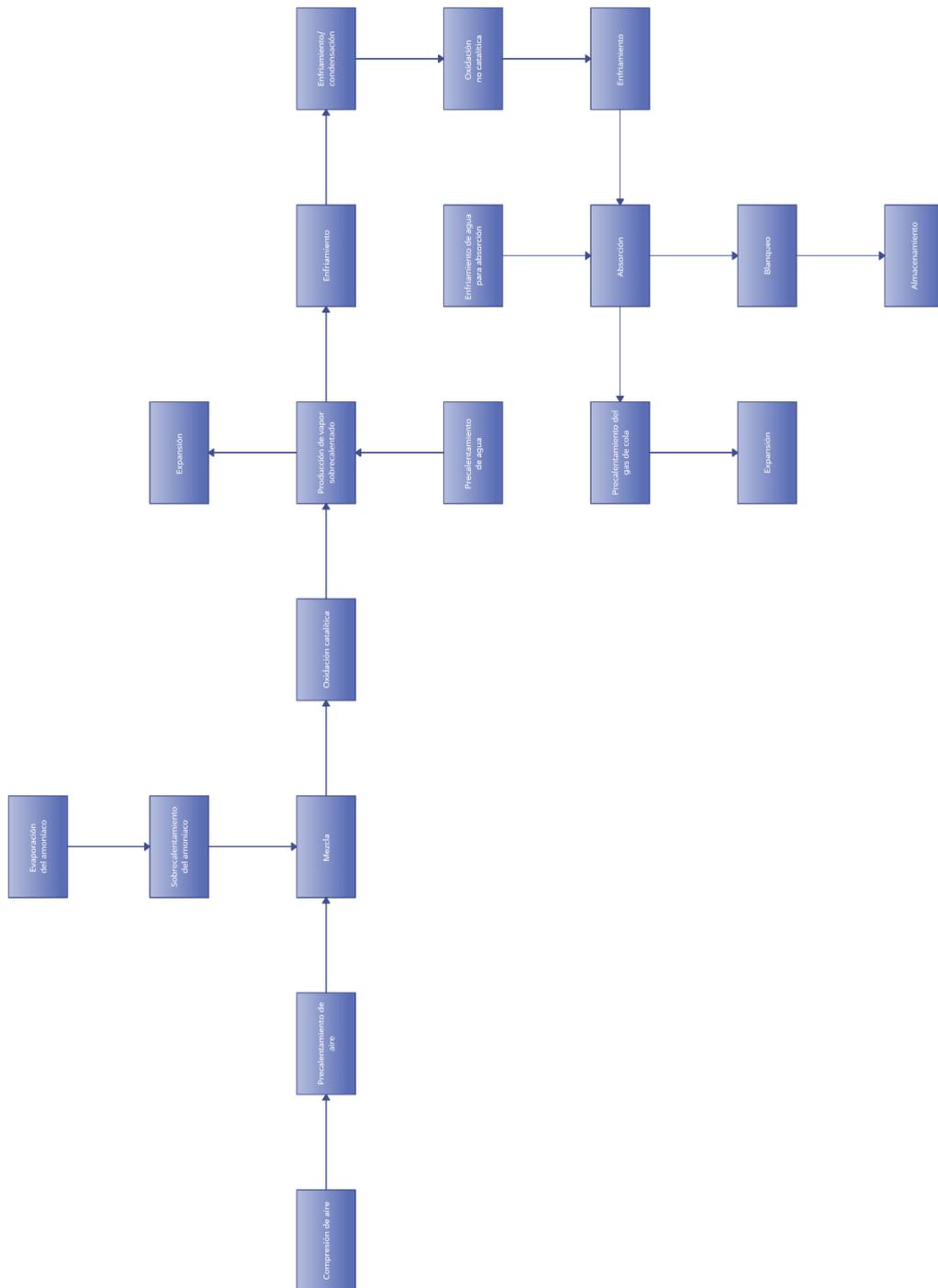


Figura 6-3: Diagrama de bloques – Fuente: Elaboración propia

## 6.3 - Balances de masa y energía

### 6.3.1 - Suposiciones

La resolución del balance de masa y energía parte de algunos supuestos que se hacen, a fines de tener suficientes datos para resolver, o bien para reducir la complejidad de los cálculos. Dado que este proyecto tiene un carácter de estudio de prefactibilidad, adentrarse en detalles muy específicos puede quedar fuera del alcance del estudio. Los supuestos son los siguientes:

- El agua utilizada en el proceso, tanto como fluido de servicio como reactivo en la torre de absorción, se asume completamente pura. Es decir, sin sales ni sólidos disueltos. Con esto, no se considera la existencia de ablandadores de agua, filtros, ni tanques.
- El aire está totalmente seco y tiene composición molar de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno. Con esto, no se considera la existencia de filtros de aire y se simplifican los balances en los primeros equipos del proceso.
- El amoníaco se convierte en un 100%. En una planta real habría emisiones de amoníaco en pequeñas cantidades que habría que controlar junto con los NOx.
- El agua caliente que sale de los intercambiadores no emplea torre de enfriamiento, sino que se asume que enfría naturalmente y es utilizada para riego del parqueizado, limpieza y sanitarios.
- La expansión en turbinas es adiabática.
- Los equipos son adiabáticos.
- La caída de presión no es contemplada en los cálculos.

Además de los supuestos, son necesarias algunas relaciones y conversiones para poder resolver, que fueron obtenidas de proyectos similares y comparados con patentes disponibles en internet y con libros:

- Rendimiento de la oxidación del NH<sub>3</sub> a NO = 95%.
- Rendimiento de la reacción secundaria NH<sub>3</sub> a N<sub>2</sub> = 5%.
- Alimentación de NH<sub>3</sub> = 0,282 kg NH<sub>3</sub>/kg HNO<sub>3</sub> puro
- Alimentación de aire = 5,15 kg aire/kg HNO<sub>3</sub> puro<sup>20</sup>
- Fracción de aire primario (para reactor) = 0,8
- Fracción de aire secundario (para blanqueo) = 0,2
- La planta trabaja 345 días al año, 24 horas al día y en base a eso está calculada la producción en los balances.

## 6.3.2 - Balances de masa

### 6.3.2.1 - Cálculos preliminares

Partiendo del tamaño determinado de 10000 toneladas anuales de ácido puro y del programa de producción propuesto, se resuelven los balances:

$$F^{\text{ácido puro}} = \frac{10000 \frac{Tn}{\text{año}}}{345 \frac{\text{días}}{\text{año}}} * \frac{1000 \frac{kg}{Tn}}{24 \frac{h}{\text{día}}} = 1207,73 \frac{kg}{h}$$

$$N^{\text{ácido puro}} = \frac{1207,73 \frac{kg}{h}}{63 \frac{kg HNO_3}{kmol}} = 19,17 \frac{kmol}{h}$$

Producción (Tn/año)	Producción (Tn/día)	Producción (kg/día)	Producción (kg/h)	Producción anual (kmol/h)
10000	28,99	28985,5	1207,73	19,17

Tabla 6-1: Producción anual en distintas unidades – Fuente: Elaboración propia

$$F^{\text{producto}} = \frac{1207,73 \frac{kg}{h}}{0,65} = 1858,05 \frac{kg}{h}$$

ESPECIE	PESO MOLECULAR (kg/kmol)
NH <sub>3</sub>	17
O <sub>2</sub>	32
N <sub>2</sub>	28
H <sub>2</sub> O	18
HNO <sub>3</sub>	63
NO	30
NO <sub>2</sub>	46
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	92
AIRE	28,84

Tabla 6-2: Pesos moleculares – Fuente: Elaboración propia

$$F^1 = 0,282 \frac{kg NH_3}{kg HNO_3 \text{ puro}} * 1207,73 \frac{kg}{h} = 340,58 \frac{kg}{h}$$

$$F^2 = 5,15 \frac{kg \text{ aire}}{kg HNO_3 \text{ puro}} * 1207,73 \frac{kg}{h} = 6219,81 \frac{kg}{h}$$

$$F^{2'} = 0,8 * F^2$$

$$F^{2''} = 0,2 * F^2$$

Corriente	kg/h
F <sup>1</sup>	340,58
F <sup>2</sup>	6219,81
F <sup>2'''</sup>	4975,85

$F^{2''}$	1243,96
$F_{\text{gases}}$	5316,43

Tabla 6-3: Corrientes másicas de amoníaco y aire – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.2 - Mezclador

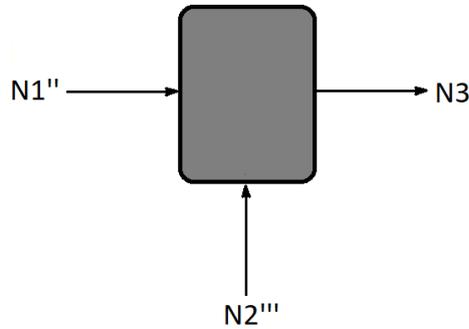


Figura 6-4: Representación en bloque del mezclador – Fuente: Elaboración propia

Corriente	kmol/h
$N^{2'''}$	172,53
$N^{1'''}$	20,03
$N^3$	192,57

Tabla 6-4: Corrientes molares del mezclador – Fuente: Elaboración propia

$$N_{N_2}^{2'} = 0,79 * \frac{F^{2'}}{28,84 \frac{kg}{kmol}}$$

$$N_{O_2}^{2'} = 0,21 * \frac{F^{2'}}{28,84 \frac{kg}{kmol}}$$

Especie	Corrientes (kmol/h)		
	$N^{1'''}$	$N^{2''}$	$N^3$
$NH_3$	20,03		20,03
$N_2$		136,3	136,3
$O_2$		36,23	36,23
$NO$			
$H_2O$			

Tabla 6-5: Corrientes molares por especie del mezclador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.3 - Reactor

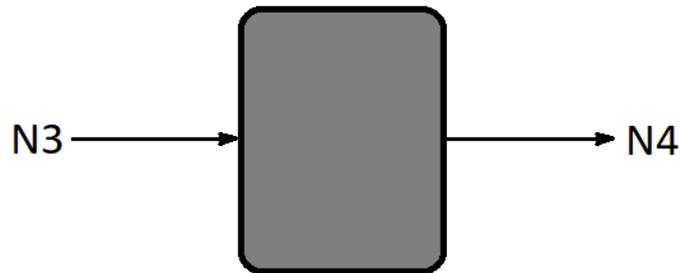
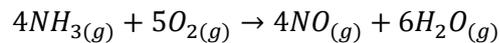
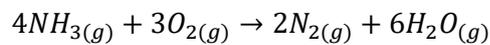


Figura 6-5: Representación en bloque del reactor – Fuente: Elaboración propia

El amoníaco tiene un 95% de selectividad hacia la siguiente reacción:



Y un 5% para la reacción secundaria:



Balances para cada especie:

$$N_2: N_{N_2}^3 + 2 * r_2 = N_{N_2}^4$$

$$O_2: N_{O_2}^3 - 5 * r_1 - 3 * r_2 = N_{O_2}^4$$

$$NO: 5 * r_1 = N_{NO}^4$$

$$H_2O: 6 * r_1 + 6 * r_2 = N_{H_2O}^4$$

Especie	Corrientes	
	N <sup>3</sup>	N <sup>4</sup>
NH <sub>3</sub>	20,03	
N <sub>2</sub>	136,3	136,8
O <sub>2</sub>	36,23	11,69
NO		19,03
H <sub>2</sub> O		30,05
<b>Total</b>	<b>192,57</b>	<b>197,58</b>

Tabla 6-6: Corrientes molares por especie del reactor – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.4 - Sobrecalentador de vapor

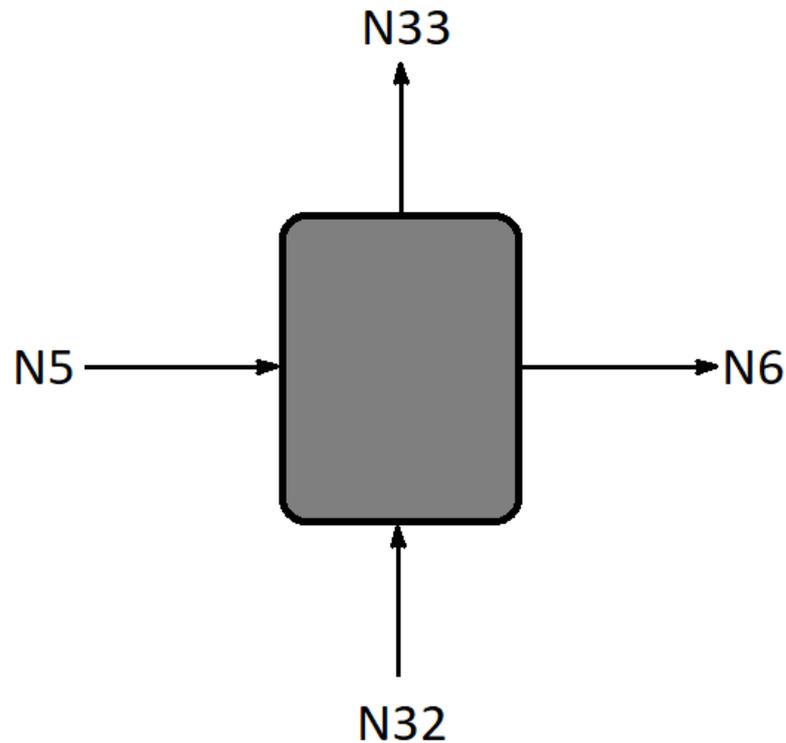
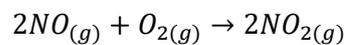


Figura 6-6: Representación en bloque del sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia

El 5% del flujo molar del NO se oxida según:



Balances para cada especie:

$$O_2: N_{O_2}^5 - r = N_{O_2}^6$$

$$NO: N_{NO}^5 - 2 * r = N_{NO}^6$$

$$NO_2: 2 * r = N_{NO_2}^6$$

Especie	Corrientes (kmol/h)			
	N <sup>5</sup>	N <sup>6</sup>	N <sup>32</sup>	N <sup>33</sup>
NH <sub>3</sub>				
N <sub>2</sub>	136,8	136,8		
O <sub>2</sub>	11,69	10,74		
NO	19,03	17,13		
NO <sub>2</sub>		1,9		
H <sub>2</sub> O	30,05	30,05	49,29	49,29

Tabla 6-7: Corrientes molares por especie del sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.5 - Generador de vapor saturado

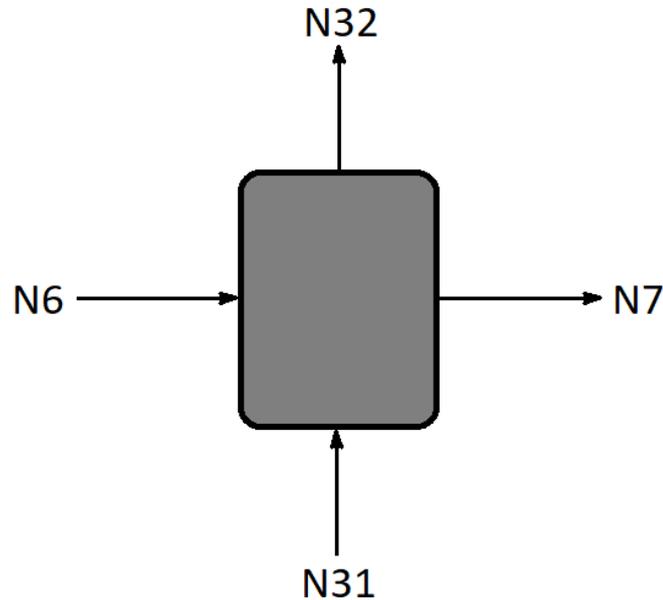
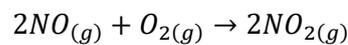
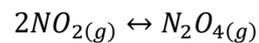


Figura 6-7: Representación en bloque del generador de vapor saturado – Fuente: Elaboración propia

El 15% del flujo molar del NO se oxida según:



El 3% del flujo molar del NO<sub>2</sub> se oxida según:



Balances para cada especie:

$$O_2: N_{O_2}^6 - r = N_{O_2}^7$$

$$NO: N_{NO}^6 - 2 * r = N_{NO}^7$$

$$NO_2: N_{NO_2}^6 + 2 * r_1 - 2 * r_2 = N_{NO_2}^7$$

$$N_2O_4: r_2 = N_{N_2O_4}^7$$

Especie	Corrientes (kmol/h)			
	N <sup>6</sup>	N <sup>7</sup>	N <sup>31</sup>	N <sup>32</sup>
NH <sub>3</sub>				
N <sub>2</sub>	136,8	136,8		
O <sub>2</sub>	10,74	9,45		
NO	17,13	14,56		
NO <sub>2</sub>	1,9	4,34		
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		0,07		

H <sub>2</sub> O	30,05	30,05	49,29	49,29
------------------	-------	-------	-------	-------

Tabla 6-8: Corrientes molares por especie del generador de vapor saturado – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.6 - Filtro para partículas de platino

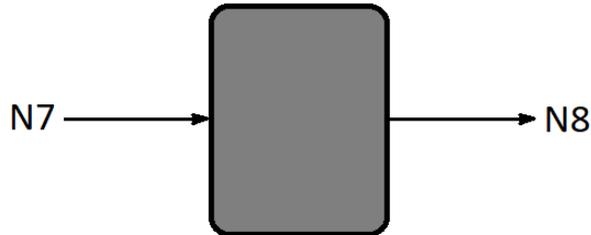
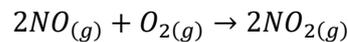
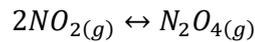


Figura 6-8: Representación en bloque del filtro de catalizador – Fuente: Elaboración propia

El 3% del flujo molar del NO se oxida según:



El 0.4% del flujo molar del NO<sub>2</sub> se oxida según:



Balances para cada especie:

$$O_2: N_{O_2}^7 - r = N_{O_2}^8$$

$$NO: N_{NO}^7 - 2 * r = N_{NO}^8$$

$$NO_2: N_{NO_2}^7 + 2 * r_1 - 2 * r_2 = N_{NO_2}^8$$

$$N_2O_4: r_2 = N_{N_2O_4}^8$$

Especie	Corrientes (kmol/h)	
	N <sup>7</sup>	N <sup>8</sup>
NH <sub>3</sub>		
N <sub>2</sub>	136,8	136,8
O <sub>2</sub>	9,45	9,235
NO	14,56	14,123
NO <sub>2</sub>	4,34	4,756
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,07	0,077
H <sub>2</sub> O	30,05	30,05

Tabla 6-9: Corrientes molares por especie del filtro de catalizador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.7 - Precalentador con gas de cola

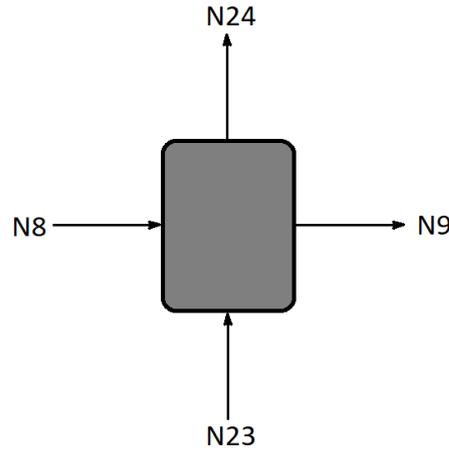
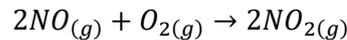
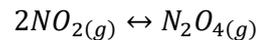


Figura 6-9: Representación en bloque del precalentador con gas de cola – Fuente: Elaboración propia

El 25% del flujo molar del NO se oxida según:



El 7% del flujo molar del NO<sub>2</sub> se oxida según:



Balances para cada especie:

$$O_2: N_{O_2}^8 - r = N_{O_2}^9$$

$$NO: N_{NO}^8 - 2 * r = N_{NO}^9$$

$$NO_2: N_{NO_2}^8 + 2 * r_1 - 2 * r_2 = N_{NO_2}^9$$

$$N_2O_4: r_2 = N_{N_2O_4}^9$$

Especie	Corrientes (kmol/h)			
	N <sup>8</sup>	N <sup>9</sup>	N <sup>23</sup>	N <sup>24</sup>
NH <sub>3</sub>				
N <sub>2</sub>	136,8	136,8	170,88	170,88
O <sub>2</sub>	9,235	7,47	6,38	6,38
NO	14,123	10,59		
NO <sub>2</sub>	4,756	7,71	0,12	0,12
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,077	0,37		
H <sub>2</sub> O	30,05	30,05		

Tabla 6-10: Corrientes molares por especie del precalentador de gas de cola – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.8 - Enfriador/condensador

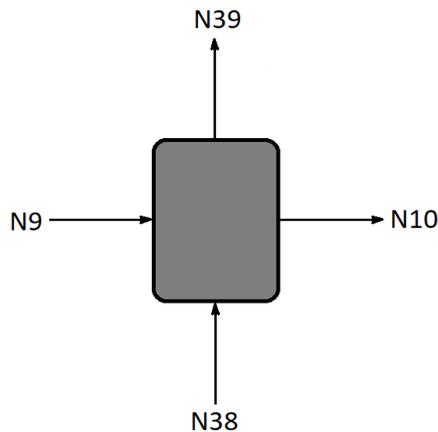
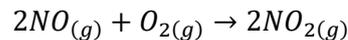
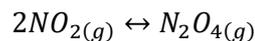


Figura 6-10: Representación en bloque del enfriador/condensador – Fuente: Elaboración propia

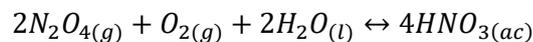
El 43% del flujo molar del NO se oxida según:



El 20% del flujo molar del NO<sub>2</sub> se oxida según:



El vapor de agua condensa totalmente y el N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> reacciona para formar una solución diluida de ácido nítrico al 37% p/p.



Balances para cada especie:

$$N_2: N_{N_2}^9 = N^{10} * x_{N_2}^{10}$$

$$O_2: N_{O_2}^9 - r_1 - r_3 = N^{10} * x_{O_2}^{10}$$

$$NO: N_{NO}^9 - 2 * r_1 = N^{10} * x_{NO}^{10}$$

$$NO_2: N_{NO_2}^9 + 2 * r_1 - 2 * r_2 = N^{10} * x_{NO_2}^{10}$$

$$N_2O_4: N_{N_2O_4}^9 + r_2 - 2 * r_3 = N^{10} * (1 - x_{N_2}^{10} - x_{O_2}^{10} - x_{NO}^{10} - x_{NO_2}^{10})$$

$$H_2O: N_{H_2O}^9 - 2 * r_3 = N^{10'} * x_{H_2O}^{10'}$$

$$HNO_3: 4 * r_3 = N^{10'} * (1 - x_{H_2O}^{10'})$$

Relaciones adicionales:

$$0.37 = \frac{63 * (1 - x_{H_2O}^{10'}) * N_{10'}}{\left( (18 * x_{H_2O}^{10'} + 63 * (1 - x_{H_2O}^{10'})) * N_{10'} \right)}$$

La corriente 10 y 10' aparecen en el bloque como una sola corriente, 10. A efectos de resolver el balance se plantea que la corriente 10 es la gaseosa y la 10' es la de la solución de ácido.

Especie	Corrientes (kmol/h)				
	N <sup>9</sup>	N <sup>10</sup>	N <sup>10'</sup>	N <sup>38</sup>	N <sup>39</sup>
NH <sub>3</sub>					
N <sub>2</sub>	136,8	136,8			
O <sub>2</sub>	7,47	4,03			
NO	10,59	6,04			
NO <sub>2</sub>	7,71	7,36			
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,37	0,49			
H <sub>2</sub> O	30,05		27,72	698,77	698,77
HNO <sub>3</sub>			4,65		

Tabla 6-11: Corrientes molares por especie del enfriador/condensador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.9 - Recipiente de oxidación no catalítica

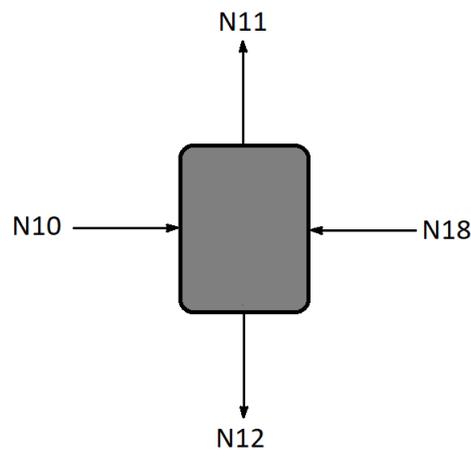
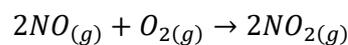
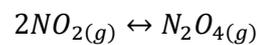


Figura 6-11: Representación en bloque del recipiente de oxidación no catalítica – Fuente: Elaboración propia

El 88% del flujo molar del NO se oxida según:



El 27% del flujo molar del NO<sub>2</sub> se oxida según:



Balances para cada especie:

$$N_2: N_{N_2}^{10} + N^{18} * x_{N_2}^{18} = N^{11} * x_{N_2}^{11}$$

$$O_2: N_{O_2}^{10} + N^{18} * x_{O_2}^{18} - r_1 = N^{11} * x_{O_2}^{11}$$

$$NO: N_{NO}^{10} - 2 * r_1 = N^{11} * 0,0037$$

$$NO_2: N_{NO_2}^{10} + 2 * r_1 - 2 * r_2 = N^{11} * x_{NO_2}^{11}$$

$$N_2O_4: N_{N_2O_4}^{10} + N^{18}(1 - x_{N_2}^{18} - x_{O_2}^{18}) + r_2 = N^{11} * (1 - x_{N_2}^{11} - x_{O_2}^{11} - x_{NO}^{11} - x_{NO_2}^{11})$$

Relaciones adicionales:

$$\frac{0,21}{0,79} = \frac{x_{O_2}^{18}}{x_{N_2}^{18}}$$

$$(28 * x_{N_2}^{18} + 32 * x_{O_2}^{18}) * N^{18} = F^{2''}$$

Especies	Corrientes (kmol/h)			
	N <sup>10</sup>	N <sup>11</sup>	N <sup>12</sup>	N <sup>18</sup>
NH <sub>3</sub>				
N <sub>2</sub>	136,8	170,88		34,08
O <sub>2</sub>	4,03	10,43		9,06
NO	6,04	0,72		
NO <sub>2</sub>	7,36	9,25		
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,49	4,53		2,33
H <sub>2</sub> O			27,72	
HNO <sub>3</sub>			4,65	

Tabla 6-12: Corrientes molares por especie del recipiente de oxidación no catalítica – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.10 - Torre de absorción

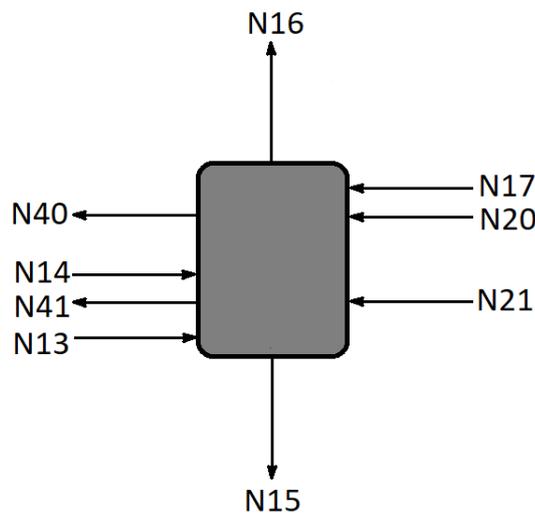
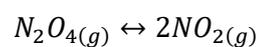
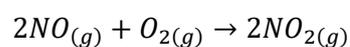


Figura 6-12: Representación en bloque de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia

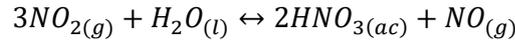
La reacción de dimerización se desplaza hacia la izquierda y se forma NO<sub>2</sub> a costa del N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> según:



El NO se oxida según:



El NO<sub>2</sub> reacciona con el agua para formar HNO<sub>3</sub> según:



Balances para cada especie:

$$N_2: N_{N_2}^{13} = N^{16} * x_{N_2}^{16}$$

$$O_2: N_{O_2}^{13} - r_2 = N^{16} * x_{O_2}^{16}$$

$$NO: N_{NO}^{13} - 2 * r_2 + r_3 = 0$$

$$NO_2: N_{NO_2}^{13} + 2 * r_1 + 2 * r_2 - 3 * r_3 = N^{16} * x_{NO_2}^{16}$$

$$N_2O_4: N_{N_2O_4}^{13} - r_1 = N^{15} * (1 - x_{H_2O}^{15} - x_{HNO_3}^{15})$$

$$H_2O: N_{H_2O}^{14} + N^{17} - r_3 = N^{15} * x_{H_2O}^{15}$$

$$HNO_3: N_{HNO_3}^{14} + 2 * r_3 = N^{15} * x_{HNO_3}^{15}$$

Relaciones adicionales:

$$N^{16} * (1 - x_{O_2}^{16} - x_{NO_2}^{16}) * 28 + N^{16} * x_{O_2}^{16} * 32 + N^{16} * x_{NO_2}^{16} * 46 = F^{16}$$

$$F^{16} + F^{producto} = 18 * N^{17} + F^1 + F^2$$

$$N^{18} * x_{N_2O_4}^{18} = N^{15} * (1 - x_{H_2O}^{15} - x_{HNO_3}^{15})$$

$$\frac{x_{HNO_3}^{15}}{x_{H_2O}^{15}} = \frac{65}{35} * \frac{18}{63}$$

Especie	Corrientes (kmol/h)								
	N <sup>13</sup>	N <sup>14</sup>	N <sup>16</sup>	N <sup>15</sup>	N <sup>17</sup>	N <sup>20</sup>	N <sup>40</sup>	N <sup>21</sup>	N <sup>41</sup>
NH <sub>3</sub>									
N <sub>2</sub>	170,88		170,88						
O <sub>2</sub>	10,43		6,38						
NO	0,72								
NO <sub>2</sub>	9,25		0,12						
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4,53			2,33					
H <sub>2</sub> O		27,72		36,58	16,23	482,33	482,33	482,33	482,33
HNO <sub>3</sub>		4,65	4,65	19,41					

Tabla 6-13: Corrientes molares por especie de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2.11 - Torre de blanqueo

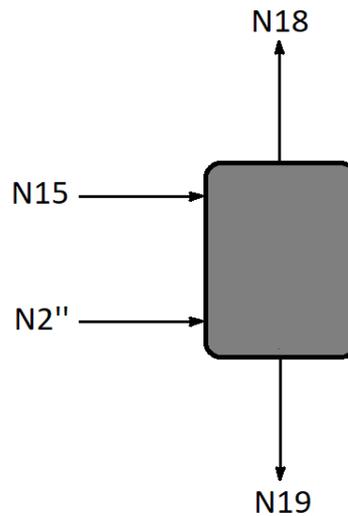


Figura 6-13: Representación en bloque de la torre de blanqueo – Fuente: Elaboración propia

Especie	Corrientes (kmol/h)			
	N <sup>15</sup>	N <sup>2''</sup>	N <sup>18</sup>	N <sup>19</sup>
NH <sub>3</sub>				
N <sub>2</sub>		34,08	34,08	
O <sub>2</sub>		9,06	9,06	
NO				
NO <sub>2</sub>				
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2,33		2,33	
H <sub>2</sub> O	36,58			36,58
HNO <sub>3</sub>	19,41			19,41

Tabla 6-14: Corrientes molares por especie de la torre de blanqueo – Fuente: Elaboración propia

## 6.3.3 - Balances de energía

### 6.3.3.1 - Compresor

La potencia teórica requerida por el compresor es función del caudal de aire que atraviesa el mismo y el aumento de presión que debe generar:

$$Pot_{teórica} = P_1 * Q_1 * \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$W_{teórico} = P_1 * \frac{F_{aire}}{\rho} * \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Si el rendimiento del compresor es de 65%, el total de potencia requerido sería:

$$Pot_{real} = \frac{Pot_{teórica}}{0,65}$$

Parámetro	Valor	Unidad
P <sub>1</sub>	99	kPa
P <sub>2</sub>	1090	kPa
ρ	1,178	kg/m <sup>3</sup>
F <sup>2</sup>	6219,81	kg/h
Q <sub>1</sub>	5279,97	m <sup>3</sup> /h
Pot <sub>teórica</sub>	1253900,90	kJ/h
Pot <sub>real</sub>	1929078,30	kJ/h

Tabla 6-15: Parámetros de cálculo de la potencia del compresor – Fuente: Elaboración propia

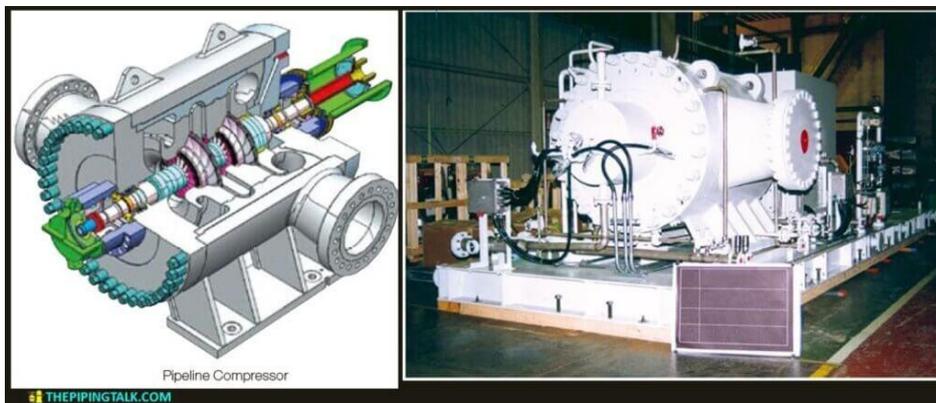


Figura 6-14: Compresor centrífugo – Fuente: Havayar

### 6.3.3.2 - Interenfriador del compresor

La transferencia de calor hacia el interenfriador está dada por:

$$Q_{interenfriador} = F^2 * C_{p_{aire}} * (T_{ent} - T_{sal})$$

Parámetro	Valor	Unidad
F <sup>2</sup>	6219,81	kg/h
C <sub>p<sub>aire</sub></sub> (1 atm, 35°C)	1,07	kJ/kgK
T <sub>ent</sub>	180	°C
T <sub>sal</sub>	45	°C
Q <sub>interenfriador</sub>	898451,09	kJ/h

Tabla 6-16: Parámetros de cálculo del calor del interenfriador – Fuente: Elaboración propia

El consumo de agua para el enfriamiento en el interenfriador está dado por:

$$F^{42} = \frac{Q_{interenfriador}}{C_{p_{agua(l)}} * (T_{43} - T_{42})}$$

Parámetro	Valor	Unidad
$Cp_{\text{agua (l)}} (1 \text{ atm}, 30^\circ\text{C})$	4,18	kJ/kgK
$T_{43}$	40	°C
$T_{42}$	20	°C
$Q_{\text{interenfriador}}$	898451,09	kJ/h
$F^{42}$	10747	kg/h

Tabla 6-17: Parámetros de cálculo del flujo de agua en el interenfriador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.3 - Evaporador de amoníaco

El amoníaco que llega del proveedor lo hace a presiones altas y en estado líquido. El calor que se le debe aportar para llevarlo hasta 35 °C a la misma presión de 1240 kPa se calcula según:

$$Q_{\text{evap. amoníaco}} = F^1 * [Cp_{\text{NH}_3(l)} * (T_s - T_1) + (h_v - h_l) + Cp_{\text{NH}_3(g)} * (T_{1'} - T_s)]$$

Parámetro	Valor	Unidad
$F^1$	340,58	kg/h
$T_1$	15	°C
$T_1$	288	K
$T_s$	31,7	°C
$T_s$	304,7	K
$T_{\text{media 1-s}}$	296,35	K
$Cp_{\text{NH}_3} (1240 \text{ kPa, líq., } T_{\text{media 1-s}})$	4,66	kJ/kgK
$T_s$	31,7	°C
$T_s$	304,7	K
$T_{1'}$	35	°C
$T_{1'}$	308	K
$T_{\text{media s-1'}}$	306,35	K
$Cp_{\text{NH}_3} (1240 \text{ kPa, líq., } T_{\text{media s-1'}})$	3,083	kJ/kgK
$h_v (T_s)$	1630	kJ/kg
$h_l (T_s)$	490	kJ/kg
$Q_{\text{evap. amoníaco}}$	418230,49	kJ/h

Tabla 6-18: Parámetros de cálculo del calor para evaporar el amoníaco – Fuente: Elaboración propia

El consumo de agua como fluido caliente para producir la evaporación del amoníaco es:

$$F^{28} = \frac{Q_{\text{evap. amoníaco}}}{Cp_{\text{agua(l)}} * (T_{28} - T_{29})}$$

Parámetro	Valor	Unidad
$Cp_{\text{agua (l)}}$	4,18	kJ/kgK

T <sub>28</sub>	80	°C
T <sub>29</sub>	50	°C
F <sup>28</sup>	3335,17	kg/h

Tabla 6-19: Parámetros de cálculo del agua necesaria en el evaporador de amoníaco – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.4 - Sobrecalentador de amoníaco

El calor necesario para sobrecalentar el amoníaco hasta 177 °C es:

$$Q_{\text{sobrecalentador}} = F^1 * C_{p_{\text{NH}_3}} * (T_{1''} - T_{1'})$$

Parámetro	Valor	Unidad
F <sup>1</sup>	340,58	kg/h
C <sub>pNH<sub>3</sub></sub> (1240 kPa, 106 °C)	2,52	kJ/kgK
T <sub>1'</sub>	35	°C
T <sub>1''</sub>	177	°C
Q <sub>sobrecalentador</sub>	121873,04	kJ/h

Tabla 6-20: Parámetros de cálculo del calor intercambiado en el sobrecalentador de amoníaco – Fuente: Elaboración propia

El calor lo aporta el vapor sobrecalentado generado por el proceso mismo, que se encuentra a 4000 kPa. A esa presión, la temperatura de saturación del vapor es de 250 °C, por lo que al estar a 380 °C, el vapor está sobrecalentado.

Entonces hay un calor sensible cedido por el vapor hasta llegar a 250 °C y luego empieza a condensar, por lo que también cede calor de vaporización.

El consumo de vapor necesario es:

$$F^{34} = \frac{Q_{\text{sobrecalentador}}}{(H_{380\text{ °C}} - H_{250\text{ °C}}) + H_{\text{vap}}}$$

Parámetro	Valor	Unidad
H (380 °C)	3215,89	kJ/kg
H (250 °C)	2930	kJ/kg
H <sub>vap</sub>	1715,33	kJ/kg
F <sup>34</sup>	60,90	kg/h

Tabla 6-21: Parámetros de cálculo del flujo de vapor para sobrecalentar el amoníaco – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.5 - Mezclador

La temperatura de la mezcla entre el amoníaco sobrecalentado y el aire comprimido y precalentado es:

$$T_3 = \frac{F^{2'} * Cp_{aire} * 535 + F^{1''} * Cp_{NH_3} * 450}{F^{1''} * Cp_{NH_3} + F^{2'} * Cp_{aire}}$$

Parámetro	Valor	Unidad
Cp NH3 (1 atm, 177 °C)	2,38	kJ/kgK
Cp aire (1 atm, 262 °C)	1,05	kJ/kgK
F <sup>2''</sup>	4975,85	kg/h
T <sub>1''</sub>	177	°C
T <sub>1''</sub>	450	K
T <sub>2''</sub>	262	°C
T <sub>2''</sub>	535	K
T <sub>3</sub>	251	°C

Tabla 6-22: Parámetros de cálculo de la temperatura de salida del mezclador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.6 - Reactor

La reacción altamente exotérmica de oxidación del amoníaco a NO se aprovecha para precalentar el mismo aire de alimentación, así como el gas antes de la turbina. El calor se expresa como:

$$Q_{reactor} = H^4 - H_{NH_3}^3 - H_{O_2}^3 - H_{N_2}^3$$

$$H^4 = N_{N_2}^4 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_4} Cp_{N_2} * dT \right] + N_{O_2}^4 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_4} Cp_{O_2} * dT \right] + N_{NO}^4 * \left[ \Delta H_{f NO}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_4} Cp_{NO} * dT \right] + N_{H_2O}^4 * \left[ \Delta H_{f H_2O}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_4} Cp_{H_2O} * dT \right]$$

$$H^3 = N_{N_2}^3 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_3} Cp_{N_2} * dT \right] + N_{O_2}^3 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_3} Cp_{O_2} * dT \right] + N_{NH_3}^3 * \left[ \Delta H_{f NH_3}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_3} Cp_{NH_3} * dT \right]$$

Para el cálculo de cada Cp, se utilizan los polinomios:

$$Cp \left[ \frac{kJ}{kmolK} \right] = a + b * T + c * T^2 + d * T^3 + e * T^4$$

Coef. / Especie	a	b	c	d	e
N <sub>2</sub>	2,94E+01	- 3,01E -03	5,45E -06	5,13E- 09	-4,25E-12
O <sub>2</sub>	2,99E+01	- 1,14E -02	4,34E -05	-3,70E- 08	1,01E-11



NH <sub>3</sub>	2,76E+01	2,56E-02	9,90E-06	-6,69E-09	
NO	2,98E+01	9,76E-04	6,10E-06	-3,59E-09	5,85E-13
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	3,40E+01	-9,65E-03	3,30E-05	-2,04E-08	4,30E-12
NO <sub>2</sub>	2,51E+01	4,40E-02	-9,62E-06	-1,22E-08	5,45E-12
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>					
HNO <sub>3</sub>					

Tabla 6-23: Coeficientes polinomiales para el cálculo de Cp – Fuente: Reklaitis<sup>29</sup>

Parámetro Especie	H° formación (kJ/kmol)	Nent (kmol/h)	Nsal (kmol/h)
N <sub>2</sub>	0	136,30	136,80
O <sub>2</sub>	0	36,23	11,69
NH <sub>3</sub>	-46200	20,03	
NO	90370		19,03
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	-241800		30,05

Tabla 6-24: Entalpías estándar de formación y corrientes molares por especie en el reactor – Fuente: Elaboración propia

°C			K		
T <sub>ref</sub>	T <sub>3</sub>		T <sub>ref</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>media ref-3</sub>
25	251		298	524	608
T <sub>ref</sub>	T <sub>4</sub>		T <sub>ref</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>media ref-4</sub>
25	645		298	918	411

Tabla 6-25: Temperaturas del reactor – Fuente: Elaboración propia

Reemplazando cada T<sub>media</sub> en el polinomio, tanto entre referencia y la corriente de entrada como entre referencia y la corriente de salida, se obtienen los Cp para cada compuesto en ambas corrientes. Reemplazando los Cp, flujos molares y entalpías estándar de formación, se puede calcular Q<sub>reactor</sub>.

Q <sub>reactor</sub>	-2102186	kJ/h
----------------------	----------	------

Tabla 6-26: Calor del reactor – Fuente: Elaboración propia

$$Q_{total \text{ para precalentar aire y gas de cola}} = F^4 * Cp_{gases} * (T_{reacción} - T_5)$$

Parámetro	Valor	Unidad
F <sup>4</sup>	5316,43	kg/h
Cp <sub>gases</sub>	1,29	kJ/kgK
T <sub>reacción</sub>	920	°C

T <sub>5</sub>	645	°C
Q <sub>total para precalentar aire y gas de cola</sub>	1882068	kJ/h

Tabla 6-27: Parámetros de cálculo del calor para precalentar aire y gas de cola – Fuente: Elaboración propia

El calor necesario para precalentar el aire a la temperatura de entrada al mezclador es:

$$Q_{para\ precalentar\ aire} = F^{2'} * C_{p_{aire}} * (T_{2'''} - T_{2'})$$

Parámetro	Valor	Unidad
F <sup>2'</sup>	4975,85	kg/h
C <sub>p gases</sub>	1,035	kJ/kgK
T <sub>reacción</sub>	920	°C
T <sub>5</sub>	645	°C
Q <sub>total para precalentar aire</sub>	154500	kJ/h

Tabla 6-28: Parámetros de cálculo del calor para precalentar el aire – Fuente: Elaboración propia

Por diferencia se obtiene el calor necesario para precalentar el gas de cola:

$$Q_{para\ precalentar\ el\ gas\ de\ cola} = Q_{reactor} - Q_{para\ precalentar\ el\ aire}$$

Q <sub>para precalentar gas de cola</sub>	1947686	kJ/h
---	---------	------

Tabla 6-29: Calor para precalentar el gas de cola – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.7 - Sobrecalentador de vapor

El conjunto de dos intercambiadores que enfría los gases desde 645 °C hasta 280 °C es el encargado de generar el vapor del proceso. El calor necesario es:

$$Q = H^7 - H^5$$

$$\begin{aligned}
 Q = & N_{N_2}^7 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_7} C_{p_{N_2}} * dT \right] + N_{O_2}^7 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_7} C_{p_{O_2}} * dT \right] + N_{NO}^7 * \left[ \Delta H_{f_{NO}}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_7} C_{p_{NO}} * dT \right] \\
 & + N_{NO_2}^7 * \left[ \Delta H_{f_{NO_2}}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_7} C_{p_{NO_2}} * dT \right] + N_{N_2O_4}^7 * \left[ \Delta H_{f_{N_2O_4}}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_7} C_{p_{N_2O_4}} * dT \right] \\
 & + N_{H_2O}^7 * \left[ \Delta H_{f_{H_2O}}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_7} C_{p_{H_2O}} * dT \right] - N_{N_2}^5 * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_5} C_{p_{N_2}} * dT \right] - N_{O_2}^5 \\
 & * \left[ 0 + \int_{T_{ref}}^{T_5} C_{p_{O_2}} * dT \right] - N_{NO}^5 * \left[ \Delta H_{f_{NO}}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_5} C_{p_{NO}} * dT \right] - N_{H_2O}^5 \\
 & * \left[ \Delta H_{f_{H_2O(g)}}^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_5} C_{p_{H_2O(g)}} * dT \right]
 \end{aligned}$$

$$Q_{para\ producir\ vapor} = F^5 * C_{p_{gases}} * (T_5 - T_7)$$

Para calcular el Cp de cada gas se repite el procedimiento que se hizo en los cálculos del reactor, pero en este caso entre las temperaturas T<sub>5</sub> y T<sub>7</sub>.

T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (K)	T <sub>ref</sub> (°C)	T <sub>ref</sub> (K)	T <sub>media</sub> (K)
645	918	25	298	608
T <sub>7</sub> (°C)	T <sub>7</sub> (K)	T <sub>ref</sub> (°C)	T <sub>ref</sub> (K)	T <sub>media</sub> (K)
280	553	25	298	425,5

Tabla 6-30: Temperaturas del conjunto de generación de vapor – Fuente: Elaboración propia

Datos a reemplazar en la ecuación:

Especie	N <sup>5</sup> (kmol/h)	F <sup>5</sup> (kg/h)	w	Cp <sup>5</sup> (kJ/kmol K)	N <sup>7</sup> (kmol/h)	F <sup>7</sup> (kg/h)	w	Cp <sup>7</sup> (kJ/kmol K)	ΔH <sup>o</sup> <sub>f</sub> (kJ/kmol)
N <sub>2</sub>	136,80	3830,45	0,72	30,17	136,80	3830,45	0,72	29,38	0
O <sub>2</sub>	11,69	374,08	0,07	32,06	9,45	302,52	0,05	30,37	0
NO	19,03	570,97	0,11	31,89	14,56	436,79	0,08	31,03	90370
H <sub>2</sub> O	30,05	540,92	0,10	36,37	30,05	540,92	0,10	34,48	-241800
NO <sub>2</sub>					4,34	199,57	0,03	41,34	33200
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>					0,07	6,17	0,00	53,16	9080
TOTAL		5316,43				5316,43			

Tabla 6-31: Parámetros por especie para calcular el calor necesario para producir vapor – Fuente: Elaboración propia

Q <sub>para producir vapor</sub>	-2580794,47	kJ/h
----------------------------------	-------------	------

Tabla 6-32: Calor necesario para producir vapor – Fuente: Elaboración propia

Con el dato del calor se puede calcular la producción de vapor sobrecalentado:

$$F^{33} = \frac{Q_{para\ producir\ vapor}}{[Cp_{H_2O(g)} * (T_{32} - T_{31}) + \Delta H_{vap} + (H_{T_{33}} - H_{T_{32}})]}$$

Parámetro	Valor	Unidad
T <sub>31</sub>	96	°C
T <sub>32</sub>	250	°C
T <sub>33</sub>	380	°C
Cp <sub>H<sub>2</sub>O(l)</sub>	4,2	kJ/kgK
ΔH <sub>vap</sub>	1714	kJ/kg
H <sub>380 °C</sub>	3215,89	kJ/kg
H <sub>250 °C</sub>	2930	kJ/kg
F <sup>33</sup>	975.1	kg/h

Tabla 6-33: Parámetros para el cálculo de la producción de vapor sobrecalentado – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.8 - Enfriador/condensador

Según el estudio de Ray y Johnston, el calor de reacción en este equipo está dado por el calor sensible multiplicado por un índice de 1,44:

$$Q_{condensador} = \text{Índice} * F^9 * C_{p_{gases}} * (T_9 - T_{10})$$

Se asume que todos los componentes son gases hasta el momento de salir del equipo, por ello el Cp del HNO<sub>3</sub> corresponde al estado gaseoso.

Parámetro	Valor	Unidad
F <sup>9</sup>	5316,425121	kg/h
Índice	1,44	-
C <sub>p<sub>gases</sub></sub>	1,104	kJ/kgK
T <sub>9</sub>	185	°C
T <sub>10</sub>	60	°C
Q <sub>condensador</sub>	1056543,18	kJ/h

Tabla 6-34: Parámetros para el cálculo del calor cedido en el condensador – Fuente: Elaboración propia

El consumo de agua para enfriamiento es:

$$F^{38} = \frac{Q_{condensador}}{C_{p_{agua}} * (T_{39} - T_{38})}$$

Parámetro	Valor	Unidad
T <sub>38</sub>	120	°C
T <sub>39</sub>	250	°C
C <sub>p<sub>H2O (l)</sub></sub>	4,2	kJ/kgK
F <sup>38</sup>	12577,89	kg/h

Tabla 6-35: Parámetros para el cálculo del agua de enfriamiento en el enfriador/condensador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.9 - Torre de absorción

El calor generado en la torre de absorción es:

$$Q_{absorbadora} = H^{sal} - H^{ent}$$

$$\begin{aligned}
 H^{ent} = & N_{N_2}^{13} * \left[ 0 + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{N_2} * dT \right] + N_{O_2}^{13} * \left[ 0 + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{O_2} * dT \right] + N_{NO}^{13} \\
 & * \left[ \Delta H^\circ_f NO + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{NO} * dT \right] + N_{NO_2}^{13} * \left[ \Delta H^\circ_f NO_2 + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{NO_2} * dT \right] + N_{N_2O_4}^{13} \\
 & * \left[ \Delta H^\circ_f N_2O_4 + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{N_2O_4} * dT \right] + N_{HNO_3}^{14} * \left[ \Delta H^\circ_f HNO_3(l) + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{HNO_3} * dT \right] \\
 & + N_{H_2O}^{14} * \left[ \Delta H^\circ_f H_2O(l) + \int_{25^\circ C}^{60^\circ C} Cp_{H_2O} * dT \right] + N_{H_2O}^{17} \\
 & * \left[ \Delta H^\circ_f H_2O(l) + \int_{25^\circ C}^{7^\circ C} Cp_{H_2O} * dT \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H^{sal} = & N_{N_2}^{16} * \left[ 0 + \int_{25^\circ C}^{10^\circ C} Cp_{N_2} * dT \right] + N_{O_2}^{16} * \left[ 0 + \int_{25^\circ C}^{10^\circ C} Cp_{O_2} * dT \right] + N_{NO_2}^{16} \\
 & * \left[ \Delta H^\circ_f NO_2 + \int_{25^\circ C}^{10^\circ C} Cp_{NO_2} * dT \right] + N_{H_2O}^{15} * \left[ \Delta H^\circ_f H_2O(l) + \int_{25^\circ C}^{45^\circ C} Cp_{H_2O} * dT \right] \\
 & + N_{HNO_3}^{15} * \left[ \Delta H^\circ_f HNO_3(l) + \int_{25^\circ C}^{45^\circ C} Cp_{HNO_3} * dT \right] + N_{N_2O_4}^{15} \\
 & * \left[ \Delta H^\circ_f N_2O_4 + \int_{25^\circ C}^{45^\circ C} Cp_{N_2O_4} * dT \right]
 \end{aligned}$$

Además de los polinomios para calcular valores de Cp, en la bibliografía se obtiene que el Cp del HNO<sub>3</sub> líquido es 110 kJ/kmolK, y el Cp del N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> es 53,16 kJ/kmolK. Además hay que incluir ahora las entalpías estándar de formación del NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y HNO<sub>3</sub>.

Especie	$\Delta H^\circ_{formación}$ (kJ/kmol)	N <sup>13</sup>	N <sup>14</sup>	N <sup>16</sup>	N <sup>15</sup>	N <sup>17</sup>
NH <sub>3</sub>						
N <sub>2</sub>	0	170,88		170,88		
O <sub>2</sub>	0	10,43		6,38		
NO	90370	0,72				
NO <sub>2</sub>	33200	9,25		0,12		
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	9080	4,53			2,33	
H <sub>2</sub> O(l)	-285500		27,72		36,58	16,23
HNO <sub>3</sub>	-206570		4,65		19,41	

Tabla 6-36: Entalpías estándar de formación y corrientes molares por especie en la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia

Temperatura	°C	K
T <sub>ref</sub>	25	298
T <sub>13</sub>	60	333
T <sub>14</sub>	60	333
T <sub>15</sub>	45	318
T <sub>16</sub>	10	283
T <sub>17</sub>	7	280
T <sub>media ref-13 y 14</sub>		315,5
T <sub>media ref-15</sub>		308

T <sub>media ref-16</sub>		290,5
T <sub>media ref-17</sub>		289

Tabla 6-37: Temperaturas de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia

Teniendo todos estos datos, se puede calcular el calor liberado en la torre de absorción:

Q <sub>torre absorción</sub>	-1585281,16	kJ/h
------------------------------	-------------	------

Tabla 6-38: Calor cedido en la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.10 - Agua de enfriamiento de la torre

El agua está disponible a 20 °C, y el calor a retirarle para enfriarla a 7 °C es:

$$Q_{aeroenfriador} = (F^{17} + F^{20}) * C_{p_{H_2O(l)}} * (T_{22} - T_{20})$$

El dato de F<sup>20</sup> no se conoce. Para calcularlo se plantean los balances de energía en los serpentines:

$$Q_{sup} = F^{20} * C_{p_{H_2O}} * (T_{40} - T_{20})$$

$$Q_{inf} = F^{20} * C_{p_{H_2O}} * (T_{41} - T_{21})$$

$$Q_{absorbadora} = Q_{sup} + Q_{inf}$$

Parámetro	Valor	Unidad
T <sub>20</sub>	7	°C
T <sub>40</sub>	20	°C
T <sub>21</sub>	20	°C
T <sub>41</sub>	40	°C
C <sub>p<sub>H<sub>2</sub>O</sub> (l)</sub>	4,2	kJ/kgK
Q <sub>sup</sub>	474053	kJ/h
Q <sub>inf</sub>	729312	kJ/h
F <sup>20</sup>	8682	kg/h

Tabla 6-39: Parámetros para el cálculo del flujo de agua fría en serpentín – Fuente: Elaboración propia

Ahora se puede calcular el calor a absorber por el aeroenfriador:

Parámetro	Valor	Unidad
F <sup>17</sup>	292.09	kg/h
T <sub>20</sub>	7	°C
T <sub>22</sub>	20	°C
C <sub>p<sub>H<sub>2</sub>O</sub> (l)</sub>	4,2	kJ/kgK
Q <sub>aeroenfriador</sub>	489985,21	kJ/h

Tabla 6-40: Parámetros para el cálculo del calor a extraer en el aeroenfriador – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3.11 - Potencia de las turbinas

Una característica de este proceso es el aprovechamiento que se puede hacer de la alta energía térmica de gas y vapor, y una manera de hacer esto es con una expansión adiabática en turbinas que accionan a los compresores de aire.

La potencia a cubrir por la turbina de gas será:

$$Pot_{tg} = Pot_{compresor} - Pot_{tv}$$

Y la potencia aportada por el vapor generado en el proceso será:

$$Pot_{tv} = F^{35} * (H_{380\text{ }^{\circ}\text{C}} - H_{250\text{ }^{\circ}\text{C}})$$

Parámetro	Valor	Unidad
Pot <sub>compresor</sub>	1929078	kJ/h
Pot <sub>tv</sub>	334415,6	kJ/h
H <sub>380 °C</sub>	3166,7	kJ/kg
H <sub>250 °C</sub>	2800,9	kJ/kg
Pot <sub>tg</sub>	1594662,739	kJ/h

Tabla 6-41: Parámetros para calcular la potencia generada por la turbina de gas – Fuente: Elaboración propia

Corriente	Flujo (kg/h)
F <sup>25</sup> <sub>N2</sub>	4784,55
F <sup>25</sup> <sub>O2</sub>	204,16
F <sup>25</sup> <sub>NO2</sub>	5,71
F <sup>25</sup>	4994,43

Tabla 6-42: Corrientes másicas que pasan por la turbina de gas – Fuente: Elaboración propia

El Cv de la mezcla surge de la ecuación:

$$Cv = Cv_{N_2} * w_{N_2} + Cv_{O_2} * w_{O_2} + Cv_{NO_2} * w_{NO_2}$$

Donde los Cv individuales están tomados a presión atmosférica y a una temperatura media dentro de un rango probable de temperaturas para la expansión.

Es conocida la potencia que debe aportar la turbina de gas y también la temperatura de entrada del gas. Falta conocer la temperatura de salida del gas, la cual se despeja de:

$$Pot_{tg} = F^{25} * Cv_{gases} * (T_{25} - T_{26})$$

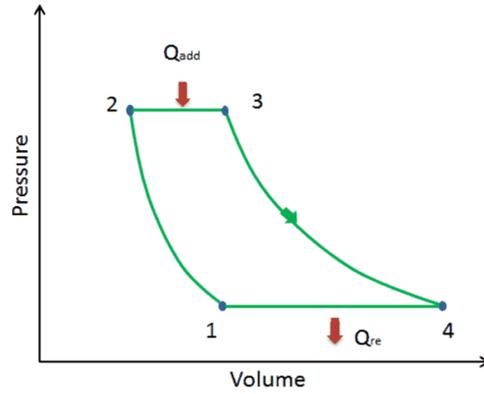


Figura 6-15: Ciclo termodinámico ideal – Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
$\dot{F}^{25}$	4994,43	kg/h
$T_{25}$	620	°C
$Pot_{tg}$	1594662,739	kJ/h
$Cv$ (1 atm)	0,804	kJ/kgK
$T_{26}$	222,9	°C

Tabla 6-43: Parámetros para el cálculo de la temperatura de salida de la turbina de gas – Fuente: Elaboración propia

El 100% de la potencia del compresor queda cubierta por la turbina de gas y la de vapor.

En la figura de abajo se muestra el diagrama del proceso con las corrientes enumeradas:

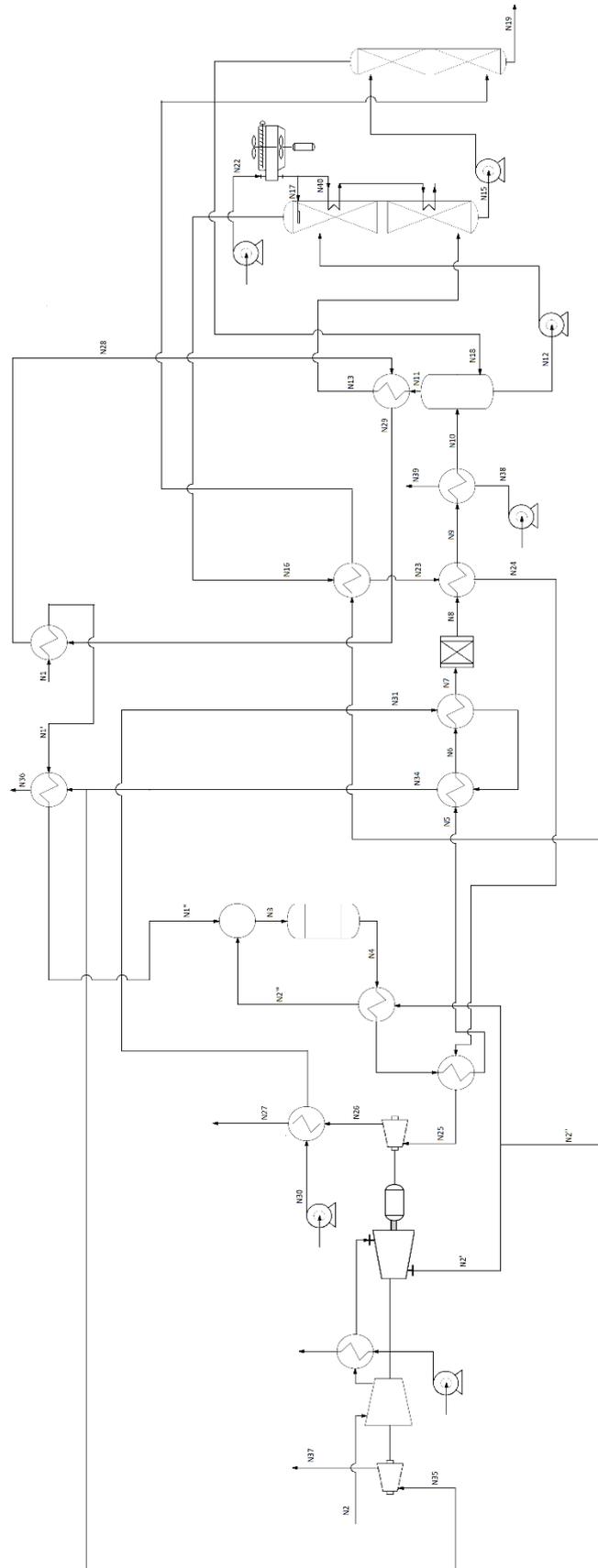


Figura 6-16: Diagrama del proceso – Fuente: Elaboración propia

El compresor de aire aparece en la figura como dos compresores separados, aunque se puede considerar un compresor que lleva el aire desde la presión atmosférica a la de trabajo en dos etapas.

## 6.3.4 - Diseño preliminar de equipos

### 6.3.4.1 - Diseño de reactor

Para el diseño del reactor, se utilizan valores encontrados en la bibliografía para el tiempo de residencia (o velocidad espacial), y las características geométricas de las mallas de catalizador.

La temperatura empleada para el cálculo de la densidad de la mezcla es la temperatura de reacción en la superficie del catalizador, ya que se supone que los gases alcanzan prácticamente instantáneamente dicha temperatura.

Para el cálculo de las dimensiones del reactor, se parte del hecho que la velocidad “v” de los gases debe estar en un rango 1 – 4 m/s<sup>30</sup>, con el objeto de reducir la ocurrencia de reacciones secundarias. Si la velocidad es muy alta o el número de etapas es insuficiente, disminuye la conversión a NO debido a las pérdidas de NH<sub>3</sub> que termina reaccionando con el mismo NO para formar N<sub>2</sub>. Por el contrario, si la velocidad es muy baja y hay demasiadas etapas, se favorece la descomposición de NO en N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

Se adopta en este caso la velocidad de 1 m/s. Considerando los gases como ideales, la densidad de la mezcla es:

$$\rho_{gases} = \frac{PM_{gases} * P}{R * T}$$

Siendo:

$$PM_{gases} = x_{N_2} * PM_{N_2} + x_{O_2} * PM_{O_2} + x_{NH_3} * PM_{NH_3}$$

Parámetro Especie	x	PM <sub>gases</sub> (kg/kmol)	ρ <sub>gases</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
NH <sub>3</sub>	0,104	27,61	2,78
O <sub>2</sub>	0,188		
N <sub>2</sub>	0,708		

Tabla 6-44: Parámetros para el cálculo de la densidad de la mezcla gaseosa – Fuente: Elaboración propia

Conociendo estos datos, se combinan las ecuaciones de velocidad de los gases y área de un círculo, y se despeja el diámetro interior del reactor:

$$v = \frac{F_{gases}}{\rho_{gases} * A}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F_{gases}}{\rho_{gases} * \pi * v}}$$

F gases (kg/s)	v (m/s)	D (m)
1,48	1	0,82

Tabla 6-45: Parámetros para el cálculo del diámetro del reactor – Fuente: Elaboración propia

El volumen de la zona de reacción será:

$$V = n * h * \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right)$$

Donde:

n: número de gasas (m)

h: altura de una gasa (m)

Estimando un número de 35 gasas, basándose en datos típicos de la industria que muestra la tabla de abajo, se puede calcular el volumen de reacción:

Pressure, MPa	Number of gauzes
0.1 – 0.2	3 – 5
0.3 – 0.7	6 – 10
0.8 – 1.2	20 – 50

Tabla 6-46: Números de gasas recomendado según la presión del reactor – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann<sup>24</sup>

n	h (m)	V (m <sup>3</sup> )
35	0,000152	0,002823639

Tabla 6-47: Dimensión del catalizador – Fuente: Elaboración propia

Además de la zona de reacción donde están las gasas, es prudente incluir 1,5 metros antes y después para una mejor mezcla de los gases.

Especificaciones del reactor	
Diámetro interior (m)	0,82
Largo (m)	4
Temperatura (°C)	920
Presión (kPa)	1.090

Material	Acero
----------	-------

Tabla 6-48: Especificaciones del reactor – Fuente: Elaboración propia

Son necesarias también las especificaciones del catalizador:

Especificaciones del catalizador	
Número de gasas	35
Diámetro de alambre (mm)	0,076
Número de malla (plg <sup>-1</sup> )	80
Espesor de malla (mm)	0,152
Material	90% Pt – 10% Rh
Altura del paquete de gasas(mm)	5,32
Peso del catalizador (kg)	10,63

Tabla 6-49: Especificaciones del catalizador – Fuente: Elaboración propia

El peso de la gasa de malla 80 es de 1,71 onza troy/ft<sup>2</sup>.<sup>31</sup>

Multiplicando por el área transversal del reactor y el número de gasas se obtiene un peso de catalizador de 10,633 kg. Este peso servirá posteriormente para calcular el costo de reemplazar cada tres meses el paquete completo de gasas.

### 6.3.4.2 - Diseño de intercambiador de calor

El proceso cuenta con una importante cantidad de intercambiadores de calor. A modo de ejemplo se realiza un diseño preliminar del sobrecalentador de vapor, el cual genera el vapor que mueve una de las turbinas. La temperatura de salida de los gases se calcula con:

$$F^{32} * (H_{(380\text{ }^{\circ}\text{C})} - H_{(250\text{ }^{\circ}\text{C})}) = F^5 * C_{p_{\text{gases}}} * (645\text{ }^{\circ}\text{C} - T)$$

F <sup>5</sup> (kg/h)	C <sub>p<sub>gases</sub></sub> (kJ/kmol°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)
5316,43	1,2	645	601,3
F <sup>32</sup> (kg/h)	ΔH (kJ/kg)	T <sub>32</sub> (°C)	T <sub>33</sub> (°C)
975,1	285,89	250	380

Tabla 6-50: Parámetros en el sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia

Teniendo las cuatro temperaturas del intercambiador, se puede calcular la diferencia de temperatura media logarítmica (DTML):

$$DTML = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}\right)}$$

Para la DTML calculada, se debe verificar si es necesario corregirla, y para ello hay que calcular los parámetros R y S:

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)}$$

$$S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)}$$

<b>DTML (°C)</b>	306,126809	<b>R</b>	0.33612794	<b>S</b>	0,32911392
$(T_1 - t_2)$	$(T_2 - t_1)$	$(T_1 - T_2)$	$(t_2 - t_1)$	$(t_2 - t_1)$	$(T_1 - t_1)$
265	351,303368	43,6966316	130	130	395

Tabla 6-51: Parámetros para el cálculo de la DTML, R y S – Fuente: Elaboración propia

De los apéndices del libro “Transferencia de calor en ingeniería de procesos” de Eduardo Cao, se obtiene un Ft = 1, para un intercambiador de 1 paso en carcasa y número par de pasos en tubos<sup>32</sup>. La DTML permanece igual y no es necesario corregirla porque se trata de un flujo en contracorriente puro.

$$Q = U * A * DTML$$

El único parámetro faltante es el coeficiente global de transferencia de calor (U), que para el caso de este proyecto, corresponde a gases en circulación tanto en tubos como en carcasa. El sitio EngineeringToolbox recomienda valores entre 10 y 30 W/m<sup>2</sup>K, y se toma el valor de 10 W/m<sup>2</sup>K.

Quedan como datos para calcular el área de transferencia de calor:

<b>Q (J/s)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>DTML (°C)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>
77436,95	10	306,12	25,3

Tabla 6-52: Parámetros para el cálculo del área de transferencia – Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones de tubos propuestas son:

<b>L (m)</b>	6
<b>Do (m)</b>	0,019
<b>Di (m)</b>	0,0135

Tabla 6-53: Dimensiones de los tubos propuestas – Fuente: Elaboración propia

El Do elegido de ¾” o 0.019 m es elegido por ser un valor intermedio, con un BWG 12 que es de los más bajos para dicho Do, a fines de tener un mayor espesor de pared que haga más robusto al equipo frente a la alta presión de los gases. El largo de 6 metros es un valor comúnmente utilizado en la industria química.

El número de tubos se puede calcular según:

$$N = \frac{A}{\pi * D_o * L}$$

$$N = 70,63 \approx 71 \text{ tubos}$$

El área del interior del tubo es:

$$a_i = \frac{\pi * D_i^2}{4} = 0,00014 \text{ m}^2$$

La densidad de la mezcla de gases se puede calcular con el peso molecular promedio y la ecuación de gases ideales:

$$PM_{mezcla} = \sum_{i=1}^n x_i * PM_i$$

Donde i es cada uno de los componentes de la mezcla.

$$\rho_{mezcla} = \frac{PM_{mezcla} * P}{R * T} = \frac{27,04 \frac{kg}{kmol} * 1000 \text{ kPa}}{8,313 \frac{kg}{kmolK} * (623 + 273)K} = 3,63 \frac{kg}{m^3}$$

La velocidad propuesta para los gases dentro de los tubos será de  $v_t = 20 \text{ m/s}$  por estar dentro del rango típico de velocidades para este caso. Con esto se puede calcular el número de pasos en tubos despejando de:

$$F^5 = v_t * \left( \frac{N}{n_{pt}} \right) * \rho_{gases} * a_i$$

$$n_{pt} = 0,49 \approx 1 \text{ paso en tubos}$$

El equipo más cercano a estas características, según el apéndice de Cao, tiene una carcasa de diámetro 12" y 91 tubos de arreglo triangular 3/4" en 1".

<b>N</b>	91
<b>Ds (")</b>	12
<b>Ds (m)</b>	0,3048
<b>vt (m/s)</b>	31,23

Tabla 6-54: Parámetros para el cálculo de la velocidad del gas dentro de los tubos – Fuente: Elaboración propia

Al recalcular la velocidad, se puede verificar que con esta nueva especificación del equipo, sigue estando prácticamente dentro del rango de velocidades aceptable.

Al hacer la verificación del U, se concluye que el equipo está sobredimensionado considerablemente, pero en este caso se priorizará una velocidad en tubos no muy alta para evitar subsecuentes problemas de deterioro mecánico por vibraciones. Si el U fuese mayor, se reduciría notablemente el área, el número de tubos y consecuentemente la velocidad de los gases subiría bien por encima de los 100 m/s.

<b>Especificaciones</b>	
Área de intercambio (m <sup>2</sup> )	25,3
Número de tubos	91
Longitud de tubos (m)	6
Diámetro externo de tubos (")	3/4
BWG	12

Número de pasos en tubos	1
Diámetro de carcasa (")	12
Número de pasos en carcasa	1

Tabla 6-55: Especificaciones del sobrecalentador de vapor – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4.3 - Diseño de refrigerador de agua

El equipo permite llevar agua a unos 7 °C, es decir debajo de la temperatura ambiente del agua, para servir como fluido frío y también como un reactivo en la torre de absorción.

Las especificaciones que deberá cumplir son:

Especificaciones	
T <sub>ent</sub> agua (°C)	20
T <sub>sal</sub> agua (°C)	7
F <sub>agua</sub> (kg/h)	8974
Q <sub>intercambiado</sub> (kJ/h)	489985

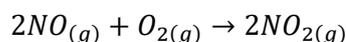
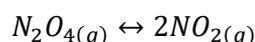
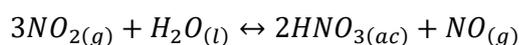
Tabla 6-56: Especificaciones del aroenfriador – Fuente: Elaboración propia



Figura 6-17: Aeroenfriador – Fuente: Daikin Applied

### 6.3.4.4 - Diseño de la torre de absorción

La torre o columna tiene la función de completar la oxidación del NO a NO<sub>2</sub> y absorber el NO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Por la cabeza de la columna saldrá el tail gas o gas de cola, con muy baja concentración de gases NO<sub>x</sub>, y por el fondo de la columna saldrá el producto final con algo de N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> disuelto que debe ser removido en el blanqueo. Las reacciones principales son:



Todas son exotérmicas y dependen de la presión parcial (y por tanto de la presión total en la columna) de los gases además de la temperatura, siendo la absorción favorecida por bajas temperaturas y altas presiones. La temperatura de operación dentro de la torre es de 30 °C y la presencia de un sistema de enfriamiento ayuda a conseguirlo.

La disolución de los gases en el agua para formar ácido nítrico en solución acuosa es inversamente proporcional a sus presiones parciales, es decir, la cantidad que se disuelve es menor a temperaturas mayores.

Otros factores importantes son la separación entre platos y el diámetro de la columna, ya que afectan el tiempo de residencia de los gases en el espacio entre platos y lo tanto el grado de oxidación del NO (que es el paso limitante). La eficiencia de los platos es también un dato significativo en el rendimiento de la columna.

Como se trata de un proceso de absorción con reacción química, el cual contiene múltiples reacciones en simultáneo además de los procesos de transferencia de masa gas-líquido, el diseño de la torre resulta muy complejo para una etapa de prefactibilidad. A fines de obtener un costo preliminar del equipo, se adoptarán las especificaciones de diseño de otros trabajo en los que las condiciones de presión y temperatura son las mismas y las composiciones son similares.

Especificaciones <sup>20</sup>	
Diámetro interior (m)	1,8
Número de platos teóricos	28
Eficiencia de platos (%)	50
Número de platos reales	56
Altura de la torre (m)	30
Tipo de platos	Platos perforados
Material	Acero AISI 316

Tabla 6-57: Especificaciones de la torre de absorción – Fuente: Elaboración propia



Figura 6-18: Plato perforado de acero inoxidable – Fuente: Kempro

#### 6.3.4.5 - Diseño de la torre de blanqueo

La torre de desorción tiene como función arrastrar el N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> disuelto en el producto final mediante el flujo secundario de aire en contracorriente, sin reacción química.

Especificaciones <sup>33</sup>	
Diámetro interior (m)	1,3
Número de platos teóricos	6
Eficiencia de platos (%)	50
Número de platos reales	12
Altura de la torre (m)	9,5
Tipo de platos	Platos perforados
Material	Acero AISI 304

Tabla 6-58: Especificaciones de la torre de blanqueo – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4.6 - Diseño del recipiente de oxidación no catalítica

Se trata de un recipiente a presión donde transcurre el último paso de oxidación del gas NO antes de la absorción. Puede tener un separador de nieblas para que el gas que sale por la cabeza del recipiente no arrastre gotas de la solución de ácido al 37%. El propósito es que todo el ácido caiga al fondo del recipiente y sea bombeado a la torre de absorción.

$$V = \frac{Q}{\theta}$$

Donde Q es el caudal volumétrico de los gases por segundo y  $\theta$  es el tiempo de residencia de la mezcla dentro del recipiente. Considerando un  $\theta$  de 30 segundos y una altura de 5 metros, se pueden calcular las dimensiones.

Especificaciones	
Volumen (m <sup>3</sup> )	3,06
Diámetro (m)	0,88
Altura (m)	5
Material	Acero AISI 304

Tabla 6-59 – Especificaciones del recipiente de oxidación no catalítica – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4.7 - Bombas centrífugas

Utilizando el sitio EngineeringToolbox se dimensiona una bomba centrífuga para ser representativa de las que transportan agua y una para ser representativa de las que transportan ácido. La eficiencia de las bombas considerada es 60%.

Especificaciones	
Potencia bomba agua (kW)	1,77
Potencia bomba ácido (kW)	0,39
Material bomba agua	Acero al carbono
Material bomba ácido	Acero AISI 304

Tabla 6-60: Especificaciones de bombas – Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4.8 - Tanque de almacenamiento de ácido nítrico

Se dispondrá de almacenamiento de la producción de una semana, ante eventuales paradas por reemplazo de catalizador u otra interrupción del proceso.

$$V = Q * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 7 \text{ días}$$

Donde Q es el caudal volumétrico por hora.

$$V = 231 \text{ m}^3$$

Se dispondrá de cuatro tanques para cubrir dicho volumen.

Especificaciones	
V (m <sup>3</sup> )	58
D (m)	2
L (m)	18,5
Material	Acero AISI 304

Tabla 6-61: Especificaciones de tanque de ácido – Fuente: Elaboración propia



Figura 6-19: Tanques de ácido – Fuente: Neonickel

### 6.3.4.9 - Tanque de almacenamiento de amoníaco

Se dispondrá de un tanque para almacenar el requerimiento de amoníaco de una semana de producción, ante una eventual interrupción de suministro por parte de Profertil.

$$V = Q * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 7 \text{ días}$$

Donde Q es el caudal volumétrico por hora.

$$V = 93 \text{ m}^3$$

Especificaciones	
V (m <sup>3</sup> )	98
D (m)	3

L (m)	14
Material	Acero al carbono

*Tabla 6-62: Especificaciones de tanque de amoníaco – Fuente: Elaboración propia*



*Figura 6-20: Tanque de amoníaco – Fuente: Fusion Weld*

## **7 - ASPECTOS ORGANIZACIONALES**

### **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 - Organigrama**

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.

Para determinar una aproximación de la estructura orgánica que tendrá la empresa, se debe tener presente que el proceso debe ser seguro y mayormente automatizado, por lo que no se requiere de mano de obra intensiva, y además, la estructura administrativa no será compleja.

Para lograr una óptima producción, y así reducir costos en salarios se intentará tener una estructura lo más acotada y sencilla posible, con la menor cantidad de empleados posible.

Requisitos fundamentales:

- La organización tiene que crearse alrededor de funciones y no de individuos.
- Las funciones estrechamente relacionadas deben colocarse bajo un mismo epígrafe.
- 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.
- 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.

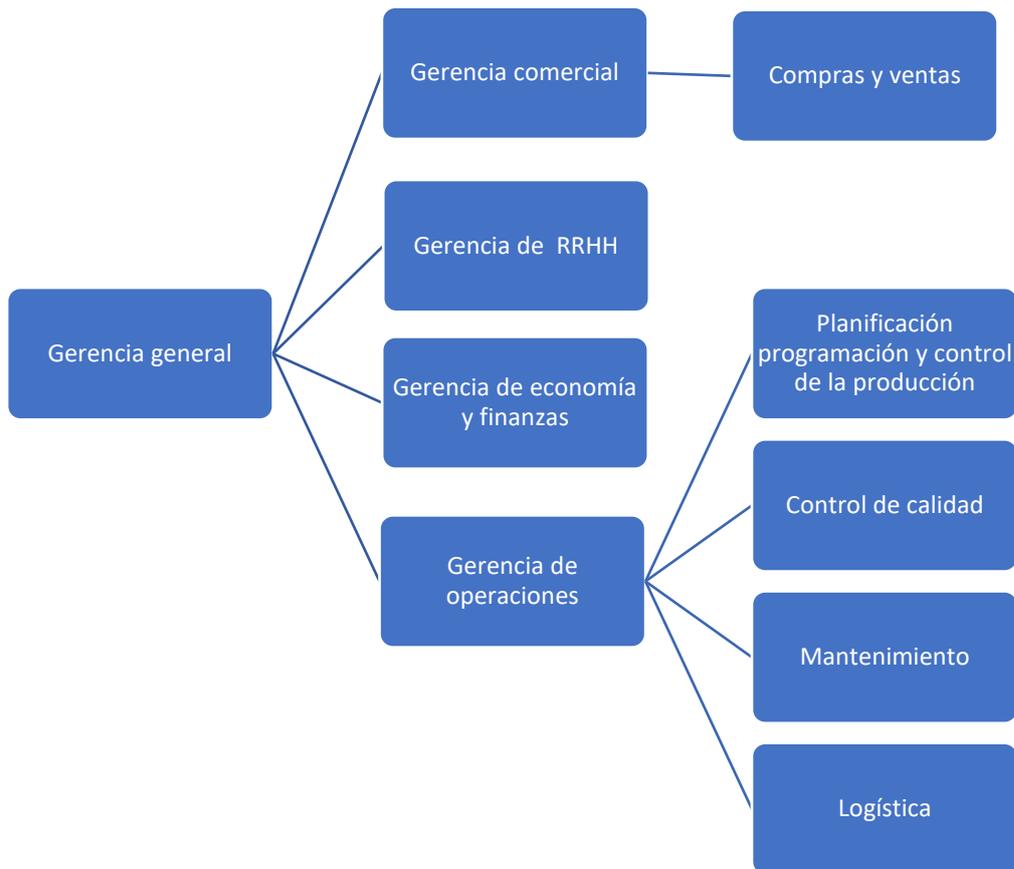


Figura 7-1: Organigrama – Fuente: Elaboración propia

Por ser el  $\text{HNO}_3$  un commodity de especificación definida, con tecnología de producción y mercado maduros y sin productos sustitutos conocidos, no se requieren erogaciones de dinero destinadas a la investigación y desarrollo, por lo que esta área no se considera necesaria.

## 7.3 - Fichas 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 puestos jerárquicos se establecerán las distintas tareas a realizar, perfiles de puesto y las líneas de mando, definidas anteriormente en el organigrama.

### 7.3.1 - Gerente general



Persona de jerarquía, es el encargado de las estrategias y coordinación de todos los departamentos de la empresa.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Gerencia general
SECTOR	Oficinas administrativas
FUNCIÓN	Gerente general
SUPERVISAA	Gerentes comercial, RRHH, economía y finanzas y operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
Liderar la gestión estratégica	
Liderar la formulación y aplicación del plan de negocios	
Alinear a las distintas gerencias	
Definir las políticas generales de administración	
Desarrollar y mantener relaciones político-diplomáticas con autoridades y reguladores	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ingeniero Químico o Industrial	
Dominio oral y escrito del idioma inglés	
Búsqueda y cierre de acuerdos y negocios	
Capacidad de liderazgo	
Flexibilidad y rapidez de respuesta ante cambios internos y externos	
Formulación, evaluación y aprobación de planes estratégicos	

Tabla 7-1: Ficha de función del gerente general – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.2 - 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.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Gerencia de operaciones
SECTOR	Oficinas administrativas
FUNCIÓN	Gerente de operaciones
SUPERVISAA	Jefes de mantenimiento, PPyCDLP, calidad, compras, logística
REPORTAA	Gerente general
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
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	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ingeniero Químico o Industrial	
Capacidad de trabajo en equipo	
Capacidad de análisis	

Capacidad de liderazgo
Habilidades comunicativas
Formulación de planes estratégicos

Tabla 7-2: Ficha de función del gerente de operaciones – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.3 - Gerente de economía y finanzas

Persona de jerarquía, a cargo de la gestión financiera y económica de la organización. Es el responsable de la planificación, ejecución y control de finanzas y contabilidad.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia de economía y finanzas
SECTOR	Oficinas administrativas
FUNCIÓN	Gerente de economía y finanzas
SUPERVISAA	Encargados de finanzas, contabilidad y administración económica.
REPORTAA	Gerente general
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	
Programar, organizar, dirigir, controlar y supervisar la tesorería, contabilidad y costos	
Contactar con bancos	
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, Economía o Contabilidad	
Conocimiento de leyes, normas y reglamentos que rigen los procesos administrativos	
Habilidades para desarrollar métodos y procedimiento de trabajo	
Capacidad de liderazgo	

Tabla 7-3: Ficha de función del gerente de economía y finanzas – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.4 - Gerente de recursos humanos

Persona de jerarquía, a cargo de todo lo relacionado con el manejo del personal que compone la organización. Es el responsable de búsqueda, contratación, capacitación y gestión de las personas que trabajan en la organización.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia de recursos humanos
SECTOR	Oficinas administrativas
FUNCIÓN	Gerente de recursos humanos
SUPERVISAA	Encargados de contrataciones, capacitaciones y relaciones laborales
REPORTAA	Gerente general
CATEGORÍA	Fuera del CCT
DEBERES	

Elaborar los anuncios de puestos de trabajo vacantes
Gestionar contrataciones, renunciaciones y despidos
Mejorar el clima laboral
Mantener un registro de todo el personal
Gestionar el movimiento de empleados dentro del organigrama
Gestionar los programas de capacitación
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Licenciado en Recursos Humanos
Conocimiento de leyes laborales y psicología laboral
Habilidades de negociación
Habilidades para desarrollar métodos y procedimiento de trabajo
Capacidad de liderazgo

Tabla 7-4: Ficha de función del gerente de recursos humanos – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.5 - Gerente comercial

Persona de jerarquía, a cargo de gestionar el proceso de venta del producto.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Gerencia comercial
SECTOR	Oficinas administrativas
FUNCIÓN	Gerente comercial
SUPERVISAA	Jefe de compras y ventas
REPORTAA	Gerente general
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
Pronosticar las ventas	
Establecer precios de venta estratégicos para maximizar ganancias y satisfacción del cliente	
Establece metas y objetivos de ventas a largo plazo	
Establecer y delimitar el público objetivo al cual se va a dirigir el producto o servicio a ofrecer	
Estar pendiente de las tendencias e idear campañas y estrategias con base a las mismas	
Estudiar a la competencia y a los mercados potenciales	
Aplicar estrategias de marketing a corto, mediano y largo plazo	
Elaborar informes sobre las actividades y sus repercusiones en el tiempo	
Formar vínculos estratégicos con proveedores de insumos para obtener mejores precios	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Licenciado en Marketing, Ingeniero Industrial o Administrador de Empresas	
Habilidades de organización y desarrollo de planes y presupuestos de venta	
Habilidades de negociación	
Capacidad de comunicación efectiva con el personal de la empresa	
Manejo de redes sociales e internet	
Capacidad de liderazgo	

Tabla 7-5: Ficha de función del gerente comercial – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.6 - Jefe de compras y ventas

Persona de nivel jerárquico inferior a un gerente, encargada del proceso de compra de materias primas y bienes necesarios para la producción y la venta del producto.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Compras
SECTOR	Oficinas administrativas
FUNCIÓN	Jefe de compras y ventas
SUPERVISAA	Auxiliares de compras y de ventas
REPORTAA	Gerente comercial
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
Preparar y proponer políticas y procedimientos para el proceso de adquisición de bienes y servicios de la empresa, dentro de los marcos definidos por la gerencia	
Emitir órdenes de compra	
Concreta las ventas	
Establece objetivos de ventas en el corto plazo	
Generar informes periódicos sobre las actividades realizadas	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Administrador de empresas o ingeniero industrial	
Dominio oral y escrito del idioma inglés	
Capacidad de negociación	
Conocimiento del panorama de proveedores y precios	
Manejo de herramientas de software	
Capacidad de liderazgo	

Tabla 7-6: Ficha de función del jefe de compras y ventas – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.7 - Jefe de producción

Persona de jerarquía, encargada de planificar, programar, dirigir y controlar el proceso productivo de ácido nítrico, administrando los recursos humanos y materiales como así también aportando con la mejora continua. Además, es la persona encargada de asegurar el cumplimiento del programa de producción en tiempo y forma adecuada.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Producción
SECTOR	Planta
FUNCIÓN	Jefe de producción
SUPERVISAA	Operarios de producción
REPORTAA	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
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	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	

Ingeniero de procesos, ingeniero químico o ingeniero industrial
Capacidad de liderazgo
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.
Manejo de software de control de procesos

*Tabla 7-7: Ficha de función del jefe de producción – Fuente: Elaboración propia*

### 7.3.8 - 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.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Operaciones
SECTOR	Mantenimiento
FUNCIÓN	Jefe de mantenimiento
SUPERVISAA	Oficiales instrumentistas, electricistas y con oficio
REPORTAA	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
Supervisa el mantenimiento de las instalaciones	
Mantiene un registro de las herramientas, máquinas y otros insumos necesarios de mantenimiento	
Ordena realizar mediciones para detectar fallas, dificultades y/o problemas que se presenten durante la ejecución del trabajo y decide la mejor solución	
Elabora o modifica planes de mantenimiento	
Elabora informes periódicos de las actividades realizadas	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ingeniero industrial o electromecánico	
Capacidad de liderazgo	
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	
Conocimientos en gestión de la producción y conocimientos generales en mantenimiento de máquinas y equipos.	

*Tabla 7-8: Ficha de función del jefe de mantenimiento – Fuente: Elaboración propia*

### 7.3.9 - 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.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Control de calidad
SECTOR	Laboratorio
FUNCIÓN	Jefe de control de calidad
SUPERVISAA	Analistas, técnicos químicos
REPORTAA	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
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	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Analista de laboratorio	
Capacidad de liderazgo	
Manejo de software específicos	
Capacidad de evaluación de resultados	

Tabla 7-9: Ficha de función del jefe de control de calidad – Fuente: Elaboración propia

### 7.3.10 - Jefe 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.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
ÁREA	Producción
SECTOR	Almacenamiento y despacho
FUNCIÓN	Jefe de logística
SUPERVISAA	Encargados de almacenamiento y despachos
REPORTAA	Gerente de operaciones
CATEGORÍA	Fuera del CCT
<b>DEBERES</b>	
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	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	



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

*Tabla 7-10: Ficha de función del jefe de logística – Fuente: Elaboración propia*

## 7.4 - Escalas salariales

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 descripto por las planillas salariales según Convenio Colectivo de Trabajo 77/89 vigente. 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.

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 de higiene y seguridad 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.

## 7.5 - 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 tres grupos de trabajo.

Inicialmente en cada etapa el Jefe de Producción está presente acompañado del Operario de Producción; el Jefe toma la responsabilidad de las actividades y también instruye al operario a realizar determinadas tareas, en el tiempo restante el operario se encarga de controlar y reportar al jefe de la planta las actividades asignadas.

Según la Ley 11.544, Jornada de Trabajo, Artículo 3°; cuando los trabajos se efectúen por equipos, la duración del trabajo podrá ser prolongada más allá de las 8 horas por día y 48 semanales, a condición de que el término medio de las horas de trabajo sobre un período de 3 semanas a lo menos, no exceda de 8 horas por día o de 48 horas semanales.<sup>34</sup>

MANO DE OBRA	Puestos de trabajo	Turnos	Trabajadores por puesto	Categoría	Sueldo básico mensual
Gerente general	1	1	1	Fuera del CCT	\$2.500.000

Gerente de operaciones	1	1	1	Fuera del CCT	\$2.000.000
Jefe de producción	1	1	1	Fuera del CCT	\$1.500.000
Jefe de control de calidad	1	1	1	Fuera del CCT	\$1.500.000
Jefe de mantenimiento	1	1	1	Fuera del CCT	\$1.500.000
Jefe de logística	1	1	1	Fuera del CCT	\$1.500.000
Operario de proceso	18	3	54	A1	\$496.955,52
Operario de control	2	3	6	A3	\$583.226,88
Analista de calidad	1	3	3	A3	\$583.226,88
Oficial instrumentista y electricista	4	3	12	A3	\$583.226,88
Gerente de economía y finanzas	1	1	1	Fuera del CCT	\$2.000.000
Gerente comercial	1	1	1	Fuera del CCT	\$2.000.000
Jefe de compras y ventas	1	1	1	Fuera del CCT	\$1.500.000
Gerente de RRHH	1	1	1	Fuera del CCT	\$2.000.000
Auxiliar administrativo	12	1	12	A	\$519.047,85

Tabla 7-11: Puestos de trabajo – Fuente: Elaboración propia con información del convenio 564/09

## 7.6 - Sectores

Con el objetivo de aumentar la productividad de la planta, mejorar las condiciones de seguridad para los trabajadores y achicar las ineficiencias y tiempos muertos, se diseña la disposición o “layout” de los equipos y sectores.

En este capítulo se determina la superficie que ocupa cada equipo y sector, para obtener la superficie total de terreno que se necesita. Existen diversos factores que se deben considerar en el momento de elaborar el diseño para la distribución de planta. Algunos de estos factores son el volumen de producción, movimiento de materiales y flujo de materiales, así como las áreas necesarias para cumplimentar todo el proceso.

### 7.6.1 - Sector de mantenimiento

Aquí están los insumos y equipos para llevar a cabo mantenimiento, mesadas de trabajo, salida de aire comprimido y agua para lavado. Aquellas partes pequeñas que puedan transportarse hasta este sector y/o deban ser sometidas a mantenimiento preventivo sin parada de planta, como puede ser una bomba de respaldo, serán el objetivo de este sector. Además se encuentra la oficina del jefe de mantenimiento.

## 7.6.2 - Oficinas administrativas

Comprende salas de reuniones y oficinas de gerentes, jefes y auxiliares administrativos.

## 7.6.3 - Sector de producción

Comprende todos los equipos del proceso propiamente dicho. Están dispuestos de tal manera que la torre de blanqueo esté cerca de la zona de carga de los camiones y los intercambiadores de calor del amoníaco estén más cerca de las tuberías por donde llega el amoníaco de Profertil.

## 7.6.4 - Zona de carga de camiones

Aquí se emplean brazos de llenado de acero inoxidable para cargar los camiones. El ácido sale de un tanque que actúa como "pulmón" y constantemente se está llenando y vaciando.



*Figura 7-2: Brazo de descarga – Fuente: Zipfluid*

Muestras de distintos períodos se almacenarán y esperarán a ser analizadas. Además se almacenará en tanques más pequeños que serán manipulados por un autoelevador.



Figura 7-3: Tanque plástico de 200 L – Fuente: Google

### 7.6.5 - Laboratorio de análisis de calidad

Es donde trabaja el analista de calidad y el jefe de control de calidad y contiene los insumos y equipos para determinar si hay restos de partículas de catalizador, el porcentaje de gas disuelto y la concentración de la solución.

## 7.7 - Lay-out de la planta

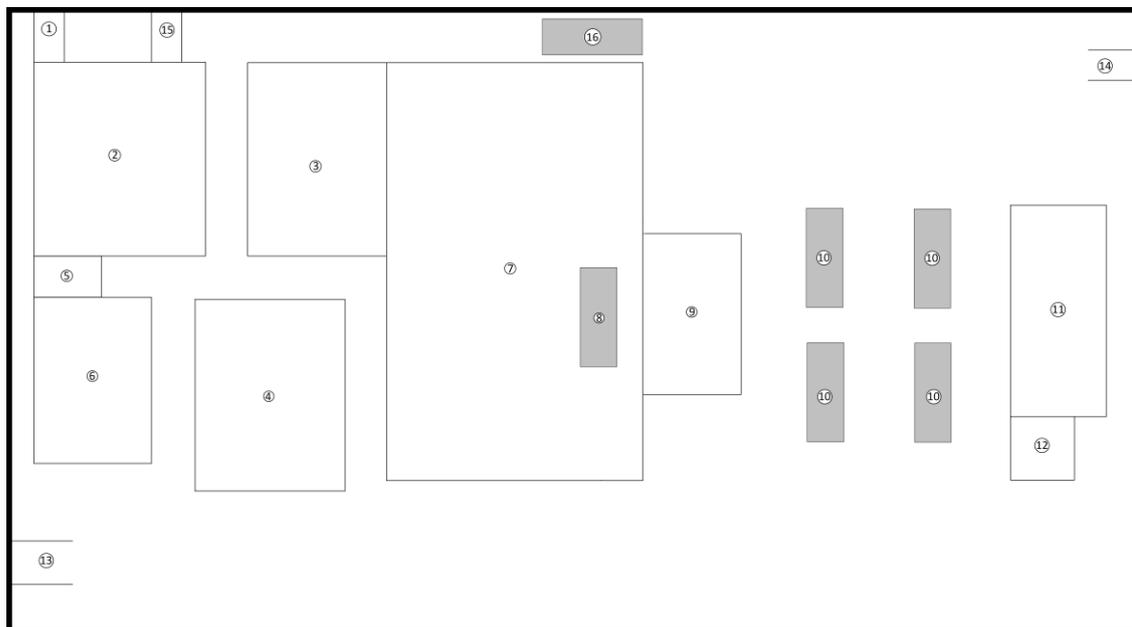


Figura 7-4: Lay-out de la planta – Fuente: Elaboración propia

1) Entrada para personal	2) Estacionamiento para personal	3) Sector de mantenimiento	4) Estacionamiento para camiones
5) Vestuarios y baños	6) Oficinas administrativas	7) Sector de producción	8) Tanque para carga



---

9) Zona de carga de camiones	10) Tanque de reserva de ácido	11) Almacén de tanques 200 L y muestras	12) Laboratorio de análisis de calidad
13) Entrada de camiones	14) Salida de camiones	15) Salida para personal	16) Tanque de reserva de amoníaco

*Tabla 7-12: Referencias del lay-out – Fuente: Elaboración propia*



## **8 - ASPECTOS LEGALES**

### **8.1 - Legislación nacional**

Ley 25.675/02 (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.

Ley 25.612/02 (Gestión Integral de Residuos Industriales): Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre gestión integral de residuos industriales y derivados de actividades de servicio que sean generados en todo el territorio nacional, cualquiera sea el proceso implementado para generarlos.

Ley 25.688/02 (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. Utilización de las aguas. Cuenca hídrica superficial. Comités de cuencas hídricas.

Ley 20.284 (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.

Ley 19.857 Decreto 351: Ley de Higiene y seguridad Laboral.

Convenio Colectivo de Trabajo 564/09 aplicable a los trabajadores del FESTIQyPRA (Federación de Sindicatos de Trabajadores de Industrias Químicas Y Petroquímicas de la República Argentina)

### **8.2 - Legislación provincial**

Dado que la localización elegida para la planta es el polo petroquímico de Bahía Blanca, en la provincia de Buenos Aires, a continuación se explicará en breves conceptos lo establecido en los artículos más importantes:

#### Constitución de la provincia de Buenos Aires

Establece los principios, derechos, garantías y deberes de todos los ciudadanos de la provincia. En su artículo N° 28 declara que los habitantes de la Provincia de Buenos Aires 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.

#### **8.2.1 - Marco regulatorio para industrias**

Ley N° 11.459 - "Ley de Radicación Industrial"



**Autoridad de Aplicación:** Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires, que pertenece al Ministerio de Ambiente.

Esta ley será de aplicación a todas las industrias instaladas, que se instalen, amplíen o modifiquen sus establecimientos. En su artículo segundo define establecimiento industrial.

- El artículo 3 establece que todos los establecimientos industriales deberán contar con el pertinente Certificado de Aptitud Ambiental como requisito obligatorio indispensable para que las autoridades municipales puedan conceder las correspondientes habilitaciones industriales.
- El artículo 7 establece que el Certificado de Aptitud Ambiental será expedido por la Autoridad de Aplicación o el Municipio, según corresponda, previa Evaluación Ambiental.
- El artículo décimo establece que los establecimientos industriales ya instalados que deseen realizar modificaciones en sus edificios, ambientes o instalaciones deberán solicitar el correspondiente Certificado de Aptitud Ambiental en forma previa a la correspondiente habilitación industrial.
- El artículo 15 establece la clasificación de los establecimientos industriales se clasificarán en tres (3) categorías:
  - Primera categoría, que incluirá aquellos establecimientos que se consideren inocuos porque su funcionamiento no constituye riesgo o molestia a la seguridad, salubridad o higiene de la población, ni ocasiona daños a sus bienes materiales ni al medio ambiente.
  - Segunda categoría, que incluirá aquellos establecimientos que se consideran incómodos porque su funcionamiento constituye una molestia para la salubridad e higiene de la población u ocasiona daños a los bienes materiales y al medio ambiente.
  - Tercera categoría, que incluirá aquellos establecimientos que se consideran peligrosos porque su funcionamiento constituye un riesgo para la seguridad, salubridad e higiene de la población u ocasiona daños graves a los bienes y al medio ambiente.

## **8.2.2 - Marco regulatorio de impacto ambiental**

### Ley 11.723 - 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.

### Ley N° 14.343 - 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).



Ley Provincial N° 5.965 - Ley de Protección a las Fuentes de Provisión y a los Cursos y Cuerpos Receptores de Agua y a la Atmósfera, reglamentada por el Decreto N° 3.395/96

Establece que la concentración máxima de NOx expresada como NO<sub>2</sub> que se puede emitir al ambiente será de 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Para el NH<sub>3</sub> el límite máximo es de 83 mg/Nm<sup>3</sup>.

Ley Provincial N° 13.656 - Ley de Promoción Industrial, Decreto 523/08

Tiene como finalidad favorecer el desarrollo industrial y armónico de la economía provincial, estimulando la formación de sistemas productivos regionales a través de diferentes beneficios como por ejemplo:

- **Exención de impuestos provinciales:** en proyectos de instalación de plantas nuevas, la exención del impuesto sobre los ingresos brutos será del ciento por ciento de los valores de la facturación originada en el desarrollo de las actividades promocionadas en el establecimiento del Proyecto en cuestión. La exención del impuesto inmobiliario será del ciento por ciento sobre las partidas inmobiliarias directamente afectadas al establecimiento promocionado. Para la región de Bahía Blanca, la exención para ambos impuestos tiene una duración de 3 años. Por otro lado, los Proyectos de inversión que se localicen en agrupamientos industriales, debidamente habilitados por la Autoridad de Aplicación de la Ley N° 13.656, podrán extender el plazo de exención en hasta un 50,0% del tiempo mencionado anteriormente.
- **Beneficios sobre tasas y derechos municipales** que cada comuna establezca en adhesión a la presente ley. Particularmente, la Ordenanza Municipal N° 7.454/93 de la ciudad de Bahía Blanca, exige a las empresas ubicadas dentro del Parque Industrial de Bahía Blanca 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 creara en el futuro, por el término de 8 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 u otros regímenes que las eximiera de las contribuciones municipales indicadas. También comprende la exención 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.
- **Descuentos en las prestaciones de servicio de energía eléctrica, gas, agua y comunicaciones** de acuerdo a los convenios que establezcan los municipios adherentes a la presente ley y la provincia con las empresas prestatarias.

Ley Provincial N° 11.737, Resolución N° 231/96 – Aparatos sometidos a presión

Establece las pautas para el diseño de los aparatos sometidos a presión. En particular, desde el Artículo 78 al 94, indica las normativas a cumplir en cuanto al diseño, operación y mantenimiento de los recipientes de almacenamiento de amoníaco, que en la ley se lo identifica como líquido refrigerante. Si bien en este proyecto de prefactibilidad no se contempla el diseño y costo de los mismos, de igual manera se mencionarán algunas pautas:

- El diseño y construcción de los tanques de almacenamiento debe realizarse de acuerdo a normas reconocidas internacionalmente tales como ASME, ISO, TRD, etc.
- Los recipientes deben poseer doble válvula de seguridad a resorte quedando una siempre en operación y otra en condiciones de mantenimiento. La liberación de las mismas será siempre a un recipiente neutralizador.



- En las cañerías de todas las instalaciones de amoníaco se deben colocar válvulas de bloqueo, manuales o automáticas, de acceso y funcionamiento rápido, que logren independizar secciones en caso de producirse fugas por rotura.
- Se establecen las condiciones y formas de mantenimiento que deben cumplir los locales de los establecimientos donde se encuentren instalados los tanques de almacenamiento de amoníaco, además del tipo de capacitación que debe recibir el personal que opera las instalaciones.

Para el manipuleo, uso, almacenamiento y transporte de amoníaco se debe dar estricto cumplimiento a la Norma IRAM-SEPLAFAM-Q 38.070 o sus modificatorias:

Norma IRAM-SEPLAFAM-Q 38.075

Marca las pautas de uso, almacenamiento y transporte del ácido nítrico.

## **9 - ASPECTOS NORMATIVOS**

### **9.1 - 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.

Para este proyecto, se plantea como objetivo la certificación de las normas ISO 9001 para Calidad y Mejora Continua y la norma ISO 14001 de Gestión Ambiental.

Por otro lado, las normas de seguridad e higiene se aplicarán para garantizar buenas condiciones de trabajo para el personal.

### **9.2 - Norma ISO 9001:2008 – Gestión de Calidad**

Esta norma se basa en una serie de requisitos los cuales deben respetarse para conseguir la mejora de la calidad del producto o servicio ofrecido, una mayor satisfacción de las necesidades del cliente, disminución de costos y tiempos y mayor prestigio como empresa.

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que determinar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad o un conjunto de actividades que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso.

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión para producir el resultado deseado, puede denominarse como "enfoque basado en procesos".

Una ventaja del enfoque basado en procesos es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

Un enfoque de este tipo, cuando se utiliza dentro de un sistema de gestión de la calidad, enfatiza la importancia de:

- a) la comprensión y el cumplimiento de los requisitos,
- b) la necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor,
- c) la obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso,
- d) la mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.

El modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos se muestra en la figura de abajo. Esta figura muestra 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 cliente acerca de si la organización ha cumplido sus requisitos. El modelo mostrado en la Figura cubre todos los requisitos de esta Norma Internacional, pero no refleja los procesos de una forma detallada.

De manera adicional, puede aplicarse a todos los procesos la metodología conocida como "**Planificar – Hacer – Verificar - Actuar**" (**PHVA**). PHVA puede describirse brevemente 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 los 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.

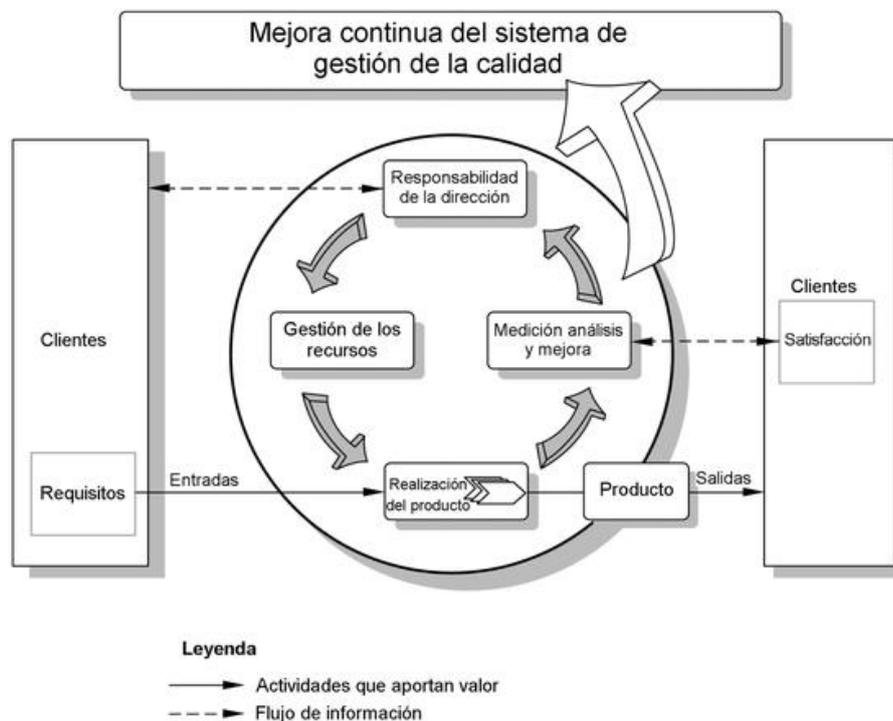


Figura 9-1: Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en proceso – Fuente: Norma ISO 9001:2008



Sus requisitos están basados en los siguientes ocho principios de gestión:

Principio 1: Organización centrada en el cliente

Principio 2: Liderazgo

Principio 3: Compromiso de las personas

Principio 4: Enfoque a procesos

Principio 5: Enfoque hacia la Gestión del Sistema

Principio 6: Mejora Continua

Principio 7: Enfoque objetivo para la toma de decisiones

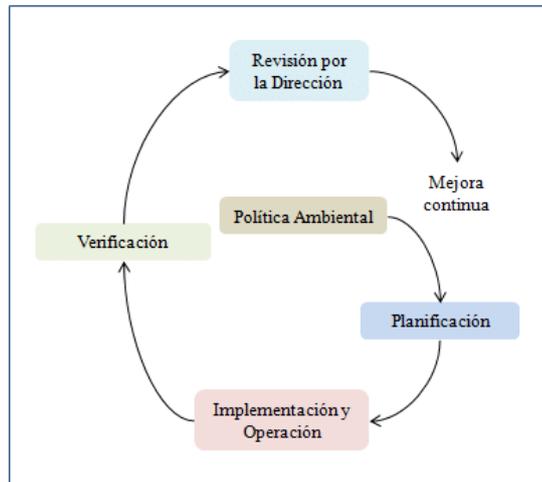
Principio 8: Relaciones con el suministrador mutuamente beneficioso.

## **9.3 - Norma ISO 14001 – 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 dicha serie 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, por ejemplo, no declara la cantidad máxima permisible de emisiones de NO<sub>x</sub>, sino que eso lo establece la legislación vigente. La ISO especifica los requisitos del propio sistema de gestión, que, si se mantienen adecuadamente, mejorarán la actuación medioambiental reduciendo los impactos.



*Figura 9-2: Modelo de sistema de gestión ambiental para la Norma Internacional ISO 14001 – Fuente: Norma ISO 14001:2004*

## 10 - ESTUDIO AMBIENTAL

### 10.1 - Introducción

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. El término impacto no implica negatividad, ya que éstos pueden ser tanto positivos como negativos. Las alteraciones pueden ser de distintos grados de intensidad en el entorno en el que se desarrolle.

### 10.2 - Matriz de impacto ambiental

Se emplea una matriz que le asigna una magnitud de impacto a cada actividad sobre cada aspecto del ambiente. Para determinar la magnitud fue utilizada la siguiente escala cualitativa:

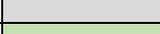
Crítico	
Severo	
Moderado	
Compatible	
Neutro	
Bajo	
Moderado	
Alto	
Muy alto	

Tabla 10-1: Escala de impactos – Fuente: Elaboración propia

En este capítulo se hace un análisis resumido en cuanto a que se incluyen solo las actividades básicas, listadas a continuación y dejando de lado lo que no tiene impacto significativo.

#### 10.2.1 - Transporte de maquinaria de construcción

Comprende el movimiento de camiones y máquinas de construcción hasta el terreno. Ejemplo: excavadoras, aplanadoras, camiones volcadores y remolques.

##### 10.2.1.1 - Material particulado

El transporte de equipos, materiales, tanques de almacenamiento, mejoramiento de accesos internos, excavaciones para las obras civiles y demás actividades dentro de la planta ocasionará la emisión de partículas fugitivas.



### **10.2.1.2 - Gases de combustión**

La operación de la maquinaria durante la etapa de construcción producirá emisiones de gases de combustión tales como monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

### **10.2.1.3 - Incremento de niveles sonoros**

La operación de la maquinaria para remoción de la tierra, el montaje y el transporte de materiales de construcción genera ruido. Para prevenir este impacto los equipos y maquinarias estarán en buen estado de funcionamiento y tendrán una revisión técnica al día.

## **10.2.2 - Acondicionamiento del terreno y construcción de la planta**

Comprende las actividades de nivelación del terreno, remoción de flora silvestre, excavaciones para instalación de cañerías de servicios, cimientos, etc.

### **10.2.2.1 - Uso de agua**

La construcción requerirá de agua para la reducción de polvo y procesos constructivos.

### **10.2.2.2 - Cambio del paisaje por la presencia física del proyecto**

La obra de construcción de la planta estará a en una zona de parques industriales, que está alejado del núcleo de la ciudad. Además, el mismo carácter industrial de la zona amortigua el impacto visual de la construcción.

### **10.2.2.3 - Generación del empleo**

Este impacto es positivo porque habrá empresas constructoras, viales y de transporte de cargas contratadas. Las capacitaciones técnicas y la entrega de certificados a la que accedería la población contratada servirían además de realizar esta actividad, a la posibilidad de acceder a otros empleos similares, con tanto para ello con la certificación respectiva.

#### **10.2.2.4 - Gases de combustión**

El movimiento de las máquinas supondrá incrementará supondrá emisiones gaseosas durante varias horas al día por varios meses.

### **10.2.3 - Funcionamiento de la planta**

Comprende el proceso de producción en sí, sin considerar la oficina administrativa.

#### **10.2.3.1 - Efluentes gaseosos**

El proceso de producción de ácido nítrico no conlleva contaminación al suelo o al agua. Su fuente de contaminación es el gas de cola que contiene NO<sub>x</sub>.

Un gas NO<sub>x</sub> es el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) que reacciona reacciona en la atmósfera para formar ozono (O<sub>3</sub>) y lluvia ácida. Otro gas contaminante de esta misma familia de gases es el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que contribuye al efecto invernadero. En el estudio de impacto ambiental se lo ha considerado como un impacto negativo crítico, porque es lo que ocurriría en caso de una explosión, fuga, o simplemente si no se toman medidas de prevención. Posteriormente dentro de este mismo capítulo se propone instalar un sistema de reducción catalítica para reducir las emisiones NO<sub>x</sub>.

Por otro lado, la presión, temperatura y composición de la alimentación en la torre de absorción, también permite reducir las emisiones de dióxido de nitrógeno a niveles bajos.

Un escape de estos gases implicaría un impacto negativo en el paisaje, dado el color rojizo naranja de los mismos.

#### **10.2.3.2 - Generación de empleo**

Durante la operación se prevé la contratación de cerca de 100 empleados, dando prioridad a las personas locales que tengan las competencias requeridas para cada actividad.

### **10.2.4 - Funcionamiento de las oficinas**

Comprende la actividad asociada los trabajadores de las oficinas administrativas. No tiene impactos significativos (positivos o negativos). Comparte impactos con el funcionamiento de la planta en cuanto a generación de empleo, y se diferencia en cuanto a que genera un impacto positivo al paisaje por la presencia de un parquizado en la entrada a la playa de estacionamiento y alrededor de las oficinas.

## 10.2.5 - Despacho del producto

### 10.2.5.1 - Incremento del tráfico local por transporte de productos

El transporte de productos se realizará en camiones que partirán desde las zonas de almacenamiento a través de una vía interna que conecta las instalaciones del proyecto con el puerto o con la vía terrestre. Este movimiento genera un aumento en la actividad y generación de empleo en el área de logística. La contrapartida es un moderado incremento en el nivel de ruido y contaminación del aire por gases y material particulado.

Categoría	Componente ambiental	Acciones	Transporte de maquinaria de construcción	Acondicionamiento del terreno	Construcción de la planta	Funcionamiento de la planta	Funcionamiento de las oficinas	Despacho del producto
		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	Generación de empleo							
	Calidad de vida							

	Paisaje						
--	---------	--	--	--	--	--	--

Tabla 10-2: Matriz de impacto ambiental – Fuente: Elaboración propia

## 10.3 - Plan de gestión ambiental

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 si sobre las aguas subterráneas.

- Las principales emisiones gaseosas son gases nitrosos, y en particular dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Éstas emisiones pueden minimizarse al optimizar las condiciones del proceso, incrementando la eficiencia de la absorción, o usando métodos de tratamiento de gas de cola especiales. Los parámetros cruciales en la absorción de gases nitrosos en agua son los siguientes: (Ullmann)

- 1) Presión
- 2) Temperatura
- 3) Volumen de reacción
- 4) Eficiencia de la torre de absorción
- 5) Presiones parciales de los óxidos de nitrógeno y del oxígeno

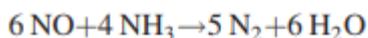
La temperatura de los gases entre platos es especialmente importante porque maneja al proceso de oxidación, que es a fin de cuentas el factor limitante en la absorción.

En una planta de ácido nítrico existente, las opciones son expandir el volumen de absorción y/o disminuir la temperatura de absorción.

- En el primer caso, grandes volúmenes adicionales solo causan pequeñas reducciones de  $\text{NO}_x$  en el gas de cola porque la oxidación de monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno avanza muy lentamente cuando la concentración de  $\text{NO}_x$  es baja. La desventaja de este método es el muy elevado costo de comprar una nueva torre de absorción más grande para incrementar el volumen de absorción, al ser ésta de acero. La ventaja es que no requiere ninguna tecnología nueva.
- El uso de enfriamiento en el proceso de absorción acelera notablemente la oxidación de monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno. La desventaja de este método es la inversión que conllevan las tuberías de agua de enfriamiento y serpentines.
- Otro método que implica el uso de frío para bajar los niveles de  $\text{NO}_x$  consiste en enfriar el gas nitroso para que se forme más tetróxido que dióxido. El tetróxido puede luego ser desorbido por una corriente de aire y recirculado a la torre de absorción para transformarse en ácido nítrico.

Fuera de las mejoras al proceso de absorción, otras formas de disminuir los NOx son los métodos químicos con scrubbing de nitrato de amonio o peróxido de hidrógeno.

En este proyecto, la propuesta de mitigación es el método de Reducción Catalítica Selectiva (SCR). El amoníaco es el único agente reductor económicamente relevante, ya que reduce selectivamente a los NOx según las ecuaciones de abajo:



Una ventaja que tiene es que se consume mucho menos agente reductor. Además, la temperatura del gas de cola posterior a la reducción catalítica es significativamente más baja, permitiendo el uso de materiales más sencillos y baratos. La temperatura óptima de uso para el catalizador es 250 – 350 °C, pero soporta hasta 500 °C. Se podría considerar una desventaja la necesidad de monitorear las emisiones de amoníaco para reducir el riesgo de explosión que conlleva la formación de nitrato de amonio en la turbina o aguas abajo, en caso de superarse las 10 – 20 ppm de amoníaco y haber arrastre de ácido nítrico.

Como catalizador se emplean metales de transición. Según pruebas realizadas por la empresa BASF, pentóxido de vanadio con soporte de aluminio resultó ser la opción más económica.

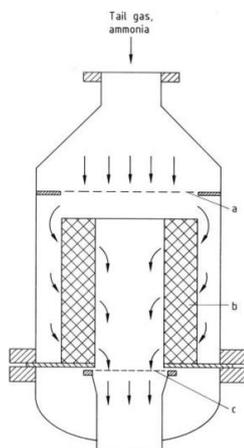


Figura 10-1: Esquema de un sistema SCR – Fuente: Enciclopedia de Química Industrial Ullmann

En la figura 10-1, a) es una placa perforada, b) es el catalizador y c) es una tela metálica.

El agua de enfriamiento puede contener algo de sales disueltas que tienen un bajo efecto ambiental. Por tratarse de un sistema cerrado, el agua de enfriamiento solo debe reponerse en una cierta cantidad en caso de alguna pérdida. El agua que sale caliente se puede reinyectar al circuito de agua de servicio del parque industrial, o también introducirla al aerenfriador. Los únicos vertidos que se generan son de aguas pluviales y sanitarias. Las



---

aguas sanitarias que son generadas en las zonas de oficinas, comedor y vestuarios serán vertidas en el sistema de desagüe cloacal facilitado por el polo petroquímico de Bahía Blanca.

## 11 - ESTUDIO ECONÓMICO

### 11.1 - Introducción

El objetivo en este capítulo es calcular la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), como indicadores económicos que permitan concluir si el proyecto es rentable dentro del horizonte de evaluación elegido de diez años.

### 11.2 - Costos de inversión

Para poder llevar a cabo la producción, es necesario realizar una serie de inversiones en un hipotético año cero, antes del comienzo del período de evaluación propiamente dicho. Todos los costos están expresados en dólares, y aquellos costos que originalmente estaban en pesos argentinos han sido convertidos a dólar oficial de \$915.

Equipo	PCE (USD)
Reactor de oxidación de amoníaco	USD 12.900,00
Torre absorbadora	USD 1.080.000,00
Torre de blanqueo	USD 215.000,00
Intercambiadores de calor	USD 250.800,00
Recipiente de oxidación final	USD 48.200,00
Compresor	USD 346.000,00
Aeroenfriador	USD 79.840,00
Bomba centrífuga para ácido	USD 11.200,00
Bomba centrífuga para agua	USD 53.400,00
Mezclador estático de gases	USD 1.648,35
Tanque de producto	USD 85.951,34
Tanque de amoníaco	USD 95.241,39
<b>TOTAL</b>	<b>USD 2.280.181,08</b>

Tabla 11-1: Costos de compra de equipos – Fuente: Elaboración propia

Los costos de la tabla fueron estimados actualizando por capacidad tomando un factor de escala de 0,6 y por inflación con el índice CEPCI, y con el programa CapCost, ingresando como información las especificaciones de cada equipo y actualizando el costo al presente con el índice CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) más reciente, cuyo valor es 795,1.<sup>35</sup>

El costo de compra del catalizador se suma al final a la inversión total porque no se considera en el cálculo de depreciaciones anuales, sino que se devuelve al fabricante cada tres meses, y fue estimado en base al precio unitario actual del platino y el rodio, la proporción de ambos en cada malla y el peso de ellas. Su costo es USD 444.611.

En el capítulo de Ingeniería de detalle, se diseñó un equipo intercambiador de calor y se ha considerado que el resto de los intercambiadores comparten su costo.

El cálculo de la inversión en equipos debe incluir también el costo asociado a la instalación de los mismos, cañerías, instrumentación, etc. y para ello se utiliza el método de Lang, que incluye los siguientes factores:

ITEM	Factor
Compra de equipos	1
Montaje de equipos	0,4
Cañerías	0,7
Instrumentación	0,2
Electricidad	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>2,4</b>

Tabla 11-2: Factores de Lang para estimación del costo de instalación de equipos – Fuente: Coulson and Richardson's Chemical Engineering

El costo de inversión en equipos es entonces:

$$I_o \text{ en equipos} = 2,4 * \text{Costo de compra de equipos}$$

$$I_o \text{ en equipos} = \text{USD } 5.472.434,59$$

Inversión en edificios:

ITEM	FACTOR
Edificios de proceso	0,15
Servicios	0,5
Almacenes	0,15
Desarrollo del sitio	0,05
Edificios auxiliares	0,15
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>

Tabla 11-3: Factores de Lang para estimación del costo de inversión en edificios – Fuente: Coulson and Richardson's Chemical Engineering

$$I_o \text{ en edificios} = 1 * \text{Costo de compra de equipos}$$

$$I_o \text{ en edificios} = \text{USD } 2.280.181,08$$

Inversión asociada a los costos indirectos:

Comprende costos como los de diseño e ingeniería, honorarios de contratistas, patentes y licencias. Se estima como un 45% del costo total de la planta física, que incluye la inversión en equipos y en edificios.

$$I_o \text{ en costos indirectos} = 0,45 * (I_o \text{ en equipos} + I_o \text{ en edificios})$$

$$I_o \text{ en costos indirectos} = \text{USD } 3.488.677,05$$

MUEBLES Y ELEMENTOS DE OFICINA	PRECIO UNITARIO (USD)	CANTIDAD	INVERSIÓN INICIAL
Computadoras	437,16	20	USD 8.743,17
Impresoras	189,07	8	USD 1.512,57
Escritorios	109,29	25	USD 2.732,24
Sillas	60,11	43	USD 2.584,70
Mesas	240,44	3	USD 721,31
Armarios	191,26	15	USD 2.868,85
Aire acondicionado	655,74	6	USD 3.934,43
Teléfonos	65,57	20	USD 1.311,48
			USD 24.408,74

Tabla 11-4: Inversión en insumos de oficina – Fuente: Elaboración propia

El terreno se estima tiene un costo de un 2% del costo de capital fijo:

$$I_o \text{ terreno} = 0.02 * (I_o \text{ en equipos} + I_o \text{ en edificios} + I_o \text{ en costos indirectos})$$

$$I_o \text{ terreno} = \text{USD } 225.314,03$$

La inversión total inicial sería:

$$I_o = \text{USD } 11.491.015,50 + \text{USD } 444.611,45$$

$$I_o = \text{USD } 11.935.626,95$$

Inversión en capital de trabajo (ICT)

En el año cero también está incluida la inversión en capital de trabajo, que es el conjunto de recursos necesarios, en la forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo para una capacidad y tamaño determinados. El método elegido para calcular el monto de dicha inversión es el de período de desfase, según la ecuación:

$$ICT = \frac{CA}{365} * n_d$$

Donde  $n_d$  es el período de desfase expresado en días y CA es el costo anual erogable en el año 1. Por ser un dato típico de esta industria, se adopta un período de desfase de 90 días.

<b>CA</b>	USD 2.649.763,38
<b>nd</b>	90 días
<b>ICT</b>	USD 653.366,31

Tabla 11-5: Inversión en capital de trabajo – Fuente: Elaboración propia

## 11.3 - Costos fijos

### 11.3.1 - Depreciaciones y amortizaciones

Los activos sufren una pérdida de valor con el paso del tiempo denominada depreciación en el caso de los activos tangibles, y amortización en el caso de los activos intangibles.

INVERSIÓN	VIDA ÚTIL (AÑOS)	DEPRECIACIÓN ANUAL
DISEÑO E INGENIERÍA, HONORARIOS DE CONTRATISTAS Y CONTINGENCIAS	2	USD 1.744.338,53
MUEBLES Y ELEMENTOS DE OFICINA	3	USD 8.136,25
EQUIPOS	10	USD 547.243,46
EDIFICIOS E INSTALACIONES	25	USD 91.207,24
TERRENO	-	USD 0.00

Tabla 11-6: Depreciaciones y amortizaciones – Fuente: Elaboración propia

### 11.3.2 - Mano de obra

En el convenio colectivo 564/09 de la Federación de Sindicatos de Trabajadores de la Industria Química y Petroquímica de la República Argentina (FESTIQyPRA) se establecen los salarios básicos para cada categoría en cada puesto de trabajo. Para el caso de los auxiliares administrativos, ya sean auxiliares de contabilidad, compras, recursos humanos y demás áreas indirectamente asociadas a la producción en planta, los salarios básicos mensuales son:

ADMINISTRATIVOS – GRILLA SALARIAL: Desde el 1 al 29 de FEBRERO de 2024			
	B	A	A1
INICIAL	\$ 445.152,50	\$ 519.047,85	\$ 593.376,54

Tabla 11-7: Grilla salarial de administrativos – Fuente: FESTIQyPYRA

Los trabajadores del área administrativa y gerencial se desempeñarán un único turno de ocho horas.

Los salarios de puestos jerárquicos como gerentes y jefes de área están fuera del CCT 564/09 y son estimados tomando como referencia Glassdoor y un estudio de la compañía Adecco hecho en 2023.<sup>36 37</sup>

Sobre el salario básico mensual se suman las cargas sociales que comprenden los aportes a la seguridad social, ART, aguinaldo y vacaciones, que constituyen un 65% extra.

MANO DE OBRA	Categoría	Sueldo básico mensual	Carga social	Sueldo bruto mensual	Cotización	Sueldo bruto	Sueldo	Sueldo bruto
--------------	-----------	-----------------------	--------------	----------------------	------------	--------------	--------	--------------



					del USD	mens ual	bruto anual	anual total
			0,65					
Gerente general	Fuera del CCT	\$2.500.000,00	\$1.625.000,00	\$4.125.000,00	\$915,00	USD 4.508,20	USD 51.134,07	USD 51.134,07
Gerente de operaciones	Fuera del CCT	\$2.000.000,00	\$1.300.000,00	\$3.300.000,00	\$915,00	USD 3.606,56	USD 40.907,25	USD 40.907,25
Jefe de producción	Fuera del CCT	\$1.500.000,00	\$975.000,00	\$2.475.000,00	\$915,00	USD 2.704,92	USD 30.680,44	USD 30.680,44
Jefe de control de calidad	Fuera del CCT	\$1.500.000,00	\$975.000,00	\$2.475.000,00	\$915,00	USD 2.704,92	USD 30.680,44	USD 30.680,44
Jefe de mantenimiento	Fuera del CCT	\$1.500.000,00	\$975.000,00	\$2.475.000,00	\$915,00	USD 2.704,92	USD 32.459,02	USD 32.459,02
Jefe de compras y ventas	Fuera del CCT	\$1.500.000,00	\$975.000,00	\$2.475.000,00	\$915,00	USD 2.704,92	USD 30.680,44	USD 30.680,44
Jefe de logística	Fuera del CCT	\$1.500.000,00	\$975.000,00	\$2.475.000,00	\$915,00	USD 2.704,92	USD 30.680,44	USD 30.680,44
Gerente de economía y finanzas	Fuera del CCT	\$2.000.000,00	\$1.300.000,00	\$3.300.000,00	\$915,00	USD 3.606,56	USD 40.907,25	USD 40.907,25
Gerente comercial	Fuera del CCT	\$2.000.000,00	\$1.300.000,00	\$3.300.000,00	\$915,00	USD 3.606,56	USD 40.907,25	USD 40.907,25
Gerente de RRHH	Fuera del CCT	\$2.000.000,00	\$1.300.000,00	\$3.300.000,00	\$915,00	USD 3.606,56	USD 40.907,25	USD 40.907,25
Auxiliar administrativo	A	\$519.047,85	\$337.381,10	\$856.428,95	\$915,00	USD 935,99	USD 10.616,41	USD 10.616,41
								USD 380.560,27

Tabla 11-8: Costos fijos de mano de obra – Fuente: Elaboración propia

MANO DE OBRA	Puestos de trabajo	Turnos	Trabajadores por puesto
Gerente general	1	1	1

Gerente de operaciones	1	1	1
Jefe de producción	1	1	1
Jefe de control de calidad	1	1	1
Jefe de mantenimiento	1	1	1
Jefe de compras y ventas	1	1	1
Jefe de logística	1	1	1
Gerente de economía y finanzas	1	1	1
Gerente comercial	1	1	1
Gerente de RRHH	1	1	1
Auxiliar administrativo	12	1	12

Tabla 11-9: Trabajadores administrativos por puesto – Fuente: Elaboración propia

### 11.3.3 - Energía eléctrica

El consumo eléctrico fijo del proceso proviene de 35 kW de potencia para iluminación en doce horas diarias para toda la iluminación de la planta adoptado en el proyecto<sup>38</sup> (J.P. Alvarez, 2016), y 5 kW en 8 horas diarias para consumo en oficina. Las tarifas son las más recientes provistas por EDES.

### 11.3.4 - Mantenimiento

Se considera que constituye un costo anual igual al 5% del costo de la planta física.

### 11.3.5 - Insumos de laboratorio

Se considera que constituyen un costo anual igual al 10% del costo de mano de obra anual.

<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>USD/AÑO</b>	<b>INCIDENCIA (%)</b>
Mano de obra	USD 380,560.27	11%
Depreciaciones	USD 2,390,925.48	71%
Servicios y otros	USD 602,483.64	18%

TOTAL	USD 3,373,969.38	100%
-------	------------------	------

Tabla 11-10: Costos fijos – Fuente: Elaboración propia

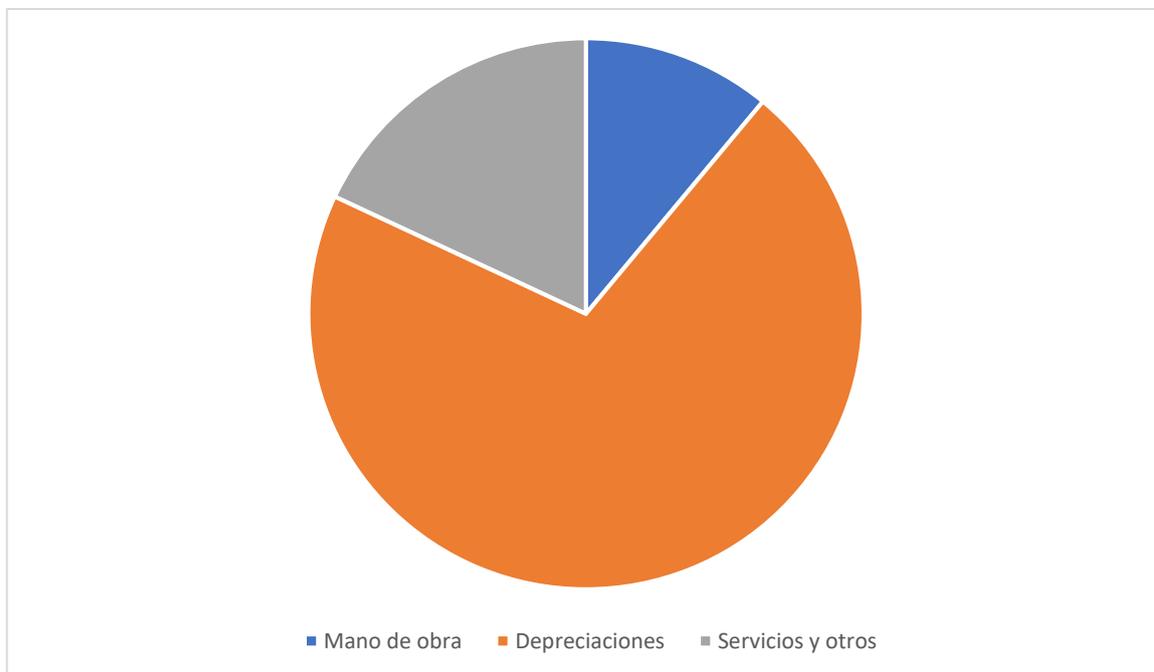


Figura 11-1: Incidencia de cada costo fijo – Fuente: Elaboración propia

## 11.4 - Costos variables

### 11.4.1 - Mano de obra

Los operarios se distribuirán en turnos para cubrir la producción continua, con un máximo de 48 horas semanales según establece la ley 11.544. Los jornales por hora para operarios establecidos por el convenio colectivo 564/09 son:

OPERARIOS – GRILLA SALARIAL: Desde el 1 al 29 de FEBRERO de 2024					
	B	A	A1	A2	A3
INICIAL	\$ 2.205,45	\$2.389,22	\$ 2.588,31	\$ 2.803,99	\$ 3.037,64

Tabla 11-11: Grilla salarial de operarios – Fuente: FESTIQyPRA

MANO DE OBRA	Categoría	Sueldo básico mensual	Carga social	Sueldo bruto mensual	Cotización del USD	Sueldo bruto mensual	Sueldo bruto anual	Sueldo bruto anual total
			0,65					

Operario de proceso	A1	\$496.95 5,52	\$323.02 1,09	\$819.97 6,61	\$915,0 0	USD 896,1 5	USD 10.164 ,54	USD 30.493, 63
Operario de control	A3	\$583.22 6,88	\$379,09 7,47	\$962,32 4,35	\$915,0 0	USD 1.051, 72	USD 11.929 ,10	USD 35.787, 31
Analista de calidad	A3	\$583.22 6,88	\$379,09 7,47	\$962,32 4,35	\$915,0 0	USD 1.051, 72	USD 11.929 ,10	USD 35.787, 31
Oficial instrumentista y electricista	A3	\$583.22 6,88	\$379,09 7,47	\$962,32 4,35	\$915,0 0	USD 1.051, 72	USD 12.620 ,65	USD 37.861, 94
								USD 139.93 0,20

Tabla 11-12: Costo de mano de obra variable – Fuente: Elaboración propia

MANO DE OBRA	Puestos de trabajo	Turnos	Trabajadores por puesto
Operario de proceso	18	3	54
Operario de control	2	3	6
Analista de calidad	1	3	3
Oficial instrumentista y electricista	4	3	12

Tabla 11-13: Operarios por puesto – Fuente: Elaboración propia

## 11.4.2 - Materia prima

El amoníaco constituye el costo variable más significativo.

El consumo de agua proviene del enfriador/condensador, la columna de absorción, el sobrecalentador de vapor e interenfriador del compresor, cuyo costo fue calculado en base al cuadro tarifario de ABSA más reciente.

## 11.4.3 - Energía

El consumo de energía eléctrica proviene de dos bombas para transportar ácido hacia cada columna, tres bombas de agua y el aerofriador.

### 11.4.4 - Catalizador

Las gasas de catalizador sufren un desgaste y pérdida de rendimiento por efecto de la volatilización del platino y envenenamiento. Se asume que con la planta funcionando en capacidad máxima, se requiere reemplazar el paquete de gasas cada tres meses, aunque con un eventual nivel de producción menor, podría durar más el catalizador y este costo cambiaría, por eso se lo considera variable. El costo de inversión en las gasas de catalizador se hace una única vez, y durante el funcionamiento de la planta se paga el costo de fabricación o reciclado de las gasas.

<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>CONSUMO ANUAL</b>	<b>COSTO UNITARIO EN USD</b>	<b>COSTO ANUAL</b>	<b>INCIDENCIA (%)</b>
Mano de obra			USD 139.930,20	8,4
Amoníaco (Tn)	2.820,00	500	USD 1.410.001,20	84,6
Agua (m <sup>3</sup> )	278.630,28	0,035	USD 9.817,53	0,59
Energía (kWh)	112.303,2	0,062	USD 6.970,54	0,42
Catalizador	4	25.000	USD 100.000,00	6
<b>TOTAL</b>			USD 1.666.719,47	100

Tabla 11-14: Costos variables – Fuente: Elaboración propia

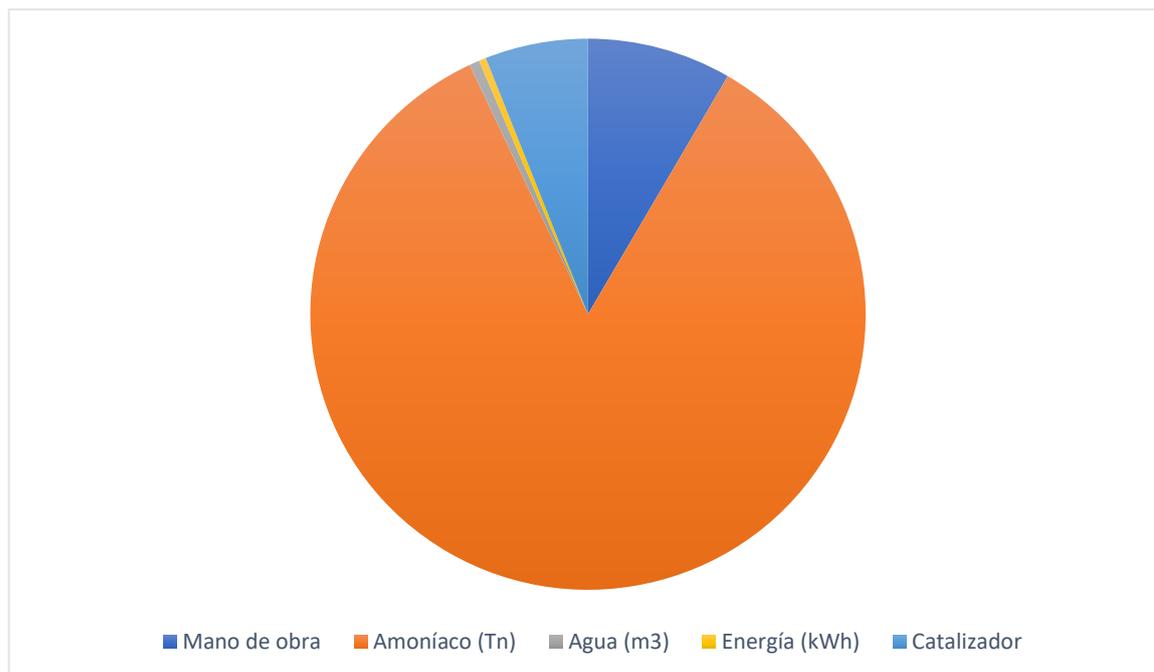


Figura 11-2: Incidencia de cada costo variable – Fuente: Elaboración propia

ITEM	VALOR	INCIDENCIA (%)
CF ANUAL (USD)	USD 3.373.969,38	66,93
CV ANUAL (USD)	USD 1.666.719,47	33,07

Tabla 11-15: Incidencia de costos fijos y variables en el costo total – Fuente: Elaboración propia

## 11.5 - Determinación del punto de equilibrio

El punto de equilibrio es la cantidad de unidades a vender para compensar los costos fijos y variables y comenzar a generar ganancias. Se calcula según:

$$Q_e = \frac{CF \text{ total año } 1}{(Pv - Cv_u)}$$

CF	USD 3.373.969,38
Pv (USD/Tn)	650,00
CVu (USD/Tn)	108,34
Qe (Tn)	6228,96

Tabla 11-16: Parámetros para el cálculo del punto de equilibrio – Fuente: Elaboración propia



A partir de una producción anual de 6.228 toneladas, se alcanza el punto de equilibrio. Es decir, los ingresos de dinero por ventas igualan y empiezan a superar a los costos totales. Esto se puede ver gráficamente después de la tabla.

CANTIDAD PRODUCCION (Tn)	Pv (USD/Tn)	INGRESO POR VENTAS (USD)	CF Total (USD)	CVu (USD/Tn)	CV total (USD)	C Total (USD)	DIFERENCIA
0	650	USD 0,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 0,00	USD 3.373.969,38	-USD 3.373.969,38
1000	650	USD 650.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 108.341,10	USD 3.482.310,48	-USD 2.832.310,48
2000	650	USD 1.300.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 216.682,20	USD 3.590.651,58	-USD 2.290.651,58
3000	650	USD 1.950.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 325.023,30	USD 3.698.992,68	-USD 1.748.992,68
4000	650	USD 2.600.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 433.364,40	USD 3.807.333,78	-USD 1.207.333,78
5000	650	USD 3.250.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 541.705,50	USD 3.915.674,88	-USD 665.674,88
6000	650	USD 3.900.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 650.046,60	USD 4.024.015,98	-USD 124.015,98
6228,96	650	USD 4.048.821,31	USD 3.373.969,38	108,34	USD 674.851,93	USD 4.048.821,31	USD 0,00
7000	650	USD 4.550.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 758.387,70	USD 4.132.357,08	USD 417.642,92
8000	650	USD 5.200.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 866.728,80	USD 4.240.698,18	USD 959.301,82
9000	650	USD 5.850.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 975.069,89	USD 4.349.039,28	USD 1.500.960,72
10000	650	USD 6.500.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 1.083.410,99	USD 4.457.380,38	USD 2.042.619,62
11000	650	USD 7.150.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 1.191.752,09	USD 4.565.721,48	USD 2.584.278,52
12000	650	USD 7.800.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 1.300.093,19	USD 4.674.062,58	USD 3.125.937,42
13000	650	USD 8.450.000,00	USD 3.373.969,38	108,34	USD 1.408.434,29	USD 4.782.403,68	USD 3.667.596,32

14000	650	USD 9.100.00 0,00	USD 3.373.96 9,38	108,34	USD 1.516.77 5,39	USD 4.890.74 4,78	USD 4.209.255 ,22
15000	650	USD 9.750.00 0,00	USD 3.373.96 9,38	108,34	USD 1.625.11 6,49	USD 4.999.08 5,88	USD 4.750.914 ,12
15384	650	USD 9.999.60 0,00	USD 3.373.96 9,38	108,34	USD 1.666.71 9,47	USD 5.040.68 8,86	USD 4.958.911 ,14

Tabla 11-17: Punto de equilibrio – Fuente: Elaboración propia

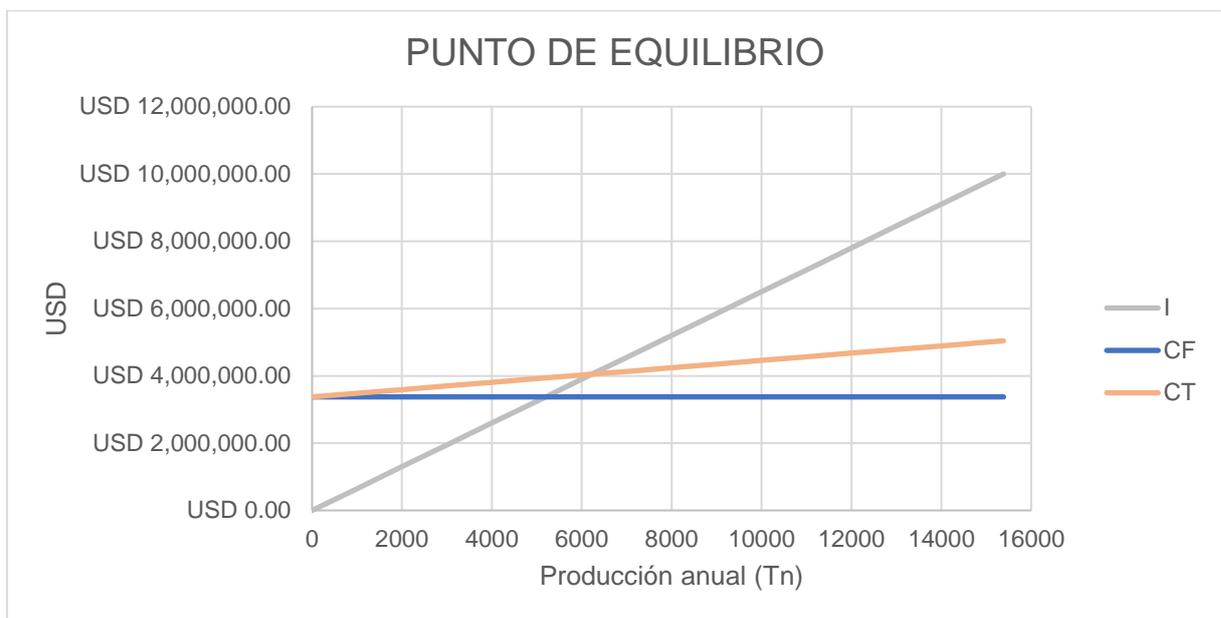


Figura 11-3: Punto de equilibrio – Fuente: Elaboración propia

## 11.6 - 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.

<b>INGRESO TOTAL ANUAL (USD/AÑO)</b>	USD 9.999.600,00
<b>COSTO VARIABLE ANUAL (USD/AÑO)</b>	USD 1.666.719,47
<b>CONTRIBUCION MARGINAL (USD/AÑO)</b>	USD 8.332.880,53
<b>PRODUCCIÓN (Tn/AÑO)</b>	15384
<b>CONTRIBUCIÓN MARGINAL (USD/Tn)</b>	541,66
<b>COSTO FIJO ANUAL UNITARIO (USD/Tn)</b>	219,32
<b>UTILIDAD (USD/Tn)</b>	322,34

Tabla 11-18: Parámetros para el cálculo de utilidad y contribución marginal – Fuente: Elaboración propia

## 11.7 - Tasa de descuento

La tasa de descuento del proyecto, o tasa de costo de capital, es el precio que se paga por los fondos requeridos para cubrir la inversión. Representa una medida de la rentabilidad mínima que se exigirá al proyecto, según su riesgo, de manera tal que el retorno esperado permita cubrir la totalidad de la inversión inicial, los egresos de la operación, los intereses que deberán pagarse por aquella parte de la inversión financiada con préstamos y la rentabilidad que el inversionista le exige a su propio capital invertido.<sup>39</sup>

Para determinar la tasa de empleará el método CAPM (Capital Asset Pricing Model).

Este modelo postula que el costo de capital de los recursos propios debiera ser igual a la rentabilidad de los valores de riesgo cero, o sea, la tasa libre de riesgo señalada en el punto anterior, más el riesgo sistemático del propio proyecto en cuestión, lo que se denomina el beta del sector al que pertenece la unidad de negocio que desea evaluarse, multiplicado por la prima de riesgo del mercado, entendiéndose por prima de riesgo del mercado la diferencia entre la rentabilidad de la economía de un país y la tasa libre de riesgo. De esta manera, para efectuar los cálculos del CAPM se necesitará estimar tres factores:

$$r = Rf + (Rm - Rf) * \beta + Rp$$

- La tasa libre de riesgo (Rf): es una tasa de interés para una inversión que se supone tiene riesgo nulo, la cual sirve como el mínimo retorno requerido en inversiones mas riesgosas. Para un período de evaluación de diez años, la tasa de interés de bonos del tesoro de EEUU libre de riesgo es de 4,66%.
- El retorno esperado del mercado (Rm): tiene un valor de alrededor de 10% en promedio y comprende a la gran parte del mercado en EEUU.
- El riesgo sistemático de la industria ( $\beta$ ): El enfoque del CAPM tiene como fundamento central que la única fuente de riesgo que afecta la rentabilidad de las inversiones es el riesgo de mercado, el cual es medido mediante un componente denominado  $\beta$ , que correlaciona el riesgo de una industria, o bien, el de una empresa particular con el riesgo de mercado. Para este proyecto se elige un  $\beta$  de 1,1.
- Riesgo país (Rp): El riesgo país es un índice que intenta medir el grado de riesgo que tiene un país para las inversiones extranjeras y está dado por la sobretasa que paga un país por sus bonos en relación con la tasa que paga el Tesoro de Estados Unidos. Se ha tomado un promedio de los últimos veinte años.

<b>Rf</b>	4,66
<b>Rm</b>	10
<b><math>\beta</math></b>	1,1
<b>Rp</b>	12,64
<b>Rm - Rf</b>	5,34
<b>r</b>	23,17

Tabla 11-19: Parámetros para el cálculo de la tasa de descuento – Fuente: Elaboración propia

## 11.8 - Flujo de caja

El flujo de caja o flujo de fondos representa la diferencia entre los ingresos y egresos de dinero del proyecto por cada año del período de evaluación.

Las depreciaciones suponen un costo anual que va disminuyendo según muestra la siguiente tabla:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
USD 2.390.9 25,48	USD 2.390.9 25,48	USD 646.58 6,95	USD 638.4 50,70						

Tabla 11-20: Tabla de depreciaciones por año – Fuente: Elaboración propia

Al final del período de evaluación se recupera la inversión en capital de trabajo y el valor residual de los activos.

Para calcular el valor residual se emplea el método contable:

$$VR = I_0 - D * n$$

Donde  $I_0$  es la inversión inicial en el activo, D es la depreciación anual que sufre y n es el período de evaluación. El terreno no sufre depreciación y los edificios tienen una vida útil superior al período de evaluación del proyecto, por lo que estos son los activos que tendrán valor residual, mientras que el resto de los activos se habrán depreciado en su totalidad.

<b>VALOR RESIDUAL EDIFICIOS</b>	USD 1.368.108,65
<b>VALOR RESIDUAL TERRENO</b>	USD 225.314,03
<b>VALOR RESIDUAL TOTAL</b>	USD 1.593.422,68

Tabla 11-21: Valores residuales – Fuente: Elaboración propia

Considerando una alícuota de 5% en concepto del impuesto a los ingresos brutos que corresponde a la provincia de Buenos Aires<sup>40</sup> y una alícuota del 35% correspondiente al impuesto a las ganancias, se puede confeccionar el flujo de caja del proyecto:

Horizonte temporal	0	1	2	3	4
<b>Ingresos por ventas (+)</b>		USD 9.999.600,0 0	USD 9.999.600,0 0	USD 9.999.600,0 0	USD 9.999.600,0 0
<b>Ingresos brutos (-4%)</b>		-USD 499.980,00	-USD 499.980,00	-USD 499.980,00	-USD 499.980,00
<b>Costos fijos erogables (-)</b>		-USD 983.043,91	-USD 983.043,91	-USD 983.043,91	-USD 983.043,91
<b>Costos variables (-)</b>		-USD 1.666.719,4 7	-USD 1.666.719,4 7	-USD 1.666.719,4 7	-USD 1.666.719,4 7



<b>Amortizaciones y depreciaciones (-)</b>		-USD 2.390.925,48	-USD 2.390.925,48	-USD 646.586,95	-USD 638.450,70
<b>Utilidad antes de impuesto a las ganancias</b>		USD 4.458.931,14	USD 4.458.931,14	USD 6.203.269,67	USD 6.211.405,92
<b>Impuesto a las ganancias (-35%)</b>		USD 1.560.625,90	USD 1.560.625,90	USD 2.171.144,38	USD 2.173.992,07
<b>Utilidad neta</b>		USD 2.898.305,24	USD 2.898.305,24	USD 4.032.125,28	USD 4.037.413,85
<b>Amortizaciones y depreciaciones (+)</b>		USD 2.390.925,48	USD 2.390.925,48	USD 646.586,95	USD 638.450,70
<b>Inversión inicial (-)</b>	-USD 11.935.626,95				
<b>Inversión en capital de trabajo (-) (+)</b>	-USD 653.366,31				
<b>Valor residual</b>					
<b>Flujo de caja</b>	-USD 12.588.993,26	USD 5.289.230,72	USD 5.289.230,72	USD 4.678.712,24	USD 4.675.864,55

Tabla 11-22: Flujo de caja – Fuente: Elaboración propia

5	6	7	8	9	10
USD 9.999.600,00	USD 9.999.600,00	USD 9.999.600,00	USD 9.999.600,00	USD 9.999.600,00	USD 9.999.600,00
-USD 499.980,00	-USD 499.980,00	-USD 499.980,00	-USD 499.980,00	-USD 499.980,00	-USD 499.980,00
-USD 983.043,91	-USD 983.043,91	-USD 983.043,91	-USD 983.043,91	-USD 983.043,91	-USD 983.043,91
-USD 1.666.719,47	-USD 1.666.719,47	-USD 1.666.719,47	-USD 1.666.719,47	-USD 1.666.719,47	-USD 1.666.719,47
-USD 638.450,70	-USD 638.450,70	-USD 638.450,70	-USD 638.450,70	-USD 638.450,70	-USD 638.450,70
USD 6.211.405,92	USD 6.211.405,92	USD 6.211.405,92	USD 6.211.405,92	USD 6.211.405,92	USD 6.211.405,92
USD 2.173.992,07	USD 2.173.992,07	USD 2.173.992,07	USD 2.173.992,07	USD 2.173.992,07	USD 2.173.992,07
USD 4.037.413,85	USD 4.037.413,85	USD 4.037.413,85	USD 4.037.413,85	USD 4.037.413,85	USD 4.037.413,85
USD 638.450,70	USD 638.450,70	USD 638.450,70	USD 638.450,70	USD 638.450,70	USD 638.450,70

					USD 653.366,31
					USD 1.593.422,68
USD 4.675.864,55	USD 4.675.864,55	USD 4.675.864,55	USD 4.675.864,55	USD 4.675.864,55	USD 6.922.653,54

Tabla 11-23: Flujo de caja – Fuente: Elaboración propia

<b>r</b>	23,17%
<b>VAN</b>	USD 6.261.815,68
<b>TIR</b>	38,28%

Tabla 11-24: VAN y TIR – Fuente: Elaboración propia

## 11.9 - Conclusión

El proyecto resulta rentable en el horizonte de evaluación propuesto. Esto se puede corroborar porque el VAN del proyecto es positivo, o bien porque la TIR es superior a la tasa de descuento.

Es importante mencionar que al haberse estimado costos de inversión en base a factores de Lang, hay un error probable de hasta un 30%.

Los costos de nacionalización de los equipos o impuestos asociados a aduana puede considerarse en promedio como un 20-25% sobre el costo de compra de los equipos y no fueron contemplados en cálculo. De todos modos, si se toman en cuenta, el VAN obtenido es de USD 3.951.356,01 y la TIR es 31,38%, por lo que el proyecto seguiría siendo rentable en ese escenario.

## 12 - ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

### 12.1 - Introducción

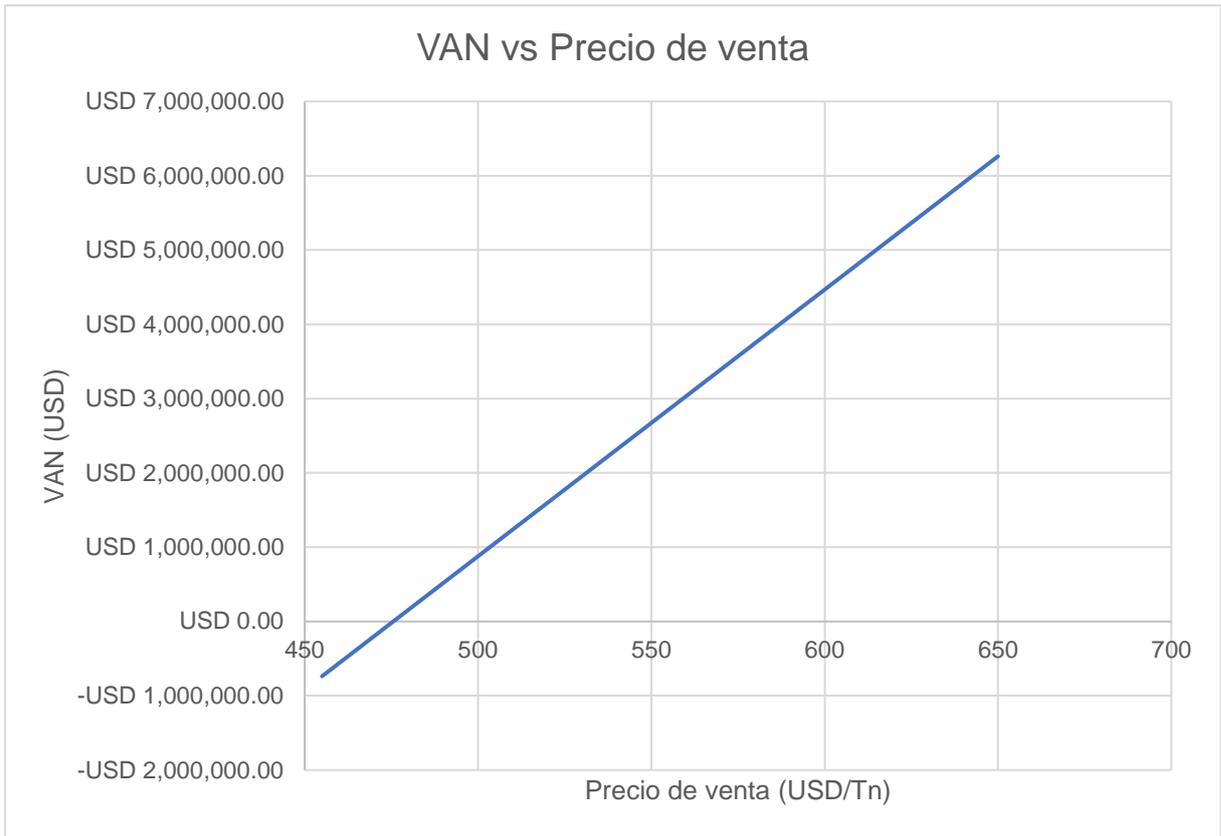
El análisis de sensibilidad es una herramienta a través de la cual se estudia los cambios que se producen en una variable cuando se introducen ciertas variaciones en el modelo financiero.

### 12.2 - Variables a sensibilizar

#### 12.2.1 - Precio de venta del producto

Pv (USD/Tn)	Variación	VAN	TIR	r
650	0,00%	USD 6.261.815,68	38,28%	23,17%
617,5	-5,00%	USD 5.095.265,51	35,56%	23,17%
585	-10,00%	USD 3.928.715,33	32,80%	23,17%
552,5	-15,00%	USD 2.762.165,16	30,01%	23,17%
520	-20,00%	USD 1.595.614,98	27,16%	23,17%
487,5	-25,00%	USD 429.064,81	24,26%	23,17%
475,55	-26,84%	USD 133,28	23,17%	23,17%
455	-30,00%	-USD 737.485,37	21,29%	23,17%

Tabla 12-1: Precio de venta mínimo rentable – Fuente: Elaboración propia



*Figura 12-1: VAN en función del precio de venta – Fuente: Elaboración propia*

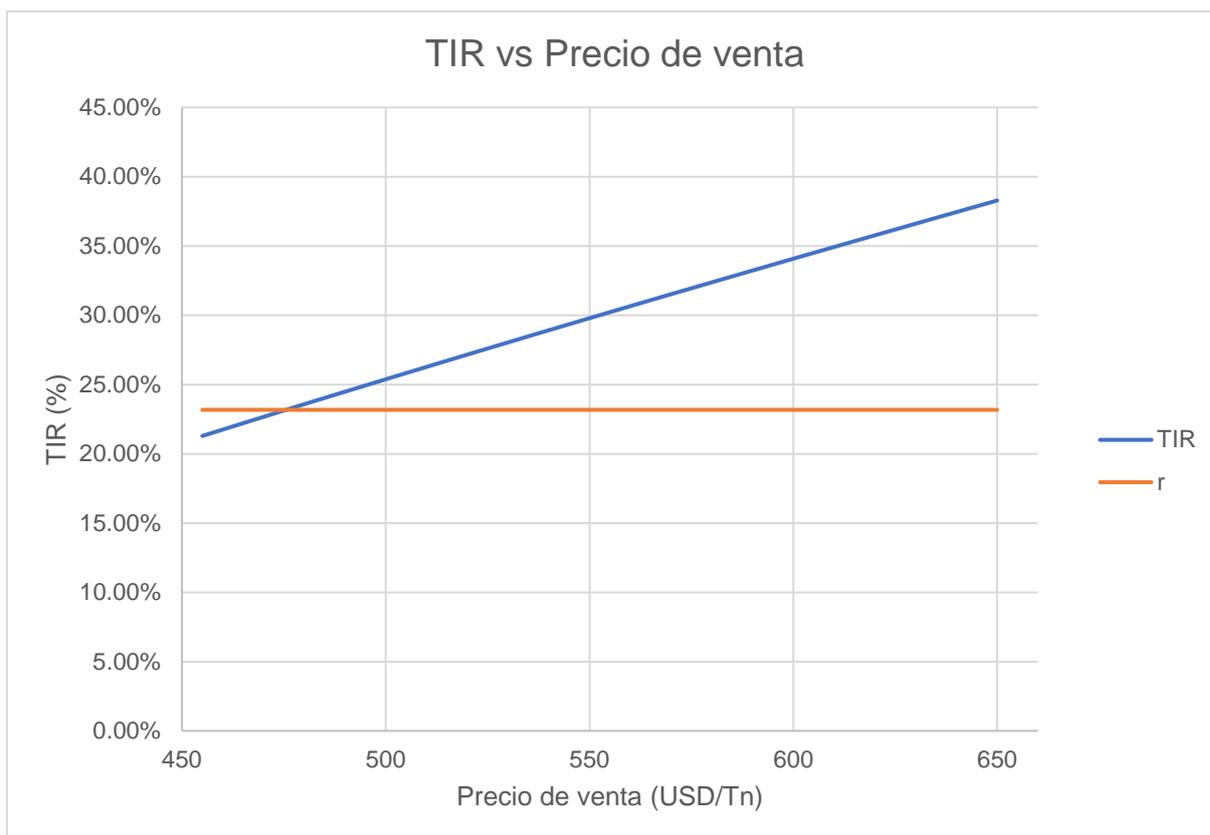


Figura 12-2: TIR en función del precio de venta – Fuente: Elaboración propia

El proyecto dejaría de ser rentable si se vende el producto a menos de USD 475, lo que significa una disminución del 26,84% con respecto al precio original.

## 12.2.2 - Producción

Producción (Tn)	Variación	VAN	TIR	r
15384	0,00%	USD 6.261.815,68	38,28%	23,17%
15000	-2,50%	USD 5.773.487,96	37,16%	23,17%
14000	-9,00%	USD 4.501.804,08	34,19%	23,17%
13000	-15,50%	USD 3.230.117,08	31,17%	23,17%
12000	-22,00%	USD 1.958.430,08	28,09%	23,17%
11000	-28,50%	USD 686.743,08	24,92%	23,17%
10460	-32,01%	USD 32,10	23,17%	23,17%
10000	-35,00%	-USD 584.943,92	21,66%	23,17%

Tabla 12-2: Producción mínima rentable – Fuente: Elaboración propia

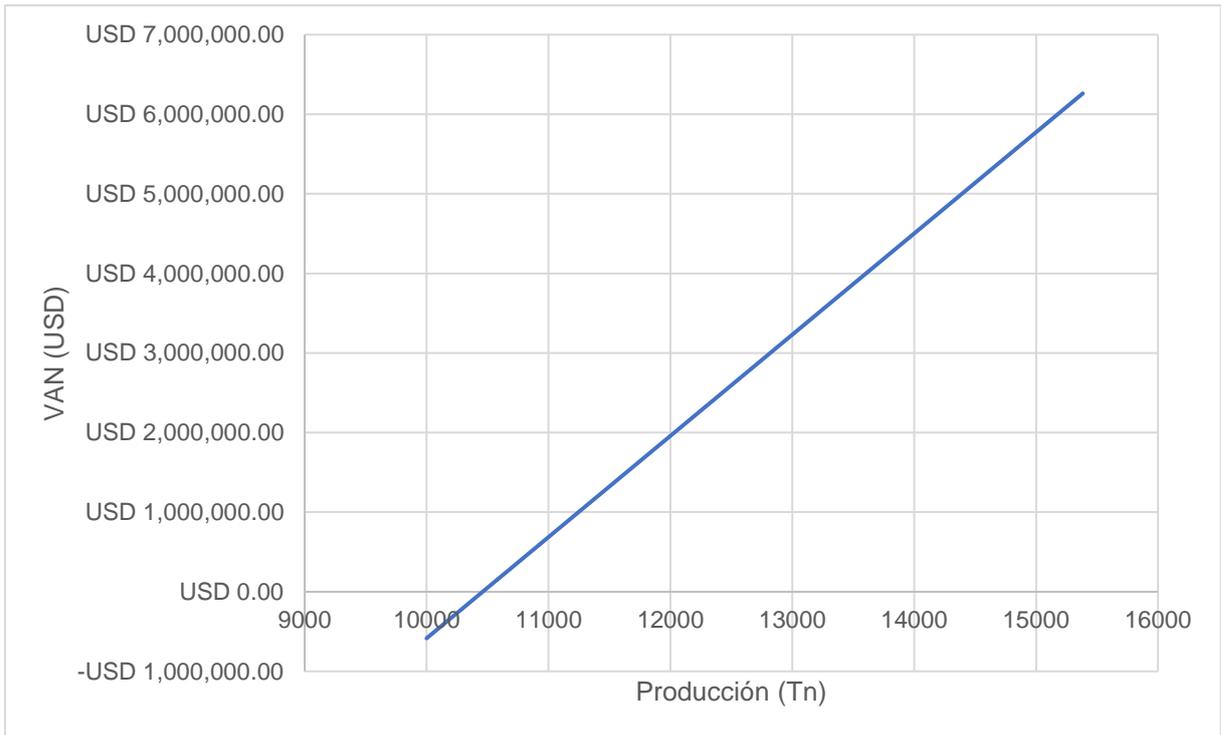


Figura 12-3: VAN en función de la producción – Fuente: Elaboración propia

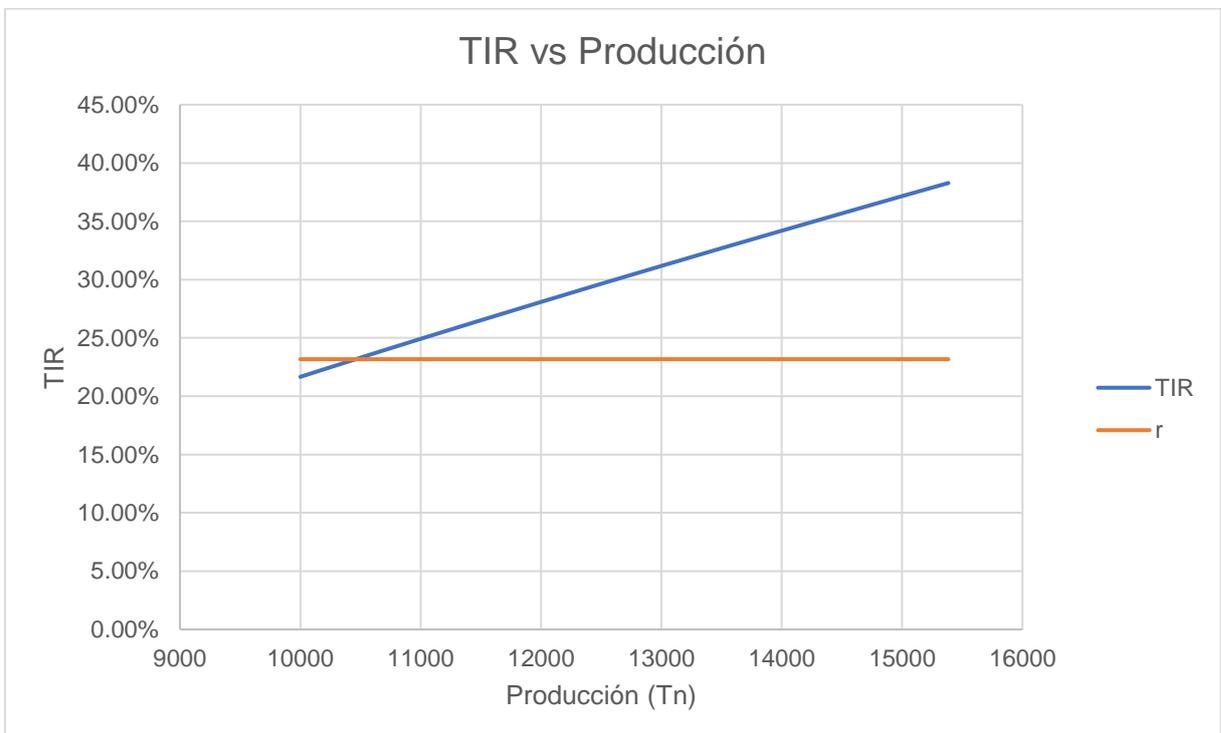


Figura 12-4: TIR en función de la producción – Fuente: Elaboración propia

El proyecto deja de ser rentable si caen las ventas en un 32%.



## 12.3 - Conclusión

De este análisis se concluye que el precio de venta es una variable más sensible en cuanto a que una variación de tan solo el 27% hace que el proyecto deje de ser rentable, mientras que el precio del amoníaco es más flexible porque podría casi triplicarse antes de que el proyecto deje de ser rentable.

## **13 - ANÁLISIS DE RIESGO**

### **13.1 - Introducción**

El objetivo de este capítulo es determinar los riesgos que se pueden presentar en la planta, caracterizarlos y establecer medidas para mitigarlos.

Este análisis va de la mano con el análisis de sensibilidad, ya que ayuda a elegir la variable crítica a sensibilizar.

### **13.2 - Aspectos a analizar**

#### **13.2.1 - Aspectos tecnológicos**

##### **13.2.1.1 - Falta de MP, insumos y/o servicios**

Una potencial falta de abastecimiento de amoníaco sería el mayor riesgo ya que no hay materias primas sustitutas para utilizar con la tecnología instalada.

Una demora en el reemplazo del catalizador supone una merma en el rendimiento de la oxidación del amoníaco. Sin embargo, la planta tiene flexibilidad para seguir funcionando algo más de tiempo ante una situación así.

Servicios como son el agua y electricidad son de carácter indispensable, y en particular el agua ya que no es solo utilizada como servicio sino también como materia prima. Aunque es bastante menos probable que se presente un inconveniente con los mismos debido a la localización de la planta en un parque industrial.

##### Plan de contingencias

- Invertir en un tanque de almacenamiento con suficiente cantidad para cubrir la demanda de la materia prima por al menos una semana.
- Establecer contratos comerciales a largo plazo con los proveedores.
- Realizar conexiones alternativas de servicios, es decir, en caso de fallas de servicios, como por ejemplo la energía eléctrica, disponer de un equipo generador eléctrico.

##### **13.2.1.2 - Falla de la maquinaria**

Para tener un proceso productivo eficaz y eficiente que garantice una alta calidad del producto así como la seguridad del personal y el ambiente, es de vital importancia que todos los equipos involucrados funcionen a la perfección, es por eso que se debe hacer un mantenimiento predictivo y preventivo para reducir el correctivo.

Por ejemplo, como el proceso trabaja con presiones altas, en torno a los 9 – 10 bar manométricos, es muy importante verificar los recipientes, y en particular las uniones, soldaduras, espesor de paredes, o aquellas zonas que constituyan puntos débiles ante la presión ejercida por los gases o el vapor. Si bien no están dimensionados en este proyecto, el mantenimiento del filtro de catalizador y de aire es también importante para evitar pérdida de presión indeseable y arrastre de partículas que contaminen el producto final y/o el interior de los equipos posteriores. Otros equipos sensibles dentro del proyecto son las torres, donde es necesario verificar que estén en buen estado los platos para que puedan mejorar el contacto entre fases.

#### Plan de contingencias

- 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 en el área de mantenimiento que reduciría el tiempo muerto o improductivo en paradas programadas y aumentaría la seguridad dentro de la planta durante la producción.

## **13.2.2 - Aspectos económicos**

### **13.2.2.1 - Aumento de precios de MP**

Un posible aumento de los precios de materia prima, significativo o no, provocaría una modificación en la estructura de costos e impactaría directamente sobre el VAN y la TIR del proyecto.

#### Plan de contingencias

- Buscar y contactar a varios proveedores de materias primas.
- Fijar acuerdos comerciales a largo plazo con los mejores proveedores de materias primas.
- Estudiar el proceso en busca de ineficiencias que puedan estar aumentando el consumo de la materia prima innecesariamente, de manera de compensar el mayor costo exigido por el proveedor.

### **13.2.2.2 - Disminución del precio de venta de la competencia**

En Argentina hay tres productores de ácido nítrico compitiendo actualmente, y dentro de todos los aspectos en los que compiten, el precio de venta es uno. La proyección de los precios en base a datos históricos tiende a crecer a nivel nacional, pero ante una posible caída, se requieren medidas para bajar el precio de esta planta y seguir siendo un fuerte competidor en el mercado.



### Plan de contingencias

- Revisar los costos operativos para determinar los de mayor incidencia en el costo total.
- Ofrecer promociones como por ejemplo descuentos por volumen.
- Buscar nuevos sectores de mercado o nichos donde exista demanda del producto y el valor percibido por el cliente sea menor.

## **13.2.3 - Siniestros e imprevistos**

### **13.2.3.1 - Incendios y explosiones**

En esta planta el riesgo de incendios y/o explosiones se encuentra tanto en la zona de almacenamiento de amoníaco y producto como en el proceso en sí debido a las altas presiones y temperaturas. Es por ello que el almacenamiento de estos productos se debe realizar en tanques con la presión de diseño lo suficientemente elevada y en zonas con todas las medidas de seguridad para prevención de este tipo de siniestros.

Los incendios y explosiones serían un gran riesgo si llegaran a ocurrir y podrían ocasionar daños permanentes en las instalaciones, como así también graves accidentes de trabajo, pudiendo dañar seriamente al personal humano.

### Plan de contingencias

- Capacitación del personal para que, en caso de un siniestro, sepan cómo actuar.
- Construir depósitos o almacenes teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas en las hojas de seguridad de amoníaco y ácido nítrico.
- Realizar chequeo y mantenimiento permanente 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, así como zonas seguras donde el operario puede circular mientras trabaja y zonas prohibidas donde el personal no puede ingresar mientras esté funcionando la planta.
- Capacitar en conductas operativas acorde a los lineamientos de las normas de seguridad e higiene.
- Utilizar instrumentos como válvulas de seguridad, sensores, termocuplas, etc. que puedan ser necesarios para mantener las temperaturas y presiones en valores normales.
- 

### **13.2.3.2 - Accidentes de trabajo**

Se deberá tener especial precaución y tomar todos los recaudos necesarios para evitar cualquier tipo de accidente laboral.

### Plan de contingencias

- Adoptar todas las normas de higiene y seguridad adaptables a este tipo de industrias.
- Capacitar periódicamente sobre normas de higiene y seguridad en el trabajo.

- Contar con los seguros pertinentes que contemplen la cobertura de los accidentes laborales.
- Proveer elementos de seguridad personal y promover su uso, señalizando las áreas donde se requiera.

### 13.3 - Matriz de riesgo

Para cada uno de los aspectos mencionados arriba y sus riesgos asociados, se clasifica el nivel de impacto en bajo, moderado, alto o crítico según la probabilidad y consecuencia de cada riesgo:

Consecuencia \ Probabilidad	Insignificante	Menor	Moderada	Mayor	Extrema
Raro	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto
Improbable	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Crítico
Posible	Bajo	Moderado	Alto	Crítico	Crítico
Probable	Moderado	Alto	Alto	Crítico	Crítico
Muy probable	Alto	Alto	Crítico	Crítico	Crítico

Tabla 13-1: Criterio de determinación de la magnitud de riesgos – Fuente: Proyecto final sobre producción de dimetil éter

ASPECTOS	RIESGO	CONSECUENCIA	PROBABILIDAD	IMPACTO	PLAN DE CONTINGENCIA
Tecnológicos	Falta de MP, insumos y/o servicios	Extrema	Improbable	Crítico	Almacén de MP Acuerdos comerciales con proveedores Generación autónoma de energía eléctrica y/o tanques de agua
	Falla de la maquinaria	Moderada	Posible	Alto	Programas de mantenimiento preventivo y predictivo
Económicos	Aumento de precio de MP	Insignificante	Posible	Bajo	Variedad de proveedores Contratos a largo plazo
	Disminución del precio de	Menor	Posible	Moderado	Revisión y reestructuración de costos

	venta de la competencia				Descuentos y promociones Búsqueda de nuevos mercados
Siniestros e imprevistos	Incendios y explosiones	Extrema	Improbable	<b>Crítico</b>	Aplicación de normas de higiene y seguridad Sistemas de combate de incendios Instrumentos de control de parámetros sensibles
	Accidentes de trabajo	Mayor	Raro	<b>Alto</b>	Contratación de ART Uso de elementos de seguridad Capacitación del personal en normas de seguridad e higiene

Tabla 13-2: Matriz de riesgo – Fuente: Elaboración propia



## 14 - BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://fertilizar.org.ar/>
- [2] <https://www.hcostadealmeria.com/>
- [3] <https://mexico.pochteca.net/>
- [4] <https://www.eii.uva.es>
- [5] <https://www.mordorintelligence.com>
- [6] <https://www.spglobal.com>
- [7] IPA. (2023). Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de Argentina.
- [8] <https://www.lavoz.com.ar/negocios/petroquimica-rio-tercero-frena-su-planta-por-dos-meses/>
- [9] <https://chequeado.com/>
- [10] <https://www.infocampo.com.ar/>
- [11] <https://diarioriotercero.com.ar/>
- [12] <https://www.trademap.org/>
- [13] <https://www.unigel.com.br/>
- [14] <https://www.informesdeexpertos.com/>
- [15] <https://www.cfindustries.com/>
- [16] <https://www.ammoniaenergy.org/>
- [17] <https://www.eltiempo.com/>
- [18] <https://expansion.mx/>
- [19] <https://en.wikipedia.org/>
- [20] Johnson, M. S. (1989). CHEMICAL ENGINEERING DESIGN PROJECT: A Case Study Approach. Topics in chemical engineering Volume 6
- [21] <https://www.phxequip.com/>
- [22] <https://www.ammoniaknowhow.com/>
- [23] <https://www.umweltbundesamt.at/>
- [24] Michael Thiemann, E. S. (2012). Nitric Acid, Nitrous Acid, and Nitrogen Oxides. En F. Ullmann, ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY.
- [25] <https://www.casale.ch/>
- [26] <https://www.gba.gob.ar/>
- [27] <https://cordobaproduce.cba.gov.ar/>
- [28] Carberry, J. J. (2001). *Chemical and Catalytic Reaction Engineering*. McGraw-Hill.
- [29] Reklaitis, G. (1986). *Balances de Materia y Energía*. Interamericana.



- [30] Calvin H. Bartholomew, R. J. (2005). Fundamentals of Industrial Catalytic Processes 2nd Edition. John Wiley & Sons.
- [31] A. W. Nursulihatimarsyila, T. C. (2006). Journal - The Institution of Engineers, Malaysia (Vol. 66, No. 4, December 2005) ESTIMATION OF PLATINUM GAUZES CATALYST FOR AMMONIA OXIDATION IN NITRIC ACID PRODUCTION. Department of Chemical and Environmental Engineering.
- [32] Cao, E. (2004). Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos.
- [33] Trinidad, J. A. (2020). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ÁCIDO NÍTRICO. Universidad Nacional de Asunción.
- [34] <https://servicios.infoleg.gob.ar/>
- [35] <https://toweringskills.com/>
- [36] <https://www.glassdoor.com.ar/>
- [37] <https://www.iprofesional.com/>
- [38] J.P. Alvarez, e. a. (2016). PROYECTO DE INVERSIÓN: PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO. Universidad Nacional de La Plata.
- [39] Nassir Sapag Chain, R. C. (2014). Preparación y Evaluación de Proyectos 6ta Edición. McGraw Hill.
- [40] <https://www.arba.gov.ar/>