

# PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO

## Integración V - Proyecto Final Carrera: Ingeniería Química

### ALUMNOS:

- ✓ González Rodríguez, Farid Lautaro
- ✓ Méndez, Alberto
- ✓ Niccolai, Eduardo

### DOCENTES:

- ✓ Titular de Cátedra: Ing. Vrcic, Juan Domingo.
- ✓ JTP: Ing. Rueda, Hernán.

**Año 2023**



## Contenido

1. OBJETIVO .....	4
2. ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
3. HIPOTESIS DE TRABAJO .....	4
4. ESTUDIO DE MERCADO .....	4
4.1. Materia Prima .....	5
4.2. Producto.....	15
4.3. Evolución de la producción .....	24
4.4. Consumo Histórico .....	25
4.5. Proyecciones de demanda.....	28
4.6. Productos sustitutos .....	30
4.7. Capacidad de la planta .....	30
4.8. Clientes y competencia de Productos y Materias Primas .....	31
4.9. Variables macroeconómicas.....	34
5. UBICACIÓN DE LA PLANTA .....	38
5.1. Macro localización .....	40
5.2. Micro localización .....	54
5.3. Estudios de clima.....	57
5.4. Estudios de requisitos legales .....	62
5.5. Estudios de suelos .....	72
5.6. Conclusiones.....	74
6. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.....	74
6.1. Descripción de los distintos procesos posibles .....	74
6.2. Patentes .....	78
6.3. Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno .....	81
6.4. Selección del óptimo .....	85
6.5. Descripción detallada del proceso elegido .....	87



7.	DISEÑO BÁSICO .....	90
7.1.	Límites de batería .....	90
7.2.	Balance de masa y energía .....	92
7.3.	Diagrama de flujo preliminar .....	95
7.4.	Diseño básico de los equipos .....	97
8.	CONTROL AUTOMÁTICO. ....	193
8.1.	Control de Reactor R-101. ....	193
8.2.	Control de Stripper T-101.....	197
9.	LAY-OUT. ....	200
9.1.	Definición de las áreas .....	200
9.2.	Plot-plan .....	205
10.	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	207
10.1.	Organigrama.....	207
10.2.	Esquema de turnos .....	214
10.3.	Personal tercerizado .....	215
10.4.	Seguridad industrial – Ley n° 19.587 .....	216
10.5.	Riesgos laborales .....	218
11.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	218
11.1.	Nivel de complejidad ambiental.....	219
11.2.	Identificación de actividades con impacto ambiental.....	224
11.3.	Riesgos de operación .....	227
11.4.	Efluentes y emisiones de la planta .....	232
11.5.	Comité de crisis .....	233
11.6.	Matriz de impacto ambiental.....	235
11.7.	Conclusiones.....	239
12.	EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	240
12.1.	Inversión.....	241



12.2.	Ingresos por comercialización.....	248
12.3.	Egresos por compras.....	250
12.4.	Costos fijos y variables.....	252
12.5.	Índices de rentabilidad.....	256
12.6.	Conclusiones.....	260
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	260
13.1.	Libros:.....	260
13.2.	Páginas web:.....	262





## 1. OBJETIVO

El desarrollo de la Ingeniería Básica para planta de producción de ácido nítrico al 60% p/p a partir de la oxidación de amoníaco, para la aprobación de inversión, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas, de seguridad y medioambiente relacionadas a esta industria.

## 2. ALCANCE DEL PROYECTO

Se presenta el estudio de viabilidad técnica, económica y ambiental para la instalación de una planta de producción de ácido nítrico al 60% p/p con una capacidad de 56.300 toneladas al año.

En el estudio se realizará FEL I, FEL II y FEL III, en un periodo de tiempo no superior a un año, entregando la información para la toma de decisión en Marzo de 2024. Dentro del desarrollo se incluye la localización de la empresa, la obtención del certificado de aptitud ambiental, el organigrama y el análisis económico y de sensibilidad.

## 3. HIPOTESIS DE TRABAJO

Para el desarrollo del proyecto en cuestión se consideraron las siguientes hipótesis:

1. El consumo de ácido nítrico en la Argentina tiene un crecimiento anual del 4% para los próximos 15 años, desde el 2023 al 2037.
2. Se ha realizado un acuerdo con un grupo inversor, que instalará una planta de nitrato de amonio, usando el 100% de nuestra producción en caso de que el proyecto sea rentable. Incluyendo participación accionaria en nuestra planta.
3. El Ministerio de Producción gravará las importaciones de nitrato de amonio, para desarrollar la industria nacional.

## 4. ESTUDIO DE MERCADO

En el estudio de mercado se analizarán las características generales y las condiciones de seguridad a tener en cuenta para un adecuado empleo tanto de



la materia prima, Amoníaco, Aire y Agua desmineralizada como el producto final, Ácido Nítrico.

Se llevará a cabo un análisis detallado del mercado, centrándonos en los proveedores, la competencia, los clientes y la demanda proyectada para el producto. Se realizará un análisis de la situación actual del mercado y se identificarán las tendencias y oportunidades más relevantes para la industria.

Finalmente se determinará, a través de la proyección de la demanda, la capacidad productiva de la planta, de manera tal que se ajuste a las condiciones del mercado previamente planteadas.

#### 4.1. Materia Prima

La materia prima que usaremos para la producción del ácido nítrico es el amoníaco, además de esta también deberemos considerar el aire atmosférico y agua desmineralizada para oxidar el amoníaco y reaccionar con el dióxido de nitrógeno respectivamente. A su vez es importante analizar en profundidad los insumos requeridos para el funcionamiento de planta, en particular la utilización del catalizador.

##### 4.1.1. Amoníaco

Características básicas: El amoníaco es un compuesto químico de fórmula  $\text{NH}_3$ , en disolución acuosa se puede comportar como una base y formar el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). A temperatura ambiente, sin embargo, es un gas incoloro de olor muy penetrante y nauseabundo. Se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente. Generalmente se vende en forma líquida.

El amoníaco se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica bajo el efecto de bacterias en el suelo (plantas y animales en descomposición o desechos animales), ya que el amoníaco es esencial para muchos procesos biológicos. También se produce industrialmente cada año en una cantidad que se equipara a lo producido por la naturaleza, la mayor parte del amoníaco producido por plantas químicas es usado para fabricar abonos o utilizarse como tales de manera directa. El resto se usa en industrias de todo tipo.



Propiedades: El amoníaco gaseoso es más ligero que el aire, siendo su densidad poco más de la mitad de este. Tiene la capacidad de condensar fácilmente por sus fuertes puentes de hidrógeno entre las moléculas. El amoníaco líquido tiene una entalpía de vaporización muy alta. Como se mencionó antes es miscible con el agua y puede separarse de esta por ebullición, la concentración máxima de amoníaco en agua tiene una densidad de 0,88 g/cm<sup>3</sup>. Y es importante remarcar que el amoníaco no se quema ni sostiene la combustión por sí mismo, excepto en mezclas de combustible con el 15 al 25% de amoníaco.

densidad del líquido (0°C, 1 atm)	0,6386 g/cm <sup>3</sup>
densidad del gas (0°C, 1 atm)	0,7714 g/L
densidad del líquido (-33,43°C, 1 atm)	0,682 g/cm <sup>3</sup>
densidad del gas (-33,43°C, 1 atm)	0,888 g/L
presión crítica	11,28 MPa
temperatura crítica	132,4 °C
densidad crítica	0,235 g/cm <sup>3</sup>
volumen crítico	4,225 cm <sup>3</sup> /g
compresibilidad crítica	0,242
conductividad térmica crítica	0,522 kJ/Khm
viscosidad crítica	23,9 · 10 <sup>-3</sup> mPas
punto triple	-77,71 °C
calor de fusión (1 atm)	332,3 kJ/kg
presión de vapor (punto triple)	6,077 kPa
punto de ebullición (1 atm)	-33,43 °C
calor de vaporización (1 atm)	1370 kJ/kg
entalpía estándar de formación (gas, 25°C)	-46,22 kJ/mol
LHV	18,577 kJ/g
HHV	22,543 kJ/g
temperatura de ignición	651 °C
límites de explosión	
mezcla con oxígeno, CNPT	15 - 79 %v/v
mezcla con aire (0°C, 1 atm)	16 - 27 %v/v
mezcla con aire (100°C, 1 atm)	15,5 - 28 %v/v

**Tabla 1:** Propiedades físicas del amoníaco.

**Fuente:** Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York: "Handbuch der Kältetechnik", vol. IV.

Aplicaciones: El amoníaco es muy importante en la nutrición de los organismos y por tal razón se lo utiliza como fertilizante. De alguna u otra manera también participa en la síntesis de fármacos o en otros productos comerciales, como cosméticos, tinturas de cabello, desinfectantes, limpiadores de cocina. La producción industrial llegó a ser de 198 millones de toneladas en 2012 y sigue en aumento. Entre los usos que se le da al amoníaco encontramos:

- Fertilizantes.



- Compuestos de nitrógeno, como el ácido nítrico.
- Como limpiador casero, en solución acuosa.
- Como fermentador industrial, en soluciones entre 16 y 25%.
- Agente antimicrobiano para alimentos.
- Refrigeración. R717.
- Remediación de emisión de gases.
- Como combustible.
- Industria Textil, para el tratamiento de materiales de algodón.
- Gas de levantamiento.
- Tratamiento de madera.

A continuación se presenta la hoja de seguridad del amoníaco diluido al 60%.



### FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Producto	Elementos de Protección Personal				
<b>AMONIACO</b>					
	Guantes	Gafas	Máscara completa con filtro	Equipo de Respiración Autónomo	Traje Encapsulado Nivel A

SECCION 1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO	
Identificador SGA del Producto: AMONIACO	
Otros Medios de Identificación: Amoniaco anhidrido, Alkali volátil, Trihidruro de Nitrógeno.	
Usos Fertilizante, preparación de fertilizante, manufactura de compuestos que contienen nitrógeno tanto orgánicos como inorgánicos, refrigerante, fibras sintéticas, agente neutralizante, preparación de explosivos.	<b>TELEFONO DE EMERGENCIA LAS 24 HS</b> (0291) 459-8188 - (0291) 459-8008 - Vigilancia (0291) 154-050419 - Guardia MASS (0291) 459-8196 - Servicio Médico
<b>FABRICANTE</b> Profertil S.A. Planta de Fertilizantes, Puerto de Ing. White – Zona Cangrejales, Bahía Blanca, Argentina	<b>DISTRIBUIDOR</b> Profertil S.A. Planta de Fertilizantes, Puerto de Ing. White – Zona Cangrejales, Bahía Blanca, Argentina

Clasificación de la Sustancia	Clasificación		Etiquetado				Código de Indicación de Peligro
	Clase de Peligro	Categoría de Peligro	Pictograma		Palabra de Advertencia	Indicación de Peligro	
			SGA	Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas			
Gases inflamables	2	Sin pictograma	No se requiere	Atención	Gas inflamable	H221	
Gases a presión	Gas comprimido			Atención	Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta	H280	
Sustancias y mezclas corrosivas para los metales	1			Atención	Puede ser corrosiva para los metales	H290	
Corrosión / Irritación cutánea	1B			Peligro	Provoca graves quemaduras en la piel	H314	
Lesiones oculares graves / Irritación ocular	1		No se requiere	Peligro	Provoca lesiones oculares graves	H318	



<b>Clasificación de la Sustancia</b>	Toxicidad aguda	3			Peligro	Tóxico si se inhala	Inhalación: H331
	Peligro a corto plazo (agudo) para el medio ambiente acuático	Agudo 1			Atención	Muy tóxico para los organismos acuáticos	H400
<b>Resumen</b>	Corrosivo. Es considerado tóxico por inhalación. Nocivo en contacto con la piel. El contacto con los ojos puede producir irritación con posible quemadura y ceguera permanente. Organos afectados: pulmones, sistema nervioso central, piel y ojos.						
<b>Consejos de prudencia</b>	<p>P280: Usar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.</p> <p>P210: Alejar fuentes de calor, llama abierta o superficies calientes – No fumar. P273: Evitar su liberación al medioambiente.</p> <p>P304+P340+P315: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Consulte a un médico inmediatamente.</p> <p>P303+P361+P353+P315: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Lavarse con agua o ducharse.</p> <p>P305+P351+P338+P315: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Lavarse cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir lavando. Consulte al médico inmediatamente.</p>						
<b>SECCION 3. INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>							
<b>Composición:</b> Puro				<b>Comercialización:</b> Líquido			
<b>Nombre Químico</b>	<b>Sinónimos</b>	<b>Número de CAS</b>	<b>Familia Química</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Composición (% por peso)</b>		
Amoníaco	Amoníaco anhídrido, Alkali volátil, Trihidruro de Nitrógeno	7664-41-7	Gas Inorgánico	NH <sub>3</sub>	>99,6		
Agua		7732-18-5		H <sub>2</sub> O	<0,4		
<b>SECCION 4. PRIMEROS AUXILIOS</b>							
<b>Contacto con los ojos</b>	Lavar con abundante agua, mínimo durante 30 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica inmediatamente.						
<b>Contacto con la piel</b>	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua, mínimo durante 30 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica inmediatamente.						
<b>Inhalación</b>	Trasladar al afectado a un área ventilada adecuadamente. Si no respira, administrar respiración artificial (evitar el método boca a boca). Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener a la víctima abrigada y en reposo. Solicitar atención médica inmediatamente.						
<b>Ingestión</b>	No aplicable (el compuesto es gaseoso a temperatura ambiente).						
<b>SECCION 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>							
<b>Medios de extinción apropiados</b>	Polvo químico seco, espuma, dióxido de carbono o agua en forma de niebla. Se debe proveer abundante agua en forma de niebla formando una cortina de agua aplicada en la dirección del viento. Agente extintor para fuego A, B o C. No dirija el chorro de agua directamente hacia la pérdida. La adición de agua caliente el líquido criogénico resultando en una mayor evaporación.						





<b>Peligros específicos</b>	Inflamable. Es combustible bajo condiciones específicas. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan. Forma mezclas inflamables con el aire. La combinación con ciertos materiales incompatibles puede provocar explosión. Levemente explosivo en presencia de materiales reductores (hipocloritos u otros compuestos halogenados). Durante un incendio se generan humos tóxicos e irritantes (óxidos de nitrógeno).
<b>Medidas especiales de los equipos de lucha contra incendio</b>	Evacuar el área de peligro. Ubicarse en posición transversal a la dirección del viento. Los encargados de controlar el incendio deberán usar Equipos de Respiración Autónomos y Equipo estructural para bomberos, colocarse con viento a la espalda. Si no hay riesgo de incendio detenga la fuga. Enfriar los contenedores expuestos al fuego aplicando agua en forma de cortina o niebla desde una distancia segura. Colectar el agua utilizada en la lucha contra el incendio para su posterior reutilización o tratamiento.
<b>SECCION 6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>	
<b>Precauciones personales, equipo protector y procedimiento de emergencia</b>	Aplicar Procedimiento de Respuesta a Emergencias. Evacuar o aislar el área de peligro en un radio mínimo de 80 m a la redonda si el derrame es pequeño y mayor a 150 m en caso de un derrame importante. Evacuar o proteger a todas las personas que se encuentren en la dirección del viento entre 800 m (si es de día) y 2,3 km (si es de noche). Solicitar a las autoridades que las personas en el radio involucrado permanezcan en lugares cerrados (puertas y ventanas cerradas) hasta que finalice la emergencia. Eliminar toda fuente de ignición. Ubicarse en posición transversal al viento. Utilizar traje encapsulado (nivel A) resistente al amoníaco y equipos de respiración autónomos.
<b>Precauciones relativas al medio ambiente</b>	Prevenir que los derrames ingresen en desagües, cursos de agua superficiales, aguas subterráneas, suelo, etc.
<b>Métodos y materiales para la contención y limpieza</b>	Contrarrestar los vapores con agua en forma de niebla o cortina. Retirar los cilindros a un lugar seguro, al aire libre en lugares abiertos, en caso de no poder detener la fuga. Mantener los cilindros con la fuga apuntando hacia arriba para prevenir que escape líquido. Si el líquido escapa, alcanza rápidamente una muy baja temperatura, debido a su rápida evaporación. Colectar el agua amoniacal para su posterior reutilización o tratamiento.
<b>SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b>	
<b>Precauciones para una manipulación segura</b>	Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Manipule los elementos con guantes impermeables protectores de PVC, máscaras de seguridad y trajes de protección para Amoníaco anhidro, Nivel 3 y 4 (Nieblas y salpicaduras). Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Conocer en dónde se encuentra el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Mantener los recipientes conteniendo amoníaco aislados y protegidos.
<b>Condiciones de almacenamiento seguro</b>	Lugares frescos, oscuros, secos y ventilados a lo largo del piso y techo. Proteja de la humedad. Deposite en recipientes que no sean de aluminio o acero galvanizado. Lejos de fuentes de calor e ignición (tuberías de vapor, radiadores, etc.). Separado de materiales incompatibles. Rotule los recipientes adecuadamente y manténgalos bien cerrados. Puede almacenarse bajo altas presiones, refrigerado a bajas presiones, o como amoníaco acuoso en tanques a baja presión. Para almacenamiento permanente los contenedores deben localizarse al menos a 16 metros de distancia de excavaciones o cualquier fuente de suministro de agua potable. El equipo de ventilación debe ser resistente a la corrosión. Los equipos eléctricos y de iluminación deben ser a prueba de explosión.



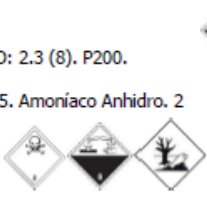
SECCION 8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL			
<b>Parámetros de control</b>	<p>ACGIH TLV-TWA: 25 ppm – 17,4 mg/m<sup>3</sup> ACGIH TLV-STEL: 35 ppm – 24,3 mg/m<sup>3</sup></p> <p>OSHA PEL (Gen Indu) 8H TWA 50 ppm (35 mg/m<sup>3</sup>) REFERENCIA: "Código de Regulaciones Federales (CRF) 29:1910.1000,1994.</p> <p>NIOSH REL AMONIACO - aire: 10H TWA 25 ppm; STEL 35 ppm, IDLH 300 ppm.</p> <p>Res. MTySS 295/2003 (Argentina). CMP: 25 ppm. Res. MTySS 295/2003 (Argentina). CMP-CPT [CMP-C]: 35 ppm.</p> <p>Guías para planificar la respuesta a emergencia de AIHA:</p> <p>ERPG-1:&lt;25 ppm por 1 hora. Olor objetable ERPG-2: 25 - 200 ppm por 1 hora. Olor fuertemente objetable, alguna irritación en ojos, nariz y garganta. ERPG-3: 200 – 1.000 ppm por 1 hora. Irritación severa de ojos y respiratoria, pudiendo causar diversos síntomas hasta la muerte.</p>		
<b>Controles técnicos apropiados</b>	<p>El control de las condiciones de proceso debe ser riguroso, contando con sistemas adecuados de almacenamiento, transferencia y uso.</p> <p>Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Este equipo debe ser a prueba de corrosión.</p> <p>Debe disponerse de duchas y estaciones lavaojos y espacios adecuados para confinamiento de las personas.</p>		
<b>Medidas de protección individual, elementos de protección personal (EPP's)</b>	<p><b>Ojos y rostro:</b> Máscara facial completa con filtros para amoníaco, o semi-máscara con filtro para amoníaco con Gafas de seguridad para químicos. No utilizar lentes de contacto.</p> <p><b>Piel:</b> Guantes, botas y ropa impermeable butilo, nitrilo, neopreno o cloruro polivinilo.</p> <p><b>Respiratoria:</b> Respirador con filtro para vapores de Amoníaco.</p> <p><b>En caso de emergencia:</b> Equipo de respiración autónomo y traje encapsulado nivel A en presencia de altas concentraciones del amoníaco. Aire provisto por un tubo portátil</p>		
SECCION 9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS			
<b>Estado físico y apariencia</b>	Gas o líquido criogénico	<b>Límites inferior / superior de inflamabilidad o explosividad</b>	Límite Inferior: 15,5% Límite Superior: 27%
<b>Color</b>	Incoloro	<b>Presión de vapor</b>	6.657 mmHg a 21 °C 7.598 mmHg a 26 °C
<b>Olor</b>	Penetrante característico	<b>Densidad de vapor</b>	0,6 (aire=1)
<b>Umbral olfativo</b>	0,7 - 50 ppm	<b>Solubilidad</b>	Soluble en agua (38% a 20 °C), parcialmente soluble en metanol. Escasamente soluble en éter dietílico, n-octanol y acetona
<b>pH</b>	11,6 (solución acuosa a 25 °C)	<b>Coefficiente de reparto n- octanol/agua</b>	Es más soluble en agua
<b>Punto de fusión / congelamiento</b>	-77,7 °C	<b>Temperatura de autoignición</b>	651 °C
<b>Punto inicial e intervalo de ebullición</b>	-33,4 °C	<b>Temperatura de descomposición</b>	No disponible
<b>Punto de inflamación</b>	No aplicable.	<b>Densidad líquido</b>	0,683 kg/l (1 atm)
<b>Tasa de evaporación</b>	No disponible	<b>Densidad gas</b>	0,723 g/l (20°C, 1 atm)
<b>Inflamabilidad</b>	Líquido y vapores inflamables.	<b>Viscosidad</b>	0,317 cp a -50 °C





SECCION 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Estabilidad química	Estable bajo condiciones normales de almacenamiento y manipulación.
Posibilidad de reacciones peligrosas	Reacciona con halógenos (bromo, cloro), metales alcalinos, agentes oxidantes fuertes, ácidos fuertes, amidas, aldehídos, anhídridos orgánicos. Forma compuestos sensibles al choque con óxidos de plata, mercurio y oro, los cuales una vez secos pueden explotar. Reacciona violentamente con haluros de boro.
Condiciones que deben evitarse	Minimizar el contacto con el material. Evitar la inhalación del material o de los subproductos de combustión. Evitar toda fuente de ignición o calor. No colocar en contacto con aceites o materiales combustibles, ácidos y otros materiales incompatibles.
Materiales incompatibles	Corroe el cobre, acero galvanizado, aluminio, zinc y sus aleaciones, plomo y bronce.
Productos de la descomposición peligrosos	Por efecto de la combustión puede producir óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), hidrógeno y nitrógeno.
Observaciones especiales	No ocurre polimerización.
SECCION 11. INFORMACION TOXICOLOGICA	
Toxicidad aguda	El amoníaco en estado gaseoso o líquido es muy corrosivo para las superficies corporales, reaccionando al contacto con la humedad del cuerpo. El umbral de olor perceptible puede ir de 0,7 a 50 ppm para las personas acostumbradas. Generalmente, concentraciones menores a 25 ppm son tolerables a pesar del olor desagradable y penetrante. Por sobre dicha concentración comienza la irritación en los ojos, nariz y garganta. La irritación de ojos y garganta es más profunda entre 100 y 400 ppm. Por sobre 400 ppm la irritación en la piel es perceptible visualmente e inmediatamente se produce la irritación de la garganta y tos. NIOSH ha establecido 300 ppm como concentración inmediatamente peligrosa para la salud o la vida (IDLH), que es definida como la concentración por sobre la cual la autoevacuación puede ser dificultosa o imposible debido a efectos psicológicos. A concentraciones entre 1.000 ppm y 2.500 ppm aumenta la opresión en el pecho, y resulta en bronco-espasmos e irritación severa de los ojos y la piel. Efectos tardíos como neumonitis química y edema de pulmón pueden desarrollarse varias horas después de la exposición. A concentraciones por sobre 2.500 ppm puede ocurrir espasmo de laringe provocando asfixia. Los efectos pueden ser más pronunciados en niños, ancianos y personas con disminución de las funciones pulmonares, aun a menores concentraciones. A concentraciones superiores puede provocar la muerte.  LC <sub>50</sub> /30 min (inhalación, ratas) = 7.040 mg NH <sub>3</sub> por m <sup>3</sup> de aire. LC <sub>50</sub> /1h (inhalación, ratón) = 4.230 mg NH <sub>3</sub> por m <sup>3</sup> de aire DL <sub>50</sub> (oral, rata masculino) = 350 mg NH <sub>3</sub> por kg de ser vivo
Corrosión / Irritación cutáneas	El amoníaco líquido o en solución concentrada puede producir necrosis por licuefacción y quemaduras con penetración profunda. La exposición puede producir daños por lesión cutánea.
Lesiones oculares graves	Daños de la córnea. Irritación, ampollas y quemaduras. El contacto con el amoníaco líquido produce ceguera.
Sensibilización respiratoria o cutánea	Los síntomas pueden ser retardados. Irrita la nariz y la garganta, sensación de quemadura. Produce tos, náuseas, resfriado, dolor en el pecho y dificultad respiratoria.
Mutagenicidad en células germinales	No es mutagénico.
Carcinogenicidad	No es cancerígeno.
Toxicidad para la reproducción	No disponible.



<b>Toxicidad sistémica específica de órganos diana – Exposición única</b>	No disponible.
<b>Toxicidad sistémica específica de órganos diana – Exposiciones repetidas</b>	La repetida exposición al gas puede causar irritación de los ojos, nariz y tracto respiratorio. Los trabajadores expuestos al amoníaco pueden desarrollar tolerancia a los efectos irritantes. Exposiciones continuas a 70 ppm pueden ser toleradas sin efectos adversos. Las exposiciones diarias a concentraciones entre 97 – 122 ppm causan deficiencia respiratoria e irritación de los ojos.
<b>Peligro por aspiración</b>	La exposición severa causa edema pulmonar y muerte. La sustancia se puede absorber por inhalación.
<b>SECCION 12. INFORMACION ECOTOXICOLOGICA</b>	
<b>Toxicidad</b>	Muy tóxico para los organismos acuáticos. Concentraciones de amoníaco libre de 2,5 mg/l a pH 7,4 a 8,5, se consideran nocivas para la vida marina. LC <sub>50</sub> /48 h Daphnia Magna 0,53 ppm. LC <sub>50</sub> /96 h Pez 0,89 mg/l.
<b>Persistencia y degradabilidad</b>	La sustancia es fácilmente biodegradable y no es persistente.
<b>Potencial de bioacumulación</b>	Bajo potencial de bioacumulación. LogP <sub>ow</sub> : 0,23.
<b>Movilidad en el suelo</b>	No disponible.
<b>Otros efectos adversos</b>	Puede causar cambios en el pH de los sistemas ecológicos acuosos.
<b>SECCION 13. INFORMACION RELATIVA A LA ELIMINACION DE LOS PRODUCTOS</b>	
<b>Métodos</b>	Reutilizar el producto en caso que sea posible, para emplearlo con fines agrícolas, teniendo en cuenta que es un producto corrosivo y reactivo.
<b>Manipulación</b>	Se deberán utilizar los EPP's correspondientes a manipulación. Se debe evitar el vertido a cursos de agua superficiales o agua subterránea.
<b>Tratamiento</b>	En función del tipo de contaminación, consulte a la Guardia MASS. En caso de no poder recuperar y/o reutilizar el material, se deberá tratar como un residuo peligroso.
<b>SECCION 14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE</b>	
<b>Reglamentaciones internacionales</b>	Acuerdo sobre Transporte de Mercancías Peligrosas del Mercosur. Ley Nacional de Tránsito 24.499 Ley Nacional de Residuos Peligrosos 24.051 Reglamento general para el Transporte de Mercancías Peligrosas, DEC 779/95 Resolución 195/97 Normas Técnicas
<b>Previsiones especiales para el transporte</b>	Etiqueta blanca de gas tóxico. No transporte con sustancias explosivas, líquidos inflamables, sólidos de combustión espontánea, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, sustancias con riesgo de incendio, ni alimentos.
<b>Riesgos ambientales</b>	IMGD/IMO: 2.3 (8). P200. ADN: 1005. Amoníaco Anhidro. 2 RID/ADR: 
<b>Número ONU</b>	1005
<b>Designación de transporte de la ONU</b>	Amoníaco, anhidro



<b>Clases(s) de peligro para el transporte</b>	8
<b>Grupo de embalaje</b>	-
<b>Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC</b>	No aplicable.
<b>SECCION 15. INFORMACION SOBRE LA REGLAMENTACION</b>	
<b>Otras Regulaciones</b>	Acuerdo Sobre Transporte de Mercancías Peligrosas del Mercosur Ley Nacional de Tránsito Nº 24.449 Ley Nacional de Residuos Peligrosos Nº 24.051 Resolución 195/97 Normas Técnicas Dec. Nº 351/79 Resolución MTySS 295/2003 Resolución SRT 801/2015. SGA - Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos. 5ª Ed. Revisada. Naciones Unidas, Nueva York y Ginebra, 2013. <i>TOMES Plus®</i> , Vol 28, January 1996 Micomedex Inc.
<b>SECCION 16. OTRAS INFORMACIONES</b>	
<b>Glosario</b>	<p>SGA: Sistema Globalmente Armonizado ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales (EE.UU.) AIHA WEEL: Nivel de Exposición Ambiental de la Asociación Americana de Higiene Industrial (EE.UU.) Cancerígeno: Se dice del agente físico, químico o biológico que induce al desarrollo del cáncer. CAS: Servicio de Resúmenes Químicos CL50: Concentración Letal Media CNRT: Comisión Nacional de Regulación del Transporte DLS0: Dosis Letal Media EPA: Agencia de Protección Ambiental (EE.UU.) IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer Mutagénico: Sustancia o agente que altera de forma permanente el ADN de las células. STEL: Concentración a la cual los trabajadores pueden estar expuestos continuamente por un período corto de tiempo sin sufrir irritación, daño de tejidos irreversible o narcosis NIOSH: Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (EE.UU.) ERPG: Guías para la planificación de respuesta a emergencias EPP's: Elementos de Protección Personal</p> <p>OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo OSHA: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (EE.UU.) Teratogénico: Que genera malformaciones. PEL: Límite de Exposición Permitido TLV: Valor Límite Umbral TWA: Media ponderada en el tiempo. IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo. IMDG: Código marítimo internacional de mercancías peligrosas IMO: Organización Marítima Internacional. ADN: Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas en navegación interior. RID: Reglamento del Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril. ADR: "Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera". CRF: Código de Regulaciones Federales (EE.UU.) IDLH: Inmediatamente peligroso para la vida o la salud CMP: Concentración máxima permisible ponderada en el tiempo CMP-C: Concentración Máxima Permisible - Valor Techo (c) CMP - CPT: Concentración máxima permisible para cortos períodos de tiempo.</p>
<b>PARA MAYOR INFORMACION</b>	CONTÁCTESE CON PROFERTIL SA
<b>Fecha de Última Revisión</b>	Rev. Nº 03. 04 de Octubre de 2015
<b>Historial de Revisiones</b>	Este documento reemplaza a la rev. Nº 02: del año 2009. <i>„La revisión 2015 se ajusta a los requerimientos del SGA y a la Res. SRT Nº 801/15 de la República Argentina.</i>
<b>Aviso al Lector</b> La información contenida en esta ficha ha sido desarrollada por Profertil S.A. basada en Documentación y Estudios existentes a la fecha de su elaboración, los que de acuerdo a la práctica de la industria, se entienden eficientes y confiables. Profertil S.A no asume responsabilidad u obligación por el mal uso del producto. El comprador asume todo el riesgo relacionado al uso de este material y será el único responsable de que el producto sea utilizado de una manera segura en cumplimiento de las leyes, políticas y guías sobre salud, seguridad y medio ambiente.	



## 4.2. Producto

### 4.2.1. Ácido Nítrico

Como producto final, el proceso genera ácido nítrico al 60%.

Características básicas: El ácido nítrico es un compuesto inorgánico con la fórmula  $\text{HNO}_3$ , es un ácido fuerte que se encuentra en la naturaleza sólo en forma de sales de nitrato. Se preparó por primera vez en 1648 a partir del Nitrato de Potasio por Glauber y fue en 1783 cuando Cavendish determinó su composición.

Cuando se empezó a producir en gran escala el ácido nítrico, se utilizaba como materia prima el nitrato de sodio (salitre de sosa, salitre de Chile). Sin embargo a principios del siglo XX se pensaba que las reservas de salitre de Chile se estaban agotando, por lo que se desarrollaron procesos para sustituir el nitrógeno de los nitratos naturales con nitrógeno atmosférico. Aunque el método actual para obtenerlo es la reacción de oxidación del amoníaco con aire u oxígeno.

Es el oxácido más importante del nitrógeno y, luego del sulfúrico, de todos los ácidos inorgánicos. Es un líquido aceitoso, incoloro, que por acción de la luz toma una coloración marrón, más o menos intensa, debido a su parcial descomposición en óxido nítrico sus disoluciones se deben guardar en botellas oscuras.

Propiedades: El ácido nítrico es un ácido fuerte y poderoso agente oxidante que posee un sin número de aplicaciones en la industria. Es un líquido incoloro a temperatura ambiente y presión atmosférica, es soluble en agua en todas las proporciones, ionizándose casi completamente y liberando calor por dilución. Es un agente oxidante fuerte que ataca la mayoría de los metales (no así al platino o al oro), teniendo la facultad de crear una capa pasiva en algunos metales como el hierro y el aluminio. Por esta razón se utilizan equipos de acero aleado en la tecnología del ácido nítrico.

Una de las propiedades físicas más importantes es la formación de un azeótropo con agua a una concentración en peso de 69,2%. Esta mezcla tiene punto de



ebullición a 121,8°C, aunque a continuación se muestra una tabla de puntos de ebullición por concentración de ácido nítrico.

concentración, % p/p	densidad, g/cm <sup>3</sup>	punto de fusión, °C	punto de ebullición, °C	presión parcial, kPa	
				HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
0	0,99823	0	100,0		2,23
10	1,05430	-7	101,2		2,26
20	1,11500	-17	103,4		2,02
30	1,18000	-36	107,0		1,76
40	1,24630	-30	112,0		1,44
50	1,31000	-20	116,4	0,03	1,05
60	1,36670	-22	120,4	0,12	0,65
70	1,41340	-41	121,6	0,39	0,35
80	1,45210	-39	116,6	1,40	0,12
90	1,48260	-60	102,0	3,60	0,03
100	1,51290	-42	86,0	6,00	0,00

**Tabla 2:** Propiedades físicas del ácido nítrico acuoso en función de su composición.

**Fuente:** Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 4ta edición.

La descomposición del ácido nítrico hace que sus propiedades físicas sean difíciles de determinar a altas temperaturas. Hasta aproximadamente 50°C se pueden usar métodos convencionales de medición, pasada esa temperatura se deben utilizar métodos de medición especiales o cálculos indirectos.

punto de fusión	-41,59 °C
punto de ebullición	82,6 ± 0,2 °C
densidad, líquido	
a 0 °C	1549,2 kg/m <sup>3</sup>
a 20 °C	1512,8 kg/m <sup>3</sup>
a 40 °C	1476,4 kg/m <sup>3</sup>
viscosidad dinámica	
a 0 °C	1,092 mPas
a 25 °C	0,746 mPas
a 40 °C	0,617 mPas
tensión superficial	
a 0 °C	0,04356 N/m
a 20 °C	0,04115 N/m
a 40 °C	0,03776 N/m
conductividad térmica	0,343 W/mK
entalpía estándar de formación	
líquido	2,7474 J/g
gas	2,1258 J/g
calor de vaporización	6266,3 J/g
calor específico	
a 0 °C	1,7601 J/gK
a 20 °C	1,7481 J/gK

**Tabla 3:** Propiedades físicas del ácido nítrico puro.

**Fuente:** S.A. Stern, J.T. Mullhaupt, W.B. Kay: "The Physicochemical Properties of Pure Nitric Acid", Chem. Rev.





Aplicaciones: El ácido nítrico es uno de los ácidos más importantes a nivel industrial debido a sus múltiples aplicaciones. Por su acción oxidante y nitrante, se utiliza en procesos como:

- Elaboración productos químicos como colorantes artificiales, resinas o plásticos.
- Fabricación de medicamentos para veterinaria y productos farmacéuticos.
- Síntesis de ácido sulfúrico, nitrobenzono, ácido adípico, compuestos orgánicos.
- Fabricación de explosivos como la nitroglicerina y el trinitrotolueno (TNT).
- Comprobación y purificación de oro y platino, debido a que cuando se mezcla con el ácido clorhídrico en una relación en volumen 3:1 forma agua regia, reactivo capaz de disolver esos metales.
- Grabado de metales.
- Refinado.
- Elaboración de fibras sintéticas como el nylon.
- Proceso de pasivación: Formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un metal, que lo enmascara en contra de la acción de agentes.
- Fabricación de nitrato de amonio, para utilizarse como fertilizante o en la industria de los explosivos.
- Productos de limpieza ácidos y desincrustantes para sistemas CIP en la industria alimenticia.

De todos los usos y aplicaciones mencionadas vale la aclaración mencionar que sólo los últimos dos puntos pueden fabricarse con un ácido nítrico diluido en una concentración del 60% o menor.

El ácido nítrico ha sido empleado en diversas formas como el oxidante en cohetes de combustible líquido. Estas formas incluyen el ácido nítrico fumante rojo, ácido nítrico fumante blanco, mezclas con ácido sulfúrico, y mezclas de los anteriores con un inhibidor de alta frecuencias.

En análisis elemental, el ácido nítrico diluido se utiliza como compuesto para la determinación de trazas de metales en las soluciones. En química, se emplea como reactivo de laboratorio. Pero la principal aplicación se encuentra en la



industria de los fertilizantes donde se consume alrededor de un 75-80% del total producido anualmente, para sintetizar compuestos como el nitrato de amonio, que a su vez se emplean como materia prima en la elaboración de abonos nitrogenados como el nitrato sódico ( $\text{NaNO}_3$ ) y el nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ).

A continuación se presenta la hoja de seguridad del ácido nítrico al 60%.



# ÁCIDO NÍTRICO AL 60%

HOJA DE SEGURIDAD N°: HS-20  
Revisión: 00



80  
2031



## Sección 1: Identificación del producto

Nombre del producto	Ácido Nítrico.
Nombre químico	Ácido Nítrico.
N° Cas	7697-37-2
N° UN	2031.

## Sección 2: Composición/ Ingredientes

Formula química condensada	HNO <sub>3</sub>
Sinónimos	Nitrato de Hidrogeno.

## Sección 3: Identificación de los riesgos

Marca en etiqueta	Sustancia corrosiva y tóxica, muy peligrosa para la salud humana.
Inhalación	Sofocación, quemaduras a la garganta, tos, dolores al pecho y dificultad para respirar
Contacto con la piel	Puede producir quemaduras severas, con formación de llagas y fuertes dolores
Contacto con los ojos	Daños severos e inmediatos al tejido del ojo, produciendo ceguera irreversible
Peligros para la salud de las personas	Ingestión Puede producir fuertes dolores y quemaduras a la boca, garganta, estómago. Con resultado de muerte a las pocas horas de intoxicación. Dosis de 10 cm <sup>3</sup> , son fatales si se ingieren.
Condiciones medicas que se verán agravadas con la exposición al producto	Irritación severa a la piel, vías respiratorias y ojos.
Peligros para el medio ambiente	El producto debido a su acidez provoca acidificación de tierras y aguas (por ácidos y nitratos) siendo peligroso para los organismos acuáticos.

1



ADMINISTRACIÓN  
Belbeder 136 - (5730) - Villa Mercedes - San Luis - Argentina  
Tel:(02657) 423282/423948 Fax:(02657) 435579  
E-mail: admfiasa@poraire.net

ADMINISTRACIÓN CENTRAL  
Ruta 6 Km 4,4 - Río Tercero - Córdoba - Argentina  
Tel. (03571) 424111 / 424303/422155 / 423513  
Fax. (03571) 423554  
E-mail: fiasa@tc.com.ar





## ÁCIDO NÍTRICO AL 60%

HOJA DE SEGURIDAD N°: HS-20  
Revisión: 00



### Sección 4: Medidas de primeros auxilios

<i>Inhalación</i>	Trasladar al afectado al aire libre. Aplicar respiración artificial en caso de insuficiencia respiratoria. Asistencia médica inmediata. Someter a vigilancia médica durante 48 horas, ya que pueden presentarse lesiones con efecto retardado.
<i>Contacto con la piel</i>	Quitar las ropas manchadas bajo la ducha. Lavar al afectado inmediatamente con agua o agua con bicarbonato sódico. Requerir asistencia médica inmediata.
<i>Contacto con los ojos</i>	Lavar con agua abundantemente durante 15 minutos como mínimo manteniendo los párpados abiertos. Acudir al oftalmólogo urgentemente.
<i>Ingestión</i>	Si el paciente está consciente se puede dar de beber toda el agua que desee. Si es posible dar dos cucharadas de magnesia y mantenerlo abrigado. Si vomita espontáneamente hacer beber agua de nuevo. Si está inconsciente o tiene convulsiones recostarlo y mantenerlo en reposo. Avisar inmediatamente al médico. No provocar el vómito en ningún caso.

### Sección 5: Prevención

<i>Inhalación</i>	Mascarilla respiratoria con filtro para vapores nitrosos Nox. En grandes concentraciones utilizar equipos de respiración autónoma o de aire asistido
<i>Contacto con la piel</i>	Utilización de guantes de Neoprene u otros de características impermeables y resistentes al producto químico. Traje completo de protección contra esta sustancia.
<i>Contacto con los ojos</i>	Uso de lentes de seguridad y/o careta facial adecuados contra salpicaduras y proyecciones de la sustancia química.
<i>Ingestión</i>	No comer, beber o fumar durante el trabajo.

### Sección 6: Medidas para lucha contra el fuego

<i>Agentes de extinción</i>	Cortinas de agua para absorber gases y humos y para refrigerar equipos y contenedores expuestos al fuego. Utilizar agua pulverizada o Dióxido de carbono para combatir el incendio.
<i>Procedimientos especiales para combatir el fuego</i>	Situarse de espaldas al viento, los recipientes cerrados pueden reventar por formación de gases. Existe riesgo de emanación de vapores y humos tóxicos de óxidos de nitrógeno. Puede reaccionar con materias orgánicas
<i>Equipos de protección personal para el combatir el fuego</i>	Equipo de respiración autónoma, gafas o pantalla. Guantes y botas de goma o PVC. Traje de tipo antiácido

2



ADMINISTRACIÓN  
Belbeder 136 - (5730) - Villa Mercedes - San Luis - Argentina  
Tel:(02657) 423282/423948 Fax(02657) 435579  
E-mail: admfiasa@poraire.net

ADMINISTRACIÓN CENTRAL  
Ruta 6 Km 4,4 - Río Tercero - Córdoba - Argentina  
Tel. (03571) 424111 / 424303/422155 / 423513  
Fax. (03571) 423554  
E-mail: fiasa@tc.com.ar



## ÁCIDO NÍTRICO AL 60%

HOJA DE SEGURIDAD N°: HS-20  
Revisión: 00



### Sección 7: Medidas para el derrame

<i>Medidas de emergencia a tomar</i>	Precauciones individuales: Alejar a las personas que no lleven prendas de protección. Evitar el contacto con el producto derramado. Restringir el acceso al área de vertido. Previsiones para la protección del medio ambiente: Ventilar los lugares cerrados. Avisar rápidamente a personal especializado. Notificar la incidencia a los bomberos y agentes de la autoridad. Usar cortinas de agua para absorber los gases y humos tóxicos. Evitar que el producto derramado entre en alcantarillas y locales cerrados. Métodos de limpieza: Señalizar la zona. Tomar las medidas citadas para las personas y medio ambiente. Diluir el producto con abundante agua. Si hubiese que neutralizarlo, hacerlo con álcalis diluidos. Una vez neutralizado el producto con un álcali muy diluido, llevarlo, a ser posible a un vertedero controlado. No actuar sin la protección adecuada, bajo la supervisión de un experto. Absorber el derrame con arena o tierra. Recoger en recipientes estancos. No empapar con serrín u otros materiales combustibles (riesgo de incendio). En caso de neutralización final, bajo control de un experto. Neutralizar con: Álcalis diluidos (cal, carbonatos).
<i>Equipos de protección personal para atacar la emergencia</i>	Utilizar equipos de respiración autónomos de presión positiva y ropa de protección química resistente a la sustancia.

### Sección 8: Manipulación y almacenamiento

<i>Recomendaciones sobre manipulación segura, específicas</i>	Disponer de lugares accesibles. Mangueras para formar cortinas de agua y lavado de eventuales fugas. No actuar sin las medidas de protección indicadas en el punto 5. Los locales deberán estar provistos de pavimento resistente a la acción del ácido. Los locales de almacenamiento se mantendrán adecuadamente ventilado. Es conveniente que los gases de escape vayan a absorción. Prever duchas y lavajos de seguridad. No fumar, beber o comer cuando se maneje o se almacene. Asegurar que el recipiente esté limpio y sea el adecuado. Evitar contacto con metales en polvo o materia orgánica (riesgo de incendio). Evitar las descargas por presión adicional
<i>Condiciones de almacenamiento</i>	Almacenar en depósitos bien cerrados provisto de venteo y toma de tierra. Se debe almacenar en un lugar fresco y ventilado protegido de la luz solar y el calor. Mantener la zona libre de productos combustibles, álcalis, oxidantes y explosivos. Los equipos eléctricos deben ser estancos para evitar corrosión. Ácido nítrico > 80%: Almacenar en tanques de aluminio. Ácido nítrico < 80%: Almacenar en tanques de acero inoxidable. En el exterior se dispondrá de tomas de agua, duchas y fuentes lavajos.

### Sección 9: Control de exposición

<i>Límites de exposición</i>	VLA-ED = 3 ppm 5,7 mg/m <sup>3</sup> VLA-EC = 5ppm 9,6 mg/m <sup>3</sup>
<i>Vías de exposición</i>	La sustancia se puede absorber por inhalación y a través de la piel y por ingestión.

3

	<b>ADMINISTRACIÓN</b> Belveder 136 - (5730) - Villa Mercedes - San Luis - Argentina Tel:(02657) 423282/423948 Fax:(02657) 435579 E-mail: admfiasa@poraire.net	<b>ADMINISTRACIÓN CENTRAL</b> Ruta 6 Km 4.4 - Río Tercero - Córdoba - Argentina Tel. (03571) 424111 / 424303/422155 / 423513 Fax. (03571) 423554 E-mail: fiasa@tc.com.ar
--	--	--



## ÁCIDO NÍTRICO AL 60%

HOJA DE SEGURIDAD N°: HS-20  
Revisión: 00



### Sección 10: Propiedades físicas y químicas

<i>Estado físico</i>	Líquido.
<i>Apariencia y olor</i>	Incoloro o ligeramente amarillento. Característica acre y sofocante.
<i>Concentración</i>	> 98%.
<i>Ph</i>	< 1.
<i>Punto de ebullición</i>	121°C
<i>Punto de fusión</i>	-41,6°C.
<i>Solubilidad en agua</i>	Completamente soluble.
<i>Densidad del vapor (Aire=1)</i>	2,2 a 20°C.
<i>Densidad del líquido (Agua=1)</i>	1,4 a 20°C.

### Sección 11: Estabilidad y Reactividad

<i>Estabilidad</i>	Estable en condiciones normales de almacenamiento. Es fuertemente oxidante. No calentar. Se descompone lentamente con la luz y el calor.
<i>Condiciones que deben evitarse</i>	Luz y temperaturas elevadas (> 70°C). Su exposición prolongada al aire puede originar la formación de óxidos de nitrógeno.
<i>Incompatibilidad</i>	Metales en general (menos los nobles y algunas aleaciones). Peligro de incendio o explosión por contacto con compuestos orgánicos y con inflamables, así como con materiales orgánicos (serrín, paja, papel, etc.). Reacciona violentamente con el sulfuro de carbono, sodio y con gran cantidad de productos químicos.
<i>Productos de descomposición peligrosos</i>	Su exposición prolongada al aire puede originar la formación de vapores nitrosos. Los productos de su combustión son irritantes y pueden contener componentes tóxicos

### Sección 12: Información Toxicológica

<i>Toxicidad aguda</i>	LC50 (inhalación, rata): 0,13 mg/l/4h (NO2) LD50 (oral, hombre): 430 mg/kg LD50 (oral, rata): 310-334 mg/kg Ensayo irritación cutánea (conejo): quemaduras. Efectos irritantes / cáusticos Tras inhalación: - Daña los tejidos del tracto respiratorio. - A pequeñas concentraciones produce bronquitis y enfisema pulmonar - Sus vapores pueden causar la muerte. Con efecto retardado y como consecuencia de una exposición intensa puede producir edema pulmonar. Tras contacto con la piel: Muy corrosivo. Enrojecimiento e irritación, dolor y quemaduras que pueden ser graves por contacto mantenido y sin ser neutralizado. Tras contacto con los ojos: Queratoconjuntivitis química que causa la opacidad en las córneas pudiendo ser permanente y causar ceguera. En los primeros momentos se produce enrojecimiento, dolor y visión borrosa. Tras la ingestión: Inflamación y quemaduras en la boca, faringe, esófago e intestino, siendo los primeros síntomas la inflamación de garganta, ulceraciones en boca y dolores abdominales. Puede reaccionar con sustancias inflamables formando gases tóxicos.
<i>Sensibilización alérgica</i>	No hay información disponible.
<i>Formas y vías de ingreso</i>	Por inhalación, piel e ingestión.

4



ADMINISTRACIÓN  
Belbeder 130 - (5730) - Villa Mercedes - San Luis - Argentina  
Tel:(02657) 423282/423948 Fax:(02657) 435579  
E-mail: admfiasa@poraire.net

ADMINISTRACIÓN CENTRAL  
Ruta 6 Km 4,4 - Río Tercero - Córdoba - Argentina  
Tel. (03571) 424111 / 424303/422155 / 423513  
Fax: (03571) 423554  
E-mail: fiasa@tc.com.ar



## ÁCIDO NÍTRICO AL 60%

HOJA DE SEGURIDAD N°: HS-20  
Revisión: 00



### Sección 13: Información ecológica

<i>Inestabilidad</i>	No hay información disponible.
<i>Persistencia/degradabilidad</i>	El ion nitrato es la forma predominante de nutrición de las plantas.
<i>Bio-acumulación</i>	No presenta riesgo de bioacumulación.
<i>Ecotoxicidad</i>	Peligro para la flora y fauna acuática en muy bajas concentraciones. Puede favorecer la eutrofia de acuiferos. Provoca la desviación del pH y da lugar a contaminación por nitratos en el agua. No produce consumo biológico de oxígeno. Toxicidad en peces: Cl50: 72 mg/l/96h <i>Gambusia affinis</i> . TLM / 96h = 10-100 ppm

### Sección 14: Consideraciones sobre disposición final

Medios de eliminación del producto: Diluir y neutralizar el producto con cal o carbonatos. Llevar a un tratador autorizado de residuos. Respetar las normativas locales y nacionales relativas a la eliminación de residuos.

### Sección 15: Información sobre transporte

<i>Número de identificación ONU</i>	2031
<i>Riesgo principal</i>	8
<i>Riesgo secundario</i>	0
<i>N° de identificación de riesgo para el transporte por carretera</i>	80

### Sección 16: Información reglamentaria

Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (aprobado por Decreto N° 779/95) en el Anexo I (Normas Técnicas para el Transporte Terrestre), Capítulo IV (Listado de Mercancías Peligrosas). Resolución 295/2003, anexo IV, del M.T.E.S.S.

### Sección 17: Otras informaciones

Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuentes confiables. Sin embargo se entregan sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. La información que se entrega en él es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos esta fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

5



ADMINISTRACIÓN  
Belbeder 138 - (5730) - Villa Mercedes - San Luis - Argentina  
Tel:(02857) 423282/423948 Fax:(02857) 435579  
E-mail: admfiasa@poraire.net

ADMINISTRACIÓN CENTRAL  
Ruta 6 Km 4.4 - Río Tercero - Córdoba - Argentina  
Tel. (03571) 424111 / 424303/422155 / 423513  
Fax. (03571) 423554  
E-mail: fiasa@tc.com.ar



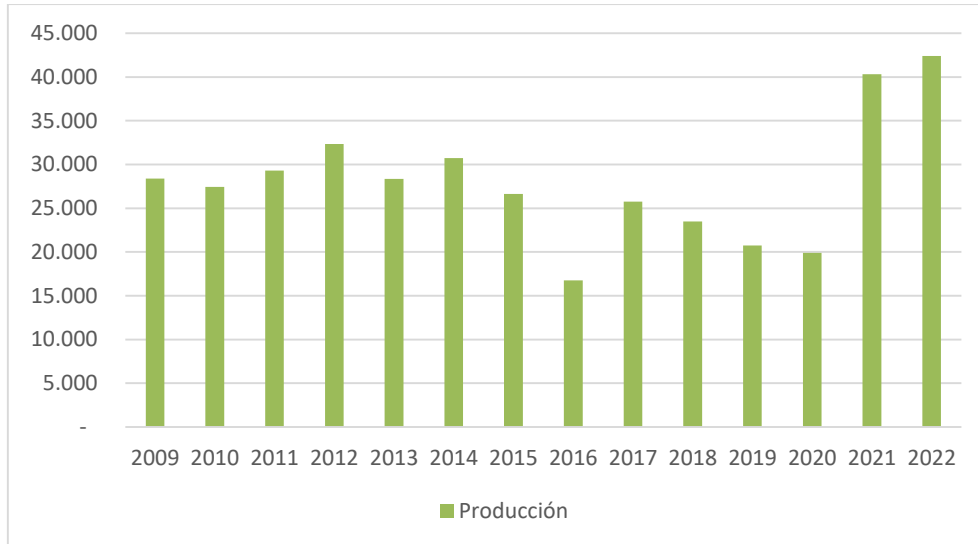


### 4.3. Evolución de la producción

El ácido nítrico ocupa el tercer puesto en volumen de producción en la lista de los tres ácidos inorgánicos principales, junto con el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico. La producción mundial de ácido nítrico se lleva a cabo de forma relativamente centralizada, con aproximadamente 580 plantas industriales, a cargo de producir 54,5 millones de toneladas anuales, correspondientes al año 2022. La mayoría de estos productores operan en países desarrollados y se estima que el mercado crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) de 4,8% durante los próximos años.

El mercado mundial del ácido nítrico está floreciendo debido al ascenso en la requisición y utilización de fertilizantes en el sector agrícola. Este compuesto es uno de los productos químicos más importantes en la fabricación de fertilizantes puesto que estimula el crecimiento de las plantas y además contiene nitrógeno muy concentrado, ideal para el bienestar del suelo. Por otro lado, la demanda de ácido adípico está creciendo por la mayor producción de fibra de nailon, donde el ácido se utiliza sobre todo para fabricar paracaídas, impermeables, tiendas de campaña y airbags.

Actualmente los productores en Argentina de ácido nítrico son: la **Fábrica Militar Río Tercero** en Río Tercero, Córdoba, **Austin Powder Argentina S.A.** localizado en El Galpón, Salta y **Frío Industrias Argentinas S.A.** en Villa Mercedes, San Luis. Sin embargo estas últimas dos iniciaron su producción en los últimos años: 2021 y 2016 respectivamente. Indicando un alza en la producción de este ácido debida directamente por el aumento de su demanda para la producción de productos derivados.



**Figura 1:** Gráfica de evolución de la producción de ácido nítrico en la Argentina.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Instituto Petroquímico Argentino.

El mercado local apunta a la producción de ácido nítrico para cubrir elaboraciones específicas, tal es el caso de empresas como **Austin Powder Argentina S.A.** que fabrica el ácido para suplir su propia producción de nitrato de amonio en la industria de explosivos o de la **Fábrica Militar Río Tercero** quien deriva muy cerca de la totalidad de su ácido nítrico producido a la **Petroquímica Río Tercero** para la elaboración de TDI. Dejando, a pesar de los grandes volúmenes producidos, sin total abastecimiento a empresas productoras, actuales o futuras, de nitrato de amonio para fertilizantes.

Esto genera que haya, ante la ausencia de ácido nítrico en el mercado nacional, escasas plantas productoras de nitrato de amonio ubicadas en la Argentina, en comparación con los volúmenes importados de este fertilizante. Se deduce por lo tanto que un aumento en la producción de ácido nítrico en el país será un atractivo suficiente para que futuras empresas decidan instalar plantas productoras de nitrato de amonio y así solventar los grandes volúmenes de importación del mismo y de sus derivados, como el UAN (una disolución acuosa de urea y nitrato de amonio) o el CAN (nitrato de amonio calcáreo).

#### 4.4. Consumo Histórico

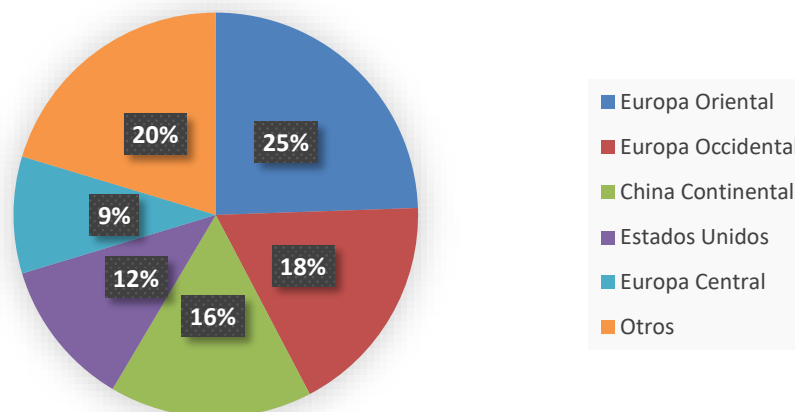
El consumo mundial de ácido nítrico ha aumentado constantemente desde 2000. El mayor mercado para el ácido nítrico es la producción de nitrato de amonio



como fertilizante en forma de CAN o en una solución acuosa junto con urea granulada, estas aplicaciones representan casi el 77 % del consumo mundial total de ácido nítrico en la actualidad.

Hoy en día casi el 80% del ácido nítrico se usa para productos fertilizantes y el resto en aplicaciones industriales. Los principales usos químicos finales del ácido nítrico son el nitrobenzeno, el ácido adípico, el diisocianato de tolueno (TDI), la producción de explosivos, el tratamiento de metales y el procesamiento de uranio. Las regiones de Europa, América del Norte y China continental dominan las estadísticas del mercado. Juntas, estas regiones representan más del 80% de la oferta y la demanda mundial. Y desde el año 2000, los mayores aumentos en capacidad, producción y consumo se han producido en China continental.

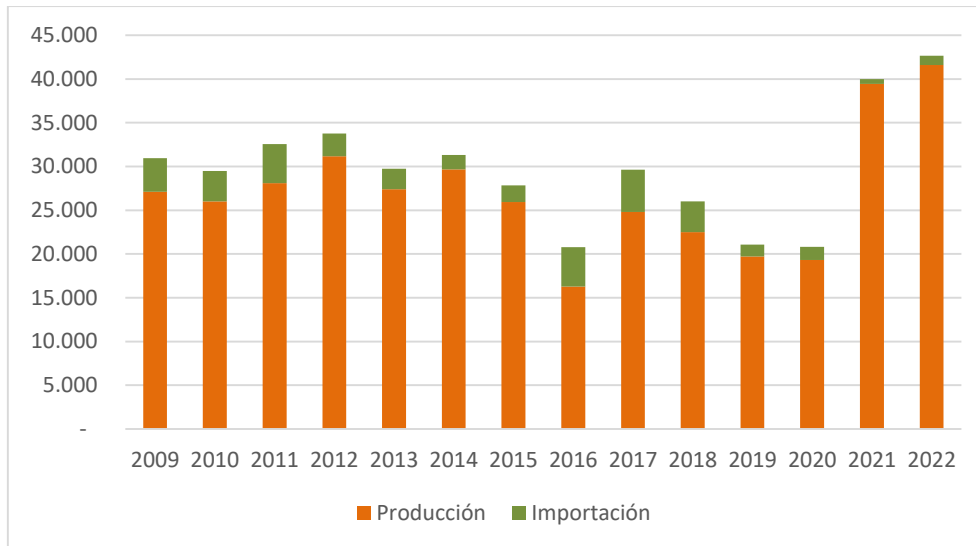
## Consumo Mundial de Ácido Nítrico



**Figura 2:** Gráfica de consumo mundial de ácido nítrico.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de IHS Markit.

A nivel local, en la república Argentina las fuentes más importantes de consumo del ácido nítrico son la industria de explosivos, la industria de fertilizantes y la producción de TDI. Siendo esta última la que se lleva prácticamente el 50% de toda la producción local.



**Figura 3:** Consumo histórico de ácido nítrico en Argentina, por fuente de origen.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del IPA.

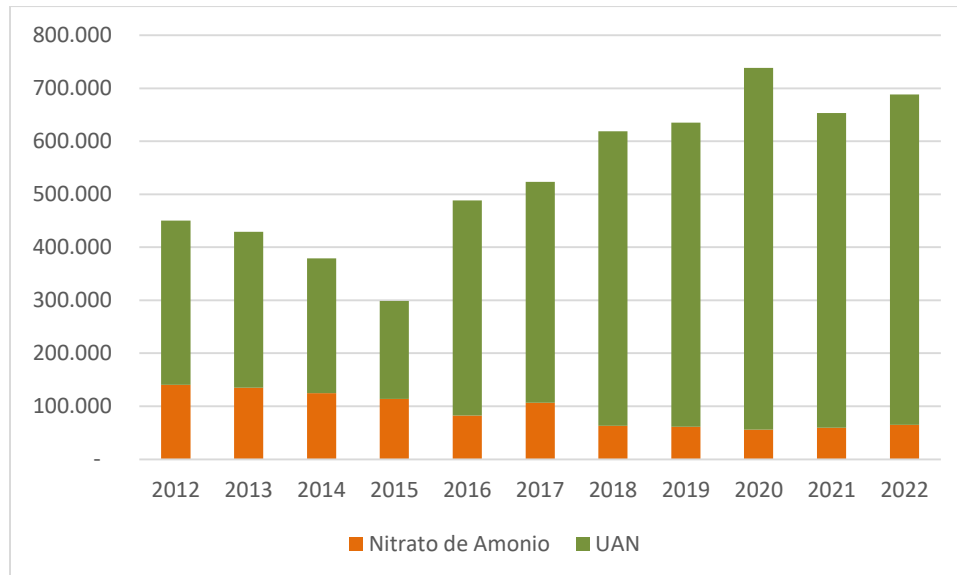
Se espera que el mercado argentino de ácido nítrico crezca durante los próximos años, impulsado por la creciente demanda en la industria de fertilizantes, así como por el uso en la producción de resinas y fibras de nailon.

La necesidad imperiosa de obtener altos rendimientos de los cultivos para satisfacer el creciente consumo de alimentos en un mundo en constante aumento poblacional, ha provocado una suba en el uso de fertilizantes en los últimos años, lo cual se prevé que tenga un impacto positivo en cuanto a la demanda del ácido nítrico, ya que este contribuye una materia prima esencial e irremplazable. Por lo tanto se fijará como mercado objetivo del presente proyecto de producción de ácido nítrico la fabricación de fertilizantes.

Según datos de la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos, se consumieron en la Argentina en el año 2022 más de 2,6 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados de los cuales aproximadamente un 25% fueron nitrato de amonio en formatos de CAN o UAN.

Si se compara con datos del IPA, la producción de nitrato de amonio en el país es muy acotada en comparación a lo que se consume, mostrándose así que la gran mayoría de los fertilizantes de este tipo se importan de los países con mayor oferta, como se mencionó más arriba.





**Figura 4:** Importaciones de nitrato de amonio a la Argentina, según formato.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del IPA.

Es acertado marcar que parte de la falta de plantas productoras de nitrato de amonio se deban a la escasez de ácido nítrico en cantidad en el mercado local. Por lo tanto, se destinará como objetivo comercial del presente proyecto la producción de las cantidades de ácido nítrico necesarias para elaborar los valores de nitrato de amonio importado al país. Y en caso de que el proyecto sea rentable un grupo inversor estará dispuesto a instalar una planta de producción de nitrato de amonio, quien será además nuestro cliente principal.

Si bien la finalidad de este proyecto no será exportar el ácido nítrico producido, sino fomentar la producción nacional de fertilizantes, es importante analizar el mercado mundial para obtener una alternativa en caso de que no se dé continuación al contrato con el grupo inversor.

#### 4.5. Proyecciones de demanda

Al ser nuestro objetivo, la producción de ácido nítrico para una manufactura local de nitrato de amonio que suplante a las importaciones de este. Procederemos a realizar una proyección de dichas importaciones que ingresan al país utilizando información brindada por el Anuario del Instituto Petroquímico Argentino que nos brinda datos estadísticos de los movimientos del mercado local hasta el año 2022.



Se hará la proyección suponiendo un crecimiento anual del 4% hasta el año 2037, diez años luego de la construcción de la planta:

Año	Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente
2012	81	140.632	-	140.713
2013	231	134.849	-	135.080
2014	117	124.531	-	124.648
2015	294	113.701	-	113.995
2016	338	82.489	290	82.537
2017	51	106.580	-	106.631
2018	11	63.087	-	63.098
2019	724	61.546	426	61.844
2020	1.108	55.741	-	56.849
2021	16.115	59.810	2.338	73.587
2022	21.223	65.138	3.125	83.236
2023		67.744		
2024		70.453		
2025		73.271		
2026		76.202		
2027		79.250		
2028		82.420		
2029		85.717		
2030		89.146		
2031		92.712		
2032		96.420		
2033		100.277		
2034		104.288		
2035		108.460		
2036		112.798		
2037		117.310		

Tabla 4: Proyección de las importaciones de nitrato de amonio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del anuario del Instituto Petroquímico Argentino.

Es importante aclarar que el salto grande en la producción de nitrato de amonio en los años 2021 en adelante se debió a la puesta en marcha de la planta de nitrato de amonio de **Austin Powder Argentina S.A.** quien utiliza su producción para la propia manufactura de explosivos. Nótese que los valores de importación de nitrato de amonio en esos años no variaron en comparación, eso se debe a que las máximas empresas importadoras (**Profertil S.A.** y **Bunge Argentina S.A.**) lo utilizan para distribuirlo como fertilizante.

En la tabla plasmada se puede observar que en el año 2037 se estima un total importado de más de 117 mil toneladas anuales de nitrato de amonio. Lo cual



equivaldría a 93.848 toneladas anuales de ácido nítrico, ya que la relación para dicha producción es del 80%.

#### 4.6. Productos sustitutos

Como se mencionó previamente, el ácido nítrico producido al 60% se destinará para el mercado de fertilizantes, en específico para la producción de nitrato de amonio. No se encuentra un producto que pueda reemplazarlo en el proceso productivo ya que es el único que puede aportarle importantes cantidades de nitrógeno.

#### 4.7. Capacidad de la planta

Como se presentó en el apartado de *Proyecciones de Demanda*, la cantidad importada de nitrato de amonio en el año 2037 es de prácticamente 117 mil toneladas anuales. Teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto es abastecer de ácido nítrico a una futura planta de nitrato de amonio que suplante las importaciones de dicho material, la cantidad de  $\text{HNO}_3$  equivalente es de 93.848 toneladas por año.

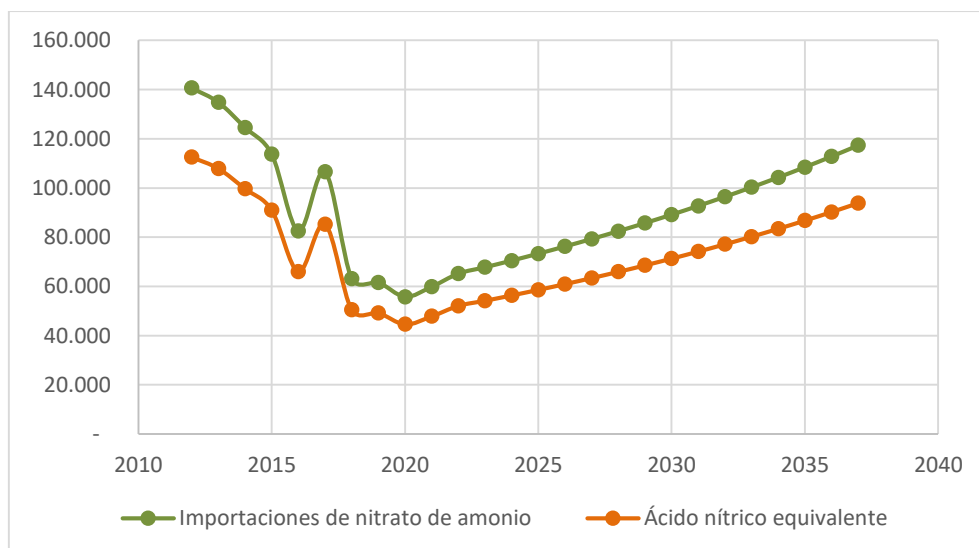


Figura 5: Gráfica de Importaciones de nitrato de amonio vs Ácido nítrico equivalente para esa producción.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IPA.

Fijaremos entonces la capacidad de la planta en un 60% del total de ácido nítrico requerido, cerrando finalmente en **56.309 toneladas anuales**.



## 4.8. Clientes y competencia de Productos y Materias Primas

### 4.8.1. Clientes

El proyecto apuntará a proveer de ácido nítrico a una planta de nitrato de amonio que será construida una vez se autorice la viabilidad técnico-económica del presente proyecto. Como se mencionó previamente, el grupo inversor instalará una planta de nitrato de amonio que solvente los valores importados de este fertilizante y por lo tanto será nuestro cliente principal.

Cuando analizamos el mercado local ya instalado notamos que hoy en día las empresas que fabrican nitrato de amonio en el país ya cuentan entre sus instalaciones plantas productoras de ácido nítrico por lo que un aumento en su demanda del fertilizante vendrá acompañado, evidentemente, con un aumento en su capacidad de ácido nítrico. Y que las empresas que actualmente trabajan en la Argentina importando ácido nítrico lo hacen con valores verdaderamente mínimos en comparación con la capacidad de planta fijada para el proyecto.

Empresas importadoras de ácido nítrico en Argentina		
Empresa	Rubro	Cantidad importada en 2022
Alphaquímica	Productos de limpieza	25 Tn
Austin Powder Argentina S.A.	Industria de explosivos	350 Tn
Chemical Center S.R.L.	Distribuidora de reactivos para laboratorios	24 Tn
Droquimar S.R.L.	Distribuidora de productos químicos industriales	74 Tn
Hypred Argentina S.A.	Limpieza de plantas industriales	365 Tn
Indaquim S.A.	Industria Química	26 Tn
Merck Química Argentina	Distribuidora de reactivos para laboratorios	21 Tn
Petroquímica Río Tercero S.A.	Industria Química	108 Tn
Química D&D S.R.L.	Tratamiento de superficies	48 Tn

**Tabla 5:** Empresas importadoras de ácido nítrico en Argentina, año 2022.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos obtenidos en "TradeData – Foreign trade databases".



Es por eso que, como se mencionó previamente, en caso de que se dé de baja al contrato con el grupo inversor y este no instale una planta productora de nitrato de amonio que compre el 100% de nuestro producto la mejor decisión será enfocarse en la exportación. En dicho caso se decidirá que el volumen total de ácido nítrico producido se exporte a Brasil.

#### 4.8.2. Proveedores de Materias Primas

Para la producción de ácido nítrico con el método de Ostwald se requieren como materias primas amoníaco, agua desmineralizada y aire atmosférico para utilizar el oxígeno presente en este.

Amoníaco: Según datos de producción anual en la Argentina se presentan cuatro empresas que fabrican amoníaco, siendo para dos de ellas: **Austin Powder Argentina S.A.** y **Fábrica Militar Río Tercero** un producto intermedio. La empresa **Bunge Argentina S.A.** tiene una capacidad instalada de 29.700 tn/año y **Profertil S.A.** de 790.000 tn/año, estas últimas son las que analizaremos con detenimiento como potenciales proveedores.

Estas dos empresas utilizan mucho de su amoníaco producido en la manufactura de otro tipo de productos finales, tiosulfato de amonio, fertilizantes para el agro, UAN o el producto estrella de Profertil: la urea granulada. Sin embargo su alta capacidad de producción genera un exceso de amoníaco que venden en el mercado nacional e internacional.

Para buscar proveedores de amoníaco buscamos aquellos que exportan el producto para reemplazar las ventas al exterior por el mercado local, logrando así no competir contra los clientes de confianza de dichas empresas y además favorecer el mercado argentino por sobre el internacional.

Según información aportada por profesionales que ejercen en la empresa Profertil S.A., la empresa situada en Bahía Blanca tiene un promedio de venta de amoníaco en los últimos 5 años de 30 mil toneladas anuales, de las cuales un tercio de estas fue destinada al mercado local y el restante para exportación hacia países como Chile o Marruecos. Y en el caso de Bunge Argentina S.A. si bien la diferencia de volumen de producción es más que notoria igual exporta grandes cantidades de amoníaco, promediando valores entre 11.000 y 12.000 toneladas anuales.



En cuanto a nuestra producción de ácido nítrico, referenciando el punto *Capacidad de la planta*, ambos proveedores exportan cantidades suficiente de amoníaco que podrían llegar a satisfacer las cantidades requeridas como materia prima. Por lo que tanto Profertil S.A. como Bunge Argentina S.A. son potenciales proveedores y la elección final dependerá de la ubicación de la planta siendo el proveedor principal quien se encuentre con mayor cercanía.

#### 4.8.3. Competencia de Productos

En la actualidad de la Argentina existen tres grandes productores de ácido nítrico. Uno de ellos es **Austin Powder Argentina S.A.** que tiene una capacidad instalada de 30.000 toneladas por año, sin embargo las cantidades de ácido nítrico que produce las utiliza como producto intermedio para sus productos estrella: los explosivos y sus derivados. Se registran incluso importaciones de ácido nítrico por parte de esta empresa por lo que no es una competencia relevante en el mercado.

Las otras dos empresas que producen todo el ácido nítrico que circula en el mercado de la Argentina son **Frío Industrias Argentinas S.A.**, ubicada en Villa Mercedes, San Luis que tiene una capacidad instalada de 10.730 toneladas anuales de  $\text{HNO}_3$  y la **Fábrica Militar Río Tercero**, ubicada justamente en Río Tercero, Córdoba. Esta última tiene una capacidad instalada de 39 mil toneladas por año y destina prácticamente el 90% de su producción como materia prima para la elaboración de TDI que se fabrica en la Petroquímica Río Tercero S.A. ubicada también en la misma ciudad por un convenio que tienen entre las partes. El restante de su producción se destina a diversos fines, siendo uno de ellos la producción de nitrato de amonio del cuál tienen una fábrica instalada.

En cuanto a **F.I.A.S.A.**, esta empresa puso en marcha su planta productora de ácido nítrico en Febrero del 2016 y actualmente produce 10 mil toneladas anuales de ácido nítrico aunque tan solo un 30% de este se encuentra en una concentración del 60%, necesaria para la producción de fertilizantes y demás que destina al mercado.



#### 4.8.4. Competencia por Materias Primas

Además de los competidores de producto, que también compiten por el amoníaco presente en el mercado local, hay otros rubros que acaparan el mayor porcentaje del amoníaco.

La principal competencia por el amoníaco está dada por los mismísimos proveedores, empresas como Profertil S.A. o Bunge Argentina S.A. producen el amoníaco como producto intermedio de sus productos estrella. Profertil incluso, con una capacidad instalada de 790.000 toneladas anuales utiliza el 95% de su producción en la manufactura de urea granulada dejando, como se mencionó antes, tan solo 30 mil toneladas en el mercado local. Lo mismo ocurre con las otras empresas mencionadas aunque con valores de menor magnitud, como es el caso también de Austin Powder Argentina S.A. quien utiliza el amoníaco para producir el nitrato de amonio que ellos mismos convierten en explosivos o Bunge Argentina S.A. quien utiliza el amoníaco para producir tiosulfato de amonio.

Otras empresas que se aprovechan del amoníaco en venta son aquellas que producen sulfato de amonio, un producto sustituto del nitrato de amonio, quien es nuestro mercado objetivo principal. Actualmente en la Argentina se encuentra la empresa de Ternium Argentina S.A., localizada en San Nicolás, Buenos Aires quien tiene una capacidad instalada de 10.512 toneladas anuales de sulfato de amonio.

Además debemos destacar las exportaciones de amoníaco del país como competidores por la materia prima, hoy en día estas transacciones se llevan casi dos tercios del amoníaco disponible en el mercado. Por lo que es el competidor al que más debemos enfrentar a la hora de redistribuir los volúmenes de amoníaco a nuestro proyecto.

#### 4.9. Variables macroeconómicas

El país en el que se realizan las inversiones influye de manera directa en el proyecto y en sus riesgos a la hora de tomar decisiones. A continuación se analizarán de manera detallada datos estadísticos de los últimos años del PBI, la inflación, la cotización del dólar futuro y de la tasa de interés en la República



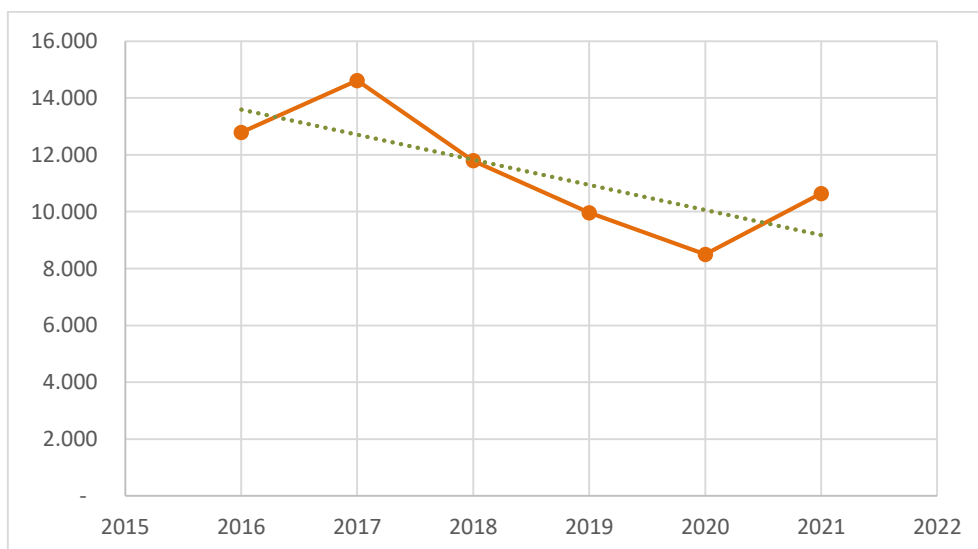


Argentina para luego proyectar a futuro y tener consciencia de la realidad del país en donde se localizará el proyecto técnico.

#### 4.9.1. PBI

El PBI (o PIB) per cápita es un indicador de riqueza o estabilidad económica de un territorio, con este se puede relacionar la renta nacional del país en cuestión con la cantidad de habitantes de ese lugar. Sirve como dato que indica el nivel de bienestar en un territorio y generalmente se lo utiliza para comparar con diferentes países, para mostrar diferencias económicas.

Según datos obtenidos del Banco Mundial la siguiente gráfica muestra la evolución del PBI per cápita de la Argentina en los últimos años. Como a todos los países del mundo se puede ver como la pandemia en el año 2020 por el COVID-19 afectó los valores de manera negativa. Utilizando una línea punteada, se puede ver representada entonces la tendencia de estos valores, la cual es descendiente a pesar de la ligera subida en el año 2021, mostrando así un panorama económicamente negativo.



**Figura 6:** Representación de la evolución del PBI per cápita de la Argentina.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial.

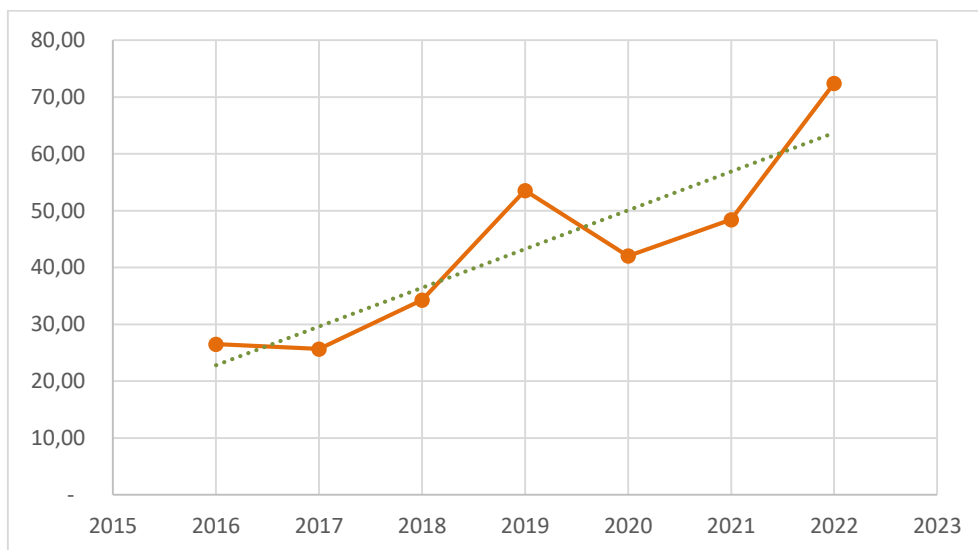




#### 4.9.2. Tasa de Inflación

La inflación es el aumento generalizado y sostenido de los precios de bienes y servicios en un país durante cierto período de tiempo, en este caso se analizaron los datos de manera anual y en referencia al precio promedio al consumidor en ese año. La inflación refleja la disminución de poder adquisitivo de la moneda local y por lo tanto una alta tasa de inflación significaría un gran riesgo de inversión.

En el gráfico obtenido a partir de datos del Fondo Monetario Internacional se puede ver una tendencia en subida bastante notoria. Sumado a esto los datos arrojados por el FMI por el primer trimestre del año 2023 indican que en ese período la Argentina sufrió un 98,6% de inflación, siendo el tercer país del mundo con la inflación más alta, siguiendo de cerca a Venezuela y Zimbabwe.



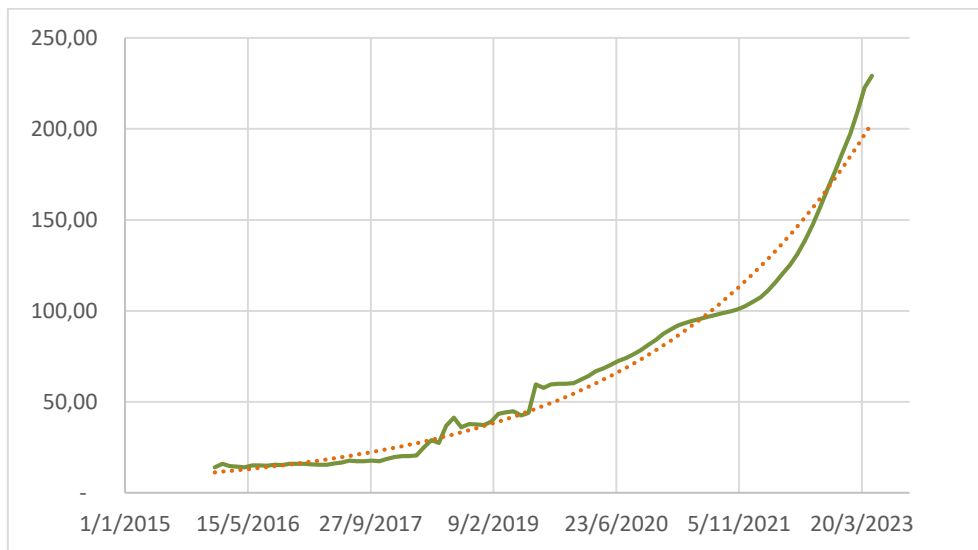
**Figura 7:** Representación de la evolución de la tasa de inflación de la Argentina.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Fondo Monetario Internacional.

Debido al elevado valor de la tasa de inflación en la Argentina y para evitar complicar de manera innecesaria los cálculos de análisis económico del proyecto, se realizará el mismo en dólares ignorando la inflación en el país.



#### 4.9.3. Cotización del dólar futuro

Como mencionamos en el punto anterior, se realizarán los cálculos económicos del proyecto en valores de dólar. Para realizar esto se analizará la evolución del tipo de cambio entre pesos Argentinos y dólares Estadounidenses en los últimos años.

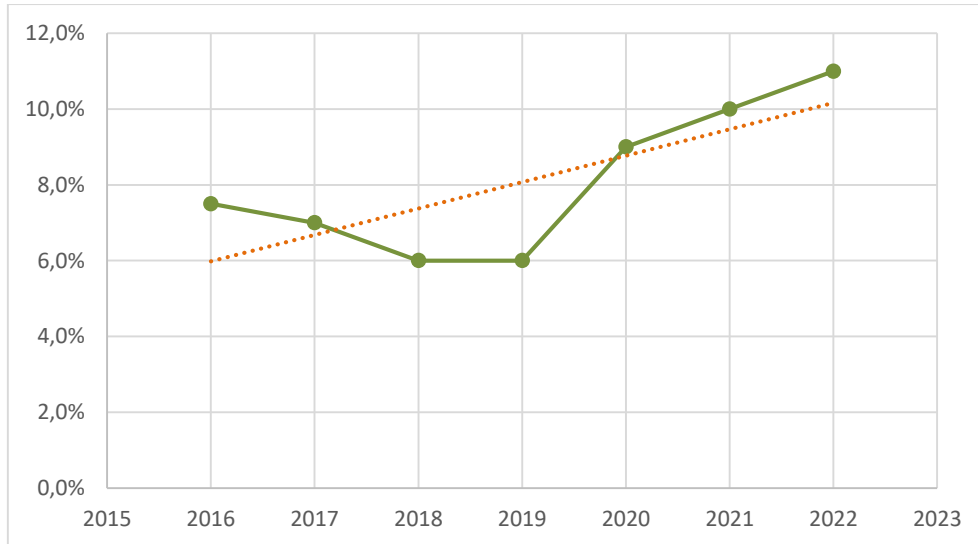


**Figura 8:** Representación de la evolución de la cotización del dólar en la Argentina.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Banco de la Nación Argentina.

Consideramos que la línea de tendencia que más se ajusta a los datos administrados por el Banco de la Nación Argentina es una del tipo exponencial. Se puede observar como en la gráfica los valores tienen a subir rápidamente en los próximos años.

#### 4.9.4. Tasa de Interés

El dato del avance de la tasa de interés es crucial a la hora de comprobar la rentabilidad del proyecto y, por lo tanto, aprobar su inversión. Como se ve en la gráfica presentada a continuación la tasa de interés muestra una tendencia creciente, llegando actualmente a valores del 11%, sin embargo se estipulará para los cálculos económicos posteriores una tasa del 12%.



**Figura 9:** Representación de la evolución de la tasa de interés del Banco de la Nación Argentina referenciadas en dólares estadounidenses. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Banco de la Nación Argentina.

En conclusión, luego de analizar todas las variables macroeconómicas previamente detalladas, se determina que los valores elevados y con tendencia a un crecimiento constante hacen que Argentina presente severos riesgos financiero a la hora de invertir en el país.

## 5. UBICACIÓN DE LA PLANTA

Una de las decisiones clave en el proceso de ingeniería básica de una planta es su localización. Existe una gran cantidad de factores que pueden influenciar en la determinación de esta, variando su importancia de una industria a otra y para cada empresa particular, en función de sus circunstancias y sus objetivos concretos.

El fin perseguido en cualquier problema sobre la localización o ubicación de fábricas es la elección del lugar que permitirá reunir los materiales necesarios, realizar los procesos de fabricación y entregar el producto a los clientes con el costo total más bajo posible.

El método a utilizar para acortar el número de lugares posibles para la ubicación de la planta es el llamado procedimiento por cribado. Posteriormente, se realizará un análisis mediante un método de puntuaciones ponderadas, el cual



considera los factores que permiten llevar a un mínimo los costos operativos y de transporte.

Dichos elementos para la evaluación son: disponibilidad de materia prima, disponibilidad de mano de obra, cercanía con el mercado, servicios de comunicación, servicios auxiliares, impuestos, estudios de clima y suelo, y requisitos legales.

Por lo tanto, a modo explicativo, se detallan los siguientes factores a ser tenidos en cuenta para el estudio:

- Disponibilidad de materia prima: Es una variable determinante del tamaño y localización de la planta, obliga a analizar la oferta actual y futura de los insumos más importantes, con el fin de conocer a corto y largo plazo su disponibilidad; además se debe evaluar la posibilidad de emplear insumos sustitutos, si el proyecto lo permite. Por lo tanto, se debe contar con la seguridad necesaria para la obtención de las materias primas en cualquier momento, ya que le otorga un margen de confiabilidad al proyecto, permitiendo definir así con toda seguridad su tamaño. En este tramo, también se encuentra la distancia a dicha materia prima, sus canales de distribución y algunos costos asociados.
- Zonas de consumo o mercados: Aquí se desarrolla la potencia relativa de los mismos nichos de mercado, teniendo en cuenta, principalmente, la distancia a cubrir para vender el producto. Finalmente, se concluirá con una previsión del crecimiento o disminución del mercado que consumirá el producto.
- Suministro de energía eléctrica: Dentro de este tema encontramos a las principales fuentes de abastecimiento, y su distancia a la planta productora de ácido nítrico. Luego, también se hará un análisis de su disponibilidad a futuro y su demanda dependiendo de sus actores.
- Suministro de servicios: En este punto, se especificarán servicios adicionales (agua, gas, internet, entre otros), infraestructura básica o valores necesarios que se requieran en la planta productora de ácido nítrico.



- Disponibilidad zonal de mano de obra.
- Factores relacionados al clima: registros de temperatura atmosférica, precipitaciones y viento. Variables máximas y mínimas y sus excepciones también se incluyen. Además, hay factores que se relacionan directamente con la topografía del terreno: estudio de suelos, resistencia de los estratos subyacentes, perfiles, entre otros.
- Beneficios otorgados exclusivamente por la elección de la localización.

Consideramos como prioridad para hacer una primera elección de sitio la disponibilidad de las empresas que cuentan con la materia prima, en este caso el amoníaco. También es importante la presencia de plantas químicas y petroquímicas en complejos o parques industriales en la zona de instalación o en las proximidades, ya que estas poseen recursos auxiliares, tal es el caso de disponibilidad de aire y agua desmineralizada.

Por otro lado, otro elemento que se considera significativo es la cercanía a un puerto; esto permitiría importar insumos (como el catalizador) y equipos. Al disponer la planta en inmediación a uno de estos, se reducen costos de transporte y logística, así como también el tiempo entre la compra y la recepción, lo que representa una ventaja ante la posibilidad de exportar el producto.

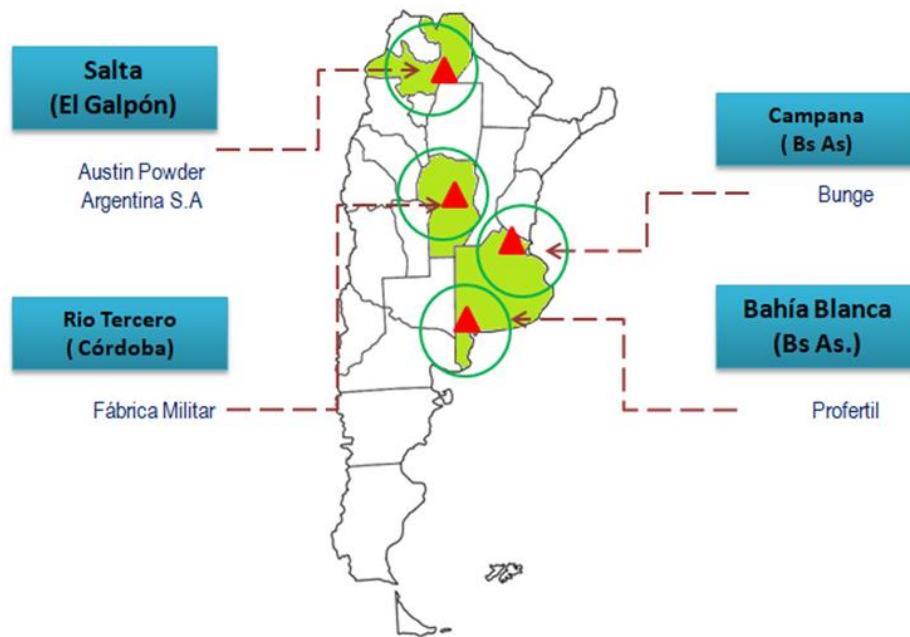
No obstante, podemos evaluar a cada empresa por su producción anual siendo **Profertil S.A.** la mayor empresa manufactura de amoníaco a nivel nacional; y contando con una capacidad instalada de 790.000 tn/año en comparación con las otras empresas, **Bunge Argentina S.A.** con 31.500 tn/año, **Austin Powder Argentina S.A.** de 60.000 tn/año y la **Fábrica Militar Río Tercero** de 7.020 tn/año respectivamente.

### 5.1. Macro localización

Cuando hacemos referencia a la macro localización hablamos de la identificación de posibles áreas geográficas donde podría ubicarse el proyecto.

Tomando en consideración como factor importante el acceso a la materia prima, como es el amoníaco; se procedió a ubicar las zonas con mayor potencial a lo largo de la República Argentina de industrias productora de amoníaco; o que

cuentan en su línea de producción este compuesto como producto o subproducto.



**Figura 10:** Ubicación de fábricas productoras de amoníaco.  
**Fuente:** Elaboración propia.

En el territorio existen cuatro industrias que producen amoníaco, entre las que destacan: Bunge, Profertil, Austin Powder Argentina S.A. y Fábrica Militar. A continuación, en la tabla se reflejarán las plantas con excedentes de Amoníaco, que exportan, así como sus ubicaciones y capacidad operativa.

Productor	Localización	Capacidad Instalada (Tn/año)	Exportaciones (Tn/año)
PROFERTIL	Bahía Blanca (Bs As.)	790.000	20.000
BUNGE	Campana (Bs As.)	31.500	12.000
Austin Powder Argentina S.A	El Galpón (Salta)	60.000	0
Fábrica Militar	Río Tercero (Córdoba)	7.020	0

**Tabla 6:** Tabla de productores de amoníaco.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Instituto Petroquímico Argentino.





Se observa que Profertil y Bunge son las dos empresas que actualmente disponen de un excedente de materia prima comparado con las otras dos. Basándonos en datos estadísticos, pudimos ver que Austin Powder Argentina S.A. utiliza el amoníaco para consumo propio, en la elaboración de nitrato de amonio posteriormente usado en la producción de explosivos para la minería; mientras que Fabrica Militar lo dedica a la obtención de ácido nítrico, ácido sulfúrico y nitrato de amonio; ambos ácidos son utilizados para la manufactura de TDI para obtener espumas y revestimientos.

De este modo, Profertil ubicado en el complejo petroquímico Bahía Blanca y Bunge en el complejo petroquímico Campana son las dos opciones más viables para disponer de nuestra materia prima.

#### **5.1.1. Disponibilidad de zonas de consumo:**

Las materias primas para la producción del ácido nítrico al 60 % p/p son: aire, agua y el amoníaco. Este último, resulta prioritario situar la planta en cercanías de su proveedor para poder recibirlo mediante cañerías directamente al proceso.

El ácido nítrico como producto, presenta limitaciones para su manipulación, transporte y almacenamiento. Es necesario contar con posibilidad de comercializar el producto con otras empresas nacionales lo más cerca, de esta forma reducir los riesgos y generar menos gastos. Las opciones de localización están definidas entonces por estos factores dominantes.

En la siguiente imagen se muestra las zonas donde se ubican los posibles clientes de ácido nítrico, y se demarca las dos principales empresas proveedoras de materia prima:



**Figura 11:** Zona de distribución y clientes de ácido nítrico.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del IPA.

Teniendo en cuenta estos aspectos de disponibilidad de materia prima y cercanía con los clientes, con las dos zonas precalificadas, se puede llegar a determinar que el área más conveniente para realizar un estudio de macro localización más exhaustivo es el Complejo petroquímico Campana ubicado en la provincia de Buenos Aires, en las inmediaciones de la empresa Bunge Argentina S.A.

Es oportuno señalar, que la empresa Profertil S.A. tiene un mayor excedente de amoníaco comparado con la empresa Bunge, pero está destinado principalmente a la producción de urea granulada; según datos recolectados aspiran suplir la falta de dióxido de carbono, la cual es materia limitante para la elaboración de este fertilizante; donde una vez resuelto dicho problema, la disponibilidad de amoníaco en exceso no sería el mismo y generaría una matriz de incertidumbre y poca confiabilidad.

Está de más decir, que se puede observar que los costos de transporte serían aún mayores debido a la ubicación de los clientes con relación a ellos.

### 5.1.2. Disponibilidad de mano de obra:

Como la planta es una industria derivada de la petroquímica, la mano de obra debe ser calificada para llevar labores afines. Las personas capacitadas se



encuentran en áreas del país comunes a los polos petroquímicos, tal es el caso del Complejo petroquímico campana y Bahía Blanca.



Figura 11: Polos petroquímicos en el país, agrupados por zona.

Fuente: ECyT-ar.

En detalle, la ciudad de Bahía Blanca cuenta con mano de obra de amplia experiencia en industrias químicas y petroquímicas de la zona; la Universidad Nacional del Sur (UNS), cuenta con profesionales formados en industria con experiencia en el complejo PLAPIQUI (Plantas pilotos para la industria Química) y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Con respecto a la localidad de Campana es una ciudad con una fuerza laboral diversa y dinámica que es fundamental para el crecimiento económico y el bienestar de la comunidad. Está compuesta por una amplia gama de personas, incluidos trabajadores de las industrias manufacturera, agrícola, el comercio minorista y mayorista, empresas de servicios, como así también profesionales y empresarios. Esto con el respaldo de universidades de la localidad como Universidad Tecnológica Nacional, regional Delta (UTN-FRD), también Universidad Nacional de Lujan; escuelas técnicas, y centros de capacitaciones. Hacen bases para una educación que contribuya al desarrollo industrial del sector. Ambos polos petroquímicos están apoyando por centros de investigaciones de índole regional y nacional.



### 5.1.3. Servicios de comunicaciones y transporte:

A la hora de evaluar las zonas geográficas más adecuadas para asentar una planta productora de ácido nítrico, es necesario hacer énfasis en disminuir los costos de distribución; la empresa industrial deberá establecer una ubicación que le permita abastecer con rapidez y eficiencia los mayores puntos de demanda de su producción.

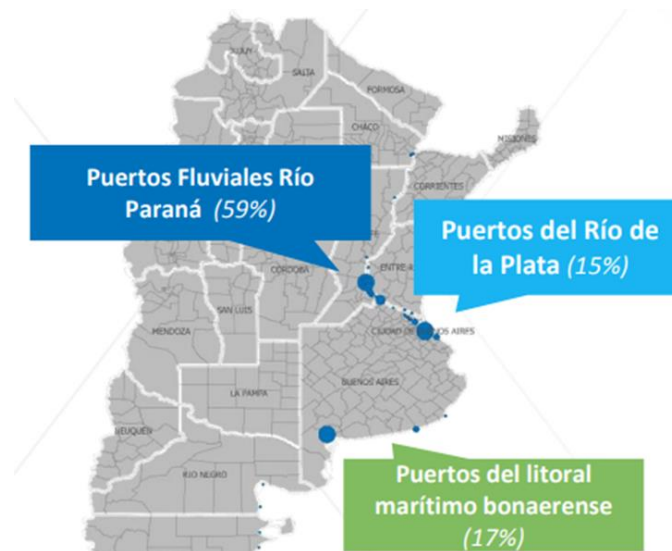
Por ello se evaluaron con detalles los medios de acceso y comunicación en la zona de la Provincia de Buenos Aires, específicamente en la localidad de Bahía Blanca y Campana.

La actividad portuaria de la provincia refleja una variedad de puertos como son: Campana, Rosario, Dock Sud, La Plata y Bahía Blanca por mencionar algunos; las cuales proporcionan un gran nivel de servicio para el traslado de materia prima, catalizadores, equipos para actividad industrial provenientes del exterior, y para el producto en cuestión (ácido nítrico producido en la planta, en caso de exportación o venta a algún polo industrial cercano).

Dichos puertos pueden ser instrumentos privilegiados para el desarrollo del comercio exterior y permiten a una ciudad o región posicionarse diferenciadamente frente al resto. Esta importante ventaja comparativa brinda posibilidades estratégicas para el desarrollo, siempre que se logre valorar y potenciar adecuadamente.

Existe una estrecha vinculación entre la ciudad y su puerto, siendo imposible pensar en una desvinculada del otro, en términos de desarrollo integral. Los movimientos portuarios inciden fuertemente sobre el resto de las actividades económicas. Los puertos se constituyen en centros económicos, generadores de actividades industriales, comerciales y de servicios, dando lugar, en forma directa e indirecta, a la creación de un importante número de puestos de trabajo.

Son, además, un importante factor de atracción para la localización de nuevas empresas. Respecto a los puertos en la RMBA, los Puertos de Buenos Aires y Dock Sud capturan actualmente el 91% del tráfico total de cargas con alto valor agregado (Secretaría de Transporte, Ministerio de Planificación Federal de la Inversión Pública y de Servicios).



**Figura 12:** Sistema Portuario Argentino y participación en el total de las cargas movilizadas.  
**Fuente:** Aviación Argentina.

Al norte de la región se encuentra una serie de terminales portuarias en Zárate y Campana; entre ellas: terminal Siderca, para productos siderúrgicos; terminal Euroamérica, especializada en carga refrigerada; muelle de la Provincia mayormente opera carga general; terminal Esso, anexa a la destilería de petróleo; terminal Maripasa, dedicada al movimiento de automóviles, terminal Carboclor, para productos químicos líquidos, terminal Rhasa, opera productos químicos y derivados del petróleo y Campana Marine terminal, para productos químicos.

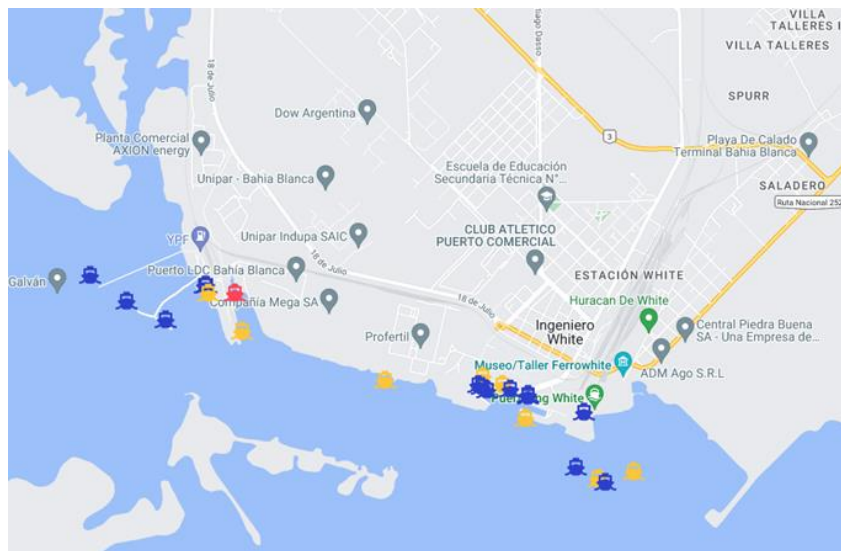


**Figura 13:** Puertos en la zona del complejo petroquímico Campana.  
**Fuente:** Ministerio de Transporte de la Nación.





Del mismo modo, Bahía Blanca posee un destacado nodo de comunicaciones y una importante relación con el centro y sur de la región pampeana y el norte patagónico, sustentados por medio de múltiples conexiones terrestres, marítimas y aeroportuarias, lo que además permite la vinculación con otras economías regionales y mercados internacionales. La zona portuaria está constituida por un conjunto de instalaciones a lo largo de 25 km, sobre la costa norte. Entre ellas, se encuentran el muelle comercial Puerto Rosales, Puerto Belgrano, que es la base naval más importante de la Armada Argentina, Puerto de Ingeniero White, muelle de la usina termoeléctrica Luis Piedra Buena, muelle de carga general, zona Cangrejales y Puerto Galván.



**Figura 14:** Puertos en la zona de Bahía Blanca, Amarillo (carga y transporte), Azul (buques de servicio), Rojo (petroleros o transporte químico) **Fuente:** Página Oficial Puerto Bahía Blanca.

Además, cuenta con una estructura productiva ampliamente diversificada, caracterizada por su moderna plataforma de comercios, servicios y un sector industrial dinámico y en expansión, dentro del cual se destacan las empresas Air Liquid, YPF, Cargill, AxionEnergy, Petrobras, Profertil S.A., Solvay, DOW Chemical, entre otras. También nuevas oportunidades de negocios suponen el Parque Agroalimentario General Cerri, el Parque Logístico, el polo Tecnológico y la Zona Franca Bahía Blanca- coronel Rosales.

En cuanto a la red vial del país se encuentra dividida en: Jurisdicción nacional y jurisdicción provincial, las cuales consisten en un conjunto de vías transitadas





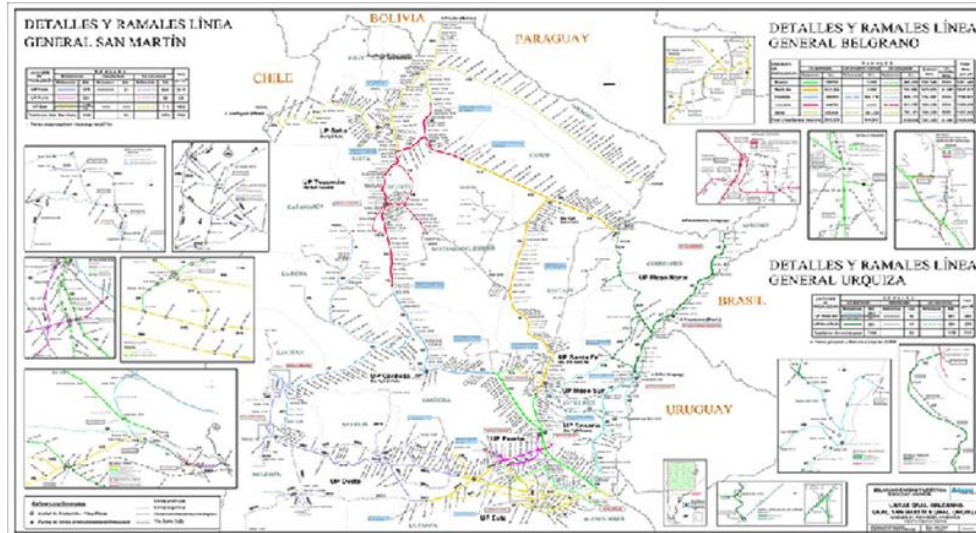
por vehículos y se le incluye también, la red ferroviaria. La red de carreteras se divide en carreteras troncales, con una longitud de 37.800 km, secundarias cuya extensión es de 178.000 km y terciarias que totalizan 500.000 km. Esta ruta o vía Argentina está esparcida a lo largo del territorio, facilitando la movilización de los habitantes y permite la actividad comercial entre las regiones.



**Figura 15:** Red vial de Argentina.

**Fuente:** Ministerio de obras públicas.

En el ámbito del transporte ferroviario, Argentina, que tiene 34.059 km de vías, fue en su momento una de los más grandes del mundo y sigue siendo la más extensa de Latinoamérica. Posee conexiones internacionales con Paraguay, Bolivia, Brasil y Uruguay. La mayor densidad de vías para el transporte se localiza en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. En dichas regiones la frecuencia y capacidad de transporte es mayor al resto del país.



**Figura 16:** Sistema ferroviario de la República Argentina.  
*Fuente:* Ministerio de transporte, trenes de carga.

En definitiva, una industria busca la localización óptima maximizando beneficios mediante un compromiso entre los costos de transporte y de producción mínimos y los precios de ventas máximos posibles para cada localización. Cuando los costos de transporte bajan, son más las ecuaciones que dan a favor de la radicación por el mercado. Por ello ambas opciones de emplazamientos cuenta con amplio y diversos sistema de comunicaciones y acceso a transporte.

#### 5.1.4. Disponibilidad de energía eléctrica:

Argentina con respecto a las fuentes de energía utilizadas en la generación eléctrica a noviembre de 2022, tiene una potencia instalada de 42.909 MW, se configura mayoritariamente a partir de generación térmica (59%), seguido por hidroeléctrica (27%), energías renovables no convencionales (las cuales han incrementado su participación en los últimos años, representando de menos del 2% de la capacidad instalada en 2016, a 11,6%), y nuclear (4%).

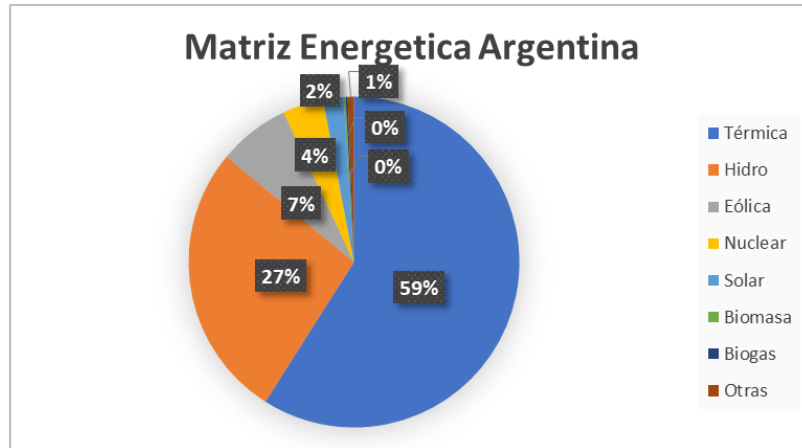


Figura 17: Capacidad instalada de la matriz energética en Argentina.

Fuente: CAMMESA.

En cuanto a la oferta de electricidad por fuente entre enero y diciembre de 2021, del total de 142.616 GWh generados, la fuente térmica representó el 63,2% de la generación (el 82% de esta generación correspondió a los ciclos combinados), seguida por la hidráulica (16,9%), renovable (12,2%), nuclear (7,1%) y, por último, las importaciones de electricidad (que ascendieron a 819 GWh, el 0,6% de la generación total).

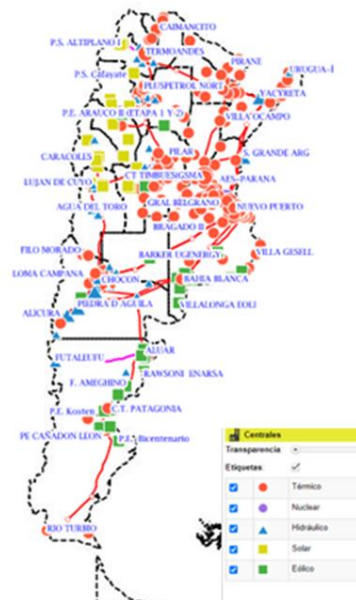


Figura 18: Distribución de centrales energéticas.

Fuente: CAMMESA.



El transporte se realiza en 500 kV, 220 kV y 132 kV a través del SADI, que consiste principalmente en líneas aéreas y subestaciones que cubren aproximadamente el 90% del país. Los agentes de este sector se agrupan en la asociación de transportistas de energía eléctrica de la República Argentina (ATEERA) y la conforman 11 empresas distribuidas geográficamente, con TRANSENER realizando el transporte en extra alta tensión en todo el país.

Existen aproximadamente 600 cooperativas de distribución eléctrica en Argentina, de las cuales 200 están ubicadas en la Provincia de Buenos Aires y un número similar en Córdoba, y las restantes en las demás provincias del país.

A continuación, se muestra un diagrama con la evolución de la participación porcentual de los distintos actores en la demanda total anual:

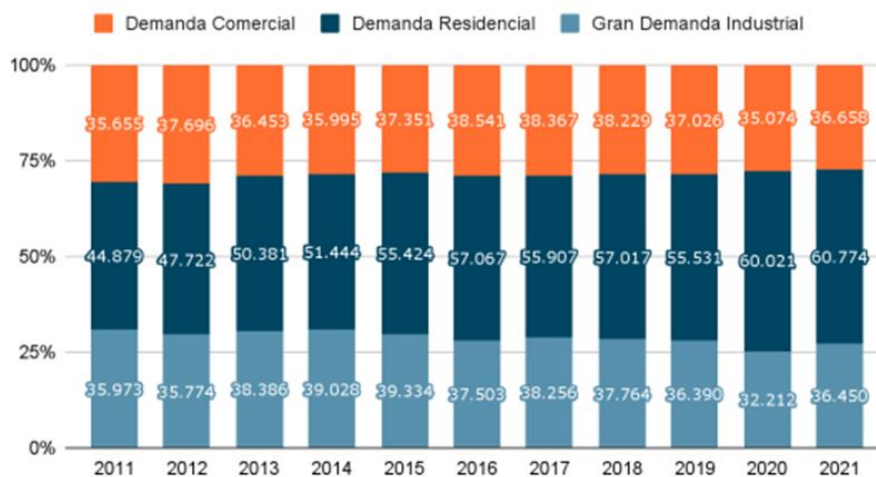


Figura 19: Demanda por sectores.

Fuente: Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos Energéticos sobre la base de CAMMESA.

Por lo tanto, podemos decir que el desarrollo del sector energético a nivel nacional es amplio, presenta disponibilidad y enormes oportunidades para mejorar la resiliencia a los riesgos climáticos, garantizar el acceso y la calidad de las necesidades energéticas para todos los sectores de la economía, muy especialmente a la parte industrial.



### 5.1.5. Disponibilidad de servicios:

En cuanto a la disposición de servicios tanto el Parque Industrial de Bahía Blanca como el complejo petroquímico Campana ofrece a las empresas instaladas una importante infraestructura básica además de un conjunto de servicios de apoyo logístico y administrativo.

Los servicios que ofrece son:

#### Infraestructura básica:

- Drenaje pluvial
- Drenaje sanitario
- Pavimentación y señalización de calles internas
- Control de acceso, de personas y vehículos
- Cloacas
- Calle con cordón cuneta
- Acueductos
- Alumbrado público
- Espacios verdes
- Red de gas
- Red eléctrica
- Agua potable
- Red telefónica
- Antorcha de servicios
- Acceso a internet

#### Servicios de apoyo:

- Oficina de negocios
- Asociación de industriales
- Vigilancia permanente
- Oficinas de administración
- Incubadora de empresas
- Mantenimiento de espacios comunes
- Cámaras de monitoreo





- Duchas y baños públicos.

### 5.1.6. Impuestos:

Respecto a este apartado, podemos evaluar las ventajas yacientes en cada región industrial, cada una regida por su jurisdicción; dichas legislaciones son un agregado que beneficia al momento de determinar la localización de la planta. En el siguiente cuadro se resumen en los dos polos petroquímicos:

Zona	Leyes/Decreto	Beneficio
Complejo petroquímico Campana	Ley provincial N° 10.547	Habilita la excepción de pagos de tasas, derechos e impuestos municipales por diez años.
	Decreto 22.61/16	Formulario de radicación industrial, eximición de tasas de ingresos brutos (Tipo químicas y petroquímicas)
Complejo petroquímico Bahía Blanca	Ley provincial N° 10.547	Habilita la excepción de pagos de tasas, derechos e impuestos municipales por diez años.
	Ordenanza municipal 9.709	Eximición del pago de Derechos de Construcción y Tasa de Habilitación a las empresas en el Parque Industrial.

*Tabla 7: Principales leyes que garantizan el buen desempeño de la actividad industrial.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 5.1.7. Conclusión:

Luego de hacer consideraciones y detallar los factores primarios entre las zonas seleccionadas factibles para instalar la planta, tomando en cuenta de que dicho proyecto debe disponer obligatoriamente un proveedor cercano de amoniaco; se realizó un análisis por puntuaciones ponderadas. Se evalúa las diferentes variables que afectan la implementación de la planta entre Campana y Bahía Blanca. Según la zona analizada, se estima una calificación del valor 1 al 10 acorde al marco teórico propuesto, para luego cerrar en una ponderación final que tenga en relación con la relevancia de cada factor y a su calificación según la zona.





Factor	ponderación	calificación	Bahía Blanca (Bs As.)	Calificación	Campana (Bs As.)
Materia Prima	40	8	320	10	400
Servicios Auxiliares	5	10	50	10	50
Mano de Obra	10	5	50	5	50
cercanía al mercado	20	8	160	9	180
Impuestos	10	8	80	8	80
Transporte	15	9	135	8	120
	<b>100</b>		<b>795</b>		<b>880</b>

*Tabla 8: Tabla de ponderación.  
Fuente: Elaboración propia.*

Mediante este análisis se concluye que la alternativa más conveniente resulta ser la instalación de la planta productora de ácido nítrico es en el complejo petroquímico Campana, afianzándonos principalmente en la disponibilidad de amoníaco ( $NH_3$ ) de la empresa Bunge por unos 10 años. Esto con la finalidad de cubrir las importaciones de nitrato de amonio que están en un crecimiento anual del 4%.

## 5.2. Micro localización

A tan solo 80 kilómetros de la ciudad de Buenos Aires, Campana con una superficie de 577 kilómetros cuadrados y más de 100.000 habitantes tiene accesos fluviales, ferroviarios y viales que le permiten interconectarse con los mercados nacionales e internacionales. Situada a la vera del Río Paraná, Campana es una ciudad puerto. Más de 10 empresas portuarias operan sobre el río Paraná de las Palmas. Terminales de diversas empresas exportan cítricos, combustibles, químicos, tubos de acero y otros productos a través de la cuenca del Río Paraná. Además de la vía fluvial, Campana se caracteriza por una excelente accesibilidad interurbana y regional. La Ruta Nacional 9 la vincula con Buenos Aires, Rosario, Córdoba y el norte del país. La Ruta Provincial 6 la conecta a las regiones Oeste y Noroeste del país a través de las rutas Nacionales 5, 7 y 8; y con el Sur, a través de la Ruta Nacional 3.



Este geoposicionamiento facilita una actividad industrial pujante y competitiva a nivel internacional, donde empresas líderes en sus rubros desarrollan su actividad. Más de 160 empresas industriales operan en el partido de Campana.

La micro localización es la determinación del punto preciso donde se montará la industria dentro de la región, y en donde se hará la distribución de las instalaciones para el terreno elegido. Para ello, nuestra planta productora de ácido nítrico se ubicará en el complejo petroquímico Campana, específicamente en las cercanías de la planta Bunge. El parque industrial ofrece sus servicios y aptitudes para asentar la planta en cuestión. La accesibilidad al predio es muy buena, en principio por encontrarse localizado sobre una vía de circulación primaria, como lo es la ruta 9 y la parcela de la empresa Bunge se encuentra sobre la calle principal del parque.

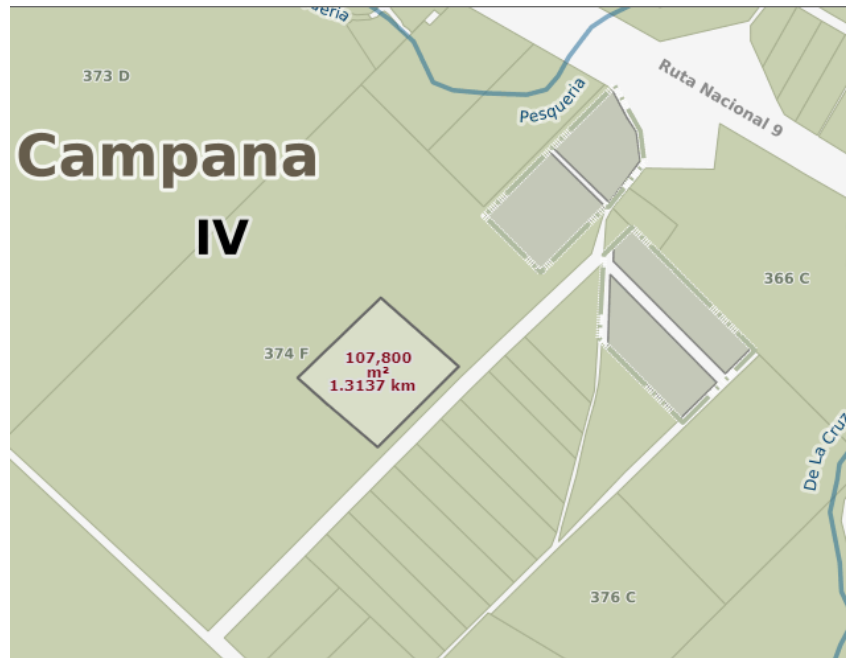


**Figura 20:** Vista satelital y medios de llegada del complejo petroquímico Campana.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Google Maps.



**Figura 21:** Vista interna del complejo petroquímico Campana.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de Google Maps.



**Figura 22:** Lote seleccionado.

**Fuente:** Red Carto Arba.

El predio seleccionado es de 107.800 m<sup>2</sup>, según datos obtenidos de la red Carto Arba, comprende parte de la parcela 374 F, perteneciente a la circunscripción 4 del partido de Campana (Complejo petroquímico Campana).

Este predio será compartido con la empresa productora de nitrato de amonio, dividiendo el mismo por la mitad de manera transversal para que ambas plantas tengan acceso a la calle principal. Por lo tanto, el terreno donde se realizará el proyecto tiene un área superficial de 53.900 m<sup>2</sup> y sus dimensiones serán de 245 metros de largo por 220 metros de ancho.

### 5.3. Estudios de clima

El estudio de clima se centrará en la zona seleccionada para la instalación del proyecto. Consideramos que para esta región existen tres factores climáticos de importancia: vientos, precipitaciones y temperaturas. De este modo, se continúa con un análisis detallado de cada variable.





### 5.3.1. Vientos:

Para analizar esta sección tratamos el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora. La velocidad promedio del viento por hora en Campana tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 5 meses aproximadamente, del 12 de julio al 20 de diciembre, con velocidades promedio del viento de más de 13,6 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Campana es septiembre, con vientos a una velocidad promedio de 14,8 kilómetros por hora.

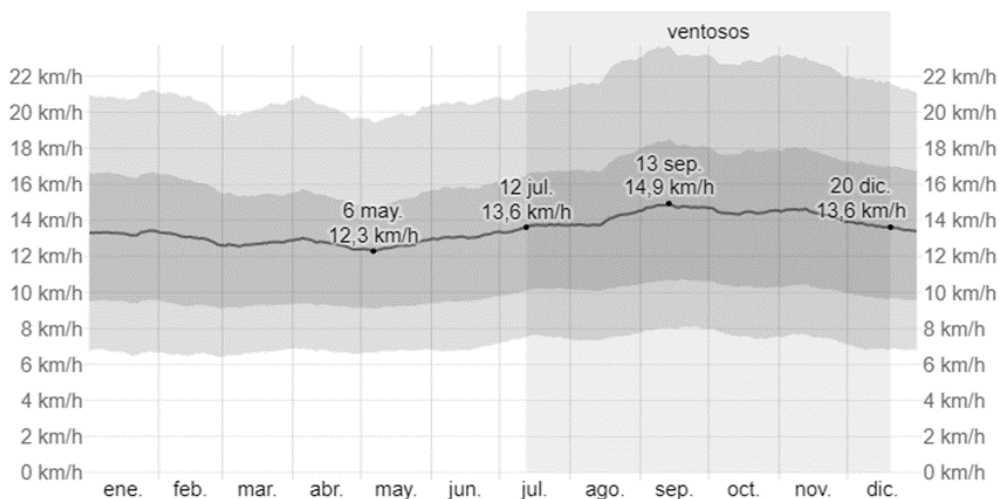


Figura 23: Velocidad promedio del viento por hora.

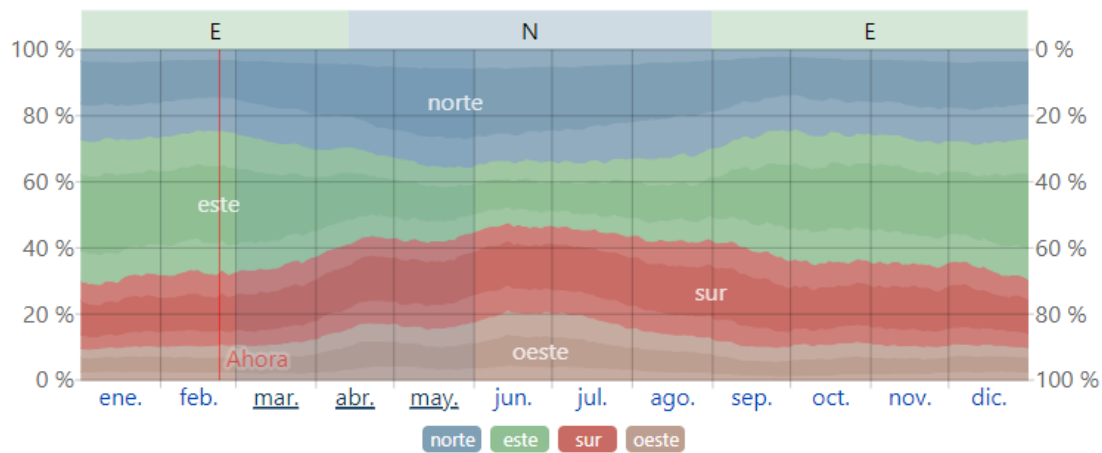
Fuente: Weatherspark.

Por lo tanto, las estructuras deben soportar equipos altos de proceso; siguiendo lineamientos en base a estudios de los vientos en la zona a diferentes alturas. No obstante, prevenir cualquier riesgo en estos casos excepcionales, es vital contar con la evaluación de un equipo de ingeniería civil. Se deben preparar las unidades y los anclajes para que no corran riesgos de derrumbe.

La velocidad máxima registrada en la localidad de Campana fue de 45 km/h en el año 2023 en el mes de mayo 2023.



En el siguiente gráfico se puede apreciar la distribución de probabilidad del viento durante el año en la región de Campana:



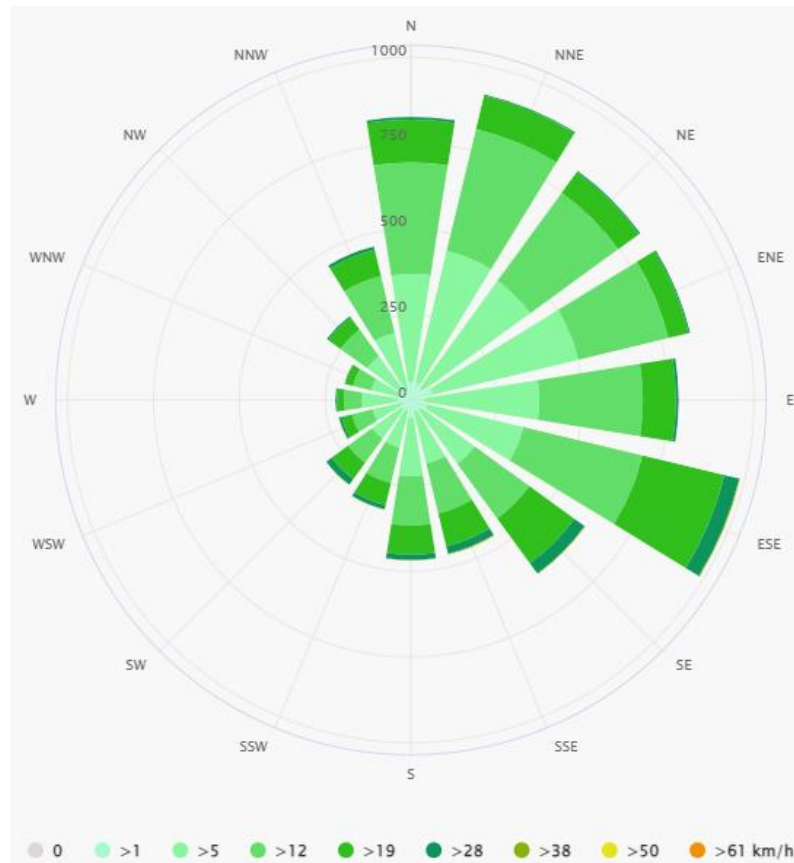
El porcentaje de horas en las que la dirección media del viento viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 1,6 km/h. Las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

**Figura 24:** Probabilidad de viento en la localidad de Campana.

**Fuente:** Weatherspark.

A partir de este gráfico podemos destacar que la dirección del viento en la localidad de Campana es mayoritariamente, durante el transcurso del año, proveniente de las direcciones Este y Norte. Si combinamos estos datos con los de velocidad del viento podemos desarrollar la rosa de los vientos para la región.





**Figura 25:** Rosa de los vientos de la localidad de Campana, según datos históricos.

**Fuente:** Meteoblue.

Nuevamente podemos corroborar que los vientos predominan desde la dirección norte y este. De esta manera confirmamos que la mejor ubicación para el proyecto sería hacia el este de Bunge Argentina S.A., de esta manera evitaríamos la mayor parte del tiempo los gases o vapores que puedan salir de esta.

### 5.3.2. Temperatura:

La temporada calurosa dura 3 y 5 meses, del 28 de noviembre al 11 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 27 °C. El mes más cálido del año en Campana es enero, con una temperatura máxima promedio de 30 °C y mínima de 19 °C. Cabe destacar que para el último año (2023) se registraron



temperaturas superiores a las normales, llegando hasta una temperatura máxima de 40°C, con una duración de 3 a 6 días.

El mes más frío del año en Campana es julio, con una temperatura mínima promedio de 6 °C y máxima de 15 °C.

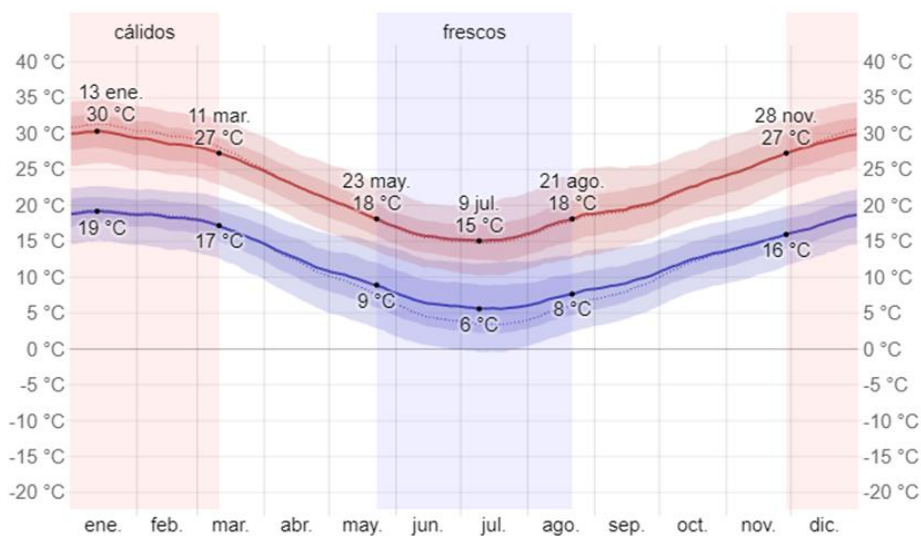


Figura 26: Temperatura máxima y mínima promedio.

Fuente: Weatherspark.

Valiéndonos de estos datos de temperaturas mínimas y máximas registradas; son datos que se deben tener en cuenta ya que influyen en la temperatura de algunos servicios auxiliares de proceso, un ejemplo el agua de enfriamiento, de modo que se logre un mejor resultado en la refrigeración del proceso donde participe. En invierno hay que reducir los caudales y en verano hay que aumentar los mismos para mantener con la mínima variación posible, las temperaturas de las corrientes del proceso.

### 5.3.3. Precipitaciones:

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrada alrededor de cada día del año. Campana tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación. Lluvia durante el año en Campana. El mes con más lluvia en Campana es febrero, con un promedio de



120 milímetros de lluvia, mientras que el menor es en junio, con un promedio de 46 milímetros de lluvia.

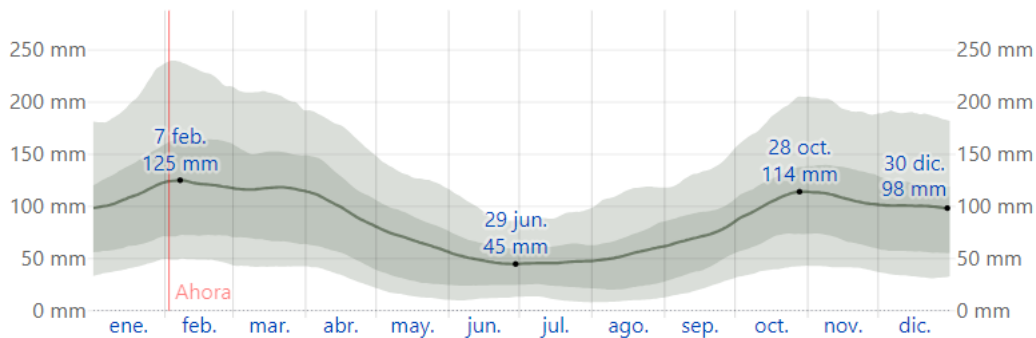


Figura 27: Precipitación máxima en los últimos 5 años en Campana

Fuente: Weather Spark/precipitación Campana.

Se puede observar que el registro de mayor precipitación en los últimos 5 años en la localidad de campana es de 125 mm en el mes de febrero del año 2022.

#### 5.4. Estudios de requisitos legales

Reglamentación Vigente	Marco de Referencia	Breve Fundamento
Ley N.º 21.836	Constitución Nacional	Convenio sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural
Ley N.º 23.724	Constitución Nacional	Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono
Ley N.º 23.778	Constitución Nacional	Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agotan la capa de ozono
Ley N.º 23.922	Constitución Nacional	Convenio sobre el control de los movimientos transfronterizos de los



		desechos peligrosos y su eliminación, suscripto en Basilea, Suiza
Ley N° 25.916/04: Ley de Gestión de Residuos Domiciliarios	Constitución Nacional	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas
Artículo 41	Constitución Nacional	Fomenta el desarrollo sustentable en todo el país, realizando actividades en pos de no comprometer las necesidades sociales futuras. Prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos momentánea o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos
Artículo 75, Inciso 19	Constitución Nacional	“Proveer lo conducente al desarrollo humano, al progreso económico con justicia social...”
Artículo 124	Constitución Nacional	Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio
Artículo 42	Constitución Nacional	“...procedimientos eficaces para la prevención y solución de conflictos, y los marcos regulatorios de los servicios públicos de competencia nacional.”



Ley N.º 20.284/73	Constitución Nacional	Prevención y control de la contaminación atmosférica. Normas de Calidad de Aire y de los Niveles Máximos de Emisión. Fuentes fijas. Plan de Prevención de Situaciones Críticas
Ley N.º 24.295	Constitución Nacional	Aprobación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático global
Ley N.º 24.292	Constitución Nacional	Aprueba el convenio internacional sobre cooperación, preparación, y lucha contra la contaminación por hidrocarburos
Ley N.º 25.438	Constitución Nacional	Acuerdo marco sobre medio ambiente del Mercosur, suscrito en Asunción
Ley N.º 25.841	Constitución Nacional	Acuerdo marco sobre medio ambiente del Mercosur, suscrito en Asunción
Ley N.º 24.375: "Convenio de diversidad Biológica"	Constitución Nacional	Establece nexos entre las medidas tradicionales de conservación y la meta económica de utilizar de forma sostenible los recursos biológicos, incluyendo la expansión acelerada de las "biotecnologías"
Ley N.º 13.660/49	Constitución Nacional	Ley de Seguridad de Instalaciones de Combustibles



Ley N.º 25.675/02: "Ley de Política Ambiental Nacional", o comúnmente conocida como Ley General del Ambiente	Constitución Nacional	Fija 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.  Principios de la política ambiental. Obligación del Seguro Ambiental.
Ley N.º 25.612/02 – Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio	Constitución Nacional	Establece principios de la mayor importancia respecto de la gestión integral de los residuos industriales y de actividades de servicio
Ley N.º 24.051/91 – Ley de residuos peligrosos	Constitución Nacional	Regula la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Define las Categorías sometidas a control, lista de características peligrosas y operaciones de eliminación
Ley Nacional de Tránsito N.º 24.449/94 y su Decreto Reglamentario N.º 779/95	Constitución Nacional	Regula el uso de la vía pública, y se aplican a la circulación de personas, animales y vehículos terrestres en la vía pública, y a las actividades vinculadas con el transporte, los vehículos, las personas, las concesiones viales, la estructura vial y el medio ambiente, en cuanto fueren con causa del tránsito. Quedan excluidos los ferrocarriles. Será ámbito de aplicación la jurisdicción federal.





		<p>Podrán adherir a la presente ley los gobiernos provinciales y municipales.</p> <p>El decreto establece la reglamentación del Art. 33° de la Ley Nacional N.º 24.449</p>
Resolución Secretaría de Obras Públicas y Transporte N.º 195/97	Constitución Nacional	<p>Incorpora normas técnicas al Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera, aprobado por Decreto N.º 779/95</p>
Ley N.º 25.831/03 – Régimen de libre acceso a la información pública ambiental	Constitución Nacional	<p>El derecho a la información ambiental y su difusión surge del segundo párrafo del Art. 41 de la CN</p>
Ley N.º 22.428	Constitución Nacional	<p>Determina los recaudos del suelo como recurso</p>
Ley N.º 20.248	Constitución Nacional	<p>Determina los recaudos del aire como recurso</p>
Ley N.º 25.688/02: Ley de Preservación de Aguas	Constitución Nacional	<p>Establece 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</p>
Resolución N.º 785/05: Guía Metodológica para Programación y	Constitución Nacional	<p>Define los requerimientos mínimos y establece los criterios metodológicos a seguir para la programación y ejecución de Inspecciones Ambientales</p>



Control de Auditorías Ambientales		de Tanques Aéreos de Almacenamiento de Hidrocarburos y sus Derivados (TAAH), conforme lo dispuesto por la Resolución S.E. N° 785/2005 que establece el “Programa Nacional de Control de pérdidas de tanques aéreos de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados”
Resolución N.º 905/06	Constitución Nacional	Aprueba las normas técnicas referidas a los tanques cisterna, contenedores cisternas e iso- contenedores de más de tres metros cúbicos para el transporte por la vía pública de mercancías y residuos peligrosos.  Crea el registro nacional de operadores de inspección de cisternas
Resolución N° 515/06	Constitución Nacional	Crea programa para la gestión ambiental de sitios contaminados (PROSICO)
Artículo 28 (1994)	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Incorpora las bases del desarrollo sustentable en la provincia de Buenos Aires.
Ley Provincial N.º 11.723/95 – Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y Resolución. N.º 538/99	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



		<p>biológica. Instituye el procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental.</p> <p>Inculca la responsabilidad a los municipios en la gestión</p>
<p>Ley de protección de las fuentes de provisión del agua y de la atmósfera N.º 5.965/58 y su Decreto Reglamentario N.º 3.395/96</p>	<p>Constitución de la Provincia de Buenos Aires</p>	<p>Ley de protección a las fuentes de provisión y de los cuerpos receptores de agua y de la atmósfera.</p> <p>El decreto establece por primera vez los niveles guía de emisión de efluentes líquidos cloacales e industriales de acuerdo con las características del cuerpo receptor de las descargas. También establece los Instructivos y especificaciones técnicas para efluentes gaseosos</p>
<p>Resolución N° 2.145/01</p>	<p>Constitución de la Provincia de Buenos Aires</p>	<p>Perfecciona la reglamentación de la Ley N.º 5.965/58.</p> <p>Establece las pautas para la caracterización de los efluentes gaseosos</p>
<p>Ley Provincial N.º 8912/77 de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo</p>	<p>Constitución de la Provincia de Buenos Aires</p>	<p>Rige el ordenamiento territorial de la provincia y uso de suelo, en todo el territorio provincial</p>
<p>Ley N.º 12.257 – Código de Aguas</p>	<p>Constitución de la Provincia de Buenos Aires</p>	<p>Establece el régimen de protección, conservación y manejo de los recursos hídricos de la provincia</p>



Ley N° 13.757/07	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Estructura Orgánica de la Secretaría de Política Ambiental
Ley de Residuos Patogénicos N° 11.347/92 y su Decreto Reglamentario N.º 450/94	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece los procedimientos para el tratamiento, manipuleo, transporte y disposición final de Residuos Patogénicos.  El decreto reglamenta la Ley N.º 11.347/92 de Residuos Patogénicos
Ley N.º 14.440/2013 – Ley de Radicación Industrial y Decreto Reglamentario 1.741/1996	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece junto con su decreto reglamentario todas las pautas que deben cumplir los establecimientos industriales en la provincia, para su proyecto, instalación, operación y abandono. También trata sobre las condiciones que deberá respetar, de acuerdo con el nivel de complejidad ambiental que posea.  El decreto establece los pasos a los efectos de obtener el Certificado de Aptitud Ambiental. También fija los procedimientos para la determinación del Nivel de Complejidad Ambiental, la Evaluación de Impacto Ambiental de establecimientos Industriales, y los procedimientos para obtener el Certificado de Aptitud Ambiental
Decreto N.º 531/19	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Deroga el Decreto Reglamentario N.º 1.741/96 de la Ley N.º 11.459



Ley de Residuos Especiales N.º 11.720/95 y su Decreto Reglamentario 806/97	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Regula la generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos especiales en el territorio de la provincia de Buenos Aires
Ley de gestión integral de residuos sólidos urbanos N.º 13.592/06 y su Decreto Reglamentario N.º 1.215/10	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	La ley, junto con el decreto correspondiente, aborda un plan destinado a la reducción de residuos dispuestos en sitios finales de disposición
Decreto N.º 3.395/96 más Resoluciones SPA N.º 276/96, N.º 242/97, N.º 167/97, N.º 2.145/02, 937/02	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece el régimen aplicable a los establecimientos industriales generadores de emisiones gaseosas
Resolución N.º 159/96 de la Provincia de Buenos Aires	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Aprueba el método de medición y clasificación de ruidos molestos al vecindario producidos por la actividad industrial, adoptados por la Norma IRAM N.º 4.062:2001
Resolución N.º 336/03	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Última modificación de los niveles de emisión de efluentes líquidos. Modifica la Resolución 389/98. Incorpora ramas de actividades a las que no se les permite disponer sus efluentes líquidos residuales e industriales a pozos absorbentes. Modifica parámetros de descarga admisibles, agrega el listado de pesticidas organoclorados y



		organofosforados que figuran en la Ley Provincial N° 11.720
Resolución para residuos tóxicos N°1.532/06	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Listado de residuos tóxicos cuya prohibición de ingreso al territorio de la Provincia se halla consagrada en el art. N° 28 de la CN
Ley de Pasivos Ambientales N° 14.343/11	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	La ley crea el Registro de Pasivos Ambientales. Regula la identificación de los mismos y obliga a recomponer los sitios contaminados
Resolución N° 342/07	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Transporte de Sustancias Químicas. Sistema de Fiscalización. Derogase Resolución 877/2006
Ley N° 14.370/12	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Registro Ambiental de establecimientos industriales de la Provincia de Buenos Aires
Resolución OPDS N° 95/14	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	El OPDS ha reglamentado, en el marco de la Ley 14.343 de Pasivos Ambientales, el proceso técnico administrativo para la evaluación y caracterización de sitios contaminados, la aprobación del plan de remediación, la declaración de sitio remediado, y el programa de monitoreo posterior para seguimiento
Ley 11.459/ 93 Decreto 1.741/96 Decreto 890/98 Ley 12.677/01	Marco Normativo del Partido de Campana	Régimen de parques industriales, radicación industrial





Decreto 2.181/01 Ley 13.744/07		
Ordenanza 5581/10 Ordenanza 5698/11 Ordenanza 5762/11 Ordenanza 5828/11 Ordenanza 6209/14 Ordenanza 6374/15 Ordenanza 6507/16 Ordenanza 6510/16 Ordenanza 6660/17 Ordenanza 6804/18	Marco Normativo del Partido de Campana	Ordenanzas Ambientales (residuos/ efluentes/ emanaciones)

**Tabla 9:** Requisitos Legales.

*Fuente:* Elaboración propia a partir de datos de la constitución nacional.

## 5.5. Estudios de suelos

La zona de proyecto se encuentra emplazada en la denominada pampa ondulada y se caracteriza por un relieve levemente ondulado drenado por arroyos y cursos de agua bien definidos de diseño principal sub-dendrítico a paralelo (Pereyra, 2001).

Para el estudio de suelos en la zona de la planta de estudio: Se realiza los siguientes ensayos.

### En el terreno:

- Ensayo normal de penetración: valoración cuantitativa de la compacidad relativa de los diferentes estratos atravesados, mediante la determinación del número de golpes N necesario para una hincada de 30 cm del saca muestras normalizado de Terzaghi, en un suelo no alterado por el avance de la perforación, con una energía de impacto de 49 kgm. (ASTM D 1586).
- Recuperación de muestras representativas del suelo: su identificación y acondicionamiento en recipientes herméticos, para conservar inalterables sus condiciones naturales de estructura y humedad.



- Limitación de la secuencia y espesor de los diferentes estratos por reconocimiento tacto visual de los suelos extraídos.
- Obtención de muestras inalteradas con tubos de pared delgada de tipo shelby.
- Determinación de la posición del nivel freático.
- Mediciones de resistividad del terreno por el método de Wenner.
- Nivelación de las bocas de los sondeos referida a la intersección del eje de calle.
- Excavación a una profundidad tal que todos los servicios y estructuras enterradas fueran descubiertas e identificadas y luego se continúa con la perforación correspondiente.

En el laboratorio:

- Contenido natural de humedad, referido a peso del suelo secado en estufa a 110 °C (ASTMD 2216)
- Determinación de la fracción menor de 74 micrómetro (limo+arcilla) por lavado sobre el tamiz estándar n-200 (ASTMD 1140)
- Clasificación de los suelos, por textura y plasticidad, conforme el sistema unificado de A. Casagrande (ASTMD 2487)
- Observación macroscópica de las muestras: color, textura, concreciones calcáreas, materia orgánica, óxidos, entre otros.
- Compresión triaxial por etapas múltiples: medición de los parámetros de corte del suelo: frotamiento interno y cohesión, en condiciones de drenaje impedido.
- Peso de la unidad de volumen en estado natural.
- Ensayo de compactación proctor standard (AASHOT 99)
- Ensayos de valor soporte, VSR, Sobre probetas moldeadas estáticamente a la densidad y humedad obtenidas en el ensayo proctor estándar.

Sobre muestras del agua freática y suelos de diferentes profundidades:

- Análisis químico: PH, sales solubles totales, cloruros, sulfatos e hidrocarburos.



Por lo tanto, el perfil del terreno cuenta con un suelo conformado por limos y arcillas, y presenta una resistencia media a baja.

Es conveniente diseñar las fundaciones teniendo en cuenta la cargas, la cual deben llegar al macizo del suelo más duro, de esta manera para los equipos de mayor porte se deciden colocar fundaciones con pilotes que transmiten las cargas al suelo más resistente, en el caso de equipos pequeños se toman bases aisladas o fundaciones superficiales.

## 5.6. Conclusiones

En base a los estudios de suelo, clima y de requisitos legales realizado tenemos:

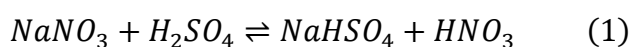
- No hay impedimento legal para la radicación de la unidad en la zona seleccionada
- El estudio de clima permite definir con detalle el tipo de estructura civil que requerirá la implementación de la planta. En este caso se cuentan con, principalmente, datos de precipitaciones y vientos que determinan el tamaño de los desagües, el anclaje que van a requerir, entre otros aspectos.
- El estudio de suelos determina el tipo de relleno requerido en la zona de actividades de la planta, el tipo de fundaciones a elegir; en este caso la presencia de pilotes hasta la zona dura del suelo.

La ubicación seleccionada facilita la logística de movimiento de productos y de servicios auxiliares, en este caso fue en el complejo petroquímico campana en las adyacencias de la empresa Bunge Argentina S.A.

## 6. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

### 6.1. Descripción de los distintos procesos posibles

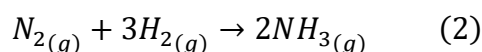
A partir de sales de nitratos: El ácido nítrico es un ácido fuerte que se encuentra en la naturaleza sólo en forma de sales de nitrato, sal blanca que contiene 34,0 - 60,0 %p/p de  $\text{NaNO}_3$  y el resto de  $\text{KNO}_3$  y  $\text{NaCl}$ . El  $\text{NaNO}_3$  se extrae y se procesa con ácido sulfúrico para obtener  $\text{HNO}_3$ .





Cuando se empezó la producción de ácido nítrico a gran escala se pensaba que el nitrato de sodio se agotaría en algún punto, por lo que se desarrollaron varios métodos para la sustitución de nitrógeno de los nitratos naturales.

Producción de ácido nítrico a partir de amoníaco: El amoníaco producido a partir de nitrógeno e hidrógeno mediante el proceso Haber - Bosch como materia prima para la producción de ácido nítrico es el proceso que hasta hoy en día se utiliza. Se sintetiza a partir de nitrógeno e hidrógeno, mediante la reacción.



La mejor fuente disponible de nitrógeno es el aire atmosférico, mientras que el hidrógeno requerido puede producirse a partir de varias materias primas, principalmente de combustibles fósiles. Dependiendo del tipo de combustible fósil, se aplican principalmente dos métodos diferentes para producir el hidrógeno para la producción de amoníaco: reformado con vapor u oxidación parcial.

### 6.1.1. Selección del proceso óptimo

El método actual para obtener ácido nítrico, y casi invariablemente el más económico, es la industrialización de la reacción de oxidación del amoníaco con aire u oxígeno. Este método ha llegado a ser económico a causa del descenso de precio del amoníaco y de la mayor economía de las fábricas en comparación con los gastos de los procedimientos antiguos.

Proceso seleccionado: Método de Ostwald: El proceso que se seleccionara para la obtención de ácido nítrico es el proceso de Ostwald patentado en 1902.

La producción industrial de ácido nítrico se desarrolla por oxidación catalítica del  $NH_3$  a alta temperatura con exceso de aire. El proceso moderno del ácido nítrico procede esencialmente en tres etapas.

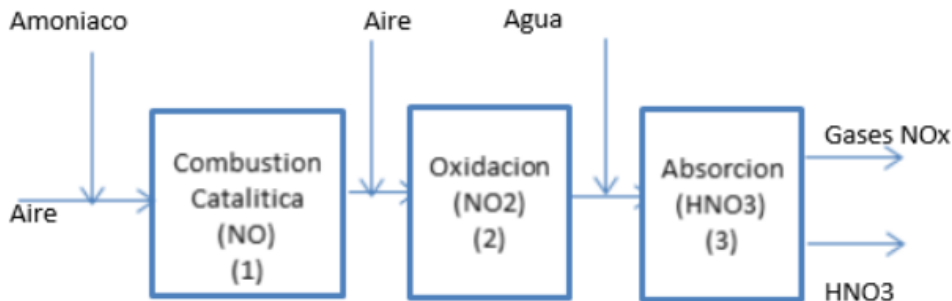
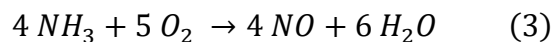


Figura 28: Esquema de bloques del proceso.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recolectada.

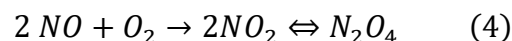
1. La oxidación catalítica del amoníaco con el oxígeno atmosférico para producir monóxido de nitrógeno:



$$\Delta H = -904 \text{ kJ/mol Reacción (1)}$$

Con un catalizador adecuado, el 93 - 98 % del amoníaco alimentado se convierte en monóxido de nitrógeno. El resto participa en reacciones secundarias no deseadas que dan lugar a monóxido de dinitrógeno

2. Oxidación del producto monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno:



$$\text{Reacción (2)}$$

3. Absorción de los óxidos de nitrógeno para producir ácido nítrico:



$$\text{Reacción (3)}$$

De acuerdo con cómo se desarrollen cada una de las etapas será el tipo de tecnología que la caracteriza.

Existen dos tipos de procesos que se han desarrollado para la obtención del ácido nítrico. Entre ellas encontramos un proceso que se desarrolla a presión



única la cual utiliza la misma presión de operación tanto en la oxidación de  $\text{NH}_3$  como en la absorción del  $\text{NO}_2$ . Entre estas se encuentran los procesos que se desarrollan a presión atmosférica con presiones comprendidas entre 1,02 y 2,24  $\text{kg/cm}^2$ , media presión 2,35 a 6,11  $\text{kg/cm}^2$  y alta presión 7,14 a 11,22  $\text{kg/cm}^2$ .

Otra tecnología que se utiliza es la de presión dual, la cual utiliza dos presiones de operación, media presión para la oxidación del  $\text{NH}_3$  de 4,08 a 6,11  $\text{kg/cm}^2$  y alta presión en la absorción de  $\text{NO}_2$  en el scrubber 7,14 a 14,28  $\text{kg/cm}^2$ .

En el proceso de Ostwald, en la primera etapa, el amoníaco licuado se vaporiza y se precalienta antes de mezclarse con aire precalentado. La mezcla que suele contener entre un 10,5 y un 12 por ciento de amoníaco, se hace pasar a través de una almohadilla de gases de aleación de Pt-Rh en un convertidor que se encuentra a una temperatura que depende de la tecnología empleada. La vida útil de los catalizadores varía de 1 a 3 años según el sistema de combustión. El óxido nítrico se forma como resultado de una reacción extremadamente rápida, y altamente exotérmica en la superficie del platino, según la ecuación general (1).

El óxido nítrico que se produce en la gasa de platino se oxida aún más mediante aire secundario que reacciona en la fase gaseosa según la ecuación general (2). La reacción comienza cuando la corriente de gases es enfriada favoreciendo la reacción a bajas temperaturas y altas presiones.

En la última etapa el  $\text{NO}_2$  se enfría a través de una serie de intercambiadores, y se forma  $\text{HNO}_3$  por la condensación del agua producida en la etapa de oxidación, con una concentración aproximadamente al 54 %, esta corriente se envía a un scrubber y se absorbe en agua a contracorriente con la formación de ácido nítrico según la ecuación simplificada (3).

La cual procede a tasas mayores y con mayores eficiencias, a presiones elevadas y bajas temperaturas.

Por el tope de la torre de absorción salen los  $\text{NO}_x$  que no fueron absorbidos utilizándose para producir energía a través de una turbina de expansión y por el fondo sale el  $\text{HNO}_3$  disuelto con  $\text{NO}_x$ , esta corriente es enviada a una torre de blanqueo para eliminar del ácido nítrico los contaminantes de  $\text{NO}_x$  a través de





una corriente de aire. Los gases removidos son recirculados a la columna de absorción.

## 6.2. Patentes

### Proceso de presión única o mono presión:

**Licencia: C y I Girdler.**

**Inventor: C y I Girdler**

En los procesos de mono presión (presión única) la oxidación de amoníaco en el reactor y la absorción de NO<sub>x</sub> en el scrubber tienen lugar a la misma presión de trabajo.

Proceso de baja presión: Las condiciones de operación en el reactor son a una temperatura entre 840 y 850 °C y la presión en el absorbedor entre 1,02 y 1,22 kg/cm<sup>2</sup>. La absorción en el scrubber tiene baja eficiencia, de acuerdo con la baja presión que se utiliza en el proceso, por lo que se utilizan varios equipos en serie para aumentar su eficiencia.

Las conversiones en el catalizador son entre un 97 y 98% y la pérdida de catalizador debido a la presión y temperatura son alrededor de 50 mg por tonelada producida al 60 % p/p, en estas condiciones de operación, el catalizador se cambia cada 3 años.

Los periodos de funcionamiento son más largos entre paradas para el mantenimiento de las gasas, pero estos convertidores son más voluminosos y caros.

En la actualidad, muy pocas instalaciones utilizan procesos de baja presión para la combustión y la absorción debido a que estas tienen bajo rendimiento. Las plantas habituales previas con combustión a presión normal y absorción a media presión se encuentran hoy en día superadas por los procedimientos mono-presión y de presión dual más económicos.

Proceso de media presión: En el proceso de media presión la corriente de aire suministrado por un compresor (presión comprendida entre 2,35 y 6,11



kg/cm<sup>2</sup>) se precalienta antes de ser mezclado en un mixer con el amoníaco. La concentración a la que ingresa el amoníaco al reactor es entre un 10 a 13,5 %v/v y trabajan a una temperatura de gasa entre 845 a 880°C experimentando generalmente pérdidas de platino de 85 a 125 mg por tonelada de ácido nítrico producido. Esto hace que la malla de platino sea cambiada cada 2 años. El aumento en la presión disminuye la velocidad de oxidación del amoníaco en el reactor por lo que el rendimiento es menor, aproximadamente 96%. En el absorbedor, a la presión de entre 2,35 y 6,11 kg/cm<sup>2</sup>, se produce un mayor rendimiento de absorción de NO<sub>2</sub> y por lo tanto favorece al aumento en la concentración de HNO<sub>3</sub>. El gas NO<sub>x</sub> que no se absorbió intercambia calor del aire y del gas nitroso en tres intercambiadores de calor, luego este es enviado al tratamiento catalítico de gases de escape de BASF, donde aproximadamente el 60% vol. del NO<sub>x</sub> de los gases de escape reacciona selectivamente con amoníaco.

El gas de cola caliente que contiene >200 ppm de NO<sub>x</sub> va a una turbina de expansión del gas de cola, en la que se produce energía mecánica para accionar el compresor de aire.

Esta energía recuperada es consumida por el compresor de aire. Y por último este gas de cola se envía a la chimenea.

La energía utilizada por este proceso ronda alrededor de 5,5 kwh/Tn.

El ácido que sale del absorbedor se lo envía a un equipo blanqueador para remover los NO<sub>x</sub> no disueltos a través de una corriente de aire. Una vez removidos estos gases se los recircula a la torre de absorción.

Proceso de alta presión: En el proceso de alta presión, el aire suministrado por el compresor de dos etapas es entre 7,14 a 11,22 kg/cm<sup>2</sup>. El aire se precalienta antes de ser mezclado en un mixer para ser enviados al reactor. La corriente NH<sub>3</sub>-aire que ingresa al reactor contiene entre 10,3 y 11,5% v/v de NH<sub>3</sub> y la misma reacciona con O<sub>2</sub> atmosférico sobre el catalizador de Pt-Rh a una temperatura de aproximadamente 900 - 950°C. Con estas condiciones de proceso, la pérdida de Pt es de entre 0,25 y 0,30 gr/Tn HNO<sub>3</sub> al 60,0% p/p, y el catalizador debe ser reemplazado cada año. Una vez ocurrida la reacción, los gases NO<sub>2</sub> se dirigen hacia una serie de intercambiadores de calor para



enfriarlos antes de que ingresen al scrubber. En el recorrido los gases se van condensando y una parte es convertida en ácido producto del vapor de agua presente por la reacción.

La corriente de gases calientes que salen del reactor es aprovechada para precalentar el aire para la oxidación, y generar energía para el compresor.

De acuerdo con estas condiciones de operación, el aumento de la presión favorece la absorción en el scrubber, pudiéndose obtener una corriente gaseosa de salida con composición de  $\text{NO}_x$  menor a 200 ppm. Desde el scrubber el ácido es enviado a un blanqueador para remover los  $\text{NO}_x$  no absorbidos y por el fondo sale el ácido al 60% p/p.

Los gases  $\text{NO}_x$  se recirculan hasta la torre de absorción y los que no se absorben se utilizan para impulsar una turbina y producir energía, este paso produce un 70% de la energía necesaria para accionar.

El proceso utiliza aproximadamente 8 kWh/Tn.

El gas de cola sale de la turbina a aprox. 135 °C y se es conducido a un precalentador de gas de cola, donde se enfría a aprox. 90 °C antes de ser descargado a través de la chimenea.

#### **Proceso de doble presión:**

**Licencia: Uhde GmbH Friedrich-Uhde-strasse**

**Inventor: Maurer, Rainer; Szonn, Erich; Seehars, Wolfgang y Ietze, Lotha**

Un procedimiento para la fabricación de ácido nítrico según el procedimiento de presión mixta, en la cual la combustión del amoníaco es empleada a una primera presión baja, mediante aire comprimido de proceso. El vapor nitroso formado por la combustión es absorbido por agua, al menos parcialmente, a una segunda presión comparativamente superior a la primera, con lo que se genera el ácido nítrico. El gas residual no absorbido, con fines de recuperación del trabajo de compresión, se expande en un descompresor del gas residual, desde la segunda presión a la presión ambiental.



En este proceso se logra una conversión global 96,5 % en la etapa de oxidación, cuanto menor sea la presión mayor será la conversión de  $\text{NH}_3$  a  $\text{NO}$ , y en la torre de absorción, cuanto mayor sea la presión de operación mayor su rendimiento de absorción.

La presión de absorción es superior a la de combustión. Las instalaciones modernas de doble presión se caracterizan por una combustión a 4,08 – 6,11  $\text{kg/cm}^2$  y una absorción a 9,18 – 14,28  $\text{kg/cm}^2$ .

Los convertidores de media presión con temperaturas de gasa de 845 a 880°C experimentan generalmente pérdidas de platino de 85 a 125 mg/tonelada de ácido nítrico producido.

El oxígeno necesario para la transformación del amoníaco empleado como materia prima, se alimenta como oxígeno atmosférico. Para ello el aire de proceso se comprime y se lleva a una presión que está adaptada tanto a la reacción de oxidación, como también a la reacción de absorción.

Este proceso utiliza alrededor de 5,2 kWh/Tn. La energía para la compresión del aire se obtiene por una parte mediante expansión del gas residual que sale de la absorción, a la presión ambiental, y por otra parte mediante la utilización de los calores liberados en las transformaciones. A los gases que entran al absorbedor se les aumenta la presión entre 7,14 y 14,28  $\text{kg/cm}^2$  para aumentar el rendimiento.

Los gases que no se absorben están compuestos entre 150 – 200 ppm de  $\text{NO}_x$  y son utilizados para recuperar energía. Luego son enviados a la chimenea.

### 6.3. Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno

El proceso de media presión tiene la ventaja de reducir los costes de absorción ya que la presión generada por un compresor de gas nitroso permite reducir el tamaño del equipo. La energía de compresión puede obtenerse por recuperación parcial con una turbina de gas de cola. En este proceso se consume menos catalizador comparado a los procesos de alta presión el cual requieren de alta temperatura.



En el proceso de presión dual se utilizan velocidades menores de flujo de gas, lechos catalíticos de diámetros mayores con capas de gasa más delgadas y se opera con una presión inferior en el convertidor. Los equipos utilizados son más robustos en las zonas de alta presión por lo que encarece su costo, requieren de una inversión inicial más elevada, debido a equipos adicionales que se requieren para la compresión de los gases. Sin embargo, el sistema de presión dual reduce mucho el costo del catalizador. Generalmente las plantas que utilizan esta tecnología tienen gran capacidad de producción, a partir de 100 Tn/día de ácido nítrico al 60%.

Si se exigen grandes capacidades nominales y/o concentraciones superiores de ácido, una instalación de ácido nítrico realizada según el procedimiento de presión mixta ofrece la solución más económica.

En el proceso de una sola presión (alta presión), una mayor presión de conversión de amoníaco le proporciona ventajas en términos de diseño de equipos. Sin embargo, el costo de catalizador es mayor, debido a la temperatura de trabajo más elevada por lo que hay mayor pérdida de este. También esta tecnología tiene la capacidad para recuperar mayor energía.

En el siguiente cuadro muestra el consumo de catalizador según la velocidad de flujo, temperatura y presión de operación.

Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Velocidad gas (m/s)	Temperatura de reacción (°C)	Catalizador (g/Tn HNO <sub>3</sub> )
1 - 2	0,4 - 1	840 - 850	0,05 - 0,1
3 - 7	1 - 3	880 - 900	0,15 - 0,20
8 - 12	2 - 4	900 - 950	0,25 - 0,50

**Tabla 10:** Consumo de catalizador en función de la velocidad de flujo, temperatura y presión.

**Fuente:** Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 4ta edición.

En los procesos de alta presión los costos de instalación son relativamente bajos, requieren poco espacio necesario, tienen alto consumo de energía debido a la compresión de los gases y presentan resultados satisfactorios por lo que no se



necesita la depuración de los gases de escape, estos no deben superar el 11% debido al límite explosivo más bajo.

En el proceso de doble presión con presiones de convertidor más bajas (a media presión), el límite explosivo es más alto 13,5% y proporciona flexibilidad operativa adicional. El límite explosivo también depende de la velocidad de flujo, en el proceso de media presión el flujo es menor que en el proceso de alta presión.

El siguiente cuadro detalla los límites explosivos según la concentración de amoníaco y la velocidad de flujo de la corriente de alimentación.

Velocidad de flujo (m/s)	Límite inferior de explosión % NH <sub>3</sub>	Límite superior de explosión % NH <sub>3</sub>
0	15,5	27,5
3	28	38
5 a 8	30	40
12	32	37
14	ninguna	ninguna

**Tabla 11:** Límites de explosión amoníaco - aire.

**Fuente:** Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 4ta edición.

A continuación, se detalla un cuadro comparativo de las diferentes tecnologías:

Parámetro	Tipos de tecnologías			
	Mono presión			Presión dual
	Presión baja	Presión media	Presión alta	
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	1,02 – 1,22	2,35 – 6,11	7,14 – 11,22	(4,08 – 6,11) y (9,18 – 14,28)





Conversión en el reactor	97 - 98%	96%	95%	96,50%
Rendimiento scrubber	Baja	Media	Alta	Alta
Rendimiento global promedio	80%	96%	94,5%	96,5%
Consumo amoníaco	10 - 11,5% v/v	10 - 13,5 %v/v	10 - 11% v/v	10 - 13,5%
Pérdidas de catalizador (mg/Tn)	50	85 a 125	250 a 300	85 a 125
Requerimiento de energía	8,5 kWh/Tn	8,5 kWh/Tn	8 kWh/Tn	9 kWh/Tn
Costo capital relativo	Baja	Media	Media	Alta
Recuperación de energía	Baja	Media	Alta	Media
Complejidad operacional	Baja	Baja	Alta	Media
Complejidad de equipos	Baja	Media	Alta	Alta
Temperatura operación (°C)	840 a 850	845 a 880	900 a 950	845 a 880
Concentración de gases NO <sub>x</sub>	>300 ppm	>200 ppm	<200 ppm	150 - 200 ppm
Velocidad del gas (m/s)	0,05 a 0,1	1 a 3	2 a 4	2 a 3

**Tabla 12:** Características de cada tipo de tecnología.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información del Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 4ta edición.



#### 6.4. Selección del óptimo

Los parámetros que se tendrán en consideración para realizar la selección de tecnología son los siguientes:

- Rendimiento global: Se asignará un puntaje más elevado a aquel proceso que tenga un rendimiento global mayor a los demás, de esta manera sabremos cual es la tecnología que presenta mayor peso. A este parámetro se le asigna un valor de 0,12 ya que los tres procesos experimentan prácticamente los mismos resultados.
- Consumo de energía: Dentro de este parámetro, el mayor puntaje será para la tecnología que requiera menor energía para el proceso, el cual impacta en los balances económicos. Su puntuación será 0,12
- Recuperación de energía: Aquella tecnología que pueda recuperar energía para su proceso será la que se puntúe más alto. Su puntaje será 0,1.
- Costo de capital: Se tendrá en cuenta aquel proceso que requiera menor inversión de capital la cual tendrá menor impacto en la evaluación económica su puntuación será de 0,2.
- Vida útil de catalizador: Aquel proceso que tenga un menor tiempo de duración de catalizador se le asignara un puntaje más bajo. Este parámetro es importante porque el costo del catalizador es elevado. Su puntaje será 0,25.
- Complejidad operacional: recibirá mayor puntaje aquel proceso cuya complejidad operacional sea más segura y fácil de manejar. Su puntuación será 0,16.
- Factores económicos: se tendrá en cuenta el costo de instalación, operacional y de mantenimiento, aquel que presente menor costo tendrá la puntuación más alta. Su puntuación será 0,1.



Factores	Peso	Baja presión		Media presión		Alta presión		Presión dual	
		Calificación	Factor	Calificación	Factor	Calificación	Factor	Calificación	Factor
Rendimiento global	0,12	4	0,48	7,5	0,9	7	0,84	8	0,96
Consumo de energía	0,12	8	0,96	7,5	0,9	8	0,96	7	0,84
Recuperación de energía	0,1	5	0,5	7	0,7	8	0,8	8	0,8
Costo de capital	0,15	7	1,05	8	1,2	7	1,05	6	0,9
Vida útil del catalizador	0,25	9	2,25	7,5	1,875	5	1,25	8	2
Complejidad operacional	0,16	8	1,28	8,5	1,36	7	1,12	6,7	1,072
Factores económicos	0,1	7	0,7	8	0,8	7	0,7	7,5	0,75
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>7,22</b>		<b>7,735</b>		<b>6,72</b>		<b>7,322</b>	

Tabla 13: Tabla de ponderación.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores asignados para cada parámetro se definen del (1 al 10), siendo (1 al 3): **Malo**, del (4 al 6): **Regular** (7 al 8): **Bueno**, del (9 al 10): **Muy bueno**.

Conclusión: Como resultado, el método de selección de tecnología es la patente desarrollada por C y I Girdler, proceso a media presión. Este proceso tiene la ventaja de aumentar la vida útil del catalizador de un periodo de 2 años. También tiene la ventaja de tener un límite explosivo más alto ya que maneja presiones más bajas que la tecnología de alta presión, y también velocidades de flujo más baja y esto proporciona un margen de seguridad operacional. Tiene un rendimiento global aceptable y la inversión inicial no es elevada como la tecnología de presión dual.



## 6.5. Descripción detallada del proceso elegido

### 6.5.1. Evaporación del amoníaco

En la primera etapa del proceso, la corriente (1) de amoníaco líquido se evapora a aproximadamente a  $7,14 \text{ kg/cm}^2$  en un evaporador de amoníaco (E-101) este es calentado por encima de  $35^\circ\text{C}$ , a medida que el contenido de agua se acumula en el evaporador. La mezcla de agua y amoníaco es evaporada con vapor de agua a baja presión en el stripper de amoníaco (T-101) y el agua se elimina de la mezcla. El amoníaco acuoso residual de purga contiene un 2,5% y puede utilizarse para fertilizantes. El vapor de amoníaco (5) se dirige hacia un intercambiador de calor (E-102) donde aumenta su temperatura hasta  $90^\circ\text{C}$ . Una parte de esta corriente es desviada hacia un reactor BASF para el tratamiento de gases efluentes ( $\text{NO}_x$ ) (corriente 5a).

### 6.5.2. Compresión del aire

El aire, corriente (11), es tomado de la atmósfera y filtrado por filtros de carbón activado dispuestos en paralelo de manera que se eliminen los polvos y la humedad presentes. Luego se lo hace pasar a través de un compresor de dos etapas con enfriamiento, es comprimido hasta una presión de  $6,11 \text{ kg/cm}^2$  y a una temperatura de  $160^\circ\text{C}$ . Esta corriente se divide en dos subcorrientes, una es enviada hacia una columna de blanqueamiento (11b) y la otra se dirige a un mixer (11c) donde es mezclado con el amoníaco, corriente (5b).

### 6.5.3. Mezclado de aire y amoníaco

El amoníaco que es evaporado en el intercambiador (E-101) se dirige a un mezclador estático y se mezcla con el aire primario, corriente (11c). La mezcla debe ser uniforme y no debe superar el límite inferior de explosividad. La corriente presenta un contenido de 11% v/v, a una presión de  $5,61 \text{ kg/cm}^2$  y a una temperatura de  $150^\circ\text{C}$ .

### 6.5.4. Oxidación catalítica

La mezcla de gases amoníaco y aire, corriente (6), entra al reactor (R-101) donde el amoníaco reacciona con el oxígeno del aire sobre la malla de catalizador Pt-Rh, produciéndose  $\text{NO}_{(g)}$  y  $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$ , ubicado debajo de estas se encuentra una



malla filtradora de paladio y níquel que capta las pérdidas de platino desprendidas del catalizador para que luego puedan recuperarse y reutilizarse. La reacción es altamente exotérmica y se produce a unos 890°C, por lo que se dispone una camisa envolvente compuesta por un serpentín de agua de enfriamiento para mantener la temperatura del reactor estable. Luego el  $\text{NO}_{(g)}$  es enfriado en un intercambiador de calor (E-103) donde se utiliza agua de enfriamiento. El monóxido de nitrógeno se oxida a dióxido de nitrógeno en las tuberías y equipos.

#### 6.5.5. Enfriamiento de la corriente de dióxido de nitrógeno

El NO producido se enfría en un intercambiador (E-104) intercambiando calor con agua de servicio, donde se produce vapor a 285°C y 0,033 kg/cm<sup>2</sup>. El NO sale a una temperatura de 860°C y a una presión de 4,44 kg/cm<sup>2</sup>.

En el intercambiador (E-105) el enfriamiento es generado por la corriente de gas de cola proveniente de la torre de absorción. El gas  $\text{NO}_2$  oxidado en las cañerías y equipos es enfriado hasta 390 °C.

En el intercambiador de calor (E-106) el gas de  $\text{NO}_2$  intercambia calor con agua de servicio disminuyendo la temperatura a 290°C.

La misma corriente de  $\text{NO}_2$  son ingresados a un intercambiador (E-107) enfriándose hasta 180 °C con gases  $\text{NO}_x$  provenientes de la torre de absorción.

En el intercambiador (E-108) los gases que ingresan son enfriados hasta 115°C aumentando la temperatura del agua de servicio que son utilizados para intercambio hasta producir vapor y utilizarlo en recuperación de energía en una turbina (C-101).

Antes de ingresar a la torre de absorción (T-102) la corriente de  $\text{NO}_2$  son enfriados hasta 50 °C para condensar el agua que es producida en la reacción. La formación de agua líquida y  $\text{NO}_2$  forman ácido a una concentración del 45% que son suministrado por una bomba a una bandeja a la torre de absorción.



### 6.5.6. Torre de absorción

La presión de operación en el absorbedor (T-102) es de  $4,69 \text{ kg/cm}^2$  y una temperatura de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . El equipo opera con tres corrientes de entrada en la cual, la corriente (8) que impulsa la bomba (P-101) es suministrada a la altura del plato correspondiente a su concentración. La torre contiene bandejas de tamiz a través de las cuales el gas fluye en contracorriente al ácido. Los gases  $\text{NO}_2$  de la reacción ingresan por la parte inferior de la torre (T-102) en contracorriente con el agua de proceso, a esta corriente de  $\text{NO}_2$  se la mezcla en un mixer con el aire secundario y  $\text{NO}_x$  disueltos corriente (12). El agua de proceso se introduce a la torre por la parte superior a una temperatura de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La corriente de salida (13a) de ácido nítrico al 60% p/p a  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  disueltos con  $\text{NO}_x$  se dirigen a la torre de blanqueamiento (T-103)

La torre de absorción cuenta con dos intercambiadores (E-110) y (E-111) que utiliza agua de enfriamiento para mantener la temperatura de operación a unos  $35^\circ\text{C}$ . El agua de refrigeración que circula por los serpentines de las bandejas de tamizado elimina el calor generado por la oxidación del monóxido de nitrógeno en dióxido de nitrógeno y su posterior conversión en ácido nítrico. Parte del agua de refrigeración es utilizada para evaporar la corriente (1) de amoníaco.

### 6.5.7. Torre de blanqueamiento

A continuación, el ácido se bombea a la torre de blanqueamiento (T-103), donde se eliminan los  $\text{NO}_x$  disueltos, antes de que se almacene en depósitos. El  $\text{HNO}_3$  ingresa por el tope de la torre y por el fondo el aire secundario circulando a contracorriente con el ácido el cual contiene  $\text{NO}_x$  disueltos. El  $\text{HNO}_3$  ingresa a  $35^\circ\text{C}$  y a  $6,63 \text{ kg/cm}^2$ . La presión de tope es de  $5,2 \text{ kg/cm}^2$  a y  $5,26 \text{ kg/cm}^2$  en el fondo.

Una vez producida la desorción, los gases desorbidos salen a  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  y son recirculados junto a los gases  $\text{NO}_2$  que ingresan, antes de ingresar a la torre de absorción (T-102).

El ácido nítrico al 60% p/p salen por el fondo de la torre (T-103) a  $60^\circ\text{C}$  y es bombeado por (P-103) a un tanque de almacenamiento.





### 6.5.8. Tratamientos de óxidos de nitrógeno

Los gases  $\text{NO}_x$  que salen de la torre de absorción a  $34^\circ\text{C}$  y se dirigen a una serie de intercambiadores de calor donde aumenta su temperatura. El gas atraviesa un intercambiador de calor (E-110) y aumenta su temperatura hasta  $50^\circ\text{C}$  con aire que es comprimido por el compresor (C-102). Los gases  $\text{NO}_x$  siguen su trayecto hacia el intercambiador (E-107) y luego por el (E-105). Luego son mezclados en un mixer con amoníaco antes de ingresar al reactor BASF (R-102). Aproximadamente el 60% vol. de  $\text{NO}_x$  reacciona con amoníaco, corriente (5a). Una vez producida la reacción el gas de cola contiene menos de 200 ppm de  $\text{NO}_x$ . Estos gases van a una turbina de expansión (C-102) donde se produce energía mecánica para impulsar el compresor. Finalmente, el gas es descargado a la atmosfera.

### 6.5.9. Agua de proceso

El agua de proceso se utiliza para producir el intercambio de temperatura de los gases caliente antes de que ingresen a la torre de absorción (T-102). El agua ingresa al intercambiador (E-108) donde aumenta su temperatura. El agua es impulsada por una bomba al intercambiador (E-107) donde sigue aumentando la temperatura contra los gases de  $\text{NO}_2$  provenientes del reactor (R-101). Mediante la bomba se hace pasar el agua por el intercambiador (E-105). El agua finalmente adquiere una temperatura de  $45^\circ\text{C}$  y se la entrega nuevamente al parque industrial para que este la enfríe en sus torres de enfriamiento.

Otro caudal distinto de agua atravesará el intercambiador (E-111), donde el agua llegará a una temperatura levemente menor y también será devuelta al parque industrial. Lo mismo ocurrirá con el agua de enfriamiento necesaria para el intercambiador (E-112).

## 7. DISEÑO BÁSICO

### 7.1. Límites de batería

A continuación se determinan las bases de diseño principal en los límites de batería.



### 7.1.1. Materias Prima

Entre las materias primas del proyecto encontramos amoníaco, aire atmosférico (del cual utilizaremos el oxígeno) y agua desmineralizada (para la reacción del ácido nítrico en la T-102).

El amoníaco vendrá desde Bunge Argentina S.A. a través de tuberías en una solución acuosa al 60%. Se recibirán 2.085,77 kg/h de esta solución a temperatura ambiente y 7,14 kg/cm<sup>2</sup> y se almacenará en tanques.

Al aire se tomará de la atmósfera a la temperatura y presión del ambiente. Previo al proceso, el aire se pasará por dos filtros de carbón activado dispuestos en paralelo de manera que se seque y se lo deje libre de polvos. Se utilizarán 75.448,85 kg/h de aire, de los cuales parte se destinará para oxidar el amoníaco en el reactor R-101 y la mayor parte como fase gaseosa para la desorción de gases de óxidos de nitrógeno en la T-103.

El agua desmineralizada ingresará del mismo parque industrial Campana donde estaremos situados a través de tuberías a 29°C y 3 kg/cm<sup>2</sup>. Se recibirán 1.527,64 kg/h y se almacenará en tanques.

### 7.1.2. Producto

El producto final se estableció en el apartado de Estudio de Mercado, se plantea el proyecto para producir 7.063,84 kg/h de ácido nítrico al 60% p/p con menos de 5.000 ppm de gases de óxidos de nitrógeno disueltos. Dicho producto se entregará por ducto desde los tanques de almacenamiento a la planta contigua a 40°C y 2 atm.

En caso de que ocurra un problema con la empresa contigua de nitrato de amonio, se dispone como plan de respaldo el despacho del ácido nítrico por camiones para su exportación a Brasil.

El proyecto cuenta con un reactor BASF (R-102) en el cuál se tratan los gases de cola para reducir las emisiones de los gases de óxidos de nitrógeno a menos de 200 ppm. Se liberarán a la atmósfera 74.090,73 kg/h de aire que cumple con las especificaciones mencionadas a 25°C y 1 atm.



Además, la planta producirá 877,42 kg/h de agua amoniacal al 2,5% p/p. El producto no puede ser vendido por su escaso contenido de amoníaco y debe ser tratado para desecharse por lo que se enviará por ducto a Bunge Argentina S.A. quienes cuentan con plantas de tratamiento adecuado. El agua amoniacal se despachará a 150°C y 2 atm.

### 7.1.3. Servicios Auxiliares

Se requerirán también de servicios auxiliares como agua de enfriamiento y vapores para regular las temperaturas de distintas corrientes de la planta.

Se recibirá agua de enfriamiento del parque industrial a una temperatura de 29°C y una presión de 3 kg/cm<sup>2</sup>. El caudal de agua necesario se calculó con el software PRO II, de modo que satisfaga el intercambio energético de los equipos y devuelva el agua al parque a una temperatura razonable de 50°C.

Los intercambiadores E-105, E-107, E-108, E-111 y E-112 requerirán 11.928,9 kg/h, 7.448,3 kg/h, 29.975,4 kg/h, 2.656,8 kg/h y 40.948,0 kg/h respectivamente. Por otra parte el serpentín del encamisado del reactor necesitará de 148.248,8 kg/h. Esto equivale a un total de consumo de agua de enfriamiento de **241.206,2 kg/h**. El agua a la salida de los equipos será devuelta al parque industrial.

Se recibirá vapor de media del parque industrial a una temperatura de 250°C y una presión de 17 kg/cm<sup>2</sup>. El caudal necesario se calculó con el software PRO II, de modo que satisfaga el intercambio energético de los equipos. La mezcla de líquido-vapor a la salida será devuelta al parque industrial.

Los intercambiadores E-101, E-102 y E-103 (el reboiler de la columna T-101) requerirán 821,94 kg/h, 965,84 kg/h y 9.638,57 kg/h de respectivamente. Esto equivale a un total de consumo de vapor de **11.426,35 kg/h**.

## 7.2. Balance de masa y energía

El balance de masa y energía se realizó estimando que el 10% del dióxido de nitrógeno que no reacciona en la T-102 se escapa por la corriente "17" junto con el resto de los gases de cola y que el 92% de los gases disueltos en el ácido nítrico son desorbidos en la T-103. Luego fue corroborado mediante el software PRO II. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.



El código de colores se utiliza para agilizar la ubicación de la corriente dentro del proyecto según su componente principal: Amoníaco (color azul), gases de óxidos de nitrógeno (color violeta), ácido nítrico (color naranja), gases de cola (color marrón), aire (color verde) y agua (color celeste).

Corriente	1	1a	2	3	4	5	6	6a
NH3 [kg/h]	1.222,69	1.222,69	861,31	20,74	840,57	361,38	1.201,95	1.201,95
H2O [kg/h]	863,08	863,08	861,16	856,68	4,47	1,92	6,40	6,40
N2 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
O2 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
N2O [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO2 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
HNO3 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
Total [Kg/h]	2.085,77	2.085,77	1.722,47	877,42	845,04	363,31	1.208,35	1.208,35
Total [Kmol/h]	119,87	119,87	98,51	48,81	49,69	21,36	71,06	71,06
T [°C]	14,00	48,41	48,41	156,28	53,37	48,41	42,53	90,00
P [kg/cm2]	7,14	7,14	7,14	7,14	7,00	7,14	7,00	7,00

Tabla 14: Balance de masa y energía.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	6b	6c	7	8	8a	8b	8c	8d
NH3 [kg/h]	15,57	1.186,39	1.186,39	-	-	-	-	-
H2O [kg/h]	0,08	6,31	6,31	1.890,57	1.890,57	1.890,57	1.890,57	1.890,57
N2 [kg/h]	-	-	12.489,91	12.489,91	12.489,91	12.489,91	12.489,91	12.489,91
O2 [kg/h]	-	-	3.794,40	-	-	-	-	-
N2O [kg/h]	-	-	-	30,71	30,71	30,71	30,71	30,71
NO [kg/h]	-	-	-	150,36	150,36	150,36	150,36	150,36
NO2 [kg/h]	-	-	-	2.915,46	2.915,46	2.915,46	2.915,46	2.915,46
HNO3 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
Total [Kg/h]	15,65	1.192,70	17.477,01	17.477,01	17.477,01	17.477,01	17.477,01	17.477,01
Total [Kmol/h]	0,92	70,14	634,78	620,19	620,19	620,19	620,19	620,19
T [°C]	90,00	90,00	133,97	860,00	390,00	290,00	180,00	115,00
P [kg/cm2]	7,00	7,00	6,11	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59

Tabla 14 (continuación): Balance de masa y energía.

Fuente: Elaboración propia.



Corriente	8e	9	9a	10	11	12	12a	12b
NH3 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
H2O [kg/h]	1.890,57	1.692,72	1.692,72	-	-	-	-	-
N2 [kg/h]	12.489,91	-	-	12.489,91	57.868,54	-	-	-
O2 [kg/h]	-	-	-	-	13.785,91	-	-	-
N2O [kg/h]	30,71	-	-	30,71	30,71	-	-	-
NO [kg/h]	150,36	-	-	480,11	480,11	-	-	-
NO2 [kg/h]	2.915,46	-	-	1.398,61	1.701,50	-	-	-
HNO3 [kg/h]	-	1.384,95	1.384,95	-	-	-	-	-
Total [Kg/h]	17.477,01	3.077,68	3.077,68	14.399,34	73.866,77	-	-	-
Total [Kmol/h]	620,19	116,02	116,02	493,17	2.551,23	-	-	-
T [°C]	50,00	50,00	50,00	50,00	57,31	-	-	-
P [kg/cm2]	4,59	4,59	6,00	4,59	4,00	-	-	-

**Tabla 14 (continuación):** Balance de masa y energía.

*Fuente: Elaboración propia.*

Corriente	13	13a	13b	14	14a	15	16	16a
NH3 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
H2O [kg/h]	-	-	-	2.815,00	2.815,00	-	2.815,00	2.815,00
N2 [kg/h]	-	-	-	-	-	45.378,62	-	-
O2 [kg/h]	-	-	-	-	-	13.785,91	-	-
N2O [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO2 [kg/h]	-	-	-	329,23	329,23	302,90	26,34	26,34
HNO3 [kg/h]	-	-	-	4.222,50	4.222,50	-	4.222,50	4.222,50
Total [Kg/h]	-	-	-	7.366,73	7.366,73	59.467,43	7.063,84	7.063,84
Total [Kmol/h]	-	-	-	230,57	230,57	2.058,06	223,99	223,99
T [°C]	-	-	-	34,00	34,00	58,50	63,75	40,00
P [kg/cm2]	-	-	-	3,70	4,80	4,00	4,40	4,40

**Tabla 14 (continuación):** Balance de masa y energía.

*Fuente: Elaboración propia.*



Corriente	16b	17	17a	17b	18	19	19a	20
NH3 [kg/h]	-	-	-	-	15,57	0,00	0,00	-
H2O [kg/h]	2.815,00	-	-	-	0,08	24,80	24,80	-
N2 [kg/h]	-	57.868,54	57.868,54	57.868,54	57.868,54	57.899,75	57.899,75	57.868,54
O2 [kg/h]	-	16.139,26	16.139,26	16.139,26	16.139,26	16.139,26	16.139,26	17.580,31
N2O [kg/h]	-	30,71	30,71	30,71	30,71	12,28	12,28	-
NO [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO2 [kg/h]	26,34	36,58	36,58	36,58	36,58	14,63	14,63	-
HNO3 [kg/h]	4.222,50	-	-	-	-	-	-	-
Total [Kg/h]	7.063,84	74.075,08	74.075,08	74.075,08	74.090,73	74.090,73	74.090,73	75.448,85
Total [Kmol/h]	223,99	2.572,58	2.572,58	2.572,58	2.573,50	2.574,18	2.574,18	2.616,12
T [°C]	40,00	34,00	53,65	145,63	145,58	250,00	25,00	25,00
P [kg/cm2]	15,86	3,70	3,70	3,70	3,70	3,50	1,00	1,00

Tabla 14 (continuación): Balance de masa y energía.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	20a	20b	21	22	22a	22c	22d	23
NH3 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
H2O [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	1.527,64
N2 [kg/h]	57.868,54	57.868,54	-	57.868,54	57.868,54	12.489,91	45.378,62	-
O2 [kg/h]	17.580,31	17.580,31	-	17.580,31	17.580,31	3.794,40	13.785,91	-
N2O [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
NO2 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
HNO3 [kg/h]	-	-	-	-	-	-	-	-
Total [Kg/h]	75.448,85	75.448,85	-	75.448,85	75.448,85	16.284,32	59.164,53	1.527,64
Total [Kmol/h]	2.616,12	2.616,12	-	2.616,12	2.616,12	564,64	2.051,47	84,87
T [°C]	136,32	45,00	-	45,00	159,09	159,09	159,09	50,00
P [kg/cm2]	2,51	2,51	-	2,51	6,11	6,11	6,11	5,00

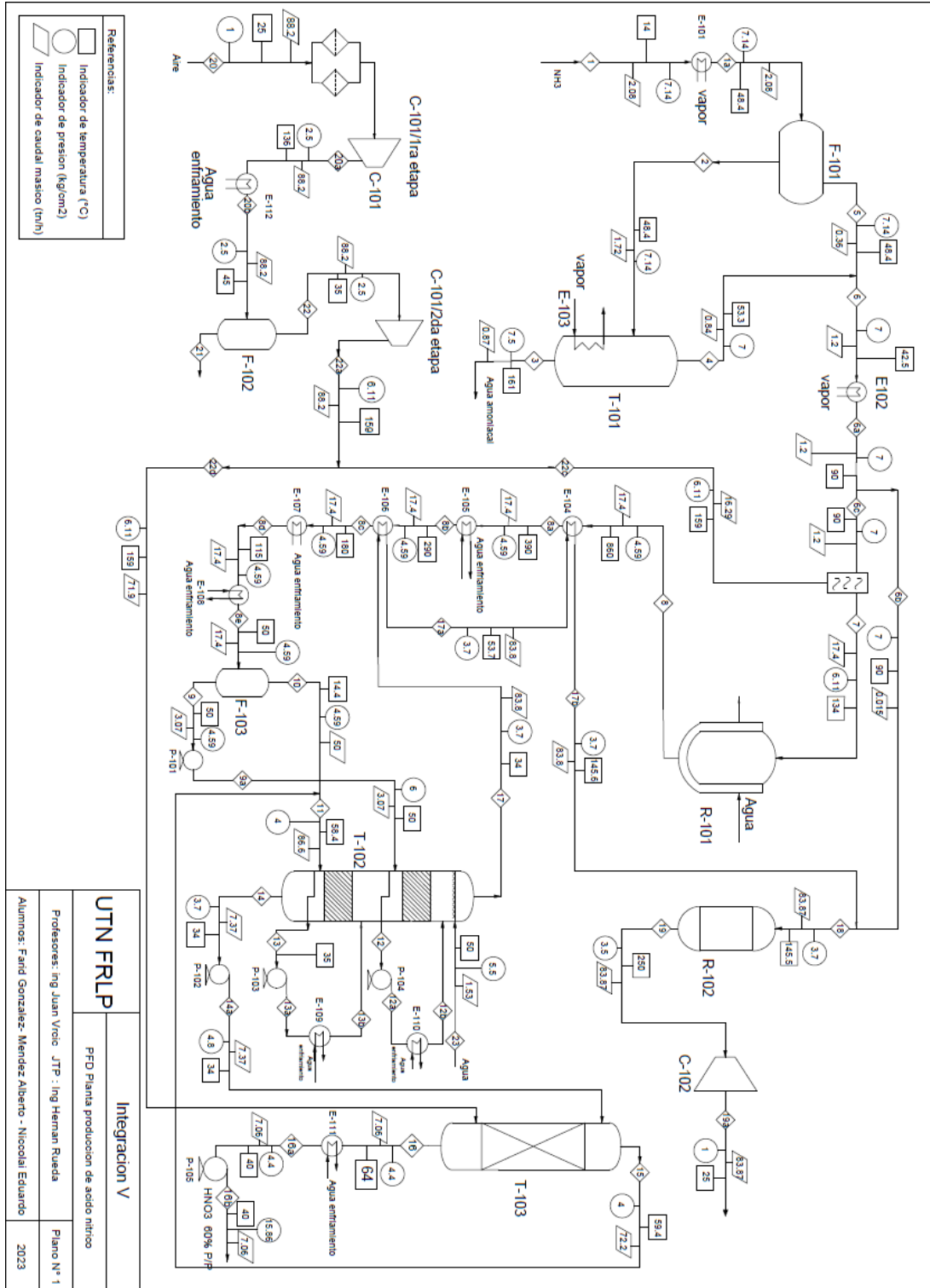
Tabla 14 (continuación): Balance de masa y energía.

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3. Diagrama de flujo preliminar

Se adjunta, en formato A3 y por separado, el diagrama preliminar de flujo de la planta.







## 7.4. Diseño básico de los equipos

### 7.4.1. Separador Bifásico F-101

El separador bifásico F-101 se trata de un flash horizontal que recibe como alimentación la corriente "1A" precalentada, la cual está compuesta por amoníaco y agua. El equipo separa por la parte superior, en la corriente "5", una pequeña parte gaseosa y por la parte inferior, en la corriente "2", el caudal restante de líquido con el propósito de separar la máxima cantidad amoníaco del agua. Posteriormente la corriente "2" entrará a un stripper para terminar de separar los compuestos.

#### 7.4.1.1. Dimensionamiento

Para iniciar el cálculo dimensional del separador aplicaremos la fórmula

$$dL_{eff} = 420 \left( \frac{ZT}{P} \right) Q_g \left( \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right)^{0,5} \quad (6)$$

Donde:

- $\rho_g$ : La densidad de la fase gaseosa, en lb/ft<sup>3</sup>.
- $\rho_l$ : La densidad de la fase líquida, en lb/ft<sup>3</sup>.
- $Q_g$ : Caudal volumétrico de la fase gaseosa, en MMPCED.
- $d_m$ : Diámetro de gota, lo fijamos según recomendaciones de las normas API en el valor de 150 micrones.
- $T$ : Temperatura de operación, en °R.
- $P$ : Presión de operación, en psi.
- $Z$ : Factor de compresibilidad.
- $C_D$ : Coeficiente de arrastre de partícula.
- $d$ : Diámetro del equipo, en pulgadas.
- $L_{eff}$ : Longitud efectiva, en ft.

Este último coeficiente se obtiene con un proceso iterativo, asumiendo un valor, luego calculando la velocidad terminal y el número de Reynolds. Luego se corrobora el valor original. Para eso se utilizan las siguientes ecuaciones:



$$v_t = 0,0119 \left( \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right)^{0,5} \quad (7)$$

Donde:

- $v_t$ : Velocidad terminal, en ft/s.

$$Re = 0,0049 \frac{d_m \rho_g v_t}{\mu_g} \quad (8)$$

Donde:

- $Re$ : Número de Reynolds.
- $\mu_g$ : Viscosidad de la fase gaseosa, en cP.

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{0,5}} + 0,34 \quad (9)$$

Los siguientes son datos del proceso, obtenidos con el simulador PRO II:

	Fase gaseosa	Fase líquida	Alimentación bifásica
Caudal [kg/h]	363,31	1.722,47	2.085,77
Caudal [m <sup>3</sup> /día]	1.955,03	57,58	71,37
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	4,46	717,96	701,40
Viscosidad [cP]	0,01	0,27	0,27

**Tabla 15:** Datos de las corrientes del F-101.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de la simulación del proceso en PRO II.

Considerando que la temperatura de operación es de 578,81 °R, la presión de operación es 101,53 psi y el factor de compresibilidad es 1, los valores obtenidos son:



vt [ft/s]	1,34
Re	24,89
CD	1,91
dLeff [ft*pulgada]	1,47

**Tabla 16:** Resultados obtenidos para el dimensionamiento del F-101.  
**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se analiza la capacidad del gas, para eso se realiza una tabla en donde se representan distintos valores de diámetro del equipo y sus valores correspondientes de longitud efectiva (Leff) para que se cumpla la condición previamente calculada. Además se obtiene un valor llamado Lss (longitud entre costuras) que representa el valor real de la longitud del equipo y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$L_{SS} = L_{eff} + \frac{d}{12} \quad (10)$$

Donde:

- $L_{SS}$ : Longitud entre costuras, en ft.

d [pulgada]	Leff [pie]	Lss gas [pie]
2,00	0,74	0,90
4,00	0,37	0,70
6,00	0,25	0,75
8,00	0,18	0,85
10,00	0,15	0,98
12,00	0,12	1,12
14,00	0,11	1,27
16,00	0,09	1,43
17,00	0,09	1,50
18,00	0,08	1,58
20,00	0,07	1,74
22,00	0,07	1,90
24,00	0,06	2,06

**Tabla 17:** Longitudes del F-101, según la capacidad del gas.  
**Fuente:** Elaboración propia.



Posteriormente debemos analizar la capacidad del líquido, para eso es necesario fijar un valor de tiempo de residencia. Para este tipo de procesos se suele utilizar valores de entre 0,5 y 3 minutos por lo tanto se tomará un tiempo de residencia de 3 minutos para realizar los cálculos.

$$d^2 L_{eff} = \frac{tr Q_l}{0,7} \quad (11)$$

Donde:

- $tr$ : Tiempo de residencia, en minutos.
- $Q_l$ : Caudal volumétrico de la fase líquida, en  $ft^3/min$ .

$$d^2 L_{eff} = 1552,1 \text{ pie} * \text{pulgada}^2$$

Finalmente se vuelve a realizar una tabla con distintos valores de diámetro del equipo y sus correspondientes valores de longitud efectiva que cumplan con la condición calculada. Además se calcula el valor de  $L_{ss}$  con la siguiente fórmula:

$$L_{ss} = \frac{4}{3} L_{eff} \quad (12)$$

d [pulgada]	Leff [pie]	Lss líq [pie]
2,00	388,02	517,37
4,00	97,01	129,34
6,00	43,11	57,49
8,00	24,25	32,34
10,00	15,52	20,69
12,00	10,78	14,37
14,00	7,92	10,56
16,00	6,06	8,08
17,00	5,37	7,16
18,00	4,79	6,39
20,00	3,88	5,17
22,00	3,21	4,28
24,00	2,69	3,59

**Tabla 18:** Longitudes posibles del F-101.

**Fuente:** Elaboración propia.



Para este tipo de equipos se opta por una relación de esbeltez que se encuentre entre valores de 3 y 4. Por lo tanto se decidió elegir las dimensiones marcadas en la tabla de arriba, dado que a ese valor de diámetro se satisface tanto la capacidad del gas como la del líquido. Sin embargo la relación de esbeltez se encuentra muy justa, con un valor de 3,1, por lo que se decidió llevar la longitud del equipo a un valor mayor de modo que cumpla mejor con los valores recomendados y aún satisfaga las condiciones de capacidad de ambas fases.

d [m] =	0,51
Leff [m] =	1,18
Lss [m] =	1,80
L/D =	3,54

**Tabla 19:** Longitud seleccionada para el F-101.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Por último se detallan los accesorios y otros datos constructivos del equipo, como la altura de la tapa. La cual corresponde a la siguiente ecuación:

$$h_{TAPA} = d * 0.125 \quad (13)$$

Donde:

- $h_{TAPA}$ : Altura de la tapa, en mm.

Y para el diámetro de las boquillas de entrada y de salida, se deciden según restricciones respecto a la velocidad de las corrientes a través de las mismas.

$$v_i < \frac{30}{\sqrt{\rho_m}} \quad (14) \quad v_g < \frac{60}{\sqrt{\rho_g}} \quad (15) \quad v_l < 1 \frac{m}{s} \quad (16)$$

Donde:

- $v_i$ : Velocidad en la boquilla de alimentación, en m/s.
- $v_g$ : Velocidad en la boquilla de la fase gaseosa, en m/s.
- $v_l$ : Velocidad en la boquilla de la fase líquida, en m/s.

$$d_{boquilla} = \left( \frac{4Q}{\pi v} \right)^{0,5} \quad (17)$$





Donde:

- $d_{boquilla}$ : Diámetro de la boquilla, en pulgadas.

Finalmente los valores escogidos para el dimensionamiento de los accesorios son:

htapa [mm] =	63,50
dboq alimentación [pulgadas] =	4,00
dboq gas [pulgadas] =	2,00
dboq líquido [pulgadas] =	2,00

**Tabla 20:** Longitudes de accesorios del F-101.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 7.4.1.2. Material y Espesor

Se selecciona como material constructivo para el equipo, por las propiedades que tienen las corrientes con las que trabaja, acero inoxidable AISI 304.

Y en cuanto al espesor utilizaremos la norma ASME sección VIII:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad (18)$$

Donde:

- $P$ : Presión de diseño, en kPa.
- $R$ : Radio interno, en mm.
- $S$ : Presión máxima admisible por el material, en kPa.
- $E$ : Eficiencia de la junta de las soldaduras, para soldaduras en acero inoxidable se estima igual a 1.

Para la presión de diseño se le suma a la presión de operación un factor de seguridad igual a 2,04 kg/cm<sup>2</sup>.

El acero inoxidable presenta una resistencia a la corrosión, razón por la selección, tal que no requiere un agregado de espesor por tolerancia a la corrosión, además este material posee una presión máxima admisible de 1.203,27 kg/cm<sup>2</sup>.



Pop [kg/cm <sup>2</sup> ]	6,14
Pdiseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	9,18
R [mm]	254
S [kg/cm <sup>2</sup> ]	1.203,27
E	1,00
R [mm]	1,95

*Tabla 21: Datos del F-101 y su operación.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se establece entonces un espesor del material igual a **1,95 mm**.

### 7.4.1.3. Accesorios

El separador bifásico contará además con accesorios internos para asegurar su correcto funcionamiento:

A la entrada de la alimentación bifásica se colocará una placa de choque que va a consistir en una placa plana para que genere un cambio rápido en la dirección y a velocidad de los fluidos, además que disminuya el impulso de impacto.

Justo antes de la salida de la fase vapor se colocará un extractor de niebla en formato de malla para favorecer la coalescencia de las gotas de líquido en la fase gaseosa y así eliminarlas de la dicha corriente.

Para el diseño del demister se utilizará un software de cálculo que nos devolverá el valor de la velocidad crítica y el tamaño aproximado del demister con lo que procederemos a seleccionar de un grupo de modelos. Con los datos del proceso podemos calcular qué porcentaje de las corrientes de salida del separador se encuentra en fase líquida. Lo cual, en nuestro caso será de  $x = 0,826$ .

$$\frac{Q_G + Q_L}{Q_L} = x \quad (19)$$

Finalmente obtenemos la velocidad crítica y con ella sacamos la velocidad óptima, la cual será un 75% de la velocidad crítica calculada. La altura del demister se recomienda que se encuentre entre valores de 6 y 10 pulgadas, por lo que optamos por un valor de  $h = 7 \text{ plg}$ .



vc [m/s]	2,87
vop [m/s]	2,15
Adem [m <sup>2</sup> ]	0,01
Ddem [mm]	110,00
hdem [mm]	177,80

**Tabla 22:** Datos de del demister del F-101.

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente se seleccionará un eliminador de niebla de la compañía KOCH-GLITSCH, particularmente el modelo “DEMISTER mist eliminator” diseñado para una presión máxima 10% por encima de la presión de operación y con una pérdida de carga de  $0,05 \text{ kg/cm}^2$ .

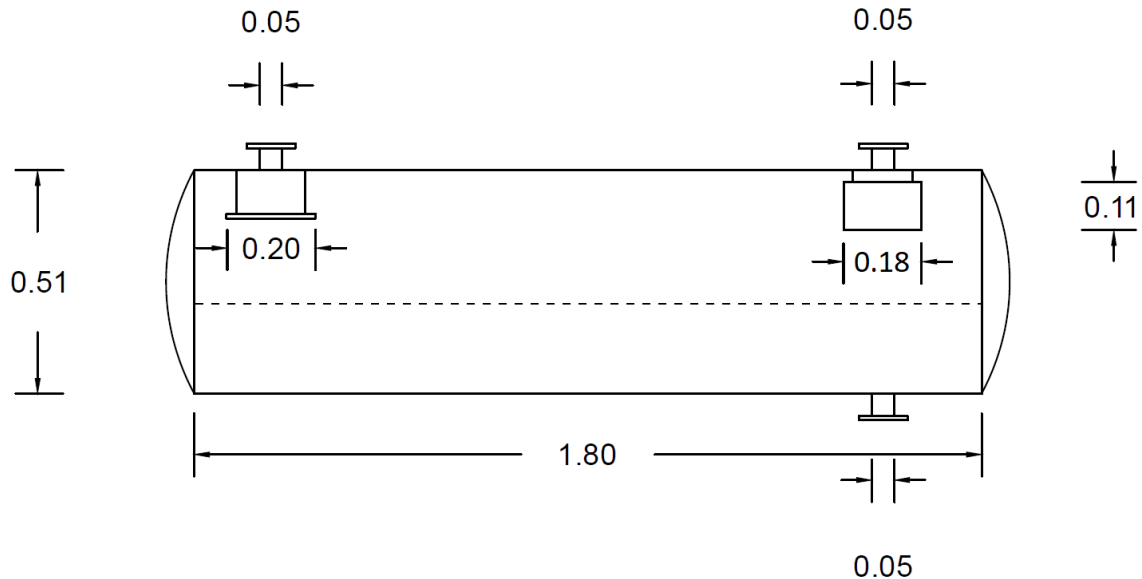


#### 7.4.1.4. Hoja de Especificación

UTN FRLP	INTEGRACIÓN V	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SEPARADOR FLASH		
<b>DENOMINACIÓN: SEPARADOR HORIZONTAL BIFÁSICO</b>		<b>FECHA:</b>		
<b>UNIDAD: F-101</b>		<b>REVISIÓN:</b>		
<b>SERVICIO: SEPARACIÓN DE AMONÍACO Y AGUA</b>		<b>LOCACIÓN:</b>		
<b>DATOS GENERALES</b>				
DENOMINACIÓN DE EQUIPO	Separador horizontal bifásico		HOJA	1 de 2
FUNCIÓN	Separación de amoníaco y agua			
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>				
PARÁMETRO		ENTRADA	SALIDA	
			TOPE	FONDO
FLUIDO		Bifásica	Vapor	Líquido
CAUDAL VOLUMÉTRICO	m <sup>3</sup> /h	2,97	81,46	2,40
CAUDAL MÁSIKO	kg/h	2.085,77	363,31	1.722,47
TEMPERATURA	°C	48,41	48,41	48,41
PRESIÓN	Kg/cm <sup>2</sup>	7,14	7	7,5
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	701,40	4,46	717,96
VISCOSIDAD	cP	0,27	0,01	0,27
<b>DATOS DE CONSTRUCCIÓN</b>				
VOLUMEN	m <sup>3</sup>	0,36		
TEMPERATURA DE DISEÑO	°C	98,41		
PRESIÓN DE DISEÑO	Kg/cm <sup>2</sup>	9,18		
MATERIAL	Acero Inoxidable AISI 304			
DIÁMETRO	m	0,51		
LONGITUD DEL CUERPO	m	1,80		
ALTURA DEL CABEZAL	mm	63,50		
ESPEJOR	mm	1,95		
PESO COLUMNA VACÍO	kg	255,00		
PESO COLUMNA EN OPERACIÓN	kg	386,78		
TRATAMIENTO TÉRMICO	Isotérmico			
GEOMETRÍA DEL CUERPO	Cilíndrica			
GEOMETRÍA DEL CABEZAL	Toriesférico			
<b>OBSERVACIONES</b>				



**ESQUEMA**



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION	
DENOMINACION: DEMISTER		FECHA:	
UNIDAD:		REVISION:	
SERVICIO:		LOCACION:	
<b>DATOS GENERALES</b>			
DENOMINACION DE EQUIPO	Malla coalescente de gotas	Hoja	2 de 2
FUNCION	Eliminación de partículas liquidas en salida de gases		
<b>DATOS DEL FABRICANTE</b>			
COMPAÑIA	KOCH-GLITSCH		
MODELO	DEMISTER® mist eliminator		
PRESION DE OPERACIÓN	7,14	Kg/cm <sup>2</sup>	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	48,41	°C	
<b>DATOS ADICIONALES</b>			







previo al compresor, se colocarán dos tambores con carbón activado, dispuestos en paralelo, que actuarán como filtro para quitarle cualquier polvo o humedad que pueda afectar tanto al compresor como al posterior catalizador en el reactor R-101.

Para la elección del compresor se evaluarán el número de etapas, las temperaturas de succión y descarga, las presiones de succión y descarga, así como el tipo de compresor adecuado y el BHP, para poder seleccionar el equipo que mejor se ajuste a las necesidades del proceso.

Al compresor ingresa la corriente 20 con las siguientes condiciones que se detallan:

Propiedades de la corriente 20		
Caudal másico	75.448,85	kg/h
Caudal volumétrico	63.939,70	m <sup>3</sup> /h
SCFM	37.633,84	ft <sup>3</sup> /min
ACFM	38.107,46	actualft <sup>3</sup> /min
MMSCFD	54,87	MMft <sup>3</sup> /día
Presión inicial	1	kg/cm <sup>2</sup>
	14,7	psi
Presión final	6,11	kg/cm <sup>2</sup>
	86,9	psi
Temperatura inicial	25	°C
	298,15	K
k = cp/cv	1,3	

Tabla 23: Propiedades de la corriente 20.

Fuente: Elaboración propia a partir de información simulada en PRO II.

#### 7.4.2.1. Cálculo del número de etapas

Para la determinación del número de etapas se debe tener en consideración que el valor de la relación de compresión  $R_c$  debe ser menor a 5. Se aplica la siguiente ecuación:

$$R_c = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (20)$$



Evaluando:

Rc 1	6,11	>5 etapas
Rc 2	2,47	<5 (aceptable) 2 etapas

Tabla 24: Número de posibles etapas del compresor.  
Fuente: Elaboración propia.

$Rc = 2,47$  resulta el valor más adecuado según el rango previamente mencionado, por lo que se determina que la compresión del gas se realizará en 2 etapas, con enfriamientos intermedios.

Una vez determinado el número de etapas de compresión a emplear, mediante la utilización de tablas de selección de tipos de compresores, se elige el más adecuado en función del flujo de entrada ( $Q_g$ ) y la presión de descarga ( $P_2$ ).

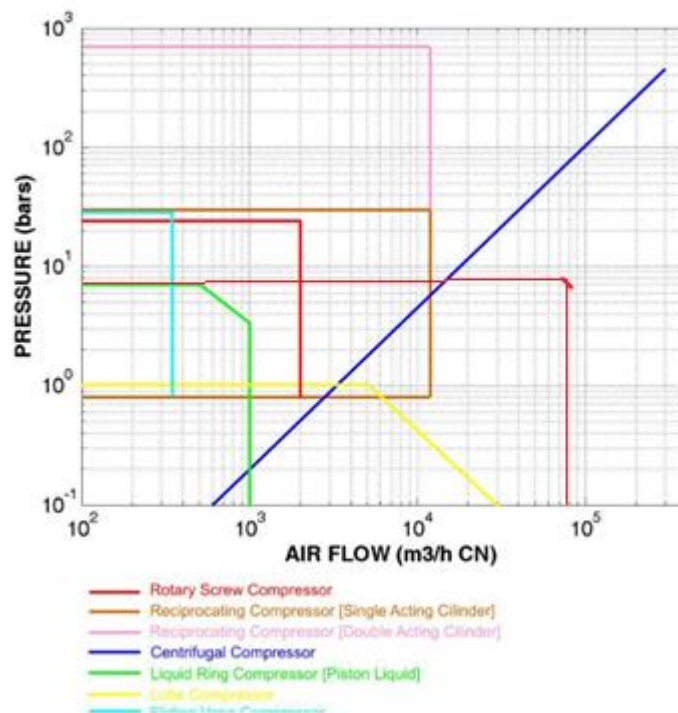


Figura 29: Selección del tipo de compresor.  
Fuente: Surface Production Operations: Pumps and Compressors, Vol. 4 - Maurice Stewart.

Se utilizará un compresor multietapas centrífugo.



### 7.4.2.2. Cálculo de las temperaturas de descarga

Las temperaturas de descarga de cada etapa se pueden calcular utilizando la ecuación que se muestra a continuación:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k \cdot \eta_p}} \quad (21)$$

Donde:

- $T_2$ : Temperatura absoluta de descarga, en K.
- $T_1$ : Temperatura absoluta de succión, en K.
- $P_2$ : Presión de descarga.
- $P_1$ : Presión de succión.
- $k$ : Coeficiente de dilatación adiabática promedio, por teoría es igual a 1,3.
- $\eta_p$ : Eficiencia politrópica, en compresores centrífugos es del 80%.

Etapa	Ts	Td	Unidades
1	25,00	136	°C
	298,15	409,15	K
2	45,00	159	°C
	318,15	432,15	K

**Tabla 25:** Temperaturas de succión y descarga.

**Fuente:** Elaboración propia.

Por Pro II, la presión de descarga de la corriente 20a es 2,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Primera etapa:

$$T_2 = 298,15 \cdot \left(\frac{246,47}{98}\right)^{\frac{1,3-1}{1,3 \cdot 0,80}}$$

$$T_2 = 409,15 \text{ K} = 136 \text{ °C}$$

Por Pro II, la presión de descarga de la corriente 22a es 6,11 kg/cm<sup>2</sup>.



Segunda etapa:

$$T_2 = 409,15 \left( \frac{599,186}{246,47} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3*0,80}}$$

$$T_2 = 432,15 \text{ K} = 159 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 7.4.2.3. Cálculo preciso de la potencia al freno, BHP

La potencia al freno, BHP, es aquella que debe entregar el motor de accionamiento en el eje del compresor. Es la suma de la potencia de compresión más las pérdidas debidas a la fricción de las ruedas del compresor, la fricción del fluido, la recirculación interna del gas y la fricción en sellos y cojinetes.

La potencia al freno total será la suma del BHP para cada etapa. El BHP preciso por etapa, incluyendo pérdidas mecánicas, por fricción, se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$BHP = 0,0857 \cdot Z_{avg}^{\frac{1}{k}} \cdot Z_1^{\frac{k-1}{k}} \cdot \frac{Q_g \cdot T_{se}}{\eta_m \cdot \eta_a} \cdot \frac{k \cdot \eta_p}{k-1} \left( R_c^{\frac{k-1}{k \cdot \eta_p}} - 1 \right) \quad (22)$$

Donde:

- $BHP$ : Potencia al freno, en HP.
- $Z_{avg}$ : Factor de compresibilidad promedio por etapa, entre el  $Z_{succión}$  y el  $Z_{descarga}$ .
- $k$ : Coeficiente de dilatación adiabática promedio.
- $Q_g$ : Flujo de entrada al compresor, en MMSCFPD.
- $T_{se}$ : Temperatura de succión por etapa, en °R
- $\eta_a$ : Eficiencia adiabática.
- $\eta_m$ : Eficiencia mecánica.
- $\eta_p$ : Eficiencia politrópica.
- $R_c$ : Relación de compresión por etapa.

Se considera una eficiencia mecánica del 95% y el valor estándar de eficiencia adiabática, reportado en bibliografía para compresores centrífugos, es del 85%.



Etapa	Ts [°R]	Td [°R]	Zs	Zd	Zavg
1	536,67	693,54	0,99930	1,00025	0,99977
2	500,70	740,10	0,99913	1,00096	1,00004

**Tabla 26:** Datos de las etapas del compresor.  
*Fuente:* Elaboración propia.

Por lo tanto, para conocer la potencia del compresor, calculamos los valores de BHP por etapa, obteniendo:

Etapa	BHP
1	3.293,16
2	2.950,37
<b>Total</b>	<b>6.243,53</b>

**Tabla 27:** HP de potencia del compresor.  
*Fuente:* Elaboración propia.

La potencia total para el compresor será de **6.243,43 HP** (4.655,8 kW).

#### 7.4.2.4. Selección del compresor

Para la selección del compresor tomamos en cuenta el caudal del gas que vamos a procesar, al cual le agregamos un 10% por seguridad (70.333,67 m<sup>3</sup>/h), y la presión final que se desee obtener (5,99 barg ; 6,11 kg/cm<sup>2</sup>). Para compararlo con la presión máxima admisible de la carcasa, se seleccionará el compresor modelo 9H-46M de posicionamiento horizontal, del catálogo de la empresa Eliott Group Ebara Corporation.



COMPRESSOR FRAME SUMMARIES

Frame	Max Flow		Impeller Diameter		Speed RPM	Configuration M (Horizontal Split) MB (Vertical Split)	Casing Rating	
	m <sup>3</sup> /hr	CFM	mm	in			BARG	PSIG
10	10,900	6,400	264	10.4	19,800	M MB	69 345	1,000 5,000
15	14,400	8,500	303	11.9	17,300	M MB	69 689	1,000 10,000
20	19,000	11,200	348	13.7	15,000	M MB	69 689	1,000 10,000
25	25,000	14,700	401	15.8	13,100	M MB	69 689	1,000 10,000
29	33,000	19,400	461	18.2	11,400	M MB	69 689	1,000 10,000
32	43,500	25,600	530	20.9	9,900	M MB	69 345	1,000 5,000
38	57,400	33,800	610	24.0	8,600	M MB	69 345	1,000 5,000
46	75,900	44,700	701	27.6	7,500	M MB	69 217	1,000 3,150
56	100,200	59,000	806	31.7	6,500	M MB	69 217	1,000 3,150

Figura 30: Selección del compresor.

Fuente: Elliott Group Ebara Corporation.

COMPRESSOR FRAME SUMMARIES

Frame	Typical Flow Range		Inlet Nozzle Sizes		Discharge Nozzle Sizes	
	m <sup>3</sup> /hr	CFM	mm	in	mm	in
1H – 10M <sup>PA3</sup> 1V – 10MB <sup>PA3</sup>	2,888 – 14,272	1,700 – 8,400	102, 203, 254, 305, 356 102, 203, 254, 305, 356	4, 8, 10, 12, 14 4, 8, 10, 12, 14	102, 152, 203 102, 152, 203	4, 6, 8 4, 6, 8
2H – 15M <sup>PA3</sup> 2V – 15MB <sup>PA3</sup>	3,738 – 19,029	2,200 – 11,200	152, 203, 254, 305, 356, 406 102, 152, 203, 254, 305, 356, 406, 457	6, 8, 10, 12, 14, 16 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	102, 152, 203 102, 152, 203, 254	4, 6, 8 4, 6, 8, 10
3H – 20M <sup>PA3</sup> 3V – 20MB <sup>PA3</sup>	4,927 – 25,145	2,900 – 14,800	203, 254, 305, 356, 406, 457 152, 203, 254, 305, 356, 406, 457	8, 10, 12, 14, 16, 18 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	102, 203, 254 102, 152, 203, 254, 305	4, 8, 10 4, 6, 8, 10, 12
4H – 25M <sup>PA3</sup> 4V – 25MB <sup>PA3</sup>	6,626 – 33,471	3,900 – 19,700	254, 305, 356, 406, 457, 508 203, 254, 305, 356, 406, 457, 508	10, 12, 14, 16, 18, 20 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20	152, 203, 254, 305 152, 203, 254, 305, 406	6, 8, 10, 12 6, 8, 10, 12, 14
5H – 29M <sup>PA3</sup> 5V – 29MB <sup>PA3</sup>	8,665 – 44,174	5,100 – 26,000	305, 356, 406, 457, 508, 610 203, 305, 356, 406, 457, 508, 610	12, 14, 16, 18, 20, 24 8, 12, 14, 16, 18, 20, 24	152, 203, 254, 356 152, 254, 305, 406	6, 8, 10, 14 6, 10, 12, 16
6H – 32M <sup>PA3</sup> 6V – 32MB <sup>PA3</sup>	11,553 – 58,446	6,800 – 34,800	406, 457, 508, 610, 762 305, 406, 457, 508, 610, 762	16, 18, 20, 24, 30 12, 16, 18, 20, 24, 30	203, 254, 305, 406 203, 305, 406, 508	8, 10, 12, 16 8, 12, 16, 20
7H – 38M <sup>PA3</sup> 7V – 38MB <sup>PA3</sup>	15,291 – 77,305	9,000 – 45,500	457, 508, 610, 762, 914 406, 457, 508, 610, 762, 914	18, 20, 24, 30, 36 16, 18, 20, 24, 30, 36	203, 305, 406 203, 305, 406, 508	8, 12, 16 8, 12, 16, 20
8H – 46M <sup>PA3</sup>	20,218 – 102,620	11,900 – 60,400	254, 610, 762, 914	10, 24, 30, 36	254, 305, 406, 508	10, 12, 16, 20

Figura 31: Selección del compresor.

Fuente: Elliott Group Ebara Corporation.





Luego, entramos con el valor de la presión máxima admisible encontrada en la primera tabla y con el dato de rpm; tenemos algunas características del compresor:

Casing Rating		100% Nominal Impeller Diameter		Nominal Speed	Journal Bearing Diameter	
barg	psig	mm	in	rpm	mm	in
69 138	H – 1000 V – 2000	263.550	10.376	19800	74.93	2.95
69 138	H – 1000 V – 2000	303.073	11.932	17300	74.93, 88.9, 101.6	2.95, 3.5, 4
69 138	H – 1000 V – 2000	348.539	13.722	15000	88.9, 101.6	3.5, 4
69 138	H – 1000 V – 2000	400.812	15.780	13100	88.9, 101.6, 127	3.5, 4, 5
69 138	H – 1000 V – 2000	460.934	18.147	11400	88.9, 101.6, 127	3.5, 4, 5
69 138	H – 1000 V – 2000	530.098	20.870	9900	101.6, 127, 152.4	4, 5, 6
69 138	H – 1000 V – 2000	609.600	24.000	8600	101.6, 127, 152.4, 177.8	4, 5, 6, 7
69 138	H – 1000 V – 2000	701.040	27.600	7500	127, 152.4, 177.8, 203.2	5, 6, 7, 8

Figura 32: Selección del compresor.  
Fuente: Elliott Group Ebara Corporation.

Finalmente, en la siguiente tabla se visualiza con detalles las dimensiones del compresor seleccionado.



## WEIGHTS, DIMENSIONS AND CONFIGURATIONS

Frame Size	Minimum Rotor Length (in. / mm)	Maximum Rotor Length (in. / mm)	Casing Width (includes supports) (in. / mm)	Casing Height (exc. supports) (in. / mm)	Minimum Casing Weight (lb/kg)	Maximum Casing Weight (lb / kg)
Typical Weights and Dimensions for Elliott Horizontal Split Compressors*						
10M	35 / 890	64 / 1,625	37.3 / 947.4	36.25 / 921	4,700 / 2,130	9,000 / 4,080
15M	35 / 890	75 / 1,905	42.5 / 1,080	41.38 / 1,051	5,600 / 2,540	12,700 / 5,760
20M	40 / 1,015	80 / 2,030	48.5 / 1,232	47.85 / 1,215	8,200 / 3,720	18,000 / 8,165
25M	45 / 1,145	90 / 2,285	55.1 / 1,400	54.12 / 1,375	11,100 / 5,035	24,500 / 11,100
29M	50 / 1,270	110 / 2,795	65.4 / 1,661	59.25 / 1,505	14,000 / 6,350	32,000 / 14,500
32M	50 / 1,270	124 / 3,150	70.5 / 1,791	65.75 / 1,670	15,700 / 7,120	45,000 / 20,400
38M	55 / 1,400	135 / 3,430	76.3 / 1,938	70.62 / 1,794	23,000 / 10,430	62,000 / 28,100
46M	70 / 1,780	155 / 3,940	66.5 / 1,689	89.5 / 2,273	32,500 / 14,740	87,000 / 39,500
56M	80 / 2,032	175 / 4,445	76 / 1,930	93.38 / 2,372	51,500 / 23,360	127,000 / 57,600

Figura 33: Selección del compresor.  
Fuente: Elliott Group Ebara Corporation.

### 7.4.2.5. Selección del motor

Es conveniente seleccionar un motor que pueda satisfacer la necesidad de potencia que requiere el compresor; previamente calculada y obteniendo un valor de 4.655,8 kW. Por tanto, la empresa ABB group tiene en su lista de productos un motor AC AMZ de tipo síncrono; con un rango de potencia que se adapta a los requerimientos. A continuación, se detallan:



CARACTERÍSTICAS	
AC/DC	AC
Tipo	síncrono
Voltaje	> 1000 V
Índice de protección	IP55, IP54, IP44, IP23
Aplicaciones	para bomba, industrial, para compresor, para la industria minera, para el tratamiento de aguas, para machacadora
Otras características	de alto rendimiento, de alto par, de alta potencia, NEMA, de velocidad variable, de velocidad constante
Potencia	Mín.: 1.000 kW (1.359,621 hp) Máx.: 65.000 kW (88.375,375 hp)

**Figura 34:** Selección del compresor.  
Fuente: ABB Motors Drives and Power Electronics.

#### 7.4.2.6. Hoja de especificación

UTN-FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN - COMPRESOR		INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL	
	DENOMINACIÓN: Sistema de compresión en etapas			
	UNIDAD: C-101			
	SERVICIO: Acondicionamiento de la corriente de Aire			
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>				
<b>TIPO</b>	CENTRÍFUGO	<b>PROVEEDOR</b>	ELIOTT GROUP EBARA CORPORATION	
<b>MODELO</b>	9H-46M Horizontal			
<b>CONDICIONES OPERATIVAS</b>				
<b>CAUDAL</b>	75.448,85	kg/h	61.742,10	Nm <sup>3</sup> /h
	2.180.401,68	SCFM	2,18	MMSCFM
<b>CONDICIONES DE SUCCIÓN</b>				
<b>ETAPA</b>		<b>1º</b>	<b>2º</b>	
<b>PRESIÓN</b>	kg/cm <sup>2</sup>	1	2,51	



TEMPERATURA	°C	25	45
FACTOR Z		0,9993	0,99913
CP/CV		1,3	
<b>CONDICIONES DE DESCARGA</b>			
<b>ETAPA</b>		<b>1º</b>	<b>2º</b>
PRESIÓN	kg/cm <sup>2</sup>	2,51	6,11
TEMPERATURA	°C	136	159
<b>PERFORMANCE DEL EQUIPO</b>			
<b>ETAPA</b>		<b>1º</b>	<b>2º</b>
POTENCIA POR ETAPA	HP	8378	2681
POTENCIA TOTAL	HP	11059	
EFICIENCIA POLITRÓPICA		80%	
<b>COMPOSICIÓN DEL GAS</b>			
Nitrógeno	79	% MOLAR	
Oxígeno	21	% MOLAR	
<b>MOTOR</b>			
TIPO	SÍNCRONO	PROVEEDOR	ABB GROUP
MODELO	AC NMK	POTENCIA 6243 HP	VOLTAJE > 1000 V
<b>CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR SELECCIONADO</b>			
CAUDAL MÁXIMO	102.620		Nm <sup>3</sup> /h
CAUDAL MÍNIMO	20.218		Nm <sup>3</sup> /h
VELOCIDAD NOMINAL	7.500		RPM
PRESIÓN MÁXIMA SOPORTADA	70		kg/cm <sup>2</sup>
DIMENSIONES PRINCIPALES	LARGO		ALTO
	3940 mm	2273 mm	ANCHO 1689 mm
<b>OBSERVACIONES</b>			
El equipo consta de dos (2) etapas de compresión con un enfriamiento interetapa con agua.			

### 7.4.3. Reactor de oxidación catalítica R-101

El reactor de oxidación catalítico R-101 recibe como alimentación la corriente "7" y cuenta con un catalizador en forma de malla donde reaccionará el amoníaco, oxidándose con el oxígeno del aire para formar monóxido de nitrógeno y monóxido de dinitrógeno como compuesto indeseado. El reactor tiene como

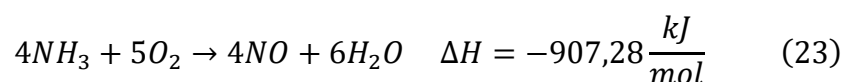


única salida la corriente “8” que, debido a que sale a altas temperaturas, pasará por un tren de intercambiadores para llevarla a la temperatura de operación de la torre de absorción T-102. Además el reactor cuenta con un encamisado que envuelve un serpentín, por este se hace atravesar una gran corriente de agua de enfriamiento, la cual sale a una temperatura de 50°C, para mantener la temperatura del reactor en 890°C.

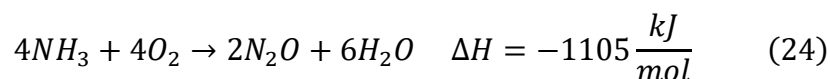
El reactor se describe como un tanque tubular, con una zona reactiva donde se coloca un catalizador de Platino-Rodio en una proporción de 90:10 en forma de gases metálicas de medidas estándar. La conversión de la reacción, según bibliografías estudiadas es de entre el 93 al 98% y su tiempo de reacción alrededor de  $10^{-11}$  segundos. Se demostró que la tasa de oxidación global está controlada por la transferencia de amoníaco desde el seno del gas a la superficie del platino.

El reactor está compuesto por tres partes, una zona reactiva donde se ubica el catalizador, un sección de captura del catalizador y una sección de enfriamiento. Este enfriamiento rápido ayuda a minimizar la pérdida por descomposición al generar NO.

Dependiendo del catalizador utilizado y las condiciones del proceso (temperatura, presión, composición de la fase gaseosa) entre el 93 y el 98% del amoníaco en la alimentación se convierte en monóxido de nitrógeno.



El restante participa en reacciones no deseadas produciendo monóxido de dinitrógeno (óxido nitroso).



De acuerdo a la estequiometria de la reacción global, la mezcla de aire y amoníaco en la entrada debe contener un 14.38% v/v de amoníaco. Sin embargo la relación que normalmente se utiliza se encuentra en un rango de 9,5 a 11,5 ya que el aire y el amoníaco forman una mezcla explosiva. Como la mezcla de amoníaco y aire en la práctica industrial es irregular, se pueden dar relaciones

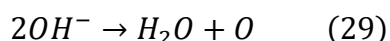
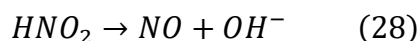
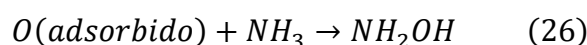
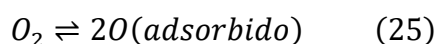


más altas en puntos específicos se necesita una relación que incluya un margen de seguridad por debajo del límite de explosión. El límite de explosión depende de la presión, así que considerando nuestra presión de trabajo se establecerá una relación del 11% v/v.

La oxidación del amoníaco es una reacción extremadamente rápida, el tiempo de contacto con el catalizador, donde se va a producir la oxidación, es de entre  $10^{-1}$  y  $10^{-4}$  segundos.

#### 7.4.3.1. Mecanismo de reacción

De acuerdo con Bodenstein en 1935, la teoría de la hidroxilamina, el amoníaco reacciona con el oxígeno atómico adsorbido en el catalizador para producir hidroxilamina. Esta luego reacciona con el oxígeno molecular para formar ácido nitroso, el cual luego se disocia a monóxido de nitrógeno y iones hidroxilos:



En experimentos de oxidación bajo vacío, Bodenstein y sus colaboradores detectaron tanto hidroxilaminas y ácido nitroso como productos intermedios en el catalizador de platino. Estudios posteriores con espectrómetros de masa mostraron que dichos intermediarios no se encuentran a temperaturas por encima de los  $400^\circ\text{C}$ . Sin embargo en reacciones rápidas como la combustión del amoníaco (el tiempo de reacción para la reacción global es de  $10^{-11}$  segundos) difícil de detectar a los posibles intermediarios porque tienen poco tiempo de vida y se encuentran en concentraciones muy bajas.





### 7.4.3.2. Cinética de reacción

A temperaturas bajas (entre 200 y 400°C), la velocidad de la oxidación del amoníaco está limitada por la cinética de la reacción y los subproductos, nitrógeno y especialmente el monóxido de dinitrógeno, se forman preferencialmente. A temperaturas entre 400 y 600°C, lo que limita la velocidad de reacción es la transferencia de masa, la cual se vuelve dominante por encima de los 600°C. El control por transferencia de masa se relaciona a la velocidad de difusión del amoníaco a través del film gaseoso hasta la superficie del catalizador y el producto en este régimen de reacción es el monóxido de nitrógeno.

La temperatura máxima está limitada por la pérdida del catalizador, que se vuelve excesiva por encima de los 900°C. La pérdida por unidad de área es, aparentemente, directamente proporcional a la temperatura de la gasa, de la velocidad de flujo y de la relación amoníaco-aire en la alimentación.

En el control de transferencia de masa, la velocidad de oxidación del amoníaco puede escribirse en términos de un coeficiente de transferencia de masa, asumiendo que la presión parcial del amoníaco en la superficie del catalizador es cero para esta reacción rápida.

$$(-r_A) = k_C a_g C_{NH_3} \quad (30)$$

Donde:

- $k_C$ : Coeficiente de transferencia de masa, en cm/s.
- $C_{NH_3}$ : Concentración del amoníaco, en mol/cm<sup>3</sup>.
- $a_g$ : Área superficial por unidad de volumen de la gasa, en cm<sup>-1</sup>.
- $r_A$ : Velocidad de consumo de amoníaco, en mol/s\*cm<sup>3</sup>.

Para lechos poco profundos, la difusión axial seguramente debe ser importante, pero las altas velocidades de flujo que se encuentran en los equipos comerciales hacen que sea menos importante que el problema de la distribución uniforme del flujo a través de las gasas. Incluyendo un distribuidor de gas luego de la entrada de gas, este problema se alivia en gran medida.

Se aplica entonces el modelo de un flujo pistón:



$$-\frac{dF_{NH_3}}{dV} = k_c a_g C_{NH_3} \quad (31)$$

Donde:

- $F_{NH_3}$ : Caudal molar de amoníaco, en mol/s.
- $V$ : Volumen de la zona de reacción, en  $cm^3$ .

A continuación llevaremos la ecuación a una función del número de mallas apiladas en la zona de reacción. Para eso reemplazaremos los valores presentados. La concentración del amoníaco se calcula con:

$$C_{NH_3} = \frac{F_{NH_3} \rho_m}{F_{Total} \overline{PM}} \quad (32)$$

Donde:

- $\rho_m$ : Densidad de la mezcla, en  $kg/cm^3$ .
- $F_{Total}$ : Caudal molar de la corriente gaseosa, en mol/s.
- $\overline{PM}$ : Peso molecular medio de la corriente gaseosa, en kg/mol.

Para el cálculo del diferencial de volumen, sabemos que:

$$V = zA \quad (33)$$

$$z = nh \quad (34)$$

$$V = nh \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \rightarrow dV = \frac{\pi D^2 h}{4} dn \quad (35)$$

$$h = 2d \quad (36)$$

Donde:

- $z$ : Altura del volumen de reacción, en cm.
- $A$ : Área transversal del reactor, en  $cm^2$ .
- $n$ : Número de mallas.
- $h$ : Altura de la malla, en cm.
- $D$ : Diámetro del reactor, en cm.



- $d$ : Diámetro del alambre de la malla, en cm.

Reemplazando  $dV$ ,  $C_{NH_3}$  y  $h$  se obtiene:

$$-\frac{dF_{NH_3}}{F_{NH_3}} = \frac{k_C a_g \rho_g \pi d D^2}{2 \overline{PM} F_{Total}} n \quad (37)$$

Integrando y despejando:

$$\ln\left(\frac{F_{NH_3}^o}{F_{NH_3}^s}\right) = \frac{k_C a_g \rho_g \pi d D^2}{2 \overline{PM} F_{Total}} n \quad (38)$$

Donde:

- $F_{NH_3}^o$ : Caudal molar de entrada de amoníaco, en mol/s.
- $F_{NH_3}^s$ : Caudal molar de salida de amoníaco, en mol/s.

Podemos reemplazar las incógnitas de caudales molares por la conversión:

$$\ln\left(\frac{1}{1 - X_{NH_3}}\right) = \frac{k_C a_g \rho_g \pi d D^2}{2 \overline{PM} F_{Total}} n \quad (39)$$

Donde:

- $X_{NH_3}$ : Conversión de amoníaco correspondiente a la reacción de interés.

Si despejamos el valor de la cantidad de mallas, la ecuación resulta ser:

$$n = -\ln(1 - X_{NH_3}) \left( \frac{2 \overline{PM} F_{Total}}{k_C a_g \rho_m \pi d D^2} \right) \quad (40)$$

#### 7.4.3.3. Cálculo de las dimensiones básicas

El reactor se dispone verticalmente y está conformado por dos secciones. La primera está conectada con la cañería de entrada de los gases. En esta zona, la corriente atraviesa una placa perforada para distribuirse homogéneamente sobre la siguiente sección. Esta segunda zona, de forma cilíndrica, contiene la gasa de catalizador conformada por finas mallas de Pt-Rh dispuestas una sobre otra y es



atravesada por la corriente gaseosa que reacciona rápidamente de manera exotérmica y cuyo calor liberado permite auto-sustentar térmicamente la operación. Inmediatamente después, para captar el Pt volatilizado se dispone una malla recuperadora de Pd-Ni. Luego de traspasarla, la corriente egresa del reactor.

La reacción de oxidación viene acompañada de reacciones secundarias que ocurren en paralelo. Para disminuir su ocurrencia, en adición al uso del catalizador, se debe asegurar una velocidad de flujo de los gases dentro del rango de 1 a 4 m/s a través de las mallas de catalizador entonces seleccionamos como valor de velocidad lineal de gas 1,4 m/s. Teniendo en cuenta esta restricción podemos hallar el área por la cual atraviesa el gas según la fórmula:

$$A_{vacío} = \frac{G}{\rho_m v} \quad (41)$$

Donde:

- $A_{vacío}$ : Área entre las mallas por la cual atraviesa el gas, en  $\text{cm}^2$ .
- $G$ : Caudal másico de gas, en  $\text{kg/s}$ .
- $v$ : Velocidad lineal del gas a través de la malla, en  $\text{cm/s}$ .

Una vez obtenida el área debe multiplicarse por un factor de corrección. Debido a la presencia del catalizador, el grosor de los alambres de las mallas y su cantidad reduce el área disponible nueve veces. Lo que significa que el área calculada es simplemente la de los espacios vacíos entre los alambres de las mallas y para obtener el área real del reactor debemos sumarle aquella área ocupada por el propio catalizador.

$$A_{tot} = 9A_{vacío} \quad (42)$$

Donde:

- $A_{tot}$ : Área total del reactor, en  $\text{cm}^2$ .

Una vez obtenida el área total, se deduce el diámetro del equipo.



$$D = \left( \frac{4A_{tot}}{\pi} \right)^{0,5} \quad (43)$$

Donde:

- $D$ : Diámetro del reactor, en cm.

Ya que la altura del lecho catalítico es despreciable en comparación con la altura total del reactor (la altura de cada malla está en el orden de los cien micrómetros). A este tipo de reactor se le suele dar una relación de esbeltez de 1,5 para permitir la correcta mezcla de los gases de reacción antes y después de atravesar el lecho catalítico que se coloca a doce pulgadas de la entrada del reactor.

$$\frac{L}{D} = 1,5 \quad (44)$$

Donde:

- $L$ : Longitud del reactor, en cm.

v [cm/s]	140
G [kg/s]	4,85
Avacio [cm <sup>2</sup> ]	7.108,85
Atot [cm <sup>2</sup> ]	63.979,68
D [cm]	285,41
L [cm]	428,12

**Tabla 28:** Datos obtenidos de la dimensión del R-101.

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente se le dará valores más estándar a ambas dimensiones del reactor de oxidación de amoníaco:

D [m]	3,00
L [m]	4,50

**Tabla 29:** Dimensiones del R-101.

**Fuente:** Elaboración propia.



#### 7.4.3.4. Catalizador

Las mallas utilizadas para mejorar la selectividad de la reacción de oxidación de  $\text{NH}_3$  para dar  $\text{NO}$ , son mallas no porosas conformadas por una aleación 90% p/p Pt y 10% p/p Rh, dispuestas una sobre la otra, formando una gasa de catalizador. El Pt cataliza la reacción de interés y el Rh aporta resistencia mecánica y disminuye el efecto de volatilización de Pt. Se seleccionan para el proceso mallas de forma circular plana, tejidas y de fina textura que brindan una gran área por unidad de volumen para llevar a cabo la reacción de interés. Se prefieren mallas tejidas, debido a que el otro tipo de estructura típica, las mallas entramadas, son frágiles y se dificulta su manejo una vez removidas del reactor para su reemplazo.

Si ocurre un envenenamiento del catalizador el número de centros activos disminuye y la presión parcial, particularmente la del amoníaco, aumenta en los centros activos restantes. El resultado es un incremento en la formación de subproductos no deseados. La contaminación se debe a los óxidos de hierro, al polvo del aire y a cualquier material que se deposite sobre la superficie del catalizador, intercediendo en su área de contacto. Para evitar esta situación se requieren equipos de filtrado previos al reactor. En cuanto a la pérdida del platino se puede deber a la abrasión mecánica o a la vaporización por la formación de óxidos de platino, para que esto no suceda se debe mantener la temperatura de reacción por encima de  $800\text{ }^\circ\text{C}$ .

Al principio de su uso, el catalizador tiene una superficie suave y por lo tanto presenta poco límite de transferencia de masa en la fase gaseosa. Esto causa una baja conversión inicial de monóxido de nitrógeno. Luego de un corto tiempo de servicio el área de la superficie del catalizador aumenta en gran medida por los cambios microestructurales y las interacciones con constituyentes volatilizantes del catalizador. El crecimiento del catalizador aumenta las limitaciones de la transferencia de masa en la fase gaseosa y por ende también la conversión del monóxido de nitrógeno.



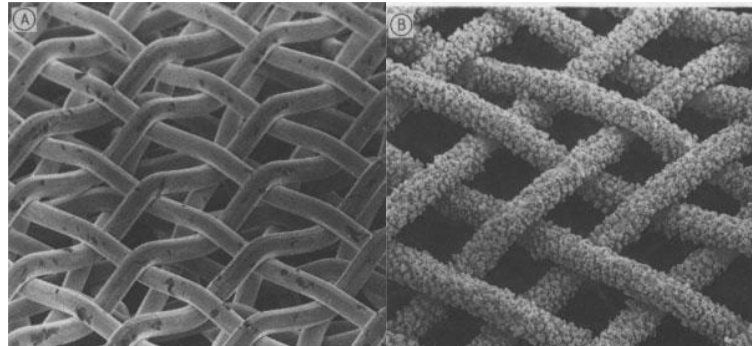


Figura 35: Catalizador Pt-Rh 90:10.

Fuente: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 4ta edición.

Debido a la volatilización de Pt, las mallas tienen un tiempo de operación limitado. En la operación a media presión se debe realizar el recambio cada aproximadamente 2 años.

Se escogen los valores más utilizados comercialmente para el diámetro de alambre y el número de Mesh. Aquí se presentan las características de la malla seleccionada:

Malla de catalizador 90% p/p de Platino y 10% p/p de Rodio.	
Diámetro del alambre [mm]	0,076
Altura de la malla [mm]	0,152
Número de Mesh [1/pulgada]	80

Tabla 30: Propiedades del catalizador.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la página oficial de Johnson Matthey.

Para el cálculo del volumen se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se asume flujo pistón a través de la gasa. Para que esta hipótesis sea válida, se coloca un distribuidor de gases a la entrada del reactor.
- Debido a la alta selectividad del catalizador hacia los productos de la reacción de interés, el volumen de reacción estará determinado solo por la oxidación del  $\text{NH}_3$  para dar  $\text{NO}$ .
- La velocidad de reacción está controlada por el transporte de materia del  $\text{NH}_3$ , debido a que la temperatura de operación del reactor se encuentra siempre por encima de los  $600^\circ\text{C}$ .



- Las mallas se modelan como un sólido que se mantiene a temperatura uniforme debido a que la conductividad térmica de los metales se puede considerar infinita y a que existe transferencia de calor por radiación entre las mallas. La gasa formada es calentada en la puesta en marcha con un quemador de llama de  $H_2$  hasta la temperatura de reacción. Una vez alcanzado el estado estacionario, la gasa se mantiene a esta temperatura y el calor generado lo absorbe la corriente de proceso y el agua dentro del encamisado.
- Los reactivos ingresan y se calientan instantáneamente hasta la temperatura de reacción. Las propiedades y caudales utilizados en el cálculo del volumen son los correspondientes a la corriente de salida. Esto se puede asumir por la mayor proporción de inertes, en comparación con los otros componentes gaseosos presentes en la corriente de proceso, lo que implica una variación despreciable en las propiedades.

Como desarrollamos anteriormente, la cantidad de mallas apiladas necesarias para llegar a la conversión estipulada está descrita con la ecuación (18). Para obtener el coeficiente de transferencia de masa  $k_C$  se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$J_D = \frac{k_C d}{D_{NH_3,aire} Sc^{1/3} Re^{0,5}} \quad (45)$$

Donde:

- $J_D$ : Factor de transferencia de masa, en cm/s.
- $D_{NH_3}$ : Coeficiente de difusión del amoníaco en el aire, en  $cm^2/s$ .
- $Re$ : Número de Reynolds.
- $Sc$ : Número de Schmidt.

$$Re = \frac{dv\rho_m}{\mu_m(1 - \varepsilon_W)} \quad (46)$$

Donde:

- $v$ : Velocidad de la corriente gaseosa a través del catalizador, en cm/s.
- $\mu_m$ : Viscosidad de la mezcla, en  $kg/cm*s$ .
- $\varepsilon_W$ : Fracción de huecos.



$$\varepsilon_W = 1 - \frac{\pi L N^2 d}{4} \quad (47)$$

Donde:

- $N$ : Número de mesh, en 1/cm.
- $L$ : Factor estructural de la malla, en cm.

$$L = \left[ \left( \frac{1}{N} \right)^2 + d^2 \right]^{0,5} \quad (48)$$

$$Sc = \frac{\mu_m}{\rho_m D_{NH_3,aire}} \quad (49)$$

$$D_{NH_3,aire} = 0,227 \left( \frac{T}{293} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{P} \quad (50)$$

Donde:

- $T$ : Temperatura de operación, en °K.
- $P$ : Presión de operación, en atm.

Luego, para Reynolds entre 3 y 107 se usa la siguiente correlación:

$$\gamma J_D = \frac{0,664}{\left( \frac{Re}{\gamma} \right)^{0,57}} \quad (51)$$

Donde:

- $\gamma$ : Factor constructivo de las mallas.

$$\gamma = (1 - Nd)^2 \quad (52)$$

Teniendo en cuenta que la temperatura de operación es 1163°K y la presión de operación 5,43 atmósferas, los datos obtenidos luego de reemplazar las ecuaciones son:



L [cm]	0,0326
$\epsilon W$	0,8067
Re	119,7538
D [cm <sup>2</sup> /s]	0,4184
Sc	0,1098
$\gamma$	0,5786
kC [cm/s]	15,847

**Tabla 31:** Propiedades del proceso de catálisis heterogénea.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Luego fijamos la conversión en un 98% y calculamos el área superficial por unidad de volumen de catalizador como:

$$a_g = \pi L N^2 \quad (53)$$

Y reemplazamos en la ecuación original (18). Obtenemos los siguientes resultados:

ag [1/cm]	101,74
n	2,2475

**Tabla 32:** Resultados obtenidos, en el cálculo de cantidad de mallas.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Redondeamos para arriba para obtener un número entero de mallas, por lo que la cantidad final va a ser de 3 mallas. Finalmente se obtiene el volumen de la zona de reacción.

h [cm]	0,0152
Vcat [cm <sup>3</sup> ]	3223,27

**Tabla 33:** Resultados obtenidos, en el cálculo del volumen de catalizador.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Entre grandes productores de mallas catalíticas encontramos a Degussa, de Brasil, Heaeus, de Alemania, Johnson Matthey, de Inglaterra y Engelhard y Safina, ambos de Estados Unidos. Para nuestro proyecto adquiriremos las mallas catalíticas por parte de Johnson Matthey quien es el actual proveedor del catalizador que utiliza la Fábrica Militar Río Tercero para su producción de ácido



nítrico. Johnson Matthey cuenta incluso con una división especializada en metales preciosos.

Las empresas recuperadoras de metales preciosos, son HeraeusGroup, de Alemania y Sabin Metal, de Estados Unidos. Los metales preciosos, luego de ser recuperados se depositan en un banco para su posterior conversión en catalizador.

En conclusión las mallas catalíticas provistas por Johnson Matthey serán enviadas, luego de agotarse, a la empresa de recuperación, luego se enviarán los metales preciosos recobrados a un banco donde se almacenarán y por último serán enviados a la empresa productora de mallas para que vuelva a fabricar las mallas para volver a utilizar en el proceso.

#### 7.4.3.5. Caída de presión en el volumen de reacción

La caída de presión por unidad de longitud se determina mediante la ecuación de Ergun:

$$\frac{\Delta P}{z} = 150 \frac{\mu_m v (1 - \varepsilon_w)^2}{dp^2 \varepsilon_w^3} + 1,75 \frac{\rho_m v^2 (1 - \varepsilon_w)}{dp \varepsilon_w^3} \quad (54)$$

Donde:

- $\frac{\Delta P}{z}$ : Caída de presión por unidad de longitud de la zona de reacción.
- $dp$ : Diámetro efectivo.

El diámetro efectivo se calcula como:

$$dp = \frac{6\varepsilon_w}{a_g} \quad (55)$$

Resolviendo las ecuaciones con los datos obtenidos previamente y teniendo en cuenta que la cantidad de mallas dispuestas son 3, cada una con una altura de 0,0152 cm, sacamos los siguientes resultados:



dp [cm]	0,0476
$\Delta P/z$ [Pa/m]	14432,64
$\Delta P$ [Pa]	6,581
$\Delta P$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$6,7 \cdot 10^{-5}$

**Tabla 34:** Resultados obtenidos, en el cálculo de la caída de presión.  
*Fuente:* Elaboración propia.

#### 7.4.3.6. Balance de energía y caudal refrigerante

Las reacciones que ocurren dentro del reactor de oxidación son fuertemente exotérmicas, lo que obliga a mantener condiciones normales de operación, refrigerando y disipando el calor generado.

Es importante mantener estable la temperatura de operación en 890°C ya que las altas temperaturas favorecen la selectividad de la reacción hacia el producto deseado, el monóxido de nitrógeno, menores temperaturas aumentarían la generación de monóxido de dinitrógeno y de nitrógeno gaseoso. Sin embargo el límite superior de temperatura está impuesto por las condiciones físicas del mismo catalizador, que pierde sus propiedades a temperaturas mayores de 900°C.

Es por esto que se establece la temperatura ideal de 890°C que fomenta al máximo posible la conversión sin poner en riesgo la integridad física del catalizador.

Se utilizará agua de enfriamiento para mantener la temperatura del reactor estable. El agua pasará por un serpentín que envuelve al reactor pasando de una temperatura de 29°C a 50°C. El serpentín se sostendrá y envolverá con un encamisado.

Planteamos a continuación un balance de energía en el reactor:

$$\frac{dE_{sys}}{dt} = Q - W_S + F_{A0} \sum \theta_j (H_{jT_0} - H_j) - F_{A0} X_A \sum \left( \frac{\alpha_j}{\alpha_A} H_{jT} \right) \quad (56)$$

$$F_{A0} X_A \sum \left( \frac{\alpha_j}{\alpha_A} H_{jT} \right) - F_{A0} \sum \theta_j (H_{jT_0} - H_j) = Q \quad (57)$$





$$F_{A0} (X_A \Delta H_R - (T_0 - T_R) \sum \theta_j c_{Pj}) = Q \quad (58)$$

$$F_{A0} (X_A^1 \Delta H_R^1 + X_A^2 \Delta H_R^2 - (T_0 - T_R) \sum \theta_j c_{Pj}) = Q \quad (59)$$

Donde:

- $Q$ : Calor intercambiado con el serpentín, en kJ/h.
- $F_{A0}$ : Flujo molar de amoníaco, en kmol/h.
- $\theta_j$ : Relación de alimentación, una relación entre el flujo molar de entrada de cada componente con respecto al de amoníaco.
- $X_A$ : Conversión del amoníaco, para cada reacción.
- $\Delta H_R$ : Entalpía de reacción, para cada reacción.
- $T_0$ : Temperatura de entrada de los reactivos.
- $T_R$ : Temperatura a la que ocurre la reacción.
- $c_{Pj}$ : Calor específico medio de cada componente.

Dado que se puede afirmar que el amoníaco reacciona en su totalidad salvo que a distintos productos, podemos decir que la conversión de la reacción depende simplemente de su selectividad. Entonces si el 98% del amoníaco se convierte en monóxido de nitrógeno, el 2% restante lo hará a monóxido de dinitrógeno.

Según los datos que tenemos podemos conseguir el valor del calor intercambiado con el serpentín, y así conocer el caudal de agua de enfriamiento necesario.

<b>FA0</b>	69,79	kmol/h
<b>XA1</b>	0,98	
<b>XA2</b>	0,02	
<b>ΔHr1</b>	-904.000	kJ/kmol
<b>ΔHr2</b>	-1.105.000	kJ/kmol
<b>T0</b>	134	°C
<b>TR</b>	890	°C

**Tabla 35:** Datos de la reacción.

**Fuente:** Elaboración propia.



Componente	$\theta$	Cp [kJ/kmol°C]
NH3	1,00	98,88
O2	1,70	87,19
N2	6,39	126,22
NO	0,00	89,38
N2O	0,00	86,88
H2O	0,01	83,54

**Tabla 36:** Propiedades de los componentes de reacción.  
*Fuente:* Elaboración propia.

Finalmente obtenemos que el calor intercambiado es de **25.431.196,79 kJ/h**.

Planteamos entonces un balance de energía entre el calor netamente liberado por el reactor y el calor absorbido por el agua de enfriamiento para así determinar su caudal:

$$Q_{reactor} = Q_{agua} \quad (60)$$

$$Q_{reactor} = mc_p \Delta T \quad (61)$$

Consideramos que el agua de enfriamiento ingresa a 29°C y egresa del serpentín a una temperatura de 50°C, lista para ingresar a las torres de enfriamiento del parque industrial. Sabiendo el calor específico del agua obtenemos que el caudal necesario es de **148.248,83 kg/h**.

Consideramos entonces que el serpentín estará compuesto por la tecnología medio tubo rodeando y envolviendo por completo la circunferencia del reactor. Para el correcto traslado del agua de enfriamiento, a una velocidad acorde para que pueda intercambiar el calor suficiente con los gases de óxidos de nitrógeno a altas temperaturas que atraviesan el reactor se consideró que dentro del serpentín el agua deberá correr a una velocidad aproximada de 1,3 m/s.

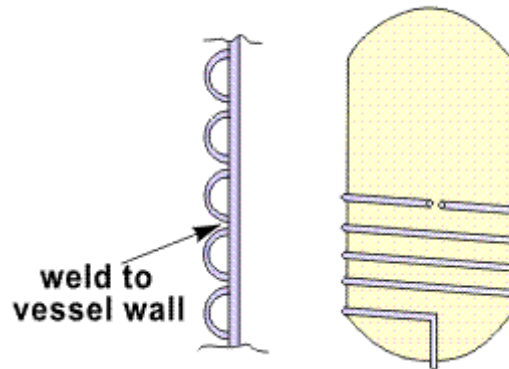


Figura 36: Esquema de serpentín "Half Pipe".

Fuente: Página web: <https://www.thermopedia.com/cn/content/547>.

Acorde al alto caudal de agua de enfriamiento necesario, se calcula que el diámetro de los tubos debería de ser de 20,09 cm, es decir, 7,91 pulgadas. Si buscamos una tubería nominal para esos valores encontramos tuberías de 8 pulgadas para un Schedule 40, es decir de 20,27 cm de diámetro.

#### 7.4.3.7. Material y Espesor

El material seleccionado para la construcción del reactor catalítico es acero inoxidable AS 310 S (24,0% p/p de Cr, 19,0% p/p de Ni y otros). Este, del tipo austenítico, típicamente se usa para aplicaciones de elevada temperatura. Su alto contenido de cromo y níquel proporciona una resistencia a la corrosión a altas temperaturas (hasta 1100°C).

Para el cálculo de espesores se utiliza la norma ASME VIII, División 1. El espesor mínimo requerido (sin considerar el espesor de corrosión) se calcula como el mayor valor entre el obtenido al tener en cuenta el stress circunferencial y el obtenido al tener en cuenta el stress longitudinal que se calculan siguiendo la norma ASME VIII, División 1, Inciso UG-27 mediante:

$$tc = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad (62)$$

Válida cuando  $P < 0,385SE$  y  $tc < \frac{R}{2}$ .



$$tl = \frac{PR}{2SE + 0,4P} \quad (63)$$

Válida cuando  $P < 1,25SE$  y  $tl < \frac{R}{2}$ .

Donde:

- $t_c$ : Mínimo espesor requerido de la envolvente al tener en cuenta el stress circunferencial, en mm.
- $tl$ : Mínimo espesor requerido de la envolvente al tener en cuenta el stress longitudinal, en mm.
- $P$ : Presión interna de diseño, en kPag.
- $R$ : Radio interno de la envolvente, en m.
- $S$ : Tensión máxima admisible determinada por el material elegido, en kPag.
- $E$ : Eficiencia de junta, para soldaduras en acero inoxidable se estima igual a 1.

La presión de diseño se considera como:

$$P = P_{OP} + 2 \text{ kg/cm}^2 \quad (64)$$

Donde:

- $P_{OP}$ : Presión de operación, fijada en 4,59 kg/cm<sup>2</sup>.

Pop [kg/cm <sup>2</sup> ]	4,59
Pdiseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	6,59
R [cm]	150,00
S [kg/cm <sup>2</sup> ]	1.203,27
E	1,00
$t_c$ [mm]	8,09
$tl$ [mm]	4,03

**Tabla 37:** Datos del R-101 y su operación.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Se evalúa entonces cuál de los dos espesores mínimos es el de mayor valor, indicando que ese tiene que ser el mínimo a utilizar. En nuestro caso se utilizará el calculado según el stress circunferencial  $t = 8,09 \text{ mm}$ .



Según ASME VIII, División 1, Inciso UG-25, para aceros inoxidable, no se considera sobre espesor por corrosión. Esto se debe a que el Cr contenido en ellos forma en la superficie del acero una película pasivante, delgada, continua y estable que protege al material de la corrosión uniforme.

#### 7.4.3.8. Cabezales

Se seleccionan cabezales del tipo toriesférico para el reactor. Estos son los de mayor aceptación en la industria por la sencillez de su construcción y su bajo costo, además soportan elevadas presiones.

Para el cálculo de las dimensiones de los cabezales utilizaremos la norma ASME VII, División I, inciso UG-32:

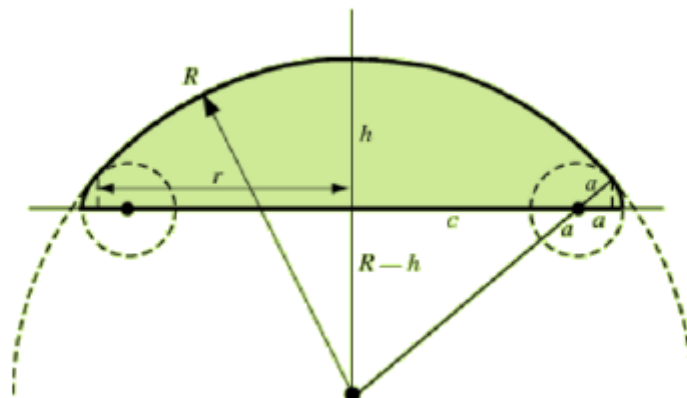


Figura 37: Diagrama de cabezal toriesférico.  
Fuente: ASME VII, División I.

$$a = 0,06 R \quad (65)$$

$$R = D_C \quad (66)$$

$$(R - a)^2 = c^2 + (R - h)^2 \quad (67)$$

$$h = R - [(a + c - R)(a - c - R)]^{0,5} \quad (68)$$

$$c = \frac{D_{CI}}{2} - a \quad (69)$$

Donde:



- $D_C$ : Diámetro externo del cabezal, en m.
- $D_{CI}$ : Diámetro interno del cabezal, en m.
- $R$ : Radio de la corona interior, en m.
- $a$ : Radio del nudillo, en m.
- $h$ : Altura del cabezal (sin considerar el espesor), en m.

Podemos afirmar entonces que la altura del cabezal es de **0,51 m**.

Para el espesor del cabezal se utilizan las normas ASME VIII, División I, Inciso UG-32:

$$t_{cab} = \frac{0,885PD_{CI}}{SE - 0,1P} \quad (70)$$

Utilizando los datos previamente presentados para el cálculo del espesor del equipo y sabiendo que el diámetro interno del cabezal será el mismo que el del reactor llegamos a la conclusión de que el espesor es de **12,39 mm**.

En cuanto al volumen del cabezal, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_{cab} = 0.84672D_{CI}^3 \quad (71)$$

$$V_{cab} = 22,86 \text{ m}^3$$

#### 7.4.3.9. Otros Accesorios

El reactor también cuenta con diferentes conexiones para incorporar los elementos de seguridad y de medición y control de variables relevantes:

- Termoelemento: Para medidas de la temperatura a la entrada y a la salida del reactor. Sirven para medir indirectamente la actividad del catalizador.
- Medidor de presión: Se mide la presión para controlar el funcionamiento del equipo. Se monitorean las caídas de presión en el distribuidor de gases y a través de las mallas.
- Válvulas de seguridad: Se colocan para evitar sobrepresiones en el equipo que produzcan un aumento de la presión por encima de la de diseño.





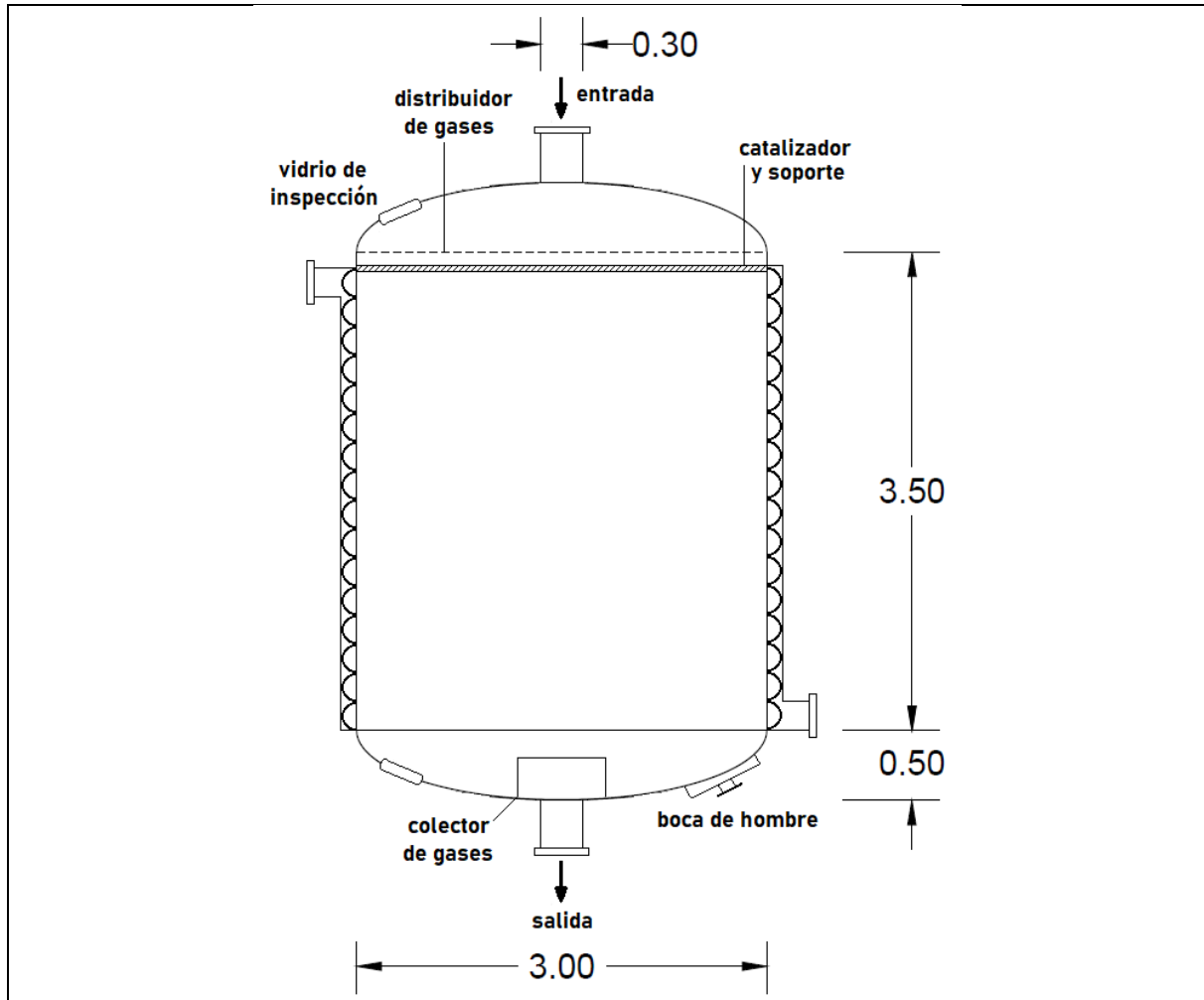
- Venteo y purga: Se utiliza en operaciones de parada de planta y mantenimiento.
- Vidrio de inspección: Se utiliza en la puesta en marcha, para observar las mallas en su calentamiento y para localizar zonas inactivas en las mallas debidas a un daño físico que posean. En ese caso se puede advertir y detener el proceso para poder reparar dichas zonas emparchando la zona con retazos de mallas catalíticas almacenadas.
- Válvulas de bloqueo: Se instalan para aislar al equipo para operaciones de mantenimiento o cambio de mallas.
- Distribuidor de gases: Se instala con el objetivo de lograr una buena distribución de la corriente gaseosa en la zona de reacción. Está conformado por una placa perforada, con esto se asegura una reacción homogénea en toda la superficie del catalizador y las condiciones previamente asumidas del flujo pistón.

Para la sujeción de las mallas al reactor, se mantendrán estáticas, soportadas por una unión bridada que presiona y mantiene integrada la zona de reacción. Para eso es necesario destacar que el diámetro de la gasa catalítica debe ser mayor al necesario para la reacción y es este excedente el que se presiona con la unión bridada. Además el diámetro del reactor deberá poseer unos centímetros adicionales para permitir la colocación de un sócalo en el cual se sueldan vigas para apoyar la gasa catalítica, sobre el cual se produce la unión bridada.



#### 7.4.3.10. Hoja de Especificación

UTN FRLP	INTEGRACIÓN V	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE REACTOR	
<b>DENOMINACIÓN: REACTOR DE OXIDACIÓN</b>		<b>FECHA:</b>	
<b>UNIDAD: R-101</b>		<b>REVISIÓN:</b>	
<b>SERVICIO: OXIDACIÓN DE AMONÍACO</b>		<b>LOCACIÓN:</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>			
DENOMINACIÓN DE EQUIPO	Reactor catalítico de lecho fijo	HOJA	1 de 2
FUNCIÓN	Oxidar el amoníaco para convertirlo en monóxido de nitrógeno		
PRESIÓN DE OPERACIÓN	Kg/cm <sup>2</sup>	4,59	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	°C	890	
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>			
		Reactivos	Agua refrigerante
CAUDAL DE OPERACIÓN	kg/h	17.477,01	148.248,83
CAUDAL MAX. DE OPERACIÓN	kg/h	19.224,71	-
CAUDAL MIN. DE OPERACIÓN	kg/h	6.990,80	-
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	4,878	1
CONCENTRACIÓN AMONÍACO	%v/v	11	-
<b>DATOS DE CONSTRUCCIÓN</b>			
VOLUMEN TOTAL	m <sup>3</sup>	28,41	
DIÁMETRO INTERIOR	m	3,00	
ALTURA DEL CUERPO	m	4,50	
POSICIONAMIENTO	Vertical		
GEOMETRÍA DEL CABEZAL	Toriesférico		
ALTURA DEL CABEZAL	mm	510,00	
ESPESOR DEL CUERPO	mm	9,57	
ESPESOR DEL CABEZAL	mm	12,39	
MATERIAL	Acero inoxidable AS 310 S		
<b>ESQUEMA</b>			



UTN FRLP	INTEGRACIÓN V	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE REACTOR	
DENOMINACIÓN: REACTOR DE OXIDACIÓN		FECHA:	
UNIDAD: R-101		REVISIÓN:	
SERVICIO: OXIDACIÓN DE AMONÍACO		LOCACIÓN:	
<b>DATOS GENERALES</b>			
DENOMINACIÓN DE EQUIPO	Reactor catalítico de lecho fijo	HOJA	2 de 2
FUNCIÓN	Oxidar el amoníaco para convertirlo en monóxido de nitrógeno		
PRESIÓN DE OPERACIÓN	kg/cm <sup>2</sup>	4,59	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	°C	890	
<b>DETALES DE CONEXIONES</b>			



ENTRADA DE ALIMENTACIÓN	Parte Superior	
SALIDA DE PRODUCTO	Parte Inferior	
<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
PRESIÓN DE DISEÑO	kg/cm <sup>2</sup>	6,59
TEMPERATURA DE DISEÑO	°C	1000
CAÍDA DE PRESIÓN	kg/cm <sup>2</sup>	6,7 · 10 <sup>-5</sup>
CONVERSIÓN DE AMONÍACO		1
SELECTIVIDAD DE REACCIÓN HACIA MONÓXIDO DE NITRÓGENO		0,96
<b>DATOS DE CATALIZADOR</b>		
CANTIDAD DE MALLAS DE Pt:Rh	3	
CANTIDAD DE MALLAS DE Pd:Ni	1	
ALTURA DE MALLA	mm	0,152
ALTURA DE LA ZONA DE REACCIÓN	mm	0,456
MATERIAL CATALIZADOR	90% p/p Platino 10% p/p Rodio	
MATERIAL CAPTADOR DE CATALIZADOR	95% p/p Paladio 5% p/p Níquel	
ALTURA DE VIGAS	mm	20
PESO DEL CATALIZADOR	kg	12,72
<b>ESQUEMA</b>		
		



#### 7.4.4. Torre de blanqueamiento T-103

La torre de blanqueamiento T-103 se trata de una columna de desorción donde se le quita a la corriente "14a", el producto de ácido nítrico que sale de la T-102, la mayor parte de los gases de dióxido de nitrógeno disueltos. Se la hace entrar por el tope de la columna en contracorriente con la corriente de aire "22d" que ingresa por fondo.

Los gases extraídos de dióxido de nitrógeno, junto con la totalidad del aire salen por la corriente "15" y se recirculan ingresando nuevamente a la T-102. Por la corriente "16" sale el ácido nítrico diluido con baja concentración de gases disueltos que luego se acondicionará haciéndolo pasar por un intercambiador de calor y luego se almacena en un tanque para su posterior venta.

Si bien este tipo de operaciones pueden llevarse a cabo en columnas de platos o de relleno, este último es uno de los arreglos más importantes para el contacto gas-líquido, en específico un relleno al azar. El relleno maximiza el área interfásica y el uso del espacio. Además la caída de presión es más baja en comparación con la de la columna de platos.

Se especifica para la salida una cantidad de ppm menor a 5.000. Según el balance de masa establecido para asegurar tanto unos ppm de salida en el ácido correctos como los ppm de salida del reactor R-102, se fija un porcentaje de 0,37% p/p a la salida de la torre de blanqueamiento. La corriente líquida de entrada tiene un caudal total de 7366,73 kg/h y una concentración de gases disueltos de 4,47% p/p.

Para comenzar los cálculos del diseño primero se hace una selección del relleno. Debido a la naturaleza ácida de las corrientes de proceso los materiales posibles para este son acero inoxidable o cerámica. Se opta por la cerámica debido a la elevada resistencia térmica y mecánica, además de su resistencia a la corrosión, pero principalmente por el menor costo comparado. En cuanto a la forma se decidió utilizar anillos Raschig de 50 milímetros de diámetro.

A continuación se muestran los valores de porosidad, superficie específica y la altura equivalente a una unidad de transferencia del relleno:



$\varepsilon =$	0,74
$a' [m^2/m^3] =$	92
HETP [m] =	0,90

**Tabla 38:** Datos del relleno.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la página oficial de raschig.

#### 7.4.4.1. Flujo de aire

Para calcular el flujo mínimo de aire debemos tener las concentraciones tanto de entrada como de salida del componente a extraer en fracciones molares. Denotamos como  $x$  las concentraciones del soluto en la fase líquida y como  $y$  las concentraciones del soluto en la fase gas.

$$\frac{x_{masa} PM_L}{PM_{st}} = x_{molar} \quad (72)$$

Donde:

- $x_{masa}$ : Concentración del soluto a desorber en la fase líquida, en %p/p.
- $PM_L$ : Peso molecular del líquido, en kg/kmol.
- $PM_{st}$ : Peso molecular del gas soluto, en kg/kmol.
- $x_{molar}$ : Concentración del soluto a desorben en la fase líquida, en fracción molar.

Luego debemos hacer adimensional la constante de Henry que tenemos como dato.

$$H_{ad} = \frac{HP_{op} PM_L}{\rho_L} \quad (73)$$

Donde:

- $H_{ad}$ : Constante de Henry adimensional.
- $H$ : Constante de Henry para el dióxido de nitrógeno en el ácido nítrico, es igual a  $4,49 \cdot 10^{-2} \text{ kmol}/m^3 Pa$ .
- $P_{op}$ : Presión de operación, en Pa.
- $\rho_L$ : Densidad de la fase líquida.





Con el valor de la constante de Henry podemos calcular el  $y_2^*$ , es decir la composición del soluto en la fase gas a la salida de la columna si se utiliza el caudal mínimo de este.

$$y_2^* = H_{ad}x_2 \quad (74)$$

Donde:

- $x_2$ : Composición molar del soluto en la fase líquida a la salida de la columna.

Finalmente para poder calcular el caudal de aire mínimo tenemos que seguir los siguientes pasos:

$$v' = \frac{C_2 - C_1}{PM_{st}} \quad (75)$$

$$G^* = \frac{v'}{y_2^*} \quad (76)$$

Donde:

- $C$ : Concentración del soluto en la fase líquida a la entrada o a la salida de la columna, en ppm.
- $v'$ : Relación entre soluto desorbido y caudal de la fase líquida, en kmol de  $\text{NO}_2/\text{kg}$  de fase líquida.
- $G^*$ : Relación de caudal de aire por caudal de la fase líquida, en kmol de aire/kg de fase líquida.

Finalmente tenemos que pasar los valores obtenidos a unidades de normal metro cúbico y luego a unidades de kilogramo.

$$G^* = G^* * \frac{22,4}{1000} * \rho_G \quad (77)$$

Ahora simplemente multiplicamos la relación obtenida por la cantidad de caudal de fase líquida para obtener el caudal de aire mínimo.

$$G_{\text{mín}} = LG^* \quad (78)$$

Donde:



- $G_{min}$ : Caudal de aire mínimo para lograr la especificación en una columna infinita, en kg/h.

Top [°C] =	60
Pop [kg/cm <sup>2</sup> ] =	4,4
L [kg/h] =	7.366,73
C1 [ppm] =	3.728,67
C2 [ppm] =	44.692
$\rho$ Aire [kg/m <sup>3</sup> ] =	4,83
$\rho$ Líq [kg/m <sup>3</sup> ] =	1242
PM líq [kg/kmol] =	31,50
PM NO <sub>2</sub> [kg/kmol] =	46

**Tabla 39:** Datos de la operación y sus corrientes.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la simulación de PRO II.

Para el cálculo del caudal gaseoso de operación se decidió utilizar un factor de operación de 1,5:

$$G_{min} * F_{OP} = G \quad (79)$$

Donde:

- $F_{OP}$ : Factor de operación.
- $G$ : Caudal gaseoso de operación, en kg/h.

Had =	587,60
$y_2^*$ =	17,98
$v'$ [kmolNO <sub>2</sub> /kgLíq]=	890,51
Gmín [kg/h] =	39443,02
Fop =	1,50
G [kg/h] =	59164,53

**Tabla 40:** Valores obtenidos del flujo de aire.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 7.4.4.2. Altura de la torre

Para poder calcular la altura del relleno tenemos que conocer el número de unidades de transferencia (NTU), en este caso nos convendrá trabajar en el del



lado de la fase líquida ya que es nuestra fase predominante al tener un gas disuelto en un líquido.

Por lo que se calculará el número de etapas de transferencia (NOL) conociendo primero la fuerza media logarítmica:

$$NTU = NOL \quad (80)$$

$$NOL = \frac{(x_2 - x_1)}{[(x - x^*)_{ML}]} \quad (81)$$

$$[(x - x^*)_{ML}] = \frac{[(x_2 - x_2^*) - (x_1 - x_1^*)]}{\left[\ln \left(\frac{x_2 - x_2^*}{x_1 - x_1^*}\right)\right]} \quad (82)$$

Los datos de  $x_1$  y  $x_2$  son las especificaciones establecidas por el proceso, luego como la fase gaseosa ingresa a la columna sin ningún porcentaje de gases de dióxido de nitrógeno  $y_1 = 0$ .

El resto de las concentraciones se calcula cómo:

$$y_2 = \frac{y_2^*}{F_{OP}} \quad (83)$$

$$x_1^* = \frac{y_1}{H_{ad}} \quad (84)$$

$$x_2^* = \frac{y_2}{H_{ad}} \quad (85)$$

Finalmente los resultados obtenidos son:

$y_2 =$	11,99
$x_1^* =$	0,00
$x_2^* =$	0,02
$(x - x^*)_{ml} =$	0,011
NOL =	3,73

**Tabla 41:** Datos obtenidos del número de etapas de transferencia.  
**Fuente:** Elaboración propia.



Para la altura de una unidad de transferencia utilizamos el valor de altura de equivalente del relleno escogido y tomamos la siguiente suposición:

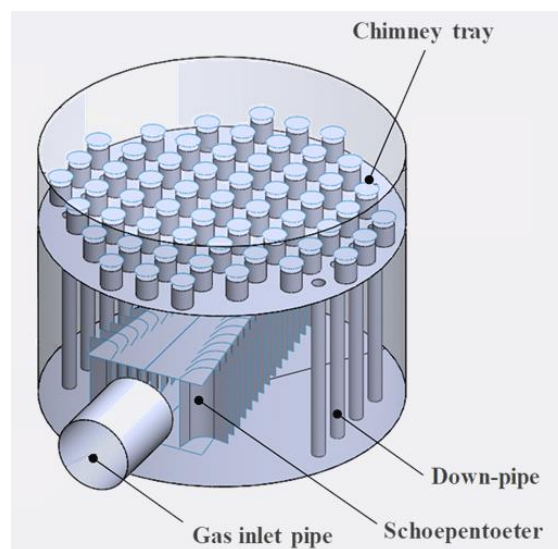
$$HOL = HETP \quad (86)$$

Finalmente podemos calcular la altura del relleno de la siguiente manera:

$$Z = HOL * NOL \quad (87)$$

A la altura del relleno se le sumamos un metro por encima para que el distribuidor de líquido tenga el espacio suficiente para esparcir correctamente la corriente de entrada y por fondo se le agrega la altura del distribuidor de gases que es de aproximadamente 60 centímetros.

El distribuidor de gases estará compuesto por un separador de paletas para dividir el flujo de aire por toda el área, en la parte superior encontramos chimeneas para permitir el ascenso del aire hacia el cuerpo de la columna, mientras tuberías dirigen el flujo del líquido hacia abajo, dirigiéndolo hacia la canasta filtrante y la salida hacia el E-111.



**Figura 38:** Distribuidor de gases.  
**Fuente:** Pagina web de CFD Ways.

Finalmente el cálculo de la altura será:



$$Z_{\text{cuerpo}} = Z + 1,6 \text{ m} \quad (88)$$

Z [m] =	3,36
Zcuerpo [m] =	4,96

**Tabla 42:** Datos obtenidos de la altura del relleno y la torre.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Se debe remarcar que a la altura total de la torre debe sumársele la altura de los cabezales.

#### 7.4.4.3. Diámetro de la columna

El diámetro de la columna dependerá de la velocidad de inundación, es decir el punto en el que el caudal gaseoso es tal que no permite el descenso de la fase líquida. Se requiere que la sección transversal de la columna sea lo suficientemente grande como para estar lejos de ese punto de inundación.

Para ello utilizaremos la ecuación de Sawitowski:

$$\ln \left( \frac{Gv^2 a'}{g\varepsilon^3 \rho_L \rho_G} \right) \frac{\mu_L^{0,2}}{\mu_w^{0,2}} = -4 \frac{L^{0,25} \rho_G^{0,125}}{G^{0,25} \rho_L^{0,125}} \quad (89)$$

Donde:

- $Gv$ : Velocidad de inundación, en kg/m<sup>2</sup>s.
- $a'$ : Superficie específica del relleno, en m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.
- $g$ : Aceleración de la gravedad, es 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- $\varepsilon$ : Porosidad del relleno.
- $\rho_G$ : Densidad del aire, en kg/h.
- $\mu_L$ : Viscosidad de la fase líquida, en cP.
- $\mu_w$ : Viscosidad de la fase líquida al contacto con la pared, en cP.
- $L$ : Caudal de la fase líquida, en kg/h.
- $G$ : Caudal de la fase gaseosa, en kg/h.

Una vez obtenido el punto de inundación, le aplicaremos un factor de corrección para evitar trabajar cerca de esta velocidad. Sin embargo a medida que este



factor sea más pequeño aumentarán los costos de construcción al generar un incremento en el diámetro de la torre. Se tiene que encontrar un punto adecuado.

Debido a que el sistema con el que trabaja la columna no es generador de espuma, podemos evitar usar un factor muy pequeño. Fijamos este valor en 0,7.

$$QWGU = Gv * FAC \quad (90)$$

Donde:

- *FAC*: Factor de corrección.
- *QWGU*: Flujo Unitario Gaseoso Operativo, en kg/m<sup>2</sup>s.

Se calcula entonces la sección de la columna con la fórmula:

$$S = \frac{G}{QWGU} \quad (91)$$

Y el diámetro por lo tanto será:

$$D = \left( \frac{4S}{\pi} \right)^{0,5} \quad (92)$$

Finalmente se corrobora que el diámetro de la torre sea mayor que quince veces el diámetro del relleno.

$$D > 15d_R \quad (93)$$

En cuanto a la relación de esbeltez *L/D* las columnas de este estilo tienen una relación que ronda entre 2,5 y 3,5 comparando su diámetro con la altura total del cuerpo.

Gv [kg/m <sup>2</sup> s]	8,88
FAC	0,70
D [m]	1,83
L/D	2,70

**Tabla 43:** Datos obtenidos del cálculo del diámetro de la torre.

**Fuente:** Elaboración propia.





#### 7.4.4.4. Material y Espesor

Para la construcción de la columna se utilizará como material acero inoxidable AISI 304L para resistir las propiedades abrasivas del ácido nítrico.

Para el cálculo del espesor se utilizan las normas ASME sección VIII, capítulo 16 para recipientes sometidos a presión.

$$t_R = \frac{P R}{SE - 0,6P} \quad (94)$$

Donde:

- $P$ : Presión de diseño, en  $\text{kg/cm}^2$ .
- $R$ : Radio interno, en mm.
- $S$ : Presión máxima admisible por el material, en  $\text{kg/cm}^2$ .
- $E$ : Eficiencia de la junta de las soldaduras, para soldaduras en acero inoxidable se estima igual a 1.

Para la presión de diseño se le suma a la presión de operación un factor de seguridad igual a 2  $\text{kg/cm}^2$ .

El acero inoxidable presenta una resistencia a la corrosión, razón por la selección, tal que no requiere un agregado de espesor por tolerancia a la corrosión, además este material posee una presión máxima admisible de  $1.203,27 \text{ kg/cm}^2$ .

Pop [ $\text{kg/cm}^2$ ]	4,4
Pdiseño [ $\text{kg/cm}^2$ ]	6,4
R [mm]	917,13
S [ $\text{kg/cm}^2$ ]	1.203,27
E	1,00
tR [mm]	5,59

**Tabla 43:** Datos de la T-103 y su operación.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Se establece entonces un espesor del material igual a 5,59 mm.



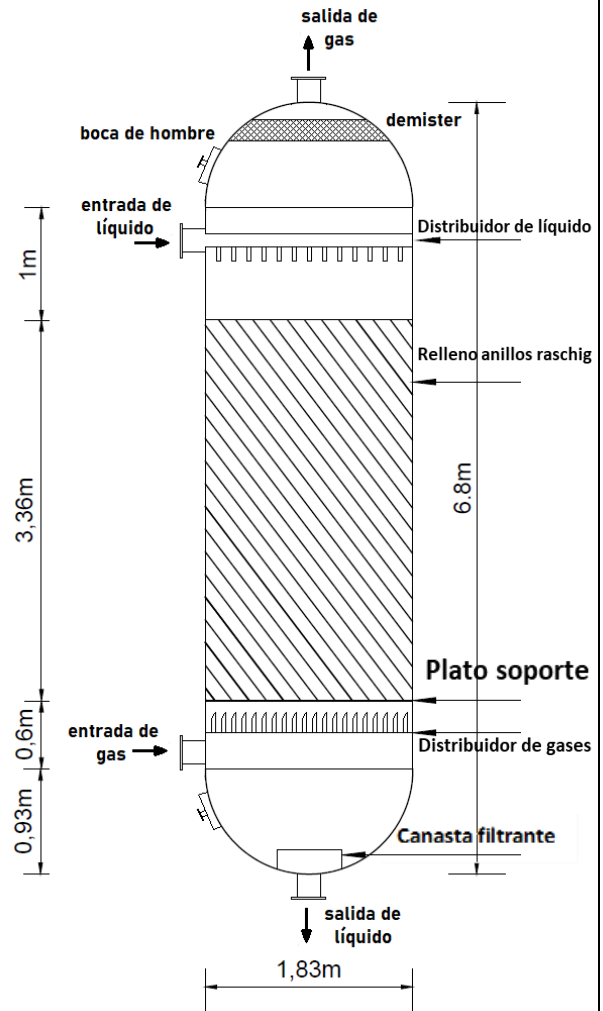
Para los casquetes se usará una geometría semiesférica, es decir de una altura de 917 mm. Los cuales requerirán el mismo espesor que el resto del cuerpo. Generando así una altura de torre total de 6,79 m y una relación de esbeltez de 3,7.

#### 7.4.4.5. Hoja de Especificación

UTN FRLP	INTEGRACIÓN V	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE COLUMNA RELLENA			
DENOMINACIÓN: COLUMNA DE DESORCIÓN UNIDAD: T-103 SERVICIO: ELIMINAR GASES DISUELTOS EN EL ÁCIDO NÍTRICO		FECHA: REVISIÓN: LOCACIÓN:			
<b>DATOS GENERALES</b>					
DENOMINACION DE EQUIPO	Columna desorbedora rellena			Hoja	1 de 2
FUNCION	Llevar el ácido nítrico al 60% a condiciones de venta, eliminando un gran porcentaje de gases disueltos de dióxido de nitrógeno				
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>					
CORRIENTE		ENTRADA FONDO	ENTRADA TOPE	SALIDA FONDO	SALIDA TOPE
DESCRIPCIÓN		Aire	Producto de T-102 a tratar	Ácido Nítrico al 60%	Gases de cola
CAUDAL	kg/h	<b>59.164,53</b>	<b>7.366,73</b>	<b>7.063,84</b>	<b>59.467,43</b>
TEMPERATURA	°C	<b>159</b>	<b>34</b>	<b>64</b>	<b>59,4</b>
PRESION	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>6,11</b>	<b>4,8</b>	<b>4,4</b>	<b>4</b>
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	<b>4,81</b>	<b>1.249,45</b>	<b>1.217,20</b>	<b>4,09</b>
FASE	-	<b>gaseosa</b>	<b>líquida</b>	<b>líquida</b>	<b>gaseosa</b>
<b>DATOS DE CONSTRUCCION</b>					
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero inoxidable AISI 304L		ESQUEMA DEL EQUIPO		
PRESION DE DISEÑO	kg/cm <sup>2</sup>	<b>6,4</b>			
	°C	<b>175</b>			



TEMPERATURA DE DISEÑO		
GEOMETRIA DEL CUERPO	<b>Cilindrico</b>	
GEOMETRIA DE CABEZALES	<b>Semi Esféricos</b>	
PESO DE COLUMNA VACIA	kg	<b>1.604</b>
PESO EN OPERACIÓN	kg	<b>24.442</b>
ALTURA DEL CUERPO	mm	<b>4.960</b>
ALTURA DEL LECHO	mm	<b>3.360</b>
ALTURA DEL CABEZAL	mm	<b>917</b>
ALTURA TOTAL	mm	<b>6.794</b>
DIAMETRO INTERNO	mm	<b>1.834</b>
VOLUMEN TOTAL	m <sup>3</sup>	<b>14,03</b>
VOLUMEN DE RELLENO	m <sup>3</sup>	<b>8,88</b>
ESPESOR DEL CUERPO	mm	<b>5,59</b>
ESPESOR CASQUETES	mm	<b>5,59</b>
PASOS DE HOMBRES	<b>2</b>	
ACCESORIOS	<b>Distribuidores de gas y de liquido</b>	



**OBSERVACIONES**

- Se trabaja a un 70% de la velocidad de gas en el punto de inundación



UTN FRLP	INTEGRACIÓN V	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE COLUMNA RELLENA	
DENOMINACIÓN: COLUMNA DE DESORCIÓN UNIDAD: T-103 SERVICIO: ELIMINAR GASES DISUELTOS EN EL ÁCIDO NÍTRICO		FECHA: REVISIÓN: LOCACIÓN:	
<b>DATOS GENERALES</b>			
DENOMINACION DE EQUIPO	Columna desorbedora rellena	Hoja	2 de 2
FUNCION	Llevar el ácido nítrico al 60% a condiciones de venta, eliminando un gran porcentaje de gases disueltos de dióxido de nitrógeno		
<b>DATOS DE RELLENO</b>			
ETAPAS TEORICAS	3,7		
TIPO DE RELLENO	Anillos de Raschig		
MATERIAL DE RELLENO	Cerámica		
DIAMETRO EXTERNO	mm	50	
DIAMETRO INTERNO	mm	38	
POROSIDAD	0,74		
AREA ESPECIFICA	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	92	
ALTURA DEL RELLENO	mm	50	
CANTIDAD DE ANILLOS	1892		
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	600	
FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO	1/m	213	
<b>OBSERVACIONES</b>			



#### 7.4.5. Intercambiador de calor E-111

El ácido nítrico que sale de la torre de blanqueamiento (T-103), necesita ser acondicionada para su almacenamiento; por ende, se precisa que dicho ácido requiere tener una temperatura de  $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para obtener estas condiciones se dispondrá de un equipo de intercambio E-111, el cual utilizará agua de enfriamiento a  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Debido a que los caudales intervinientes en el proceso de transferencia de calor son bajos y no requieren un área de intercambio excesiva se selecciona un intercambiador de doble tubo

Para determinar el tipo de equipo de intercambio a diseñar se calcula a continuación el área mínima, para ello se emplea la ecuación de diseño de equipo de intercambio. Ya considerando que el equipo va a tener una disposición de circulación de corrientes en sentido contrario, es decir disposición en contracorriente.

$$Q = UA\Delta T_{mlcc}Ft \quad (95)$$

Donde:

- $Q$ : Calor transferido entre las corrientes, en J/s.
- $U$ : Coeficiente de transferencia de calor, en  $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- $\Delta T_{mlcc}$ : Delta medio logarítmico en contracorriente, en  $^{\circ}\text{C}$ .
- $Ft$ : Factor de corrección de fuerza impulsora.
- $A$ : Área de transferencia, en  $\text{m}^2$ .

Para el cálculo de área mínima:

$$A_{\text{mín}} = \frac{Q}{U_d\Delta T_{mlcc}Ft} \quad (96)$$

Donde:

- $A_{\text{mín}}$ : Área mínima de transferencia, en  $\text{m}^2$ .
- $U_d$ : Coeficiente de transferencia de calor sucio, en  $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Se seleccionó a partir de la siguiente tabla el coeficiente total para diseño, se tomó como referencia fluido caliente amoniaco y para el frio agua. Cabe destacar que nuestro fluido caliente será el Ácido nítrico.

Range of overall heat-transfer coefficients in two-fluid heat exchangers [26]			
Hot fluid	Cold fluid	Overall heat-transfer coefficient	
		Btu/h · ft <sup>2</sup> · °F	W/m <sup>2</sup> · K
<i>Coolers</i>			
Water	water	250 – 500	1220 – 2440
Ammonia	water	250 – 500	1220 – 2440
Aqueous solutions	water	250 – 500	1220 – 2440
Light organics <sup>a</sup>	water	75 – 150	370 – 730
Medium organics <sup>b</sup>	water	50 – 125	240 – 610
Heavy organics <sup>c</sup>	water	5 – 75 <sup>d</sup>	25 – 370
Gases	water	2 – 50 <sup>e</sup>	10 – 240
Water	brine	100 – 200	490 – 980
Light organics	brine	40 – 100	200 – 490
<i>Heaters</i>			
Steam	water	200 – 700	980 – 3400
Steam	ammonia	200 – 700	980 – 3400
Steam	aqueous solutions		
	< 2 cP	200 – 700	980 – 3400
	> 2 cP	100 – 500	490 – 2440
Steam	light organics	100 – 200	490 – 980
Steam	medium organics	50 – 100	240 – 490
Steam	heavy organics	6 – 60	30 – 300
Steam	gases	5 – 50 <sup>e</sup>	25 – 240
<i>Exchangers</i>			
Water	water	250 – 500	1220 – 2440
Aqueous solutions	aqueous solutions	250 – 500	1220 – 2440
Light organics	light organics	40 – 75	190 – 370
Medium organics	medium organics	20 – 60	100 – 290
Heavy organics	heavy organics	10 – 40	50 – 200
Heavy organics	light organics	30 – 60	150 – 300
Light organics	heavy organics	10 – 40	50 – 200
Fluids with viscosities < 0.5 centipoise (= 0.5 m Pa s)			
Viscosities between 0.5 – 1.0 centipoise (= 0.5 – 1.0 m Pa s)			
Viscosities > 1.0 centipoise (= 1.0 m Pa s)			

Figura 39: Lista de coeficientes globales de transferencia aproximados.  
Fuente: CAO, EDUARDO. "Transferencia de calor en ingeniería de procesos".

Obteniendo un valor de  $U_{\text{mínimo}}$  de **1220 W/m<sup>2</sup>K**.

Se asume para contra corriente pura un  $Ft = 1$ .

$$A_{\text{mín}} = \frac{123204,11 \frac{J}{s}}{\left(1220 \frac{W}{m^2 K} * 18,15K * 1\right)} = 5,6 m^2$$

El valor del área mínima requerida al ser menor de 10 m<sup>2</sup> permite determinar que el tipo de equipo a emplear en el proceso debe ser un doble tubo.





De igual forma, la selección del paso de los fluidos estuvo enmarcada en que  $\text{HNO}_3$  diluido circulara por el tubo interno y el  $\text{H}_2\text{O}$  por el ánulo. Esta disposición minimiza las pérdidas de calor hacia el exterior y maximiza la vida útil del equipo, ya que el  $\text{HNO}_3$  es, de los dos fluidos participantes del proceso, el fluido caliente y corrosivo. Ambos están en condiciones líquidas.

	Ánulo	Tubo interno
	Frío	Caliente
Tipo	Agua	Ácido nítrico
T entrada [°C]	29,00	64,00
T salida [°C]	36,10	40,00
Caudal másico [kg/h]	250,2	113,4
Delta temperatura [°C]	32,60	52,00
Delta temperatura [°F]	90,59	125,60

Tabla 43: Datos de operación del E-111.  
Fuente: Elaboración propia.

Se asumió un caudal de agua de enfriamiento de 250,2 kg/h, lo que es equivalente a 4,17 kg/s, posteriormente por simulación se obtuvo la temperatura de salida del fluido frío, en este caso para el agua.

#### 7.4.5.1. Cálculo de las temperaturas medias

Se requieren las temperaturas medias para el posterior cálculo de las propiedades de los fluidos. Para esto es necesario utilizar como unidad el grado Fahrenheit. Cabe destacar, que previamente se debe calcular el valor de la fracción calorífica, con ayuda de gráfico y correlaciones.

	Fluido frío	Fluido caliente
Tipo	Agua	Ácido nítrico
T entrada [°F]	84,20	147,20
T salida [°F]	96,98	104,00
$\Delta T_c / \Delta T_h$	0,72	
$(\Delta T_h - \Delta T_c) / \Delta T_h$	0,27	
Fc por gráfica	0,46	

Tabla 44: Datos obtenidos del cálculo de la fuerza impulsora.  
Fuente: Elaboración propia.

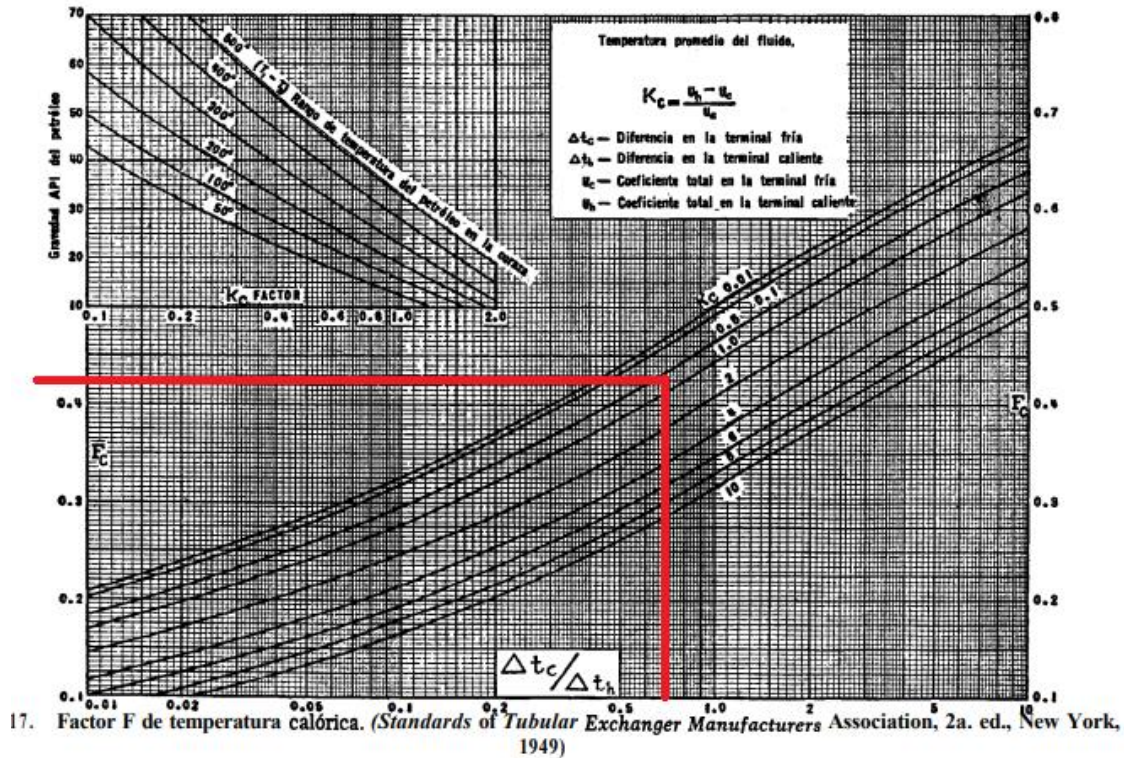


Figura 40: Obtención de temperatura calórica.

Fuente: Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2ª Edición, New York, 1949.

Para un  $F_c = 0,43$ .

Temperatura calórica para el fluido frío:

$$T_c^{F_c} = T_c^0 + 0,44(T_c^S - T_c^0) = 89,69^\circ F = 32,05^\circ C \quad (97)$$

Temperatura calórica para el fluido caliente:

$$T_h^{F_c} = T_h^S + 0,44(T_h^0 - T_h^S) = 122,5^\circ F = 50,27^\circ C \quad (98)$$

Donde:

- $T_{c/h}^{F_c}$ : Temperatura calorífica del fluido correspondiente, en °C.
- $T_{c/h}^0$ : Temperatura de entrada del fluido correspondiente, en °C.
- $T_{c/h}^S$ : Temperatura de salida del fluido correspondiente, en °C.



Sustancia	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	M [Pa s]	k [W/m°C]	cp [J/kg°C]	caudal [kg/h]	Tm [°C]	Tm [K]
Ácido nítrico	1259,00	0,00067	0,3413	2716,14	113,4	52,0	325,1
Agua	999,01	0,00072	0,6211	4177,70	250,2	32,6	305,7

Tabla 45: Propiedades de las corrientes.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos obtenidos de la simulación de PRO II.

Consideramos que el proceso de intercambio ocurre a contracorriente, por eso calculamos el  $\Delta T_{mlcc}$ , y de la igual forma tenemos en cuenta un proceso a contracorriente pura, así  $Ft = 1$ :

$$T_{mlcc} = \frac{(T_h^o - T_c^s) - (T_h^s - T_c^o)}{\ln \left[ \frac{(T_h^o - T_c^s)}{(T_h^s - T_c^o)} \right]} = 18,15 \text{ °C} \quad (99)$$

Posteriormente, se calcula la cantidad de calor (Q) del sistema por medio de un balance entálpico; partiendo el cálculo por un lado del sistema, en este caso, conocer la energía que aporta el fluido frío para que el ácido nítrico pueda salir a la temperatura de especificación para su almacenamiento.

Sabiendo que:

$$Q_c = Q_h \quad (100)$$

$$Q = m_c C_{p_c} \Delta T_c = 4,17 \frac{kg}{s} * 4177,7 \frac{J}{kg^\circ C} * 7,1^\circ C \quad (101)$$

$$Q = 123204,11 \frac{J}{s}$$

#### 7.4.5.2. Selección de dimensiones

Se empleará la siguiente nomenclatura:

- $D_i$ : diámetro interno del tubo interno
- $D_o$ : diámetro externo del tubo interno
- $D_s$ : diámetro interno del tubo externo
- $D$ : diámetro externo del tubo externo



Comenzamos por el diseño del tubo interno, para ello asumimos por teoría una velocidad de fluido de 1m/s.

Tubo interno:

$$v = 1 \frac{m}{s} \quad (102)$$

$$at = \frac{m}{pv} = 0,0015m^2 \quad (103)$$

$$at = \frac{\pi * Di^2}{4} \quad (104)$$

$$Di = 0,0437 m = 1,7212 in$$

Se selecciona un tubo interno de diámetro nominal 1 in, con Cédula 40 (estándar) como se indica en la tabla siguiente.

Tamaño nominal del tubo, IPS plg	OE, plg	Cédula No.	DI, plg	Área de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lineal, pies <sup>2</sup> /pie		Peso por pie lineal, lb de acero
					Exterior	Interior	
1/8	0.405	40*	0.269	0.058	0.106	0.070	0.25
		80†	0.215	0.036		0.056	0.32
1/4	0.540	40*	0.364	0.104	0.141	0.095	0.43
		80†	0.302	0.072		0.079	0.54
3/8	0.675	40*	0.493	0.192	0.177	0.129	0.57
		80†	0.423	0.141		<b>0.111</b>	0.74
1/2	0.840	40*	0.622	0.304	0.220	0.163	0.85
		80†	0.546	0.235		0.143	1.09
3/4	1.05	40*	0.824	0.534	0.275	0.216	1.13
		80†	0.742	0.432		0.194	1.48
<b>1</b>	<b>1.32</b>	<b>40*</b>	<b>1.049</b>	<b>0.864</b>	<b>0.344</b>	<b>0.274</b>	<b>1.68</b>
		80†	0.937	0.718		0.238	2.17
1 1/4	1.66	40*	1.380	1.50	0.435	0.362	2.28
		80†	1.278	1.28		0.335	<b>3.00</b>
1 1/2	<b>1.90</b>	40*	1.610	2.04	0.498	0.422	2.72
		80†	1.500	1.76		0.393	3.64
2	2.38	40*	2.067	3.35	0.622	0.542	3.66
		80†	1.939	2.95		0.508	5.03
2 1/2	2.38	40*	2.469	4.79	0.753	0.647	5.80
		80†	2.323	4.23		0.609	7.67
3	3.50	40*	3.068	7.38	<b>0.917</b>	<b>0.804</b>	7.58
		80†	2.900	6.61		0.760	10.3
4	4.50	40*	4.026	12.7	1.178	<b>1.055</b>	<b>10.8</b>
		80†	3.826	11.5		<b>1.002</b>	<b>15.0</b>

Figura 41: Tabla de tamaños de tubos internos.

Fuente: CAO, EDUARDO. "Transferencia de calor en ingeniería de procesos".



$$D_i = 1,38 \text{ in} = 0,035 \text{ m}$$

$$D_o = 1,66 \text{ in} = 0,042 \text{ m}$$

Se recalcula la velocidad en el tubo interno con el valor del nuevo diámetro interno ( $D_i$ ) y se obtiene una velocidad de **1,56 m/s**.

Basándonos en la siguiente tabla, podemos observar las combinaciones para intercambiadores de doble tubo. Sabiendo que el diámetro interno del tubo interno es de 1,38 pulgada; se seleccionara el diámetro más próximo disponible, en este caso será de 2 pulgadas.

Combinaciones comunes para intercambiadores doble tubo  
(Dimensiones en pulgadas)

$\phi$ Tubo Externo	$\phi$ Tubo Interno					
2	3/4	1	1 1/4			
2 1/2	3/4	1	1 1/4			
3	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	
4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3

Figura 42: Tabla de tamaños de tubos externos.

Fuente: CAO, EDUARDO. "Transferencia de calor en ingeniería de procesos".

#### Tubo Externo:

$$D_s = 3,068 \text{ in} = 0,077 \text{ m}$$

$$D = 3,5 \text{ in} = 0,088 \text{ m}$$

En resumen, las dimensiones de tuberías son:

Diámetros		Ánulo (Tubo externo)	Tubo interno
Fluido		Agua	Ácido nítrico
Diámetro nominal	Dn [in]	3	2
Diámetro interno	Di [in]	3,068	1,38
Diámetro externo	De [in]	3,5	1,66
Schedule	SCH	40	40

Tabla 46: Tamaños de tubos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.





### 7.4.5.3. Cálculo del coeficiente pelicular

#### Tubos internos:

El flujo será:

$$a_t = \frac{\pi}{4} Di^2 = 0,000965 \text{ m}^2 \quad (105)$$

Donde:

- $a_t$ : Área de flujo de los tubos internos, en  $\text{m}^2$ .

La velocidad másica  $G_t$  la definimos cómo:

$$G_t = \frac{m_h}{a_t} = \frac{1,89}{0,00096} = 1958,603 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} \quad (106)$$

Y el número de Reynolds:

$$Re_t = G_t \frac{Di_t}{\mu_h} = 102467,1 \quad (107)$$

Según el valor obtenido, se trata de un régimen turbulento.

El número de Prandt se plantea como:

$$Pr_t = \frac{Cp_h \mu_h}{k_h} = 5,332 \quad (108)$$

Finalmente el coeficiente pelicular de tubos internos  $h_i$  se calcula, teniendo en cuenta que el flujo es turbulento, de la siguiente manera:

$$h_i = \frac{k_h}{Di_t} 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{\frac{1}{3}} = 3967,28 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (109)$$

Para el factor de corrección del coeficiente pelicular debemos considerar la relación entre la viscosidad del fluido en el seno del líquido y la que tendría en contacto con la pared ( $\mu_{wh}$ ). Para ello calculamos la temperatura de la pared ( $T_w$ ).





$$h_i (T_{hm} - T_w) = h_o(T_w - T_{cm}) \quad (110)$$

$$T_w = \frac{h_i T_{hm} + h_o T_{cm}}{h_o + h_i} \quad (111)$$

Donde:

- $T_{hm}$ : Temperatura media del fluido caliente.
- $T_{cm}$ : Temperatura media del fluido frío.
- $h_o$ : Coeficiente pelicular del ánulo.

Cabe destacar, que para realizar la corrección es necesario conocer el coeficiente pelicular del anulo, por ende, se realizara posteriormente.

#### Ánulo:

Primero calculamos el diámetro equivalente:

$$Deq = \frac{Di_a^2 - Dext_t^2}{Dext_t} = 0,10186 \text{ m} \quad (112)$$

Donde:

- $Deq$ : Diámetro equivalente del ánulo.
- $Di_a$ : Diámetro interno del tubo externo (ánulo).
- $D_{ea}$ : Diámetro externo del tubo interno.

El área de flujo del ánulo ( $a_{fa}$ ) la calculamos de la siguiente forma:

$$a_{fa} = \frac{\pi}{4} (Di_a^2 - Dext_t^2) = 0,00337 \text{ m}^2 \quad (113)$$

Proseguimos averiguando la velocidad media de flujo en el anulo ( $V_c$ ):

$$V_c = \frac{m_c}{\rho a_{fa}} = 1,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (114)$$

También calculamos la velocidad másica  $G_0$ :



$$G_0 = \frac{m_c}{a_f a} = 1235,24 \frac{kg}{m^2 s} \quad (115)$$

Y el número de Reynolds:

$$Re_0 = G_0 \frac{Deq}{\mu_c} = 174753 \quad (116)$$

Según el valor obtenido sabemos que se trata de régimen turbulento, por lo tanto en el cálculo del coeficiente pelicular utilizamos la fórmula para régimen turbulento de líquidos enfriados.

$$h_0 = \frac{k_h}{Deq} 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{0,4} = 3889 \frac{W}{m^2 k} \quad (117)$$

Ahora sí regresamos al cálculo de la corrección del coeficiente pelicular. De allí obtenemos que la temperatura de pared es de **42,82 °C**.

Por tablas de viscosidad de agua, se obtiene que a la temperatura de pared el  $U_w = 0,00605 Kg/(m * s)$  y se obtiene para  $\left(\frac{U}{U_w}\right)^{0,14} = 0,7349$  y un  $Pr = 4,843$

Por lo tanto al realizar la corrección del coeficiente pelicular por tubo y anulo, tenemos:

$$h'_{io} = \frac{k_h}{D_{i_t}} 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu_h}{\mu_w}\right)^{0,14} = 2423,64 \frac{W}{m^2 K} \quad (118)$$

$$h'_0 = \frac{k_h}{Deq} 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{0,4} = 2710,90 \frac{W}{m^2 k} \quad (119)$$

Coeficiente de transferencia de calor:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h'_i} + \frac{1}{h'_0} + R_f \quad (120)$$

Donde  $R_f$  es la resistencia al ensuciamiento. Se considera, para el diseño del equipo, un factor de ensuciamiento de **0,0003 m<sup>2</sup>K/W**.

Obtenemos así un coeficiente de transferencia de calor igual a **924,6556 m<sup>2</sup>K/W**.



#### 7.4.5.4. Cálculo del área de transferencia

Empleando la ecuación de diseño ahora se calcula el área requerida  $A_{req}$ .

$$Q = U_1 A_{req} \Delta T_{mlcc}$$
$$A_{req} = \frac{Q}{[U_1 \Delta T_{mlcc}]} = 7,338 \text{ m}^2 \quad (121)$$

Se le suma un 10% de sobre diseño por seguridad obteniendo un Área requerida de **8,072 m<sup>2</sup>**.

Consideramos las dimensiones geométricas de la estructura seleccionada una longitud de tubos ( $L_1$ ) de 6 m (Recordando que no se puede tener equipos con largo de tubos superiores a esta medida). De igual forma, se obtuvo por medio de los cálculos una cantidad de 12 tubos, por ende, se utilizará 6 horquillas respectivamente.

$$A_{geo} = Nt * L_1 \pi Dext_t = 12 * 6 * \pi * 0,0422 = 9,53 \text{ m}^2 \quad (122)$$

$$\% \text{ de exceso de area} = \left( \frac{A_{req}}{A_{geo}} - 1 \right) * 100 = 16\% \quad (123)$$

Como es un valor superior al 10% recomendado, se considera que el diseño es óptimo y se aceptan las suposiciones realizadas.

#### 7.4.5.5. Verificación hidráulica

Tubo interno:

Se calcula el factor de fricción de Fanning ( $f$ ) y la pérdida de carga ( $\Delta P_{tubos}$ ) como:

$$f = 0,0035 + \left( \frac{0,264}{Re^{0,42}} \right) = 0,002383 \quad (124)$$

$$\Delta P_{Tubos} = 4 f \left( \frac{L}{D_i} \right) \left( \frac{G_t^2}{2\rho} \right) \left( \frac{\mu_h}{\mu_w} \right)^{-0,14} \quad (125)$$

$$\Delta P_{Tubos} = 18550,68 \text{ Pa} = 0.189 \text{ Kg/cm}^2$$



Tubo Externo:

Se calcula el factor de fricción de Fanning ( $f$ ) y la pérdida de carga ( $\Delta P_{anulos}$ ) y ( $\Delta P_{tes}$ ) como.

$$f = 0,0035 + \left( \frac{0,264}{Re^{0,42}} \right) = 0,002185$$

$$\Delta P_{Anulo} = 4f \left( \frac{L}{D_i^{anulo} - D_{ext}^{tubo}} \right) \left( \frac{\rho V_t^2}{2} \right) \left( \frac{\mu_c}{\mu_w} \right)^{-0,14}$$

$$\Delta P_{Anulo} = 2934,79 \text{ Pa} = 0.0299 \text{ Kg/cm}^2$$

Sabiendo que la presión de entrada del fluido caliente (Corriente 16) es de  $4,4 \text{ kg/cm}^2$  y del fluido frío es de  $3 \text{ kg/cm}^2$ , tenemos una presión total del sistema:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0,0299 + 0,0189 = 0,048 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4707,192 \text{ Pa}$$

Presión	Pérdida de carga	$\Delta P$ de presión admisible
Tubo interno	18.550,68 Pa	43.149,2 Pa
	0,189 kg/cm <sup>2</sup>	4,4 kg/cm <sup>2</sup>
Tubo externo	2.934,79 Pa	29.420 Pa
	0,0299 kg/cm <sup>2</sup>	3 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 47:** Datos obtenidos de la pérdida de carga.

**Fuente:** Elaboración propia.

La pérdida de carga total en tubos (Tubo interno y tubo externo) es un valor muy bajo y claramente inferior a la pérdida de carga admisible. Por lo tanto, se puede decir que el equipo cumple con las especificaciones.

Como conclusión se acepta el diseño del equipo el intercambiador E-111 se va a componer de 12 tubos unidos por 6 horquillas.



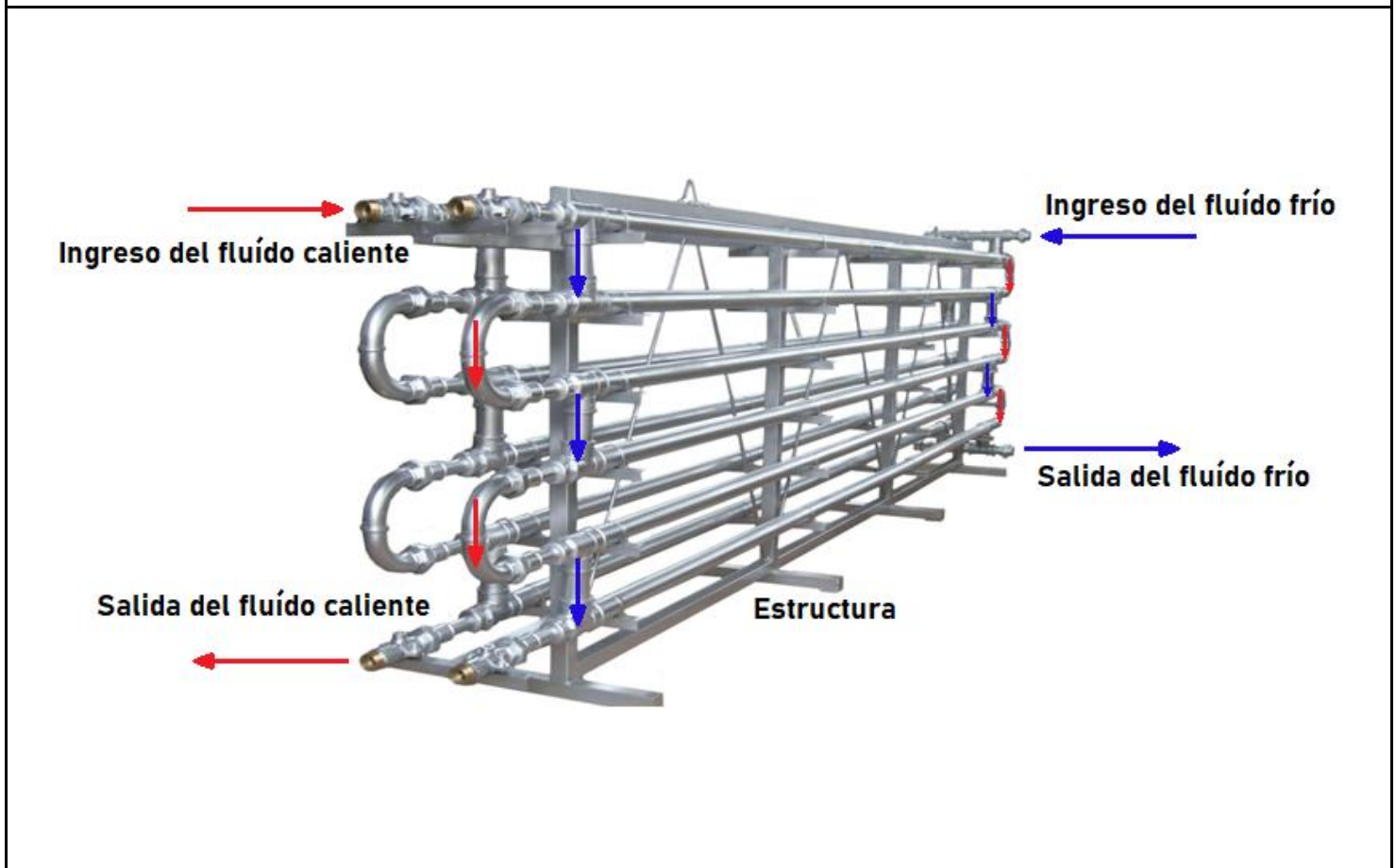
#### 7.4.5.6. Hoja de especificación

UTN - FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN INTERCAMBIADOR DE CALOR	INTEGRACIÓN V PROYECTO FINAL	
DENOMINACIÓN: Intercambiador de enfriamiento de producto			
UNIDAD: E-111			
SERVICIO: Enfriamiento de la corriente de producto de Ácido nítrico previo a su almacenamiento			
TIPO: Doble tubo		ÁREA: 9,53 m <sup>2</sup>	
DATOS DE OPERACIÓN			
VARIABLE / PARAMETRO		TUBO INTERNO	TUBO EXTERNO
NOMBRE DEL FLUIDO	UNIDADES	Ácido Nítrico	Agua de enfriamiento
CAUDAL	kg/h	Líquido	Líquido
Líquido		113,4	250,2
Gas		-	-
Vapor		-	-
No condensable		-	-
TEMPERATURA (IN/OUT)	°C	64/40	29/36,1
PRESIÓN (IN/OUT)	kg/cm <sup>2</sup>	4,4	3
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	1259	996,01
VISCOSIDAD	kg/m/s	0,00067	0,00072
CALOR ESPECÍFICO	J/kg °C	2.716,10	4177,7
CONDUCTIV. TÉRMICA	W/h m °C	0,3413	0,6211
CALOR INTERCAMBIADO	J/s	123.204,11	
	kcal/h	105.936,5	
DTM Global	°C	18,16	
VELOCIDAD	m/s	1,56	1,23
PÉRDIDA DE CARGA	kg/cm <sup>2</sup>	0.189	0.0299
FACTOR DE FOULING		0,002383	0,002185
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA	W/m <sup>2</sup> *k	924,66	
DATOS CONSTRUCTIVOS			
HORQUILLAS: 6	CONEXIÓN: 6 Horquillas conectados en serie con 12 tubos	LONGITUD: 6m	



MATERIAL: Acero al carbono A-106 B tubo externo (laminado de acero inoxidable tubo interno)		SCHEDULE 40	
Área requerida	m <sup>2</sup>	8,072	
		TUBO INTERNO	TUBO EXTERNO
DIÁMETRO NOMINAL	inch	2	3
	m	0,0508	0,0762
DIÁMETRO INTERNO	inch	1,38	3,068
	m	0,035	0,077
DIÁMETRO EXTERNO	inch	1,66	3,5
	m	0,042	0,088

ESQUEMA



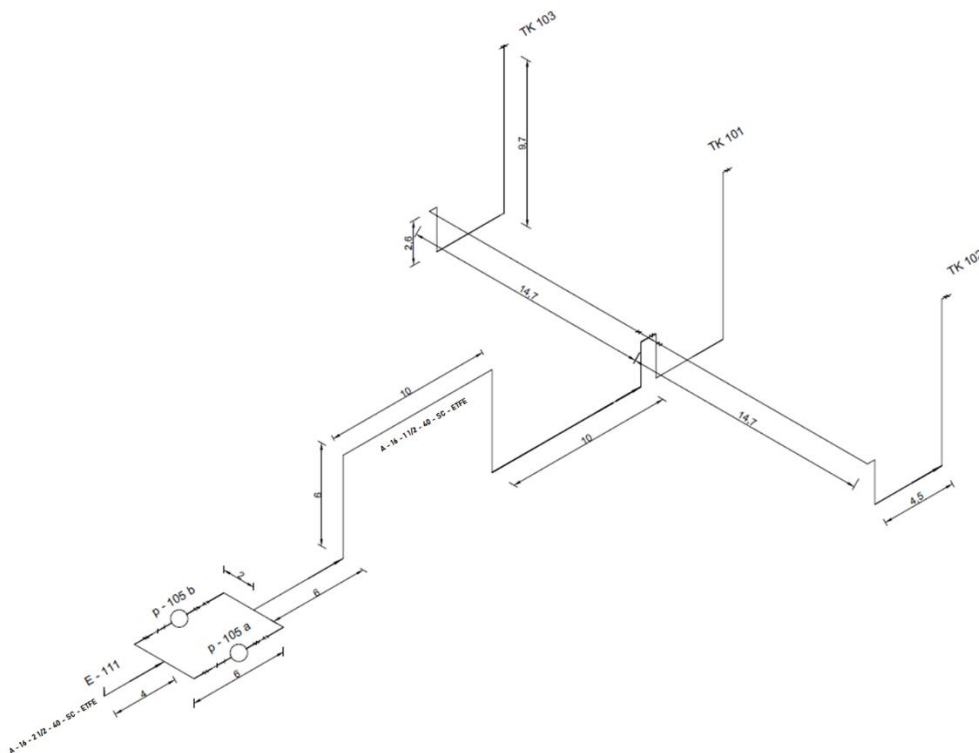




#### 7.4.6. Bomba P-105

Se especificará la bomba de carga P-105 considerando un plano isométrico que determinará el recorrido de la tubería, accesorios y longitudes de cada sección. De esta manera se podrá contemplar las longitudes de cada tramo para determinar la pérdida de carga presente en la instalación desde la salida de la bomba hasta la entrada de los tanques de almacenamiento. Considerando estos resultados se procederá a calcular el ANPA de la bomba para poder determinar el equipo a utilizar requerido para dicha instalación.

A continuación se detalla el plano isométrico. El producto viajará por las tuberías hasta llegar a intersección donde válvulas automáticas, activadas desde la sala de control, enviarán el flujo a través de la cañería indicada para llevarlo hacia el tanque de almacenamiento en uso o, llegado el caso, al tanque de producto fuera de especificación (TK-103).



**Figura 43:** Isométrico del E-111 al Tk-101.

**Fuente:** Elaboración propia.



El ácido nítrico es tomado desde la zona de producción a unos 40°C el cual sale del intercambiador E-111 y a una presión de 4,4 kg/cm<sup>2</sup>. Este fluido pasa por un sistema de bombeo en paralelo compuesta por dos bombas centrifugas la cual se especificará según la perdida de carga de la instalación. La instalación cuenta con válvulas exclusas, globo, filtro la cual se deberá tener en como también codos de 90.

Para la determinación de la sección de la tubería se deberá tener en cuenta el caudal y la velocidad del fluido. Considerando el fluido de interés, se seleccionará una velocidad recomendada para fluido poco viscoso con una velocidad de 0,5 m/s de succión, y velocidad de salida de la bomba 1,2 m/s.

Una vez seleccionado la velocidad del fluido, se determinará la sección de la tubería de manera que provoque la menor perdida de carga posible debido al rozamiento del fluido contra las paredes.

Se seleccionará adecuadamente la tubería de un material que no se deteriore por la corrosión provocada por el ácido nítrico 60%. Dicho material tendrá un coeficiente de rozamiento y en consecuencia asociada una pérdida de carga que se tendrá en cuenta para el cálculo del ANPA.

#### 7.4.6.1. Balance en la zona de succión

Se determinará la presión en la zona de succión de la bomba. Para esto se desarrollará la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} - Ev = \frac{P_s}{\rho * g} + z_s + \frac{1}{2} \frac{v_s^2}{g} \quad (126)$$

Donde:

- $P_1$ : Presión en el punto 1, en kg/cm<sup>2</sup>.
- $P_s$ : Presión en el punto de succión, en kg/cm<sup>2</sup>.
- $Z_1$ : Altura del punto 1, en m.
- $Z_s$ : Altura del punto de succión, en m.
- $v_1$ : Velocidad en el punto 1, en m/s.
- $v_s$ : Velocidad operativa en el punto de succión, en m/s.
- $\rho$ : Densidad del fluido, en kg/m<sup>3</sup>.



- $g$ : Aceleración de la gravedad, es  $9,8 \text{ m/s}^2$ .
- $Ev$ : Pérdida de carga del fluido antes de llegar a la bomba, en  $\text{kg/cm}^2$ .

Considerando que las velocidades  $v_1 = v_s$ .

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 - Ev = \frac{P_s}{\rho * g} + z_s \quad (127)$$

$$P_s = \rho * g * [(Z_1 - Z_s) - Ev] + P_1 \quad (128)$$

#### 7.4.6.2. Determinación del diámetro de la tubería

Se requiere de determinar el diámetro de la tubería que se utilizará para poder obtener el valor de  $Ev$ .

De acuerdo con valores recomendados de velocidades de fluidos de la siguiente tabla, se seleccionará aquella para fluidos pocos viscosos.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos pocos viscosos	Flujo por gravedad	0,5 – 1	0,15 – 0,3
	Entrada de bomba	1 – 3	0,3 – 0,9
	Salida de bomba	4 – 10	1,2 – 3
	Linea de conducción	4 – 8	1,2 – 2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2 – 0,5	0,06 – 0,15
	Salida de bomba	0,5 – 2	0,15 – 0,6
Vapor de agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

**Tabla 48:** Velocidades recomendadas para fluidos.

Fuente: Sinnott 2005.

$$Qv = A * v \quad (129)$$

Teniendo en cuenta la producción anual de  $56.300 \text{ Tn/año}$  y una densidad del fluido  $\rho = 1476,4 \text{ kg/m}^3$ .



$$A = \frac{Qv}{Vel} = \frac{4,41 \frac{m^3}{h}}{1800 \frac{m}{h}} = 2,45 \times 10^{-3} m^2$$

$$A = \pi r^2 \quad (130)$$

$$r = \sqrt{\frac{2,45 \times 10^{-3} m^2}{3,14}} = 0,028 m$$

$$A = 2,8 \text{ cm}$$

$$D = 5,6 \text{ cm}$$

De acuerdo con el diámetro calculado se deberá seleccionar un diámetro de tubería normalizado.

Se procederá a elegir un diámetro según tabla de diámetros nominales.

El tipo de tubería que se seleccionará será de acero al carbono recubierto internamente con un polímero denominado ECTFE el cual es un copolímero formado por etileno y clorotrifluoroetileno. Este material es particularmente adecuado para aplicaciones en las que se requieren altas exigencias a la resistencia química. Resiste a la temperatura hasta unos 150°C y el mismo puede adherirse y formar una película hasta 1 mm de espesor lo cual logra una propiedad de barrera.

A continuación, se muestra tabla de diámetros nominales:



DIMENSIONES DE TUBERÍAS											
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SCH 10 INOXIDABLE			SCH 40				SCH 80 C.S.		
		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)	ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)
							INOXIDABLE	CARBÓN			
1/8"	10.30	1.24	7.82	0.29	1.73	6.84	0.372	0.36	2.41	5.48	0.47
1/4"	13.70	1.65	10.40	0.49	2.24	9.22	0.644	0.63	3.02	7.66	0.80
3/8"	17.10	1.65	13.80	0.63	2.31	12.48	0.862	0.85	3.20	10.70	1.10
1/2"	21.30	2.11	17.08	1.00	2.77	15.76	1.29	1.27	3.73	13.84	1.62
3/4"	26.70	2.11	22.48	1.28	2.87	20.96	1.71	1.68	3.91	18.88	2.19
1"	33.40	2.77	27.86	2.09	3.38	26.64	2.54	2.50	4.55	24.30	3.23
1 1/4"	42.20	2.77	36.66	2.70	3.56	35.08	3.45	3.38	4.85	32.50	4.47
1 1/2"	48.30	2.77	42.76	3.12	3.68	40.94	4.12	4.05	5.08	38.14	5.40
2"	60.30	2.77	54.76	4.00	3.91	49.22	5.53	5.43	5.54	49.22	7.47
2 1/2"	73.00	3.05	66.90	5.26	5.16	62.68	8.78	8.62	7.01	58.98	11.40
3"	88.90	3.05	82.90	6.45	5.49	77.92	11.50	11.28	7.62	73.66	15.25
4"	114.30	3.05	108.20	8.35	6.02	102.26	16.30	16.06	8.56	97.18	22.29
5"	141.30	3.40	134.50	11.57	6.55	128.20	22.10	21.76	9.53	122.24	30.92
6"	168.30	3.40	161.50	13.83	7.11	154.08	28.70	28.23	10.97	146.36	42.51
8"	219.10	3.76	211.58	20.00	8.18	202.74	43.20	42.49	12.70	193.70	64.56
10"	273.10	4.19	264.72	27.80	9.27	254.56	61.23	60.23	15.09	242.92	95.84
12"	323.90	4.57	314.76	36.00	10.31	303.28	75.00	73.80	17.48	288.94	132.00

Figura 44: Medidas para tubos (Sch) en mm.

Fuente: Sitio web Octasteel.

Se seleccionará un tubo de diámetro interior 62,68 mm cuyo diámetro nominal es 2 1/2 in. En la elección se contempla 1mm de espesor de pared de revestimiento con el copolímero.

Se detalla a continuación las medidas de la tubería seleccionada

SCH 40			
Diámetro nominal	Espesor de pared	Diámetro interior	Peso aproximado
2 ½ "	5,16 mm	62,68 mm	8,62 kg/m

Tabla 49: Medidas de tubería seleccionada.

Fuente: Elaboración propia.

Se procederá a calcular la velocidad del fluido en la tubería seleccionada considerando el espesor de pared del copolímero protector. Por lo tanto, el diámetro interno final quedaría 61,68 mm.

$$V = \frac{Q}{A_{int}} = \frac{4.41 \frac{m^3}{h}}{2.98 \times 10^{-3} m^2} = 1477 m/h = 0.41 m/s$$



De acuerdo con la sección de la tubería, se tendrá en cuenta la pérdida de carga. Estos rozamientos se deben tanto a las pérdidas contra las paredes de la tubería en tramos rectos, denominadas primarias (HF) y en accesorios y codos pérdidas de fricción secundarias (HA).

Para la obtención de hf se usa la ecuación de Darcy-weisbach.

$$Ev = hf + \Sigma ha \quad (129)$$

$$Hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (130)$$

$$hA = f \frac{Leq}{Di} * \frac{V^2}{2g} \quad (131)$$

Reemplazando en Ev:

$$Ev = f * \frac{Lrecto}{Di} * \frac{v^2}{2g} + \Sigma Accesorios * f * \frac{Leq}{Di} * \frac{v^2}{2 * g} \quad (132)$$

$$Ev = f * \frac{v^2}{Di * 2 * g} * (Lrecto + \Sigma accesorios * Leq) \quad (133)$$

Donde:

- *Ev*: Pérdida de energía mecánica por fricción, en kg/cm<sup>2</sup>.
- *Lrecto*: Longitud de los tramos rectos de la tubería, en m.
- *Leq*: Longitud equivalente de los accesorios en función del diámetro de la cañería, en m.
- *D*: Diámetro, en m.
- *v*: Velocidad, en m/s.
- *g*: Aceleración de la gravedad, es 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- *f*: Coeficiente de fricción de Darcy.

El coeficiente de fricción está en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa, F (Re, ε/D).



### 7.4.6.3. Cálculo de $E_v$ en la zona de succión

$$E_v = f * \frac{v^2}{D_i * 2 * g} * (L_{recto} + \Sigma \text{ accesorios} * L_{eq}) \quad (134)$$

$$Re = \frac{(\rho * D * v)}{\mu} = 60513 \quad (135)$$

Rugosidad relativa:

$$\epsilon/D = \frac{0.0012 \text{ mm}}{61.68 \text{ mm}} = 1.945 \times 10^{-5}$$

Empleando el diagrama de moody obtenemos el factor de fricción de Fanning.

En base a los datos del número de Reynolds y rugosidad se determina el coeficiente de fricción,  $F = 0,018$ .

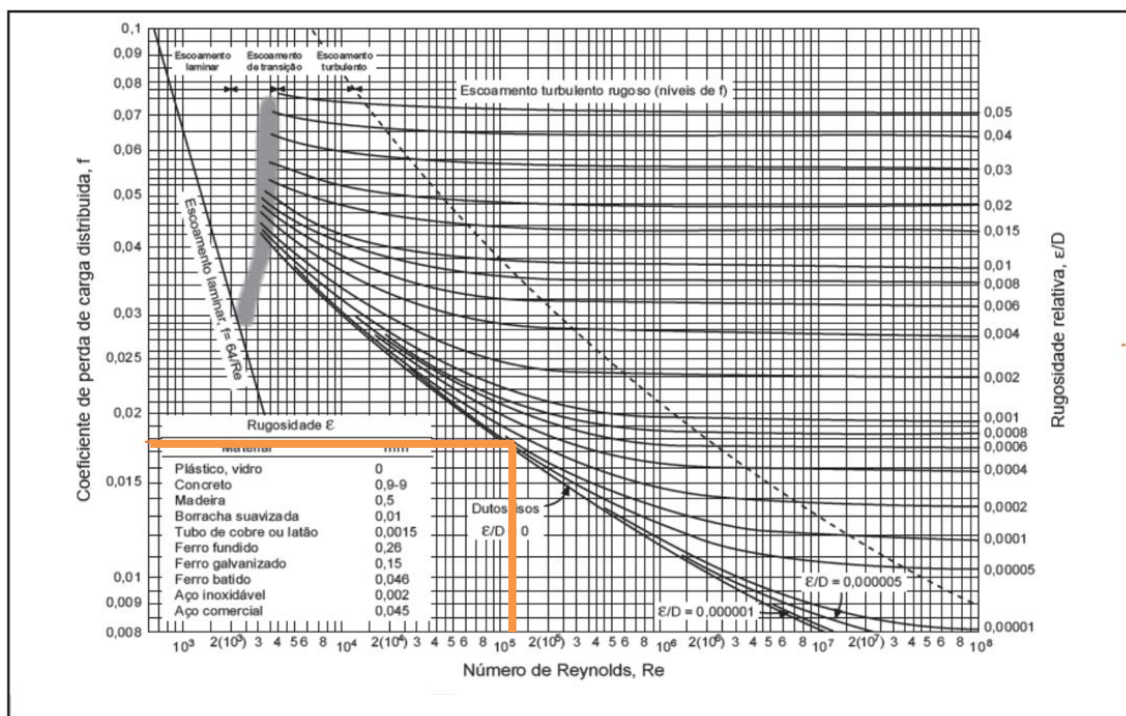


Figura 45: Diagrama de Moody.  
Fuente: Mecánica de fluidos Robert Mott.



De acuerdo con los accesorios, la pérdida de carga la podemos calcular a través de longitud equivalente a partir del diámetro de tubería utilizando la siguiente tabla.

Longitudes equivalentes adimensionales representativas (Le/D) para válvulas y accesorios	
Tipo de accesorio	Longitud equivalente Le/D
Valvula (Completamente abierta)	
valvula de compuerta	8
valvula Globo	340
valvula Angulo	150
valvula de bola	3
valvula de retención	600
valvula de retención disco	55
válvula de pie con filtro: disco con resortes	420
válvula de pie con filtro: disco articulado	75
Codo estandar de 90°	30
Codo estandar de 45°	16
Codo de retorno 180°	50
T estandar: flujo directo	20
T estandar: Flujo derivado	60

**Tabla 50:** Longitudes equivalentes de válvulas y accesorios.  
**Fuente:** Crane company "Flow of Fluids Through valves, Fittings and Pipe".

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente	Metros lineales
Valvula retención	1	600	76,2
Valvula Globo	1	340	43,18
Codos 90	2	30	7,62



Conexión T	1	20	2,54
Valvula filtro	1	195	24,765
total Leq			154,305
Longitud recta			9,5
total Leq			163,805

**Tabla 51:** Longitudes equivalentes de válvulas y accesorios.

**Fuente:** Elaboración propia.

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$Ev = f * \frac{v^2}{Di * 2 * g} * (Lrecto + \Sigma \text{ accesorios} * Leq) \quad (136)$$

$$Ev = 0.02 * \frac{\left(0.41 \frac{m}{s}\right)^2}{0.06168m * 2 * 9.81} * (163.805 m) \quad (137)$$

$$Ev = 0.456 m$$

Volviendo a la ecuación de Bernoulli y reemplazando nos queda:

$$Ps = \rho * g * [(Z1 - Zs) - Ev] + P_1 \quad (138)$$

$$Ps = 1476,4 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * [(0,5m - 0m) - 0,456m] + P_1$$

$$Ps = 643,3 \frac{kg}{m * s^2} + 431,49 kPa$$

$$Ps = 0,6433 kPa + 431,49 kPa$$

$$Ps = 432,13 kPa$$

$$Ps = 432130 \frac{N}{m^2}$$

$$Ps = 4,4 \frac{kg}{cm^2}$$

Zs está a cero metros sobre el nivel del suelo, boquilla del intercambiador E-111 donde toma el líquido la bomba.

Por lo tanto, tomando como referencia el nivel de Z1 = 0.



Zona de descarga:

Se procederá a calcular la presión en la zona de descarga, en este caso en la boca del tanque de almacenamiento, este se encuentra a una altura de referencia a la bomba de 9,7m.

Se calculará teniendo en cuenta la ecuación de Bernoulli como se hizo con la zona de succión.

$$\frac{P_d}{\rho * g} + z_d + \frac{1}{2} \frac{v_d^2}{g} - Ev = \frac{P_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{1}{2} \frac{v_2^2}{g} \quad (139)$$

$$P_d = \rho * g * [(Z_2 - Z_d) + Ev] + P_2 \quad (140)$$

$$P_d = 1476.4 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * [(9,7m - 0) + Ev] + 862.98 kpa$$

$$P_d = 1476.4 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * [(9,7m - 0) + Ev] + 862.98 kpa$$

Cálculo de Ev en la zona de descarga.

$$Ev_{desc} = f * \frac{v^2}{Di * 2 * g} * (L_{recto} + \Sigma \text{ accesorios} * L_{eq}) \quad (141)$$

Se determinará la sección de la tubería de descarga para la velocidad del fluido a 1,2m/s según tabla.

$$A = \frac{Q_v}{Vel} = \frac{4.41 \frac{m^3}{h}}{4320 \frac{m}{h}} = 1.02 \times 10^{-3} \frac{m^3}{h}$$

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{1.02 \times 10^{-3} / 3.14} = 0.018 m$$

$$r = 1,8 cm$$

$$D = 3,6 cm$$

Se seleccionará el diámetro según tabla de diámetros nominales Sch40 Acero al carbono.



DIMENSIONES DE TUBERÍAS											
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SCH 10 INOXIDABLE			SCH 40				SCH 80 C.S.		
		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)	ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)
							INOXIDABLE	CARBÓN			
1/8"	10.30	1.24	7.82	0.29	1.73	6.84	0.372	0.36	2.41	5.48	0.47
1/4"	13.70	1.65	10.40	0.49	2.24	9.22	0.644	0.63	3.02	7.66	0.80
3/8"	17.10	1.65	13.80	0.63	2.31	12.48	0.862	0.85	3.20	10.70	1.10
1/2"	21.30	2.11	17.08	1.00	2.77	15.76	1.29	1.27	3.73	13.84	1.62
3/4"	26.70	2.11	22.48	1.28	2.87	20.96	1.71	1.68	3.91	18.88	2.19
1"	33.40	2.77	27.86	2.09	3.38	26.64	2.54	2.50	4.55	24.30	3.23
1 1/4"	42.20	2.77	36.66	2.70	3.56	32.70	3.45	3.38	4.85	32.50	4.47
1 1/2"	48.30	2.77	42.76	3.12	3.68	40.94	4.12	4.05	5.08	38.14	5.40
2"	60.30	2.77	54.76	4.00	3.91	52.70	5.53	5.43	5.54	49.22	7.47
2 1/2"	73.00	3.05	66.90	5.26	5.16	62.68	8.78	8.62	7.01	58.98	11.40
3"	88.90	3.05	82.90	6.45	5.49	77.92	11.50	11.28	7.62	73.66	15.25
4"	114.30	3.05	108.20	8.35	6.02	102.26	16.30	16.06	8.56	97.18	22.29
5"	141.30	3.40	134.50	11.57	6.55	128.20	22.10	21.76	9.53	122.24	30.92
6"	168.30	3.40	161.50	13.83	7.11	154.08	28.70	28.23	10.97	146.36	42.51
8"	219.10	3.76	211.58	20.00	8.18	202.74	43.20	42.49	12.70	193.70	64.56
10"	273.10	4.19	264.72	27.80	9.27	254.56	61.23	60.23	15.09	242.92	95.84
12"	323.90	4.57	314.76	36.00	10.31	303.28	75.00	73.80	17.48	288.94	132.00

Figura 43: Medidas para tubos (sch) en mm.

Fuente: Sitio web Octasteel.

SCH 40			
Diámetro nominal	Espesor de pared	Diámetro interior	Peso aproximado
1 1/2"	3,68 mm	40,94 mm	4,05 kg/m

Tabla 52: Medidas de tubería seleccionada.

Fuente: Elaboración propia.

Obtención del factor de fricción f

$$Re = \frac{(\rho \cdot D \cdot v)}{\mu} = \frac{1476.4 \frac{kg}{m^3} * 0.017 * 1.2 \frac{m}{s}}{6.17 \times 10^{-4}} = 51685$$

(Se tienen en cuenta 1mm de recubrimiento)

$$\varepsilon/D = \frac{0.0012 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} = 6.6 \times 10^{-5}$$

$$F = 0.021$$

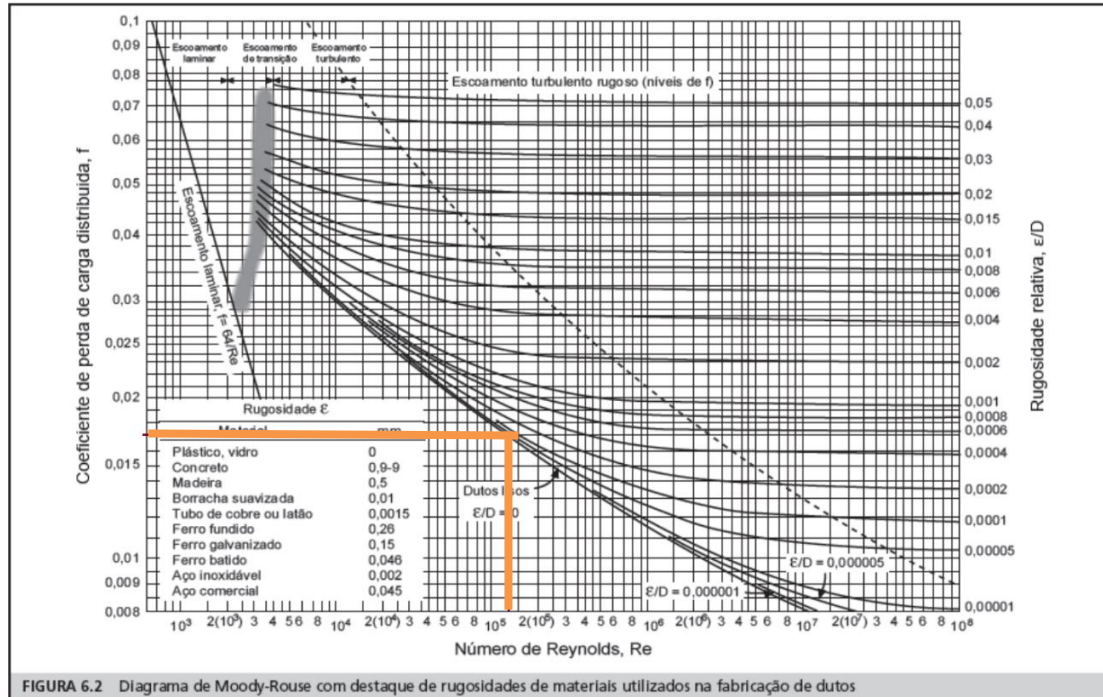


Figura 46: Diagrama de Moody.  
Fuente: termal-engineering.org.

De acuerdo con los datos proporcionados por la tabla 8,3 de longitudes equivalentes por accesorios y válvulas, se construye el siguiente cuadro.

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente	Metros lineales
Valvula retención	1	600	45,6
Valvula Globo	2	340	51,68
Codos 90	13	30	29,64
Conexión T	1	20	1,52
Valvula filtro	1	195	14,82
total Leq			143,26
Longitud recta			70
total Leq			213,26

Tabla 53: Longitudes equivalentes de válvulas y accesorios.  
Fuente: Elaboración propia.





$$Ev = f * \frac{v^2}{Di * 2 * g} * (Lrecto + \Sigma \text{ accesorios} * Leq)$$

$$Ev = 0.021 * \frac{\left(1.2 \frac{m}{s}\right)^2}{0.04094m * 2 * 9.8 \frac{m}{s}} * (213.26m)$$

$$Ev = 8.02 m$$

Volviendo a la ecuación de Bernoulli, con los datos calculados se plantea para encontrar el valor de Pd.

$$Pd = \rho * g * [(Z2 - Zd) + Ev] + P_2$$

$$Pd = 1476,4 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * [9,7m - 0 + 8,02m] + 862,98 kPa$$

$$Pd = 456,39 kPa + 862,98 kPa$$

$$Pd = 1319,37 kPa$$

$$Pd = 1.319.370 \frac{N}{m^2}$$

$$Pd = 13,45 \frac{kg}{cm^2}$$

#### Determinación de la altura de la bomba Hb:

$$\frac{P1}{\rho * g} + z_s + \frac{1}{2} \frac{v1^2}{g} + Hb = \frac{Ps}{\rho * g} + z_d + \frac{1}{2} \frac{vd^2}{g} \quad (142)$$

Donde:

- Ps: Presión en el punto de sección, en kg/cm<sup>2</sup>.
- Pd: Presión en el punto de descarga, en kg/cm<sup>2</sup>.
- Zs: Altura en la zona de succión, en m.
- Zd: Altura en la zona de descarga, en m.
- vs: Velocidad del fluido en la zona de succión, en m/s.
- vd: Velocidad del fluido en la zona de descarga, en m/s.
- ρ: Densidad del fluido, en kg/m<sup>3</sup>.
- g: Aceleración de la gravedad, es 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- Hb: Altura de la bomba, en m.



$$\frac{P_1}{\rho * g} + Z_s + \frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} + H_b = \frac{P_s}{\rho * g} + \frac{1}{2} \frac{v_d^2}{g} + Z_d \quad (143)$$

$$\frac{P_d - P_s}{\rho * g} + (Z_d - Z_1) + \left( \frac{V_d^2}{2 * a * g} - \frac{v_s^2}{2 * a * g} \right) = H_b \quad (144)$$

$$H_b = \frac{P_d - P_s}{\rho * g} + \frac{1}{2} * \frac{(V_d^2 - V_s^2)}{g} \quad (145)$$

$$H_b = \frac{1319370 \frac{N}{m^2} - 432130 \frac{N}{m^2}}{1476.4 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}} + \frac{1}{2} * \frac{((1.2 \frac{m}{s})^2 - (0.41 \frac{m}{s})^2)}{9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_b = 61,32 m + 0,064m$$

$$H_b = 61,384 m$$

Cálculo de la potencia útil de la bomba:

$$w = \rho * g * q * H_b \quad (146)$$

Donde:

- $w$ : Potencia de la bomba, en hp.
- $\rho$ : Densidad, en  $kg/m^3$ .
- $g$ : Aceleración de la gravedad, es  $9,8 m/s^2$ .

$$w = 1476.4 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 4.41 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600s} * 61,384 m$$

$$w = 1087,98 watt$$

$$w = 1.088 kw$$

$$w = 1,46 hp$$

#### 7.4.6.4. Cálculo de ANPA de la bomba

El ANPA se refiere a la altura neta positiva de aspiración la cual se utiliza para medir la presión mínima necesaria a la entrada de la bomba para que esta no cavite. De esta manera evitamos que la unidad se deteriore sus mecanismos internos por mal funcionamiento.



Se encuentran dos valores para el NPSH o ANPA. El ANPA requerido será proporcionado por el fabricante, la cual lleva la bomba como dato. El ANPA disponible es un valor característico del sistema.

La condición necesaria para que la bomba no entre en cavitación debe cumplirse lo siguiente:

$$ANPA\ disponible \geq ANPA\ requerido \quad (147)$$

$$ANPA\ disponible = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho * g} + (z_1 - z_2) - E_v \quad (148)$$

$$ANPA\ disponible = \frac{434030 \frac{kg}{m*s^2} - 21960 \frac{kg}{m*s^2}}{1476.4 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}} - 0.456\ m$$

$$ANPA\ disponible = 28,02\ m$$

#### 7.4.6.5. Selección de la bomba

De acuerdo con los cálculos obtenidos se procede a la selección de la bomba. Para ello contamos con el proveedor All Pumps Argentina, el cual proporciona bombas acordes al fluido de interés, en este caso un fluido corrosivo.

El tipo de bomba seleccionado es el modelo techniflo serie TB.



**Figura 47:** Diagrama representativo de la bomba P-105.

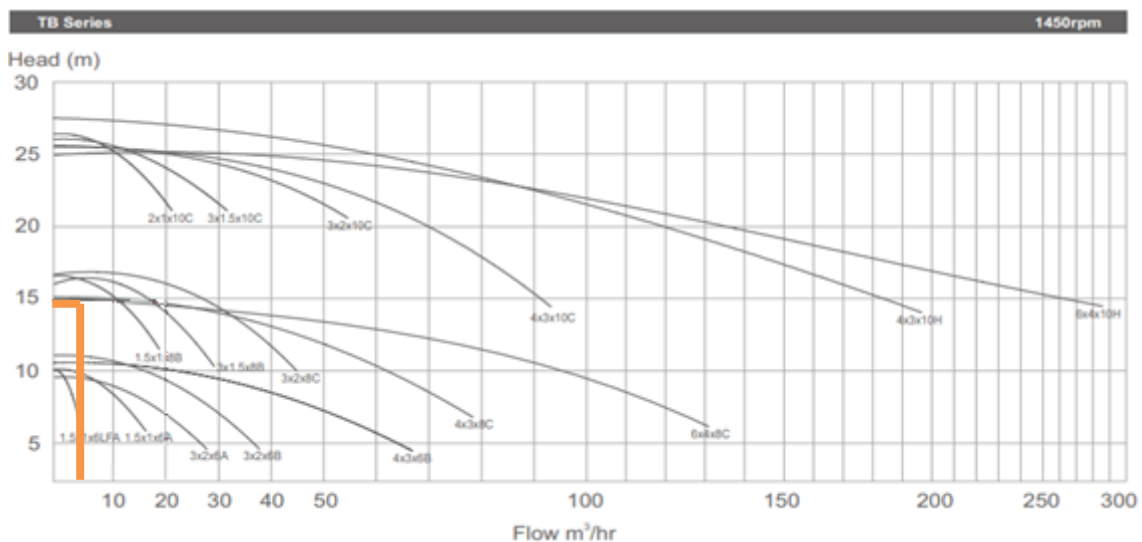
**Fuente:** All pumps Argentina.



Características de construcción de Techniflo:

- Carcasa de hierro dúctil de alta resistencia con revestimiento de ETFE adherido
- Ojo del impulsor completamente abierto para reducir los requisitos de NPSH y mayor eficiencia
- Un solo tamaño de perno para facilitar el mantenimiento
- Temperaturas del fluido de  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $121^{\circ}\text{C}$
- Soporta presiones de 17,3 M dimensiones de huella y brida
- Diseño de extracción por la parte posterior: el extremo de líquido y el extremo de accionamiento se sistema de hasta 20,7 bar (300psi)
- Caudales de hasta  $100\text{ m}^3/\text{hora}$
- SG del líquido hasta 2,5
- Acabado de pintura de resina epoxi con capa superior de AAPU

De acuerdo con el caudal y altura requeridos para el proceso, se requiere una bomba de medida 4x3x8c según tabla detallada a continuación proporcionada por el fabricante:



**Figura 48:** Curva de especificación de bombas.

**Fuente:** All pumps Argentina.



Pump Size	A	B	C	D	E1	E2	F	G	H	J	L	inlet/ outlet	Bare Pump kg
1.5 x 1 x 6A	133	165	298	300	152	0	184	102	16	221	370	40/25	34
3 x 2 x 6A	133	165	298	300	152	0	184	102	16	287	324	80/50	39
1.5 x 1 x 8B	133	165	298	300	152	0	184	102	16	287	394	40/25	59
3 x 2 x 6B	210	209	419	281	248	184	318	102	16	312	394	80/50	63
3 x 1.5 x 8B	210	216	425	316	248	184	318	102	16	287	414	80/40	64
4 x 3 x 6B	210	209	419	350	248	184	318	102	16	287	414	100/80	75
3 x 2 x 8C	210	241	451	306	248	184	318	102	16	287	414	80/50	67
4 x 3 x 8C	210	279	489	372	248	184	318	102	16	287	414	100/80	83
2 x 1 x 10C	210	216	425	351	248	184	318	102	16	287	414	50/25	93
3 x 1.5 x 10C	210	216	425	361	248	184	318	102	16	287	414	80/40	96
3 x 2 x 10C	210	241	451	306	248	184	318	102	16	287	414	80/50	101
4 x 3 x 10C	210	279	489	372	248	184	318	102	16	287	414	100/80	107
4 x 3 x 10HC	210	279	489	372	248	184	318	102	16	287	414	100/80	113
6 x 4 x 8C	254	343	597	477	248	184	318	102	16	287	414	150/100	113
6 x 4 x 10C	254	343	597	477	248	184	318	102	16	287	414	150/100	116

Figura 49: Dimensiones de bombas.

Fuente: All pumps Argentina.



Figura 50: Aspectos y partes de la bomba.

Fuente: All pumps Argentina.



El proveedor nos provisiona de los datos y la eficiencia de la bomba, la cual tiene un valor de  $\eta = 0,61$ . Se calcula la potencia de freno para optimizar la eficiencia de bombeo. En la práctica, se requiere más potencia para impulsar la bomba que la que efectivamente se le transmite al fluido debido a las pérdidas de energía en el interior de la bomba por efecto de la fricción y la turbulencia.

$$BHP = \frac{W}{\eta} \quad (149)$$

$$BHP = \frac{1,46}{0,61} = 2,4 \text{ HP}$$

#### 7.4.6.6. Hoja de Especificación

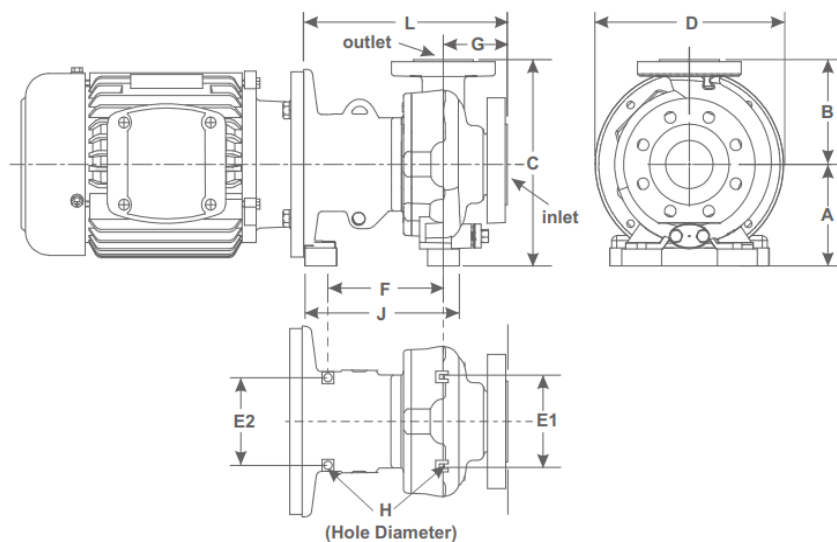
UTN FRLP	HOJA DE DATOS		
	INTEGRACION V	Hoja de especificación	
UNIDAD: P-105	Fecha		
SERVICIO: bombeo a tanque de almacenamiento	Revisión Locación: Sección 100		
Datos generales			
Denominación de equipo	Bomba centrífuga simple etapa	hoja: 2 de 2	
Función	Carga a tanque producto Tk-101	Proveedor	All Pumps Argentina
Tipo	centrífuga	Modelo	TB-4x3x8c
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>			
Caudal	kg/h	7063,84	
Presión de succión	kg/cm <sup>2</sup>	4,4	
Presión de descarga	kg/cm <sup>2</sup>	15,86	
Potencia útil	HP	1,46	
ANPA disponible	m	28,02	
Fluido	Ácido nítrico		
Temperatura	°C	40	
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	1476,4	





MODELO	
TIPO	techniflo TB3194
DIAMETRO DE ENTRADA	3,149 In
DIAMETRO DE SALIDA	1,96 In
IMPULSOR	Centrifugo abierto
DIAMETRO IMPULSOR	8 In
CAUDAL MAXIMO	100 m3/h
ALTURA MAXIMA	50m
CONFIGURACION	horizontal
TEMPERATURA MAXIMA	121°C
VELOCIDAD	1450 RPM
NPSH REQUERIDO	2.3
EFICIENCIA	0.61
MATERIAL	Acero al carbono con proteccion de ETFE

ESQUEMA Y DIMENSIONES





#### 7.4.7. Tanque de producto Tk-103

A continuación, se dimensionarán los tanques gemelos de almacenamiento de producto de ácido nítrico al 60% p/p. Contaremos con dos para que mientras uno esté descargando el producto hacia el cliente el otro este llenando, a su vez contaremos con un tercer tanque destinado al producto de fuera de especificación. El producto se acumulará en el tanque de manera de abastecer al cliente por 5 días, a modo de disponer de la cantidad suficiente para asegurar la continuidad de la producción de la planta de Nitrato de Amonio.

El diseño de los tanques se realiza siguiendo la norma API 650. Se determina el volumen total, la altura, el diámetro, el tipo de techo y el material de construcción del tanque.

Se utilizará para la construcción acero inoxidable, debido a la corrosividad del compuesto. Así mismo, recurrir al almacenamiento con el mínimo contenido de luz posible, esto es para resguardar el ácido de la luz solar directa (Se descompone ligeramente en óxidos de nitrógeno cuando entra en contacto con la luz); almacenar a temperaturas frescas y evitando la variación de esta para evitar fenómenos atípicos, como por ejemplo la condensación o formación de óxidos.

La operación se lleva a cabo a presión atmosférica y a la temperatura de ingreso desde el intercambiador E-111. Se considera que la temperatura se mantiene por ser una operación continua en la que el contenido del tanque se encuentra en constante movimiento.

En el caso de que ocurra un paro del proceso o exista producción fuera de especificación, se contará con un stock de seguridad para poder despachar el producto terminado a los clientes, garantizado la entrega en tiempo y forma y manteniendo un alto nivel de servicio.

Para ello, para determinar el tamaño del tanque de almacenamiento se definirá primero la capacidad del tanque, ésta la delimitaremos como la capacidad necesaria para suministrar al proceso un total de 5 días. Como el caudal necesario es de  $6,28 \text{ m}^3/\text{h}$  se necesita un volumen de  $754,77 \text{ m}^3$ , a este valor se



le agrega un 4% que es un factor de seguridad y como resultado tenemos que la capacidad útil del tanque de alimentación debe ser, redondeando, de 785 m<sup>3</sup>.

Según los criterios de la norma, los tanques con una relación D/H > 1,33 son más estables por lo que no requieren de anclajes, mientras que para una relación D/H < 1,33 pueden requerir anclajes, generando un mayor costo de construcción y montaje.

Se seleccionó una relación diámetro-altura de:

$$\frac{D}{H} = 0,97 \quad (150)$$

Cálculo diámetro y altura del tanque:

$$D = \sqrt[3]{\frac{0,97 * 4 * V_{TK}}{\pi}} \quad (151)$$

$$D = 9,8 \text{ m}$$

$$H = \frac{D}{0,97} = 9,20 \text{ m}$$

Se debe tener en cuenta que, por razones de seguridad, los tanques serán sobredimensionados, resultando un tamaño mayor respecto del volumen de líquido necesario a contener. Se considera un volumen muerto o no aspirable del 10% de la capacidad del tanque y un volumen de sobrellenado del 5% del volumen total del tanque.

Entonces tenemos:

$$V_T = V_U + V_{NA} + V_S \quad (152)$$

Donde:

- $V_T$ : Volumen total del tanque, en m<sup>3</sup>.
- $V_U$ : Volumen útil del tanque, en m<sup>3</sup>.
- $V_{NA}$ : Volumen no aspirable, en m<sup>3</sup>.



- $V_S$ : Volumen de sobrellenado, en  $m^3$ .

$$V_T = V_U + 0,1V_T + 0,05V_T \quad (153)$$

$$V_T = \frac{V_U}{0,85} = 923,52 \text{ m}^3 \quad (154)$$

Si  $V_T > 500 \text{ m}^3$ , se recomienda:

$$\frac{D}{H} \leq 4 \quad (155)$$

Se define la capacidad útil del tanque como el volumen desde la línea de centro de la tubería de entrada situada en el punto más alto, hasta la línea de centro de la tubería de descarga que está situada en el punto más bajo. Por lo tanto, la capacidad se mide desde 1 m del fondo hasta 1 m por debajo del final de la virola superior, a este valor calculado de altura hay que sumarle 2 metros. Por ende, la altura total la calculamos de la siguiente forma:

$$H = (9,20 + 2) = 11,20 \text{ m} \quad (156)$$

Cálculo del espesor del recipiente utilizando norma ASME sección VIII:

$$\tau = C + \frac{P * R_{rec}}{S * E - 0,6 * P} \quad (157)$$

Donde:

- $R_{rec}$ : Radio del tanque.
- $S$ : Tensión máxima admisible del material.
- $E$ : Eficiencia de soldadura.
- $C$ : Espesor de corrosión.
- $P$ : Presión de diseño.

Consideramos que la eficiencia de la soldadura es de 0,85, que el espesor de corrosión es 0 por ser acero inoxidable y que la tensión máxima admisible del acero inoxidable AISI 304 es de  $1.203,27 \text{ kg/cm}^2$ .

La presión de diseño será:



$$P = 1.1 * (P_o + P_h) \quad (158)$$

Donde:

- $P_o$ : Presión manométrica, se toma como  $1,02 \text{ kg/cm}^2$ .
- $P_h$ : Presión hidrostática del líquido.

$$P_h = H_{liq} * \rho_{liq} * g \quad (159)$$

Donde:

- $\rho_{liq}$ : Densidad del líquido.
- $H_{liq}$ : Altura del líquido.

$$P_h = 10,20 \text{ m} * \frac{1123,07 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} = 112262,07 \text{ Pa} = 1,14 \text{ kg/cm}^2$$

Entonces la Presión de diseño será:

$$P = 1.1 * \left( 1,02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 1,14 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = 2,37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Y el espesor del recipiente:

$$\tau = \frac{2,37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 4900 \text{ mm}}{1203,27 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0,85 - 0,6 * 2,37} = 7,89 \text{ mm}$$

El techo tendrá forma toriesférica y su espesor se calcula de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{P * R_{rec}}{\text{Cos}(\alpha) * (S * E - 0,6 * P)} \quad (160)$$

$$\tau = \frac{2,37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 4900 \text{ mm}}{\text{Cos}\left(\frac{10}{100} * \pi\right) * \left(1733 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 0,85 - 0,6 * 2,37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)} = 7,91 \text{ mm}$$

Se utilizará un espesor de chapa de acero inoxidable para la construcción del tanque de 7,9 mm.



La alimentación al tanque se hará por la parte superior y su despacho por la parte inferior. El techo esta auto-soportado, y su superficie es toriesférica. Contará además con un drenaje central en la base del tanque, un drenaje sobre la pared del tanque, opuesto a la salida, y dos 2 válvulas auxiliares, exclusivas para ventear, así evitar que se generen presiones internas dentro del tanque al llenar o vaciar el tanque. Contará con una boca de hombre, según la norma API 650, tendrá un diámetro externo de 762 mm (30 Pulgada).

Por otro lado, debemos calcular el recinto, es considerado buena práctica tomar 1 diámetro para los cuatro lados, partiendo desde el centro del tanque, por lo que cada lado del cuadrado va a ser igual a 2 veces el diámetro, en este caso vamos a redondear el lado del recinto a 20 metros.

Con este dato podemos calcular la superficie que cubre el recinto, multiplicando lado por lado, obtenemos una superficie de 400 m<sup>2</sup>. La función del recinto es retener la totalidad de la capacidad del tanque en caso de una pérdida o rotura de este, por lo tanto, el volumen de este va a ser el mismo que el tanque más un 10% que se considera el factor de seguridad.

$$V = C * f = 785 \text{ m}^3 * 1,1 = 863,5 \text{ m}^3 \quad (161)$$

Donde:

- *V*: Volumen calculado para el recinto.
- *C*: Capacidad del tanque.
- *f*: Factor de seguridad.

Luego vamos a determinar la pared del recinto, la cual vamos a obtener dividiendo el volumen requerido del recinto por la diferencia de la superficie del recinto con la que ocupa el tanque, como vemos en la siguiente ecuación:

$$h_{pared} = \frac{863,5 \text{ m}^3}{(400 - 75,42) \text{ m}^2} = 2,66 \text{ m} \quad (162)$$

Por lo tanto, el recinto del tanque quedaría de 20x20x2,6 m, en la planta existen otros tanques los cuales tendrán cada uno sus respectivos recintos. Para producto terminado se contará con 2, que tendrán el mismo diseño. De igual

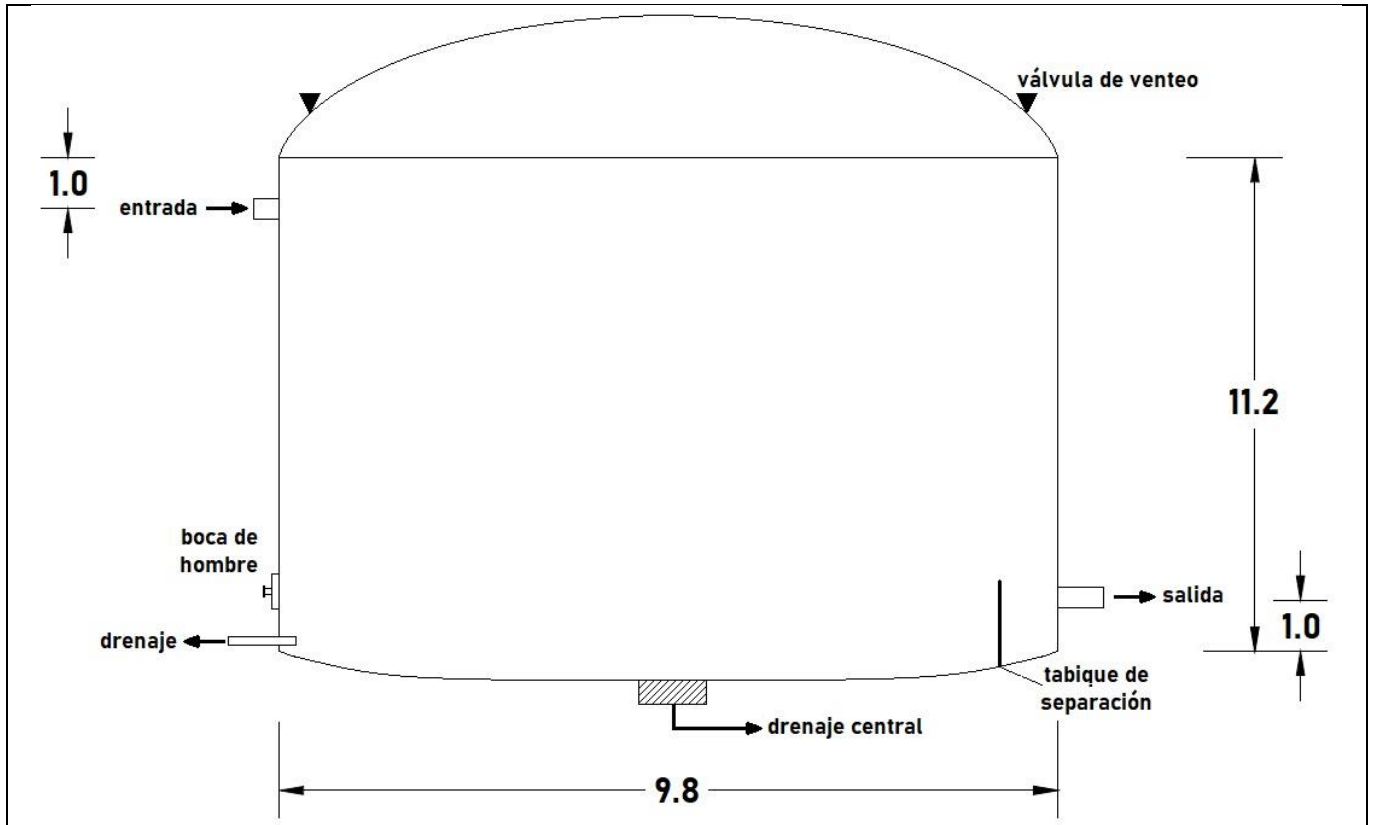




forma otro para producto fuera de especificación, y uno para agua en caso de emergencia.

#### 7.4.7.1. Hoja de especificación

UTN-FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN TANQUE ATMOSFÉRICO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO	INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Tanque de producto en especificación		
UNIDAD: TK-101		
SERVICIO: Almacenamiento y despacho de producto terminado		
DATOS DE OPERACIÓN		
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	°C	40
PRESIÓN OP.	kg/cm <sup>2</sup>	1,02
VOLUMEN MÁXIMO	m <sup>3</sup>	923,54
DENSIDAD(IN/OUT)	kg/m <sup>3</sup>	1123
DATOS CONSTRUCTIVOS		
TIPO	TECHO FIJO	
MATERIAL	Acero Inoxidable	
ALTURA	m	11,2
DIÁMETRO	m	9,8
ESPELOR TANQUE	m	0,00789
ESPELOR TECHO	m	0,00079
GEOMETRÍA TANQUE	Cilíndrica	
GEOMETRÍA TECHO	Toriesferica	
ESQUEMA		



## 8. CONTROL AUTOMÁTICO.

### 8.1. Control de Reactor R-101.

Se decidió controlar el reactor de oxidación catalítica R-101. Donde controlaremos tanto su temperatura, regulando la apertura de la válvula del caudal de agua de enfriamiento, como la presión, modificando las revoluciones por minuto del compresor de aire y de la bomba de amoníaco.

Debido a que es importante mantener la temperatura estrictamente en  $890^{\circ}\text{C}$  porque a mayores temperaturas se descompone el catalizador y a menores la reacción deseada se hace menos dominante, se eligió regular esta variable.

Además, el equipo trabaja a una presión de  $5,6 \text{ kg/cm}^2$  por lo cual se cree importante controlar que los valores no excedan los que soporta la constitución del equipo.



En la operación de sistemas de reactores químicos es esencial el control de presión para garantizar las condiciones óptimas de operación, y así la eficiencia del proceso, pero además pueden prever eventos que generen sobrepresiones que causen accidentes y que dañen estructuralmente al reactor. A su vez, cambios en la presión producen también variaciones en la temperatura de operación, si esto sucede puede superarse la temperatura de diseño y generar daño al reactor o al catalizador y riesgos al operario.

Para lograr un control automático de la presión en el reactor R-101 se implementará un sistema de regulación que tomará valores de presión en las corrientes de aire y amoníaco que ingresan al mezclador estático.

Se colocará un controlador en el compresor C-101, el cual es responsable de suministrar el aire al reactor. Este controlador tomará las mediciones de presión y según su desviación con el valor deseado modificará las revoluciones por minuto del equipo logrando que la presión de salida de la corriente gaseosa sea la adecuada para qué, considerando la caída de presión en el mezclador estático y los demás equipos intermedios, se mantenga una presión de  $5,6 \text{ kg/cm}^2$  en el reactor R-101.

De manera análoga se ubicará un controlador en la bomba de alimentación de amoníaco a la planta. Este controlador ajustará las rpm del equipo decidiendo según los valores de presión tomados en la corriente correspondiente al amoníaco y mantener la presión del reactor en el valor objetivo.

Adicionalmente, el control de temperatura es crítico para el proceso ya que de esta dependerá la eficiencia y selectividad de la reacción. Para mantener la temperatura estrictamente en  $890^\circ\text{C}$  se tomarán mediciones en la zona de alimentación, previo al catalizador y otro en la zona de productos, una vez realizada la reacción. Luego se tomará la diferencia entre estas para monitorear de manera detallada las condiciones térmicas del reactor.

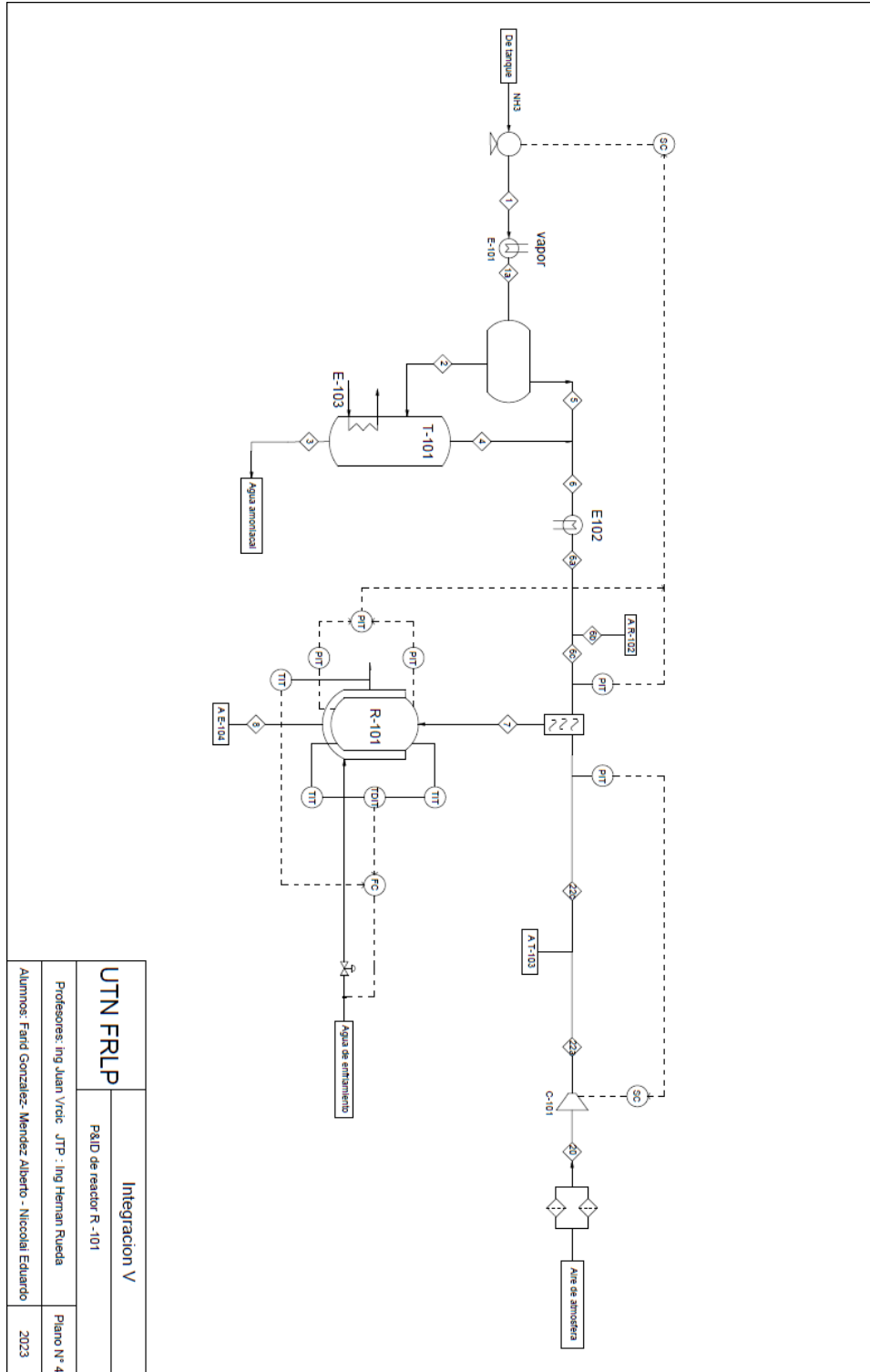
Para controlar la temperatura del reactor se utilizará un controlador sobre el caudalímetro que regule el porcentaje de apertura de la válvula de agua de enfriamiento que atraviesa el serpentín dentro del encamisado, dejando pasar mayor caudal cuando la temperatura se desborde o cerrando el paso cuando la temperatura disminuya. Se utilizará una válvula del tipo FO (falla abierto), de



manera que en caso de una falla eléctrica la válvula se abrirá por completo. Enfriando en demasía el reactor para aliviar las temperaturas.

De igual manera se tomará el valor de temperatura del agua de enfriamiento a la salida del reactor y se enviará la información al controlador para aumentar o reducir el flujo de agua si la temperatura de salida es diferente a los 50°C establecidos.

Se adjunta en hoja A3 el P&ID del control automático del Reactor R-101.





## 8.2. Control de Stripper T-101.

En este apartado se aplicarán los sistemas de control para poder mantener en especificación los valores de tope y fondo del stripper T-101. De tal manera de poder separar por tope el amoníaco que será utilizado como materia prima y por fondo agua con el menor contenido de amoníaco posible.

Para el control de la columna se tendrá en cuenta mantener la presión constante. De este modo la separación solo dependerá de la temperatura a controlar.

Para mantener la presión constante se utiliza un controlador de presión (PC) ubicado en la corriente de salida de la bomba booster que lleva la disolución de amoníaco desde el tanque de almacenamiento al E-101. El controlador envía una señal a un actuador (SC) para que varíe las revoluciones por minuto de la bomba y altere la presión de salida de esta de manera tal que, considerando la caída de presión en todos los equipos intermedios, la presión a la que llega a la corriente "2", es decir la entrada al stripper T-101, sea la necesaria para que se produzca la separación.

Una vez mantenida la presión constante, se puede realizar un control por temperaturas. Un controlador de temperatura (TC) ubicado en la corriente de entrada al stripper envía una señal a un actuador (FC) que actúa sobre la válvula de vapor que atraviesa el intercambiador E-101. De esta forma, si la temperatura de entrada al stripper se desvía de su valor necesario, se variará el porcentaje de apertura de la válvula, permitiendo entrar más o menos vapor al intercambiador y así variar la temperatura de salida de esa corriente y así, afectar la temperatura de entrada a la T-101.

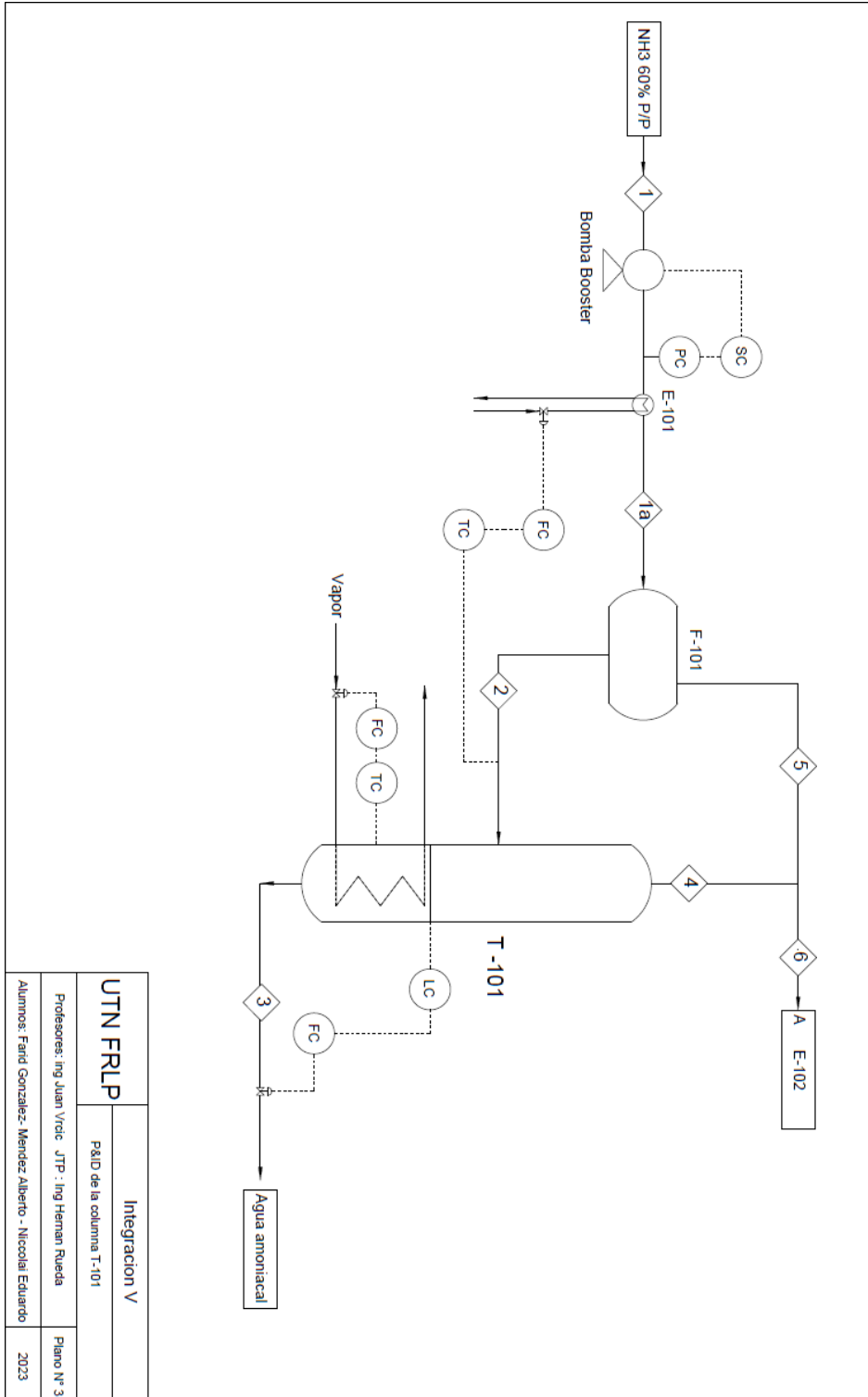
Para el sistema de control en el fondo de la columna se utiliza sistema feedback a fin de mantener el caudal de vapor en el caudal deseado con el objetivo de mantener la temperatura óptima de evaporación. Para ello, un controlador de temperatura (TC) tomado desde el fondo de la columna envía una señal a un controlador de flujo (FC) el que va a regular la apertura de la válvula de flujo de entrada de vapor al intercambiador de bayoneta que se encuentra dentro de la T-101.





Asimismo, en el fondo de la columna se tendrá que mantener el nivel de líquido para que este cubra por completo la bayoneta y no se encuentren tubos del mismo fuera del líquido. Este sistema de control cuenta con un sensor de nivel (LC) el cual, a medida que se desvía de su valor deseado, cierra o abre la válvula de corriente de salida de fondo de la columna a través de un controlador de flujo (FC).

Se adjunta en hoja A3 el P&ID del control automático del Stripper T-101.





## 9. LAY-OUT.

### 9.1. Definición de las áreas

El terreno escogido dentro del Parque Industrial Campana será utilizado para instalar tanto el proyecto de la planta productora de ácido nítrico como la planta contigua productora de nitrato de amonio. Por lo tanto, se dividirá el terreno en dos partes iguales, de manera que ambos terrenos tengan acceso a la calle principal. La mitad escogida para el presente proyecto será la que se encuentra en el medio, entre Bunge Argentina S.A. y la planta de nitrato de amonio. Finalmente el terreno del proyecto cuenta con dimensiones de 220 metros por 245 metros, haciendo una superficie total de **53.900 m<sup>2</sup>**. De los cuales, la superficie total ocupada, tanto por edificaciones y equipos como por calles internas es de **37.635 m<sup>2</sup>**.

A continuación se definirán las áreas correspondientes a cada sector de la planta:

Área de producción: Es el sector de la planta donde estarán ubicados todos los equipos que llevan a cabo la producción de ácido nítrico, desde el ingreso de la materia prima al primer equipo hasta la obtención de producto final, sin considerar el parque de tanques de almacenamiento.

A la hora de determinar el área ocupada se tiene en cuenta tanto el espacio ocupado por los equipos en sí como el espacio mínimo necesario de separación entre estos y las áreas libres, donde se realizarán la limpieza, reparación, desmontaje y cambio de catalizador. La superficie de esta área es de **5.200 m<sup>2</sup>**.

Parque de tanques de almacenamiento: Es el sector de la planta donde estarán ubicados los tanques de almacenamiento. Entre ellos se encuentran: los tanques de almacenamiento de producto terminado (TK-101 y TK-102), el tanque para el producto fuera de especificación (TK-103), los tanques de almacenamiento de solución de amoníaco (TK-104 y TK-105), el tanque de almacenamiento de agua desmineralizada (TK-106) y el tanque de agua para incendios (TK-107). Los tanques presentan, cada cual, un recinto para la contención de derrames en caso de una falla o accidente, considerando que la capacidad de dicho recinto es 110% el volumen útil del tanque. La superficie de esta área es de **6.000 m<sup>2</sup>**.



Subestación eléctrica: La subestación eléctrica consiste en una instalación que abastece los niveles de tensión adecuados para el funcionamiento de la maquinaria, de manera que se eviten pérdidas y daños. Así, se convierte la energía eléctrica a niveles ideales para poder producir. La superficie de esta área es de **21 m<sup>2</sup>**.

Almacén de mantenimiento: En este sector se almacenan las distintas piezas, repuestos e insumos que se pueden requerir para llevar a cabo el mantenimiento de la planta. Se pueden encontrar accesorios, materiales, catalizador, ropa de trabajo, EPP y más. La superficie de esta área es de **1.200 m<sup>2</sup>**.

Laboratorio: Dentro del laboratorio se llevan a cabo todos los ensayos para asegurar la calidad del producto en las distintas etapas del proceso, desde la recepción de la materia prima hasta el despacho de los productos terminados. También permite comprobar que las corrientes dentro de la planta se encuentran dentro de especificación y que los equipos operen correctamente. La superficie de esta área es de **32 m<sup>2</sup>**.

Sala de control: En esta sala se llevan a cabo las tareas de operación, supervisión y control de toda la planta. Esto es posible gracias a los lazos de control y manipuleo de ciertas variables. Dentro de la sala se encuentran alarmas y estaciones de control con computadoras, consolas y controladores donde se puede observar el diagrama de flujo, los lazos y los indicadores. La superficie de esta área es de **31,5 m<sup>2</sup>**.

Oficina de seguridad, medio ambiente y medicina laboral: Dentro de este sector se encuentran las oficinas destinadas al personal de seguridad, medio ambiente y el médico y los enfermeros destinados a atender a los empleados que lo necesiten. La superficie de esta área es de **281,25 m<sup>2</sup>**.

Comedor: En este sector se encuentra una cocina y espacio disponible para que los operadores y otros empleados puedan alimentarse y descansar. La superficie de esta área es de **450 m<sup>2</sup>**.

Vestuarios, sanitarios y duchas: Dentro de este sector se encuentran los vestuarios, con armarios individuales donde el personal puede cambiarse de



ropa y guardar sus objetos personales. A su vez, cuenta con sanitarios y duchas. La superficie de esta área es de **65 m<sup>2</sup>**.

Administración y recepción: En este edificio encontramos las oficinas donde se puede coordinar y dirigir la empresa, aquí se llevan a cabo las reuniones y las tareas correspondientes. Las oficinas están destinadas para la gerencia, el personal de recursos humanos, el personal de administración, los coordinadores y jefes de producción, los jefes e ingenieros del servicio técnico y los jefes, especialistas y administrativos de mantenimiento. La recepción cumple la función de entrada a la empresa, es la zona donde ingresan visitantes y la mayoría de los empleados. La superficie de esta área es de **1.020 m<sup>2</sup>**.

Parque de estacionamiento y puesto de control: La planta cuenta con un estacionamiento, tanto para los visitantes como para los trabajadores de planta. Este estacionamiento contiene plazas para coches, motocicletas, bicicletas y plazas para movilidad reducida. La superficie de esta área es de **2.060 m<sup>2</sup>**.

Puestos de vigilancia: La planta contará con dos puestos de vigilancia ubicados en la entrada al predio por las calles internas del terreno, sin contar la entrada por el estacionamiento. En estas garitas se hace el chequeo de camiones que ingresan para los traslados de equipos, personal de construcción, repuestos o, llegados el caso, para el traslado de producto terminado. Considerando ambos puestos, la superficie de esta área es de **56 m<sup>2</sup>**.

Piletas de neutralización: Dentro del terreno se contará con piletas de neutralización que contienen una disolución acuosa de hidróxido de potasio. Estas servirán en caso de accidentes para poder neutralizar derrames de ácido nítrico o emisiones de gases de óxidos de nitrógeno. La superficie de esta área es de **450 m<sup>2</sup>**.

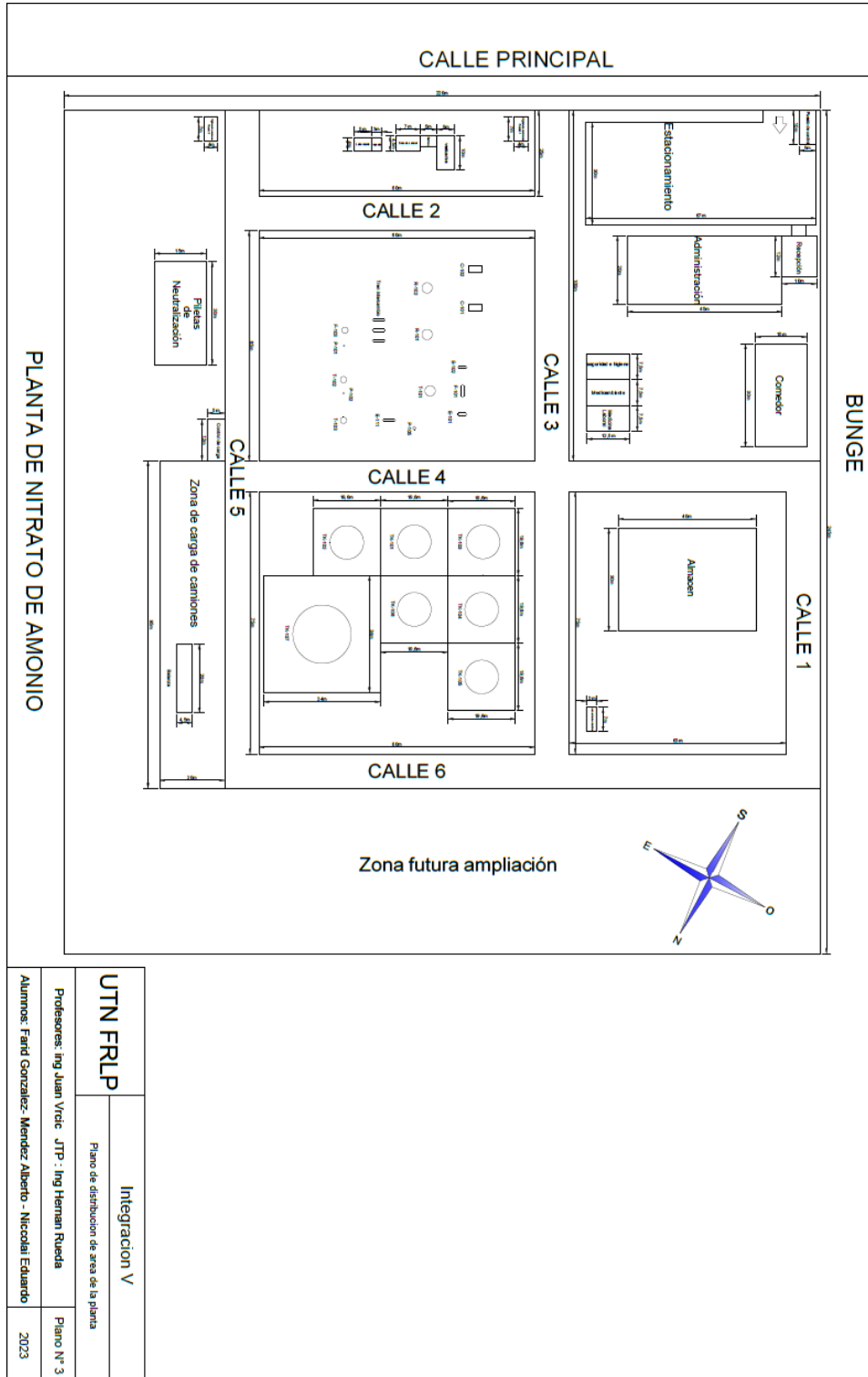
Zona de carga de camiones: Llegado el caso de que la planta de nitrato de amonio no se apruebe para su construcción, o durante el tiempo que conlleva la construcción de esta, se plantea como plan de contingencia el despacho de producto terminado hacia el exterior, particularmente Brasil, a través de camiones de carga. En esta zona se hará justamente el trabajo de carga, el lugar contará con una balanza para el control de la cantidad de producto cargado y



con un lugar destinado al control de dicha carga. La superficie de esta área es de **1.960 m<sup>2</sup>**.

Zona de futura ampliación: El espacio restante del terreno se dejará vacío y disponible para la construcción de futuras ampliaciones de la planta de ácido nítrico. A su vez, ese espacio disponible se usará como zona de construcción o espacio para el mantenimiento y reemplazo de equipos que puedan necesitarse. La superficie de esta área es de **1.350 m<sup>2</sup>**.





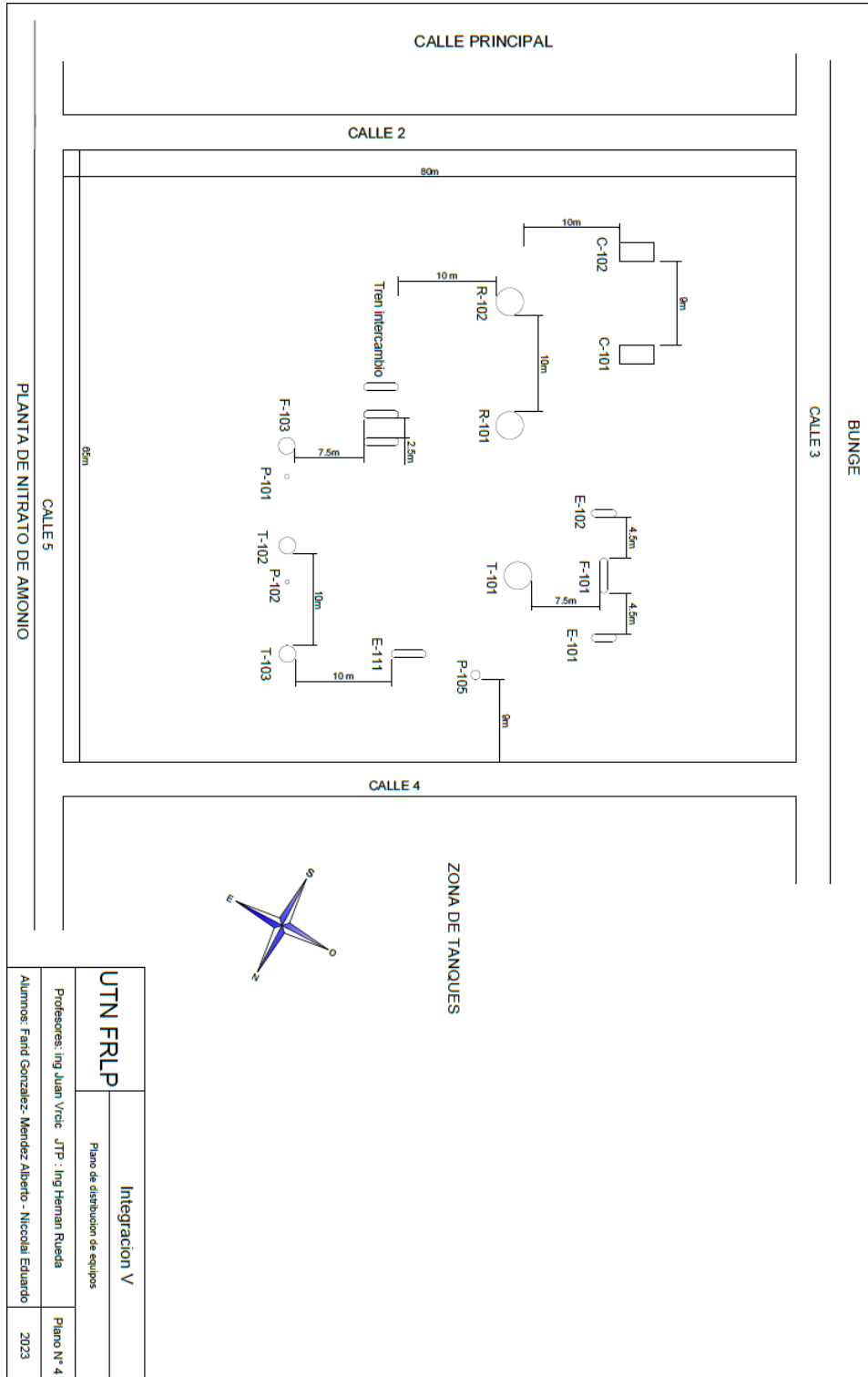
PLANTA DE NITRATO DE AMONIO

UTN FRLP	Integración V	
	Plano de distribución de área de la planta	
Profesores: Ing Juan Vrcic	JTP: Ing Hernan Rueda	Plano N° 3
Alumnos: Farid Gonzalez- Mendez Alberto - Nicolai Eduardo		2023



## 9.2. Plot-plan

Se adjunta, en formato A3, el plano de distribución de equipos en la planta.





## 10. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

Los problemas organizativos están vinculados con relación a la empresa con los sindicatos. Por un lado, la UOM unión obrera metalúrgica y UOCRA unión obrera de construcción de la República Argentina asociados a las etapas de construcción y la FatiQyP Federación argentina de trabajadores de industrias Químicas y Petroquímicas asociadas a las etapas de operación.

Los pedidos demandados por los sindicatos podrán impactar económicamente en el costo de inversión en el primer caso y en los costos de producción en el segundo.

Adicionalmente los paros de FatiQyP y/o los gremios y ferroviarios podrían afectar el esquema de producción, razón en base a la cual se definieron la política de stocks y las acciones a tomar en caso de paros anteriormente.

### 10.1. Organigrama

Dentro del organigrama se considerará un gerente general y cinco departamentos, cada uno con su correspondiente jefe. A continuación, se detalla en el siguiente cuadro.



**Figura 51:** Organigrama de la empresa con sus respectivos departamentos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

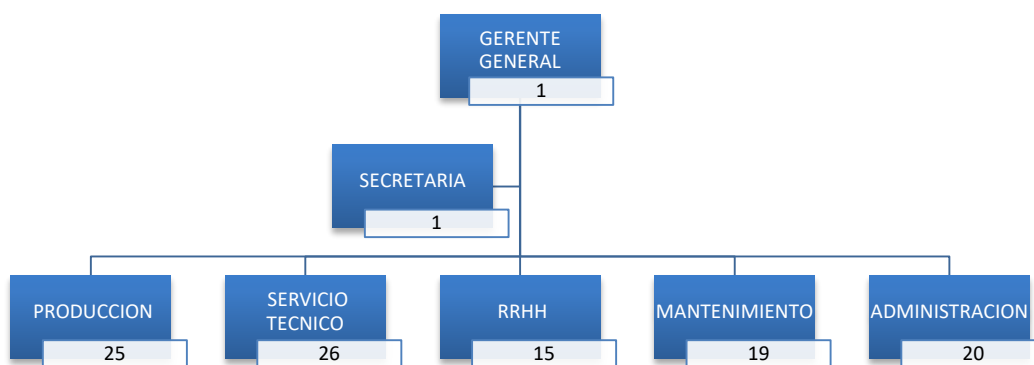
Para el cálculo de la cantidad de empleados se tuvo en cuenta 3 turnos de 12hs 4x2 para personal de planta que requieran de guardias. Se incluirá también un grupo de relevantes que estará en horario diurno y brindando apoyo a los otros turnos en cuanto lo necesiten.

Para los empleados administrativos y el resto de los empleados, los horarios serán diurnos de 8hs a 17hs de lunes a viernes, con una hora de descanso.



Los primeros jefes de la estructura: producción, servicio técnico y RRHH realizarán guardias semanales por posibles problemas o emergencias que ocurra. Para mejorar la comunicación y tiempo de respuesta se contará con la implementación de teléfonos celulares para estar en contacto.

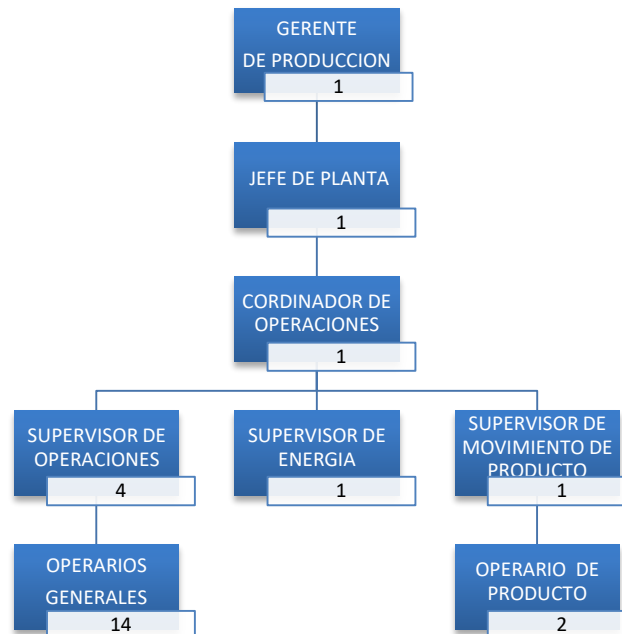
A continuación, se detalla un cuadro del organigrama empresarial y cantidad de empleados por departamentos.



**Figura 52:** Organigrama de organización de la empresa y cantidad de personal por sector.

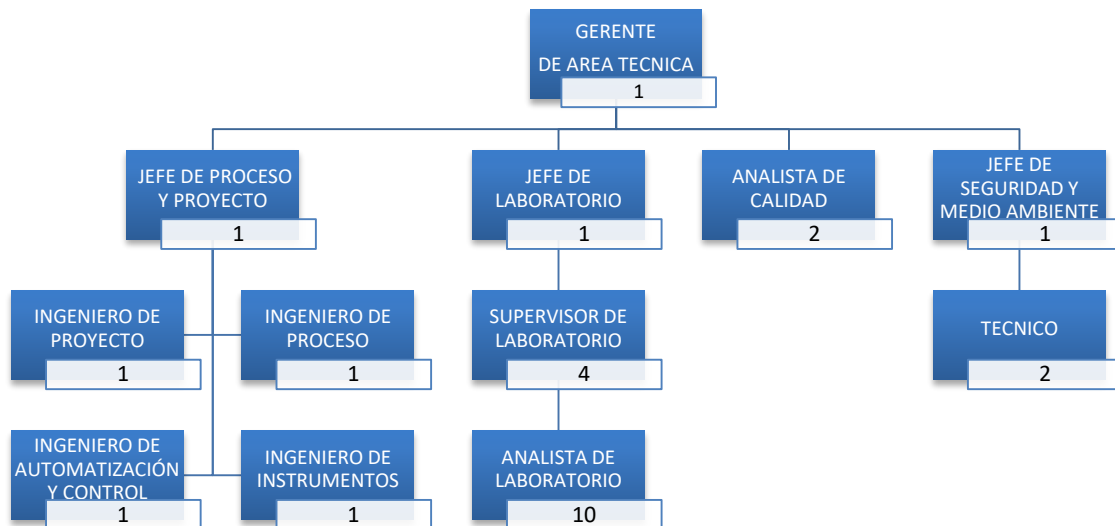
**Fuente:** Elaboración propia.

Se describe a través de los cuadros la cantidad de empleados por departamento, teniendo en cuenta jefe, supervisor, operarios, analistas y técnicos requeridos para cada sector.



**Figura 53:** Organigrama del departamento de producción.  
**Fuente:** Elaboración propia.

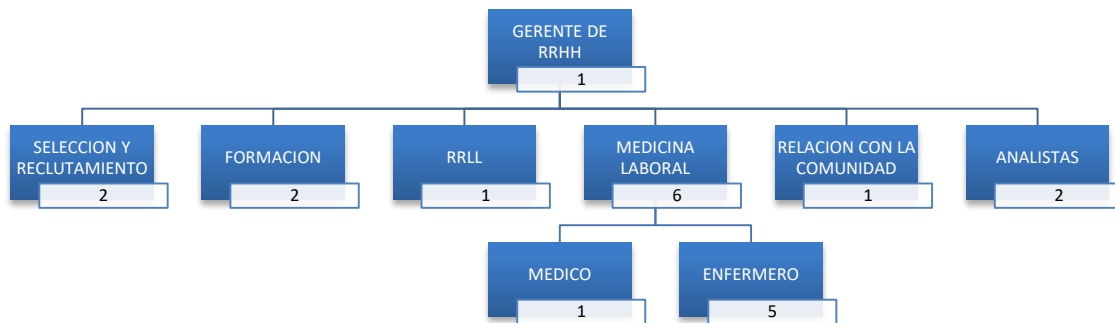
En la planta se cuenta con un gerente, un jefe de planta y un coordinador de operaciones que trabajan en horarios diurnos. Tres supervisores de operaciones con horarios rotativos, más un relevante. Los operarios generales trabajan en tres turnos en cuatro grupos distintos, es decir un total de doce operarios, que sumado a dos relevantes se vuelven catorce. Tanto el supervisor de movimiento como los dos operarios trabajan en horario diurno. Finalmente el supervisor de energía trabajará en horario diurno y se encargará de los contratos con el parque industrial y otros proveedores por el vapor, agua de enfriamiento, tratamiento de efluentes, etc.



**Figura 54:** Organigrama del departamento de área técnica.  
**Fuente:** Elaboración propia.

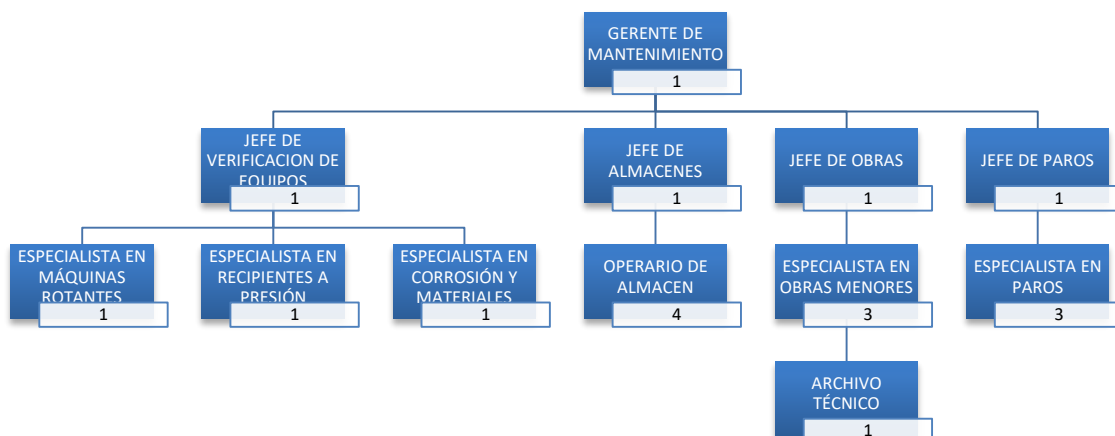
Tanto el jefe de proceso y proyecto, como los ingenieros dentro del departamento trabajarán en horarios diurnos. En cuanto al laboratorio, tanto los supervisores como los analistas trabajarán en turnos de doce horas. Los analistas de calidad trabajarán en horario diurno al igual que los técnicos de seguridad y medioambiente. Tanto el gerente del área técnica como el jefe de seguridad y medio ambiente trabajarán haciendo guardias.





**Figura 55:** Organigrama del departamento de RRHH.  
**Fuente:** Elaboración propia.

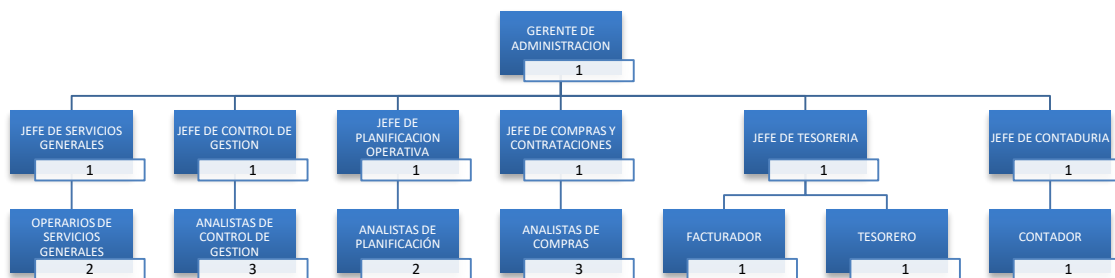
Los empleados de recursos humanos trabajarán en horario diurno, salvo por el gerente y los enfermeros, de estos sólo uno estará en horario diurno, los otros tres trabajarán en guardias, sumado a la guardia de reemplazo. Los analistas, quienes se encargan de la asistencia y otro tipo de asuntos, trabajarán en horario diurno.



**Figura 56:** Organigrama del departamento de mantenimiento.  
**Fuente:** Elaboración propia.



Los especialistas en equipos trabajarán en horarios diurnos, aunque deberán estar disponibles a toda hora en caso de emergencias. En cuanto a los almacenes, todos sus trabajadores son diurnos salvo uno de los operarios, ya que debe haber siempre uno de turno.



**Figura 57:** Organigrama del departamento de administración.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente en el área de administración, todos los empleados trabajarán en horario diurno.

Se detalla a continuación la cantidad de personal en las diferentes áreas de los departamentos.

PUESTO	CANTIDAD
Gerente general	1
Secretaria	1
Gerente de producción	1
Jefe de planta	1
Coordinador de operaciones	1
Supervisor de operaciones	4
Supervisor de energía	1
Supervisor de movimiento de producto	1
Operario generales	14
Operario de producto	2
Gerente de Area Técnica	1



Jefe de proceso y proyecto	1
Jefe de laboratorio	1
Jefe de seguridad y medio ambiente	1
Ingeniero de proyecto	1
Ingeniero de proceso	1
Ingeniero de automatización y control	1
Ingeniero de instrumentos	1
Supervisor de laboratorio	4
Técnico de seguridad y medio ambiente	2
Analistas de laboratorio	10
Analistas de Calidad	2
Gerente de RRHH	1
Selección y reclutamiento	2
Formación	2
RRL	1
Medico	1
Enfermero	5
Analistas de recursos Humanos	2
Administrativo relación con la comunidad	1
Gerente de mantenimiento	1
Jefe de verificación de equipos	1
Jefe de almacén	1
Jefe de obras	1
Jefe de paros	1
Especialista en máquinas rotantes	1
Especialista en recipientes a presión	1
Especialista en corrosión y materiales	1
Operario de almacén	4
Especialista en obras menores	3



Archivo técnico	1
Especialista en paros	3
Gerente de administración	1
Jefe de servicios generales	1
Jefe de control de gestión	1
Jefe de planificación operativa	1
Jefe de compras y contrataciones	1
Jefe de tesorería	1
Jefe de contaduría	1
Operario de servicios generales	2
Analista de control de gestión	3
Analistas de planificación	2
Analistas de compras	3
Facturador	1
Tesorero	1
Contador	1
<b>Total personal</b>	<b>107</b>

*Tabla 54: Cantidad de personal.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 10.2. Esquema de turnos

Dentro de la distribución de turnos, para aquellos empleados que disponemos en horarios diurnos tendrán una jornada de trabajo de lunes a viernes desde las 8am hasta las 17 hs teniendo 1hs de descanso.

Para los operadores y otros empleados que deban realizar guardias tendrán turnos de 12hs 4x2 de tal manera de cumplir con una producción continua de la planta.

Se detalla a continuación el cronograma de turnos. Siendo:

- *D*: Turno de 7 am a 19 hs.
- *N*: Turno de 19 hs a 7 am.
- *F*: Día libre.



Cronograma de Turnos	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
A	D	D	D	D	F	F	N	N	N	N	F	F	D	D	D	D	F	F	N	N	N	N	F	F	D	D	D	D	F	F	N
B	N	N	F	F	D	D	D	D	F	F	N	N	N	N	F	F	D	D	D	D	F	F	N	N	N	N	F	F	D	D	D
C	F	F	N	N	N	N	F	F	D	D	D	D	F	F	N	N	N	N	F	F	D	D	D	D	F	F	N	N	N	N	F

**Tabla 55:** Esquema de turnos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Sumado a esto, como se mencionó antes, tenemos la necesidad de incluir relevantes para el caso de los puestos rotativos, los cuales trabajarán habitualmente en el turno diurno (de 8 am hasta las 17 hs) y en caso de una ausencia en los turnos rotativos este ocupara su lugar de manera que no deban reorganizarse los turnos ante cualquier eventualidad.

### 10.3. Personal tercerizado

Además del personal seleccionado por la empresa, se contará con personal tercerizado que serán contratados para realizar servicios como:

Limpeza: Mantenimiento de edificios, oficinas, baños, pasillos, sala de control, comedor.

Jardinería: Se realizarán tareas de mantenimiento de parques, podas, limpieza de desagües.

Servicio de comedor: Brindarán el servicio de comidas para los diferentes turnos de personal de la empresa.

Servicio de mantenimiento: Brindaran servicio de pintura para edificios, albañilería, reparaciones eléctricas menores, reparaciones de plomería.

Servicio de seguridad y vigilancia: Brindarán el control de ingreso y egreso de personal y no personal a la planta.

Servicios de asistencia técnica: Brindan soluciones a cualquier problema relacionado con las redes, los ordenadores u otras tecnologías.

En total en la planta podemos encontrar entre 20 y 30 personas como personal tercerizado.



#### 10.4. Seguridad industrial – Ley n° 19.587

Las condiciones de Higiene y Seguridad Laboral se determinarán por las establecidas en la Ley 19.587 y su decreto reglamentario 351/79.

En la misma, según el artículo 4 establece:

La higiene y seguridad en el trabajo comprenderá las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, de tutela o de cualquier otra índole que tengan por objeto:

- a) Proteger la vida, preservar y mantener la integridad sicofísica de los trabajadores;
- b) Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo;
- c) Estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

Se deberá tener en cuenta que el empleador debe cumplir, adoptar y poner en práctica las medidas adecuadas de higiene y seguridad para proteger la vida y la integridad de los trabajadores, especialmente en lo relativo:

- a) A la construcción, adaptación, instalación y equipamiento de los edificios y lugares de trabajo en condiciones ambientales y sanitarias adecuadas;
- b) A la colocación y mantenimiento de resguardos y protectores de maquinarias y de todo género de instalaciones, con los dispositivos de higiene y seguridad que la mejor técnica aconseje;
- c) Al suministro y mantenimiento de los equipos de protección personal;
- d) A las operaciones y procesos de trabajo.

Debiendo además de tener en cuenta las obligaciones del empleador cuyo artículo establece:

- a) Disponer el examen pre-ocupacional y revisión periódica del personal, registrando sus resultados en el respectivo legajo de salud;
- b) Mantener en buen estado de conservación, utilización y funcionamiento, las maquinarias, instalaciones y útiles de trabajo;



- c) Instalar los equipos necesarios para la renovación del aire y eliminación de gases, vapores y demás impurezas producidas en el curso del trabajo;
- d) Mantener en buen estado de conservación, uso y funcionamiento las instalaciones eléctricas y servicios de aguas potables;
- e) Evitar la acumulación de desechos y residuos que constituyan un riesgo para la salud, efectuando la limpieza y desinfecciones periódicas pertinentes;
- f) Eliminar, aislar o reducir los ruidos y/o vibraciones perjudiciales para la salud de los trabajadores;
- g) Instalar los equipos necesarios para afrontar los riesgos en caso de incendio o cualquier otro siniestro;
- h) Depositar con el resguardo consiguiente y en condiciones de seguridad las sustancias peligrosas;
- i) Disponer de medios adecuados para la inmediata prestación de primeros auxilios;
- j) Colocar y mantener en lugares visibles avisos o carteles que indiquen medidas de higiene y seguridad o adviertan peligrosidad en las maquinarias e instalaciones;
- k) Promover la capacitación del personal en materia de higiene y seguridad en el trabajo, particularmente en lo relativo a la prevención de los riesgos específicos de las tareas asignadas;
- l) Denunciar accidentes y enfermedades del trabajo

Asimismo, el empleado deberá:

- a) Cumplir con las normas de higiene y seguridad y con las recomendaciones que se le formulen referentes a las obligaciones de uso, conservación y cuidado del equipo de protección personal y de los propios de las maquinarias, operaciones y procesos de trabajo;
- b) Someterse a los exámenes médicos preventivos o periódicos y cumplir con las prescripciones e indicaciones que a tal efecto se le formulen;
- c) Cuidar los avisos y carteles que indiquen medidas de higiene y seguridad y observar sus prescripciones;
- d) Colaborar en la organización de programas de formación y educación en materia de higiene y seguridad y asistir a los cursos que se dictaren durante las horas de labor.





### 10.5. Riesgos laborales

Se contratará una Aseguradora de Riesgos de Trabajo (ART) para brindarle a los empleados un seguro y asesoramiento en medidas de prevención en casos de accidentes y además se encargará de reparar los daños en caso de accidente de trabajo.

La ART tendrá la obligación de retribuir monetariamente a la empresa, al empleado, o a su familia, en caso de un accidente siempre y cuando se hayan cumplido todas las normativas impuestas por la aseguradora. Para ello la ART evaluará la verosimilitud de los riesgos que declare la empresa y hará el seguimiento de las condiciones físico-mentales de los empleados que hayan sido presentadas por la empresa.

La ART se encargará de auditar la empresa y corroborar que se estén cumpliendo las medidas de seguridad pactadas, tanto generales como específicas para cada operario según sus condiciones. En caso de una falla en estos cumplimientos, la ART aplicará una multa y un registro de manera tal que de producirse un accidente por falta de seguridad no solventarán los gastos de reparación o indemnización.

La empresa deberá encargarse de realizar exámenes médicos a todos los trabajadores periódicamente una vez al año a través de paquetes de estudios correspondientes al sector de trabajo. De esta manera se podrá ver la evolución de las condiciones de los trabajadores año a año y poder decidir con mejor criterio las medidas de protección y seguridad necesarias para evitar accidentes.

En conclusión, la ART asegurará a la empresa en caso de accidentes y se encargará de investigarlos para asegurarse que hayan sido imprevistos y que no hayan podido ser mitigados o evitados, siempre y cuando la empresa esté en regla en cuanto a todo lo previamente mencionado.

## 11. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) tiene como objetivo verificar la aptitud ambiental del emplazamiento de una planta de ácido nítrico en el Parque Industrial Campana. Para que el Ministerio de medio ambiente de la provincia



de Buenos Aires (ex Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable (OPDS)) otorgue el Certificado de Aptitud Ambiental (CAA), el proyecto debe cumplir con los requisitos solicitados en el artículo 50 y concordantes del Decreto N°1741/96 reglamentario de la Ley 11459.

Se debe evaluar tanto la etapa de construcción, ya que inevitablemente generará afectaciones al entorno, así como la etapa de funcionamiento, considerando todos los productos y subproductos, material de descarte, entre otros factores.

### 11.1. Nivel de complejidad ambiental

En una primera instancia para obtener el certificado de aptitud ambiental debemos calcular el nivel de complejidad ambiental asociado al presente proyecto de una planta de producción de ácido nítrico. Este cálculo se obtiene a partir de una ecuación considerando lo descrito en las resoluciones 1639/07 y 481/11 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Este valor nos permitirá finalmente categorizar a nuestra industria según las leyes vigentes, entendiendo que un valor de NCA inferior a 15 corresponde a la Primera Categoría, un valor de NCA entre 15 y 25 equivale a una industria de Segunda Categoría y un NCA mayor a 25 representa industrias de Tercera Categoría.

$$NCA = Ru + ER + Ri + Di + Lo \quad (163)$$

Donde:

- *Ru*: Rubro o actividad.
- *ER*: Calidad de los efluentes, emisiones y residuos.
- *Ri*: Riesgos potenciales de las actividades (acústico, incendio, derrames o explosiones) que podrían afectar al medio ambiente y la población.
- *Di*: Dimensionamiento, considerando la superficie, potencia instalada y dotación del personal.
- *Lo*: Localización del emprendimiento.

Rubro o actividad: El anexo I de la resolución 1639/07 reconoce tres grupos distintos de industrias. Asignaremos al presente proyecto como perteneciente al



grupo 3 ya que ingresa en la categoría de “Fabricación de sustancias y productos químicos”.

Grupo	Valor
1	1
2	5
3	10

**Tabla 56:** Valores de rubro o actividad.

**Fuente:** Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable de la nación.

Cantidad de efluentes, emisiones y residuos: En una primera instancia debemos hacer distinción entre lo que es un efluente, una emisión y un residuo según el reglamento: Los efluentes son aquellos materiales líquidos que son generados por la actividad industrial, las emisiones son los materiales gaseosos que son generados por las actividades industriales, y los residuos son los materiales sólidos o semisólidos generados por la actividad industrial.

Según la calidad o cantidad de los efluentes, emisiones y residuos que genere nuestro establecimiento, pueden clasificarse como de tipo 0, 1, 2, 3 o 4. El presente proyecto genera residuos especiales en el proceso como es el catalizador agotado (según Ley 24.051 Anexo I), efluentes líquidos con necesidad de tratamiento previo al vuelco, y efluentes gaseosos que contienen gases de óxidos de nitrógeno. Por lo tanto la categoría que corresponde es del tipo 4, que equivale a un valor de 6 puntos.

Tipo	Valor	Residuos sólidos	Residuos líquidos	Residuos gaseosos
0	0	Asimilables a domiciliarios	Aguas sin aditivos; lavado de planta de establecimientos de Rubros del Grupo 1 a temperatura ambiente	Componentes naturales del aire (incluyendo vapor de agua); gases de combustión de gas natural



1	1	Resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/o 1. Otros que no contengan residuos peligrosos o de establecimientos que no pudiesen generar residuos peligrosos. Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación menor a 10 (diez) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos peligrosos o que no pudiesen generar residuos peligrosos. Provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento	Gases de combustión de hidrocarburos líquidos
2	3	Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 10 (diez) kg, pero menor que 100 (cien) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Ídem Tipo 0 o 1	Ídem Tipo 0 o 1
3	4	Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 100 (cien) kg, pero menor a 500 (quinientos) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban poseer más de un tratamiento	Ídem Tipo 0 o 1
4	6	Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 500 (quinientos) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban poseer más de un tratamiento	Todos los no comprendidos en los tipos 0 y 1

**Tabla 57:** Valores de cantidad de efluentes.

**Fuente:** Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable de la nación.



Riesgos potenciales de la actividad: Para este apartado consideraremos los riesgos inherentes en las actividades de nuestro proceso productivo. Se asignará un punto por cada ítem cumplido del siguiente listado:

Tipo de riesgo	Valor
Riesgo por aparatos sometidos a presión	1
Riesgo acústico	1
Riesgo por sustancias químicas	1
Riesgo por explosión	1
Riesgo de incendio	1
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>

**Tabla 58:** Valor de riesgos potenciales.

*Fuente:* Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable de la nación.

Dimensionamiento: Para el dimensionamiento deberemos considerar la suma de tres apartados nuevos: Cantidad de personal, Superficie ocupada y Potencia instalada. El total obtenido es de 7.

#### **Cantidad de personal:**

- Hasta 15: se adopta el valor 0.
- Entre 16 y 50: el valor es 1.
- Entre 51 y 150: el valor es 2.
- Entre 151 y 500: el valor es 3.
- Más de 500: se adopta el valor 4.

La planta desarrollada en este proyecto cuenta con una cantidad de personas contratadas entre 51 y 150, por lo tanto le corresponde el valor 2.

#### **Potencia instalada:**

- Hasta 25 HP: se adopta el valor 0.
- Entre 26 y 100 HP: el valor es 1.
- Entre 101 y 500 HP: el valor es 2.
- Más de 500 HP: se adopta el valor 3.

La planta desarrollada en este proyecto cuenta con una capacidad instalada que supera ampliamente los 500 HP, por lo tanto le corresponde el valor 3.



### **Relación entre superficie cubierta y superficie total:**

- Hasta 0,2: se adopta el valor 0.
- Entre 0,21 y 0,5: el valor es 1.
- Entre 0,51 y 0,81: el valor es 2.
- Más de 0,81: se adopta el valor 3.

Considerando que el área total del terreno es de 53.900 m<sup>2</sup> y la superficie ocupada por la planta (considerando el área de almacenamiento, de producción, de mantenimiento y más) es de 35.933 m<sup>2</sup>, concluimos que la relación adopta un valor de 0,66 y por lo tanto el valor de este apartado corresponde al de 2.

Localización: Para la localización deberemos considerar la suma de dos apartados nuevos: Zona (que corresponde a la ubicación de nuestra planta) e Infraestructura de servicios (que se refiere a la falta o no de los servicios básicos). El total obtenido es de 0.

### **Zona:**

- Parque industrial: se adopta el valor 0.
- Industrial exclusiva y rural: el valor es 1.
- El resto de las zonas: el valor es 2.

Ya que la planta estará instalada en el parque industrial de Campana, el valor correspondiente a este apartado es 0.

### **Infraestructura de servicios:**

- Agua, Cloacas, Luz, Gas.

Se asigna un valor de 0,5 por la carencia de cada uno de los anteriores servicios. Ya que en nuestro proyecto de estudio no se encuentra ninguna carencia el valor correspondiente a este apartado es 0.

Finalmente, habiendo obtenido todos los valores del polinomio original, volvemos a la ecuación para resolver el índice NCA.

$$NCA = 10 + 6 + 5 + 7 + 0$$



$$NCA = 28$$

El valor del NCA obtenido, al ser mayor a 25, corresponde a una Industria de Tercera Categoría según la ley provincial 11.459 decreto reglamentario 1.741/96.

### 11.2. Identificación de actividades con impacto ambiental

Como se mencionó previamente, se considerarán las etapas de construcción, producción y abandono de las instalaciones, así como eventualidades que pudieran surgir. Estas eventualidades son los puntos más riesgosos a considerar en el proyecto, por lo que se evaluarán las formas de mitigar las actividades que tengan potencial de perjudicar al ambiente o a las personas.

#### Etapas de construcción:

1. Construcción de accesos viales. Si bien los caminos de ingreso al parque industrial Campana donde estará instalada la planta ya están disponibles, sí serán necesarios caminos internos para el transporte de equipos, materiales, personal y maquinaria pesada hacia la zona de obra. Dentro de este apartado se incluye la instalación provisoria de señalizaciones, líneas eléctricas, cercos y más.
2. Circulación de vehículos de obra y maquinaria.
3. Actividades de preparación de terreno y obra civil. Dentro de este apartado se incluye la limpieza de la zona de obra, los movimientos de suelos y la excavación necesaria para el montaje de los equipos.
4. Instalaciones temporarias. Esto incluye, además de lo ya mencionado, sanitarios y depósitos de herramientas y materiales.
5. Transporte de maquinarias y materiales. Dentro de esto se incluye el movimiento de equipos de excavación y nivelación, el de los camiones y maquinarias temporales y permanentes, y el de los camiones con insumos para la construcción.
6. Obras civiles. Donde se incluye la construcción propiamente dicha.
7. Instalación y montaje de equipos referentes al proceso.
8. Gestión de residuos. Se refiere al transporte y tratamiento de los residuos generados en esta etapa previo a su deposición final.





9. Limpieza de la obra. Aquí se incluyen las actividades de orden y limpieza de las instalaciones de manera que queden en condiciones óptimas para el inicio de la operación.

**Implicancias ambientales de la etapa de construcción:**

- Calidad del aire, ocasionadas por las emisiones gaseosas de los vehículos y maquinaria.
- Suelo, este podría verse afectado por las excavaciones y compactaciones.
- Aguas superficiales, debido a la posibilidad de que haya derrames.
- Nivel sonoro, ya que la actividad generará ruidos fuertes.
- Fauna y flora.
- Económico.
- Recurso histórico y patrimonio cultural.

Etapa de producción:

1. Operación de la planta. Esto incluye a todas las actividades que sean inherentes al proceso de producción.
2. Mantenimiento de las instalaciones. En este apartado entre tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo.
3. Gestión de residuos. A los residuos generados en esta etapa se los debe transportar y tratar previo a su deposición final.

**Implicancias ambientales de la etapa de producción:**

- Calidad del aire, ocasionadas por las emisiones gaseosas.
- Suelo, este podría verse afectado por derrames de productos o residuos.
- Aguas superficiales, debido a la posibilidad de que haya derrames.
- Nivel sonoro, ya que el uso de bombas y compresores genera sonidos fuertes.
- Fauna y flora.

Etapa de abandono:

1. Tránsito. En esta etapa se utilizarán vehículos y maquinaria vial.



2. Desarme. Causados por la desarticulación de las estructuras y el acondicionamiento del lugar.
3. Gestión de residuos. Esto incluye chatarra, residuos urbanos, residuos especiales, etc. Se requerirá de su transporte y tratamiento previo a la deposición final.
4. Generación de ruidos y vibraciones.

**Implicancias ambientales de la etapa de abandono:**

- Calidad del aire, ocasionadas por las emisiones gaseosas de los vehículos y la maquinaria.
- Nivel sonoro, ya que la actividad generará sonidos fuertes.
- Fauna y flora.

Eventualidades:

1. Corte de suministro eléctrico.
2. Derrames.
3. Explosiones.
4. Incendios.
5. Emisiones accidentales.

**Implicancias ambientales de las eventualidades:**

- Calidad del aire, emisiones de materiales particulados o gases de óxidos de nitrógeno. Emisión de gases de combustión en incendios, explosiones o emisiones accidentales.
- Suelo, posibles derrames del producto o de residuos.
- Agua subterránea y superficial, potenciales derrames de las sustancias químicas que intervienen en el proceso.
- Nivel sonoro, las explosiones o incendios generan sonidos fuertes.

En todas y cada una de las etapas mencionadas se debe considerar el impacto de las actividades en la población ya que la salud de las personas puede verse afectada por los residuos, las emisiones accidentales, incendios, etc. Así como también debe velarse por su seguridad al tratarse de actividades complejas. Por



lo que a continuación se listan medidas de mitigación contra las implicancias ambientales previamente mencionadas.

Medidas de mitigación:

- Se realizarán todas las mediciones de contaminantes en el ambiente laboral que se indican en el Decreto 911/96, según los riesgos determinados por el Programa de Seguridad de la Obra.
- Se recomienda el uso de vehículos y maquinaria de obra con verificación técnica aprobada y vigente para aminorar el impacto por emisión gaseosa por combustión y emisión de ruido. Además, la circulación dentro de la planta debe ser a paso de hombre para evitar accidentes.
- El personal estará informado de los riesgos y métodos de seguridad en el manejo de las sustancias químicas dentro de la planta. Será obligatorio el uso de elementos de protección y ropa de trabajo adecuada.
- El personal debe estar capacitado en el área de higiene y seguridad.
- Debe existir señalización en todos los lugares de obra y de las tareas que se estén realizando.
- Se deben realizar revisiones periódicas de seguridad e higiene en toda la planta de forma que se puedan prever accidentes y se asegure el cumplimiento de la seguridad laboral.
- Se deben realizar inspecciones periódicas a las cañerías y equipos para evitar fallas. A estos últimos se les debe hacer un mantenimiento preventivo de manera periódica.
- En caso de emergencia se deben seguir los lineamientos que establezca el plan de contingencia.

### 11.3. Riesgos de operación

Cuando hablamos de riesgos nos referimos a la combinación entre la posibilidad de que ocurra un evento determinado y las consecuencias que acarrea. Todos los procesos dentro de la planta tienen riesgos que son inherentes, por lo que debe ser prioridad minimizar al máximo la ocurrencia de los accidentes y, en caso de que ocurran, recurrir a medidas mitigatorias previamente establecidas.



A continuación detallaremos las medidas establecidas para los riesgos de operación más importantes del presente proyecto:

Rotura de cañerías: Las materias primas, así como las materias en proceso y los productos son transportados por ductos y cañerías por lo que son propensos a sufrir fugas por corrosión, erosión, fatiga o algún otro tipo de accidente.

La medida preventiva inicial contra este riesgo es una continua inspección de las líneas, válvulas, bombas, compresores, el mezclador estático y otros accesorios donde se buscarán señales de rupturas o fugas. Esta inspección será desplegada por el área de mantenimiento, los cuales se encargan de gestionar las medidas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

Si llegara a ocurrir una rotura de cañerías, existe el riesgo de escapes de gases nocivos, inflamables y corrosivos, así como la pérdida de materias primas o el derrame del ácido nítrico. En una primera instancia se ejecutará un sistema de "Shut Down", es decir que se aplicarán acciones para lograr una parada de emergencia de la planta. Se cierran las válvulas y se desconectan y apagan los equipos uno por uno de modo en que se detenga el flujo de materias primas, se evacúa al personal del área hacia una zona segura asignada, se comunican a las autoridades y por último se toman las medidas de contingencia y mitigación de riesgos particulares a la sustancia química emitida o derramada.

Cualquier rotura implicaría la interrupción de las unidades y áreas de trabajo afectadas, sin embargo una fuga de agua desmineralizada o aire es una fuga leve que no requiere una evacuación del área, solamente un cierre de las válvulas para evitar la pérdida de materia prima.

Para el caso de sustancias nocivas como los gases de óxidos de nitrógeno se debe interrumpir la operación de las unidades en riesgo y hacer una parada de planta de emergencia, en caso de ser necesario, con el sistema de Shut Down. Los gases se redirigirán hacia las piletas de neutralización ubicadas al este de la planta. En estas piletas se encuentra en disolución acuosa hidróxido de potasio, por lo que al hacer burbujear los gases de óxidos de nitrógeno desde el fondo de las piletas estos reaccionarán con el hidróxido para neutralizarse y formar nitrato



de potasio. Los gases resultantes compuestos por vapor de agua y óxidos sin convertir se emitirán a la atmósfera.

En caso de fugas de gran magnitud debe realizarse el plan de evacuación considerando la dirección de los vientos que favorecen a la pluma de disipación de vapores y se informa a las autoridades para llamar a un confinamiento o evacuación según corresponda.

En casos de fugas de ácido nítrico, se aplicará una lluvia de agua proveniente de las mangueras para incendios de manera en que el ácido se diluya todo lo posible y se redirigirá hasta las piletas de neutralización donde sucederá el proceso descrito previamente con el hidróxido de potasio. De igual manera, llegado el caso de un daño sustancial en el tanque de almacenamiento de ácido nítrico se recuperará la mayor cantidad posible de producto y a lo que resta se le aplicará el mismo proceso: se lo rocía con agua para diluirse y luego se redirige hasta las piletas de neutralización.

Corte de suministro eléctrico: El suministro eléctrico es fundamental para el funcionamiento de la planta, es la fuente de energía de los equipos rotantes y de los instrumentos de control y medición.

La frecuencia de los cortes eléctricos es de aproximadamente uno por mes, por lo tanto se debe tener en claro el plan de acción para mitigar y evitar las consecuencias que se podrían generar. Con sistemas de cogeneración de emergencia se puede poner en marcha automáticamente el paro de planta de emergencia.

Dentro del plan de mitigación debe asegurarse que nada ingrese ni egrese de la planta, además de que no haya aporte alguno de calor. Se debe cortar el suministro de vapor a todos los intercambiadores y reboilers de manera que se evite que los equipos se presionen.

Se debe cortar el ingreso de materias primas a la unidad R-101, cerrando las válvulas correspondientes. El reactor se vacía y su contenido será derivado a las piletas de neutralización junto con los gases de salida del reactor, impulsados por una bomba accionada por el equipo auxiliar de generación eléctrica.



La alimentación de las columnas T-101, T-102 y T-103 se interrumpirá, ya que, de lo contrario, se inundarán y podría provocar movimiento de platos y rupturas del relleno. El contenido de la T-103 se llevará al tanque de producto fuera de especificación. Para liberar la presión del sistema se abrirán las válvulas de los acumuladores y los vapores se llevarán hasta las piletas de neutralización.

Corte de suministro de materia prima: Un posible corte del suministro de agua desmineralizada solo podría deberse a una ruptura de la tubería que la lleva desde el tanque de almacenamiento hasta el proceso. Esto se debe a que los tanques de almacenaje están diseñados para abastecer hasta cinco días de producción, por lo que un corte del agua no ocasionaría una interrupción inmediata en el proceso debido al stock de seguridad disponible.

Frente a un accidente de este tipo se debe de cortar el suministro de agua desmineralizada al proceso para evitar derrames y pérdidas de materia prima en el área. Dentro del proceso debe interrumpirse el funcionamiento de la T-102 y por lo tanto debe iniciarse un paro de planta de emergencia. Como plan de contingencia se plantea el uso de bombas auxiliares (en caso de que la bomba normalmente utilizada se haya visto comprometida) y un sistema de transporte a través de una línea de cañerías auxiliar colocada al nivel del piso. Esta bomba auxiliar transportará la materia prima de vuelta al proceso para iniciar su funcionamiento nuevamente.

De igual manera se procedería a actuar en caso de un problema en la cañería de la dilución de amoníaco o la de aire comprimido.

Corte de suministro de agua de enfriamiento: Un corte en el suministro de agua de enfriamiento acarrearía grandes problemas, ya que no habría forma de enfriar el reactor R-101 que trabaja a altas temperaturas, ni gran parte de los intercambiadores que conforman el tren de intercambio.

En caso de que se conozca la reanudación del servicio de agua, y esta sea de una hora o menos, podría evitarse aplicar una parada de planta de emergencia utilizando el agua desmineralizada almacenada en la zona de tanques como suministro para los enfriadores. Sin embargo la cantidad almacenada no será suficiente para mantener el enfriamiento del reactor por más de una hora.





En caso de desconocer la reanudación del servicio del agua, la única forma de mitigar el evento es realizar una parada de planta de emergencia. Se deberá cortar el ingreso de materias prima y vaciar el reactor, enviando su contenido a las piletas de neutralización. El reactor debe limpiarse rápidamente bajo una inyección de nitrógeno gaseoso para arrastrar todo el contenido de gases fuera del catalizador.

Incendio: Los incendios pueden originarse por distintos motivos y según cuál sea este origen dependerá la manera de combatirlo. El incendio debe controlarse activando las medidas mitigatorias que correspondan para evitar su expansión y sus consecuencias.

Como medida preventiva para evitar un incendio se recomienda un monitoreo y control constante del reactor R-101 y de sus gases de salida, ya que al trabajar a elevadas temperaturas puede convertirse en un foco de calor.

En primera instancia, dentro del plan de mitigación, se requiere la llamada de servicio de bomberos y demás servicios requeridos, como el servicio de médicos, guardia o defensa civil y policía. Luego de la llegada del servicio de bomberos, se debe asistirlos adecuadamente indicando el área afectada y cómo llegar a ella desde la entrada de la planta.

Al igual que otros planes de contingencia, se debe interrumpir el flujo de corrientes y servicios auxiliares. Se debe interrumpir el servicio eléctrico en la zona afectada y detener las unidades, aplicando un paro de planta de emergencia. A continuación, luego de frenar todo tipo de actividad en la planta, se pasa a utilizar el agua proveniente del tanque de incendios que se guarda en el parque, junto con el uso de hidrantes. Los hidrantes contienen un compuesto químico que al mezclarse con el agua puede sofocar el fuego, estos deben ser manipulados por brigadistas, que están capacitados para ello. Se busca resguardar la vida humana, evitar la expansión del incendio y atacar su foco de manera directa para sofocarlo.

Mientras se combate el incendio, se debe aplicar el plan de contingencia, iniciando por la evacuación de la planta para resguardar al personal. La evacuación debe llevarse a cabo de manera ordenada y respetando el protocolo de evacuación, para que este se produzca de manera adecuada debe ser





practicado rutinariamente a través de simulacros según lo establezca el personal de higiene y seguridad.

Dicho esto, también es importante contar con un plan de emergencia dirigido a los empleados de las instalaciones de la planta para establecer indicaciones y procedimientos que les permitan prevenir y protegerse de la amenaza de un incendio. Para ello es necesario una estructura organizada y la existencia de personal capacitado para llevar a cabo la evacuación de la planta y del área de peligro. Se formará una brigada de emergencia que tenga conocimientos especializados en este tipo de situaciones y que cuente con los elementos necesarios para enfrentarlas.

Cuando el incendio termine se debe realizar un estudio y monitoreo de su impacto en el ambiente, del cual estará encargado el personal de medio ambiente. En caso de que sea requerido deberán aplicarse programas y medidas de remediación a las consecuencias resultantes.

#### **11.4. Efluentes y emisiones de la planta**

Cuando consideramos el funcionamiento normal de la planta de proceso debemos diferenciar los distintos efluentes, emisiones y residuos que esta genera. Cualquier efluente líquido debe ser tratado para su disposición final, de igual manera deben tratarse a las emisiones gaseosas con concentraciones determinadas de contaminantes y los residuos sólidos y semisólidos producidos. Además de esto, deben considerarse los efluentes y residuos domiciliarios generados por los empleados, la disposición de estos últimos debe ser realizada como si se tratase de residuos urbanos normales. Por otro lado tiene que considerarse de forma paralela el tratamiento de residuos especiales.

Entre las emisiones gaseosas generadas por la planta podemos encontrar: los gases liberados a atmósfera desde las piletas de neutralización y los gases de óxidos de nitrógeno previamente tratados en el reactor R-102 para llevar las ppm a un nivel adecuado.

El resto de residuos y efluentes cuenta con el catalizador agotado, que será enviado al exterior para su recuperación, soluciones de laboratorio, aceites descartados por el personal de mantenimiento y guantes o trapos contaminados



con aceites y grasas. Nótese que cualquier solución utilizada en los laboratorios de la planta será neutralizada antes de ser desechadas por la red cloacal.

En cuanto a los residuos generados en sectores ajenos al proceso podemos distinguir los residuos urbanos de los comedores, que incluye alimentos y material descartable, tarimas de madera junto con otros materiales reciclables como cartones o vidrios y las aguas residuales del comedor, los sanitarios y vestuarios. Los residuos sólidos urbanos serán separados de los residuos especiales para ser retirados por terceros, los cuales se harán responsables de su retiro, transporte y disposición final.

Los residuos especiales como el catalizador agotado, la solución de las piletas de neutralización una vez agotada, los aceites descartados y los trapos y guantes contaminados serán almacenados por separado en contenedores o tambores. Una empresa tercerizada se encargará del retiro, transporte, tratamiento y disposición de dichos residuos, y brindará un servicio de asesoramiento sobre las condiciones necesarias de almacenaje de los mismos.

### 11.5. Comité de crisis

El comité de crisis es una parte crucial del plan de gestión ambiental y es indispensable para la aceptación del certificado de aptitud ambiental. Dentro de este apartado se plantea las pautas y acciones que se llevarán a cabo en caso de un evento catastrófico en la planta. En este se designan encargados responsables de dirigir tanto las acciones internas de la instalación como las externas. Por último se debe detallar las medidas remediadoras a llevar a cabo una vez resuelto el evento.

Las actividades desarrolladas externamente a la planta deben incluir un canal de difusión donde se pueda informar a los vecinos de la zona las acciones que deben tomar en consecuencia al evento, como por ejemplo una evacuación o un confinamiento. A su vez debe de informarse a los servicios de emergencia, como bomberos y ambulancias, para que atiendan de manera rápida y adecuada la situación. Dentro de esto se incluye a los servicios de defensa civil y la policía para poder realizar un perímetro de seguridad y cortar las calles de manera que las personas no puedan ingresar al área afectada y dirigir el tráfico de manera ordenada para que los servicios de emergencia puedan arribar a la planta lo más

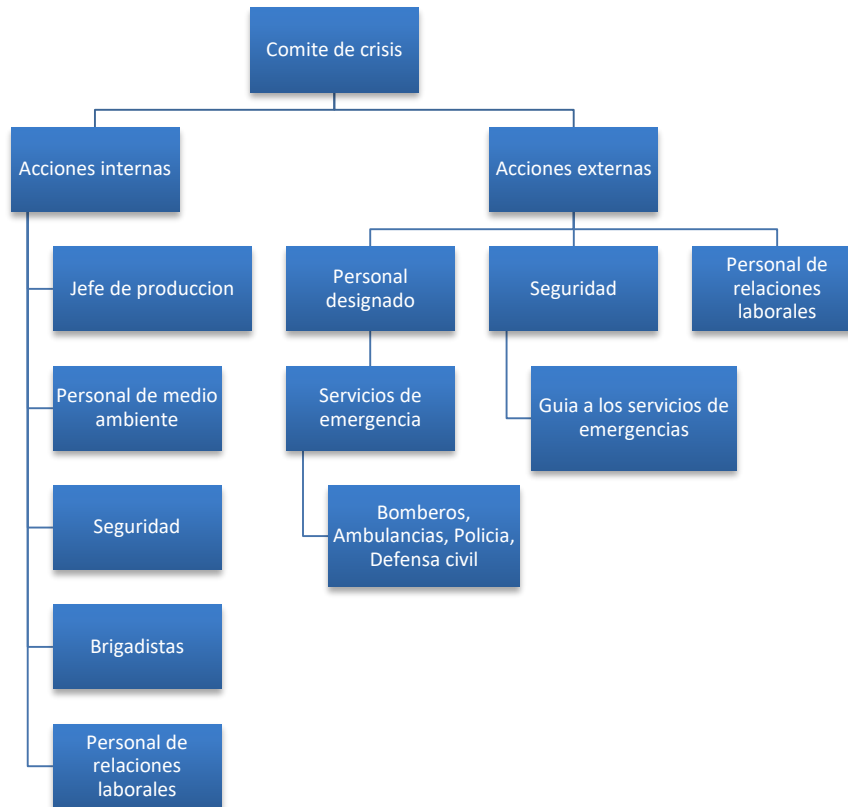


rápido y cómodamente posible. El personal de relaciones laborales será el encargado de difundir la información a los vecinos y los encargados de llamar a los servicios de emergencias dependerán según el área y el turno en el que haya acontecido el evento.

Los agentes que cumplen el rol de dirigir las acciones del comité de crisis y sus medidas mitigatorias y de contingencia son el jefe de producción, ya que se encarga del correcto funcionamiento de las unidades, los brigadistas, quienes están capacitados para maniobrar elementos de seguridad, el personal de relaciones laborales, quienes deben informar a la red vecinal, la seguridad de la planta, ya que deben llevar a cabo la evacuación y guiar a los servicios de emergencias al área donde ocurre el evento, y el personal de medio ambiente, que debe dar la información necesaria para llevar cabo el plan de contingencia adecuado.

El plan de contingencia a seguir frente al evento catastrófico dependerá de la naturaleza de dicho evento. Podemos asumir de manera general, que el plan contendrá entre sus pasos dar una alarma general que informe a todo el personal dentro de la planta y, sobre todo, dentro del área de ocurrencia sobre el evento que se está aconteciendo. Esta información brindada tiene que ser certera y concisa para evitar malentendidos. Podemos asumir también que dentro del plan de contingencia se encontrará la parada de planta de emergencia y la interrupción de todas las unidades operativas y brindar una asistencia adecuada a los servicios de emergencia.

Una vez ocurrido el evento, el personal de medio ambiente debe comenzar con las actividades de monitoreo del impacto ocasionado y adoptar una serie de medidas de remediación, según sean convenientes.



**Figura 58:** Esquema de comité de crisis.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 11.6. Matriz de impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental busca determinar los impactos de las actividades industriales y para ello se pueden utilizar matrices de impacto ambiental. Estas son una herramienta que permite evaluar los efectos de las actividades humanas en el entorno natural analizando su relevancia, magnitud, alcance y más. Hay diversas matrices que pueden aplicarse, como la matriz de Leopold, la matriz de Conesa y la matriz de Columbus. Para el presente proyecto se selecciona la matriz de Conesa.

La matriz de Conesa asigna un valor de importancia a cada impacto ambiental posible de la ejecución del proyecto, en cada una de las etapas. La matriz se construye evaluando técnicamente y cuantificando distintos criterios de cada impacto para conformar un cálculo final que indique su valor de importancia.



Una vez construida la matriz esta estará integrada por un número que se deduce mediante el modelo de importancia propuesto, en función del valor asignado a los símbolos considerados. Luego se debe elaborar la matriz de impactos ponderada que incorpora un valor de importancia ponderada.

La ecuación para el cálculo de la importancia de un impacto ambiental es:

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (164)$$

Donde:

- *I*: Importancia del impacto.
- *i*: Intensidad o grado probable de destrucción.
- *EX*: Extensión o área de influencia del impacto.
- *MO*: Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto.
- *PE*: Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto.
- *RV*: Reversibilidad.
- *SI*: Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples.
- *AC*: Acumulación o efecto de incremento progresivo.
- *EF*: Efecto, del tipo directo o indirecto.
- *PR*: Periodicidad.
- *MC*: Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos.

La naturaleza del impacto puede ser beneficiosa o perjudicial y eso se traduce con el signo positivo o negativo. La asignación de valores a los distintos criterios se llevará a cabo según el siguiente cuadro:

Intensidad		Extensión	
Baja	1	Puntual	1
		Parcial	2
Total	12	Extenso	4
		Total	8
		Crítica	12
Momento		Persistencia	
Largo plazo	1	Fugaz	1
Medio plazo	2	Temporal	2
Inmediato	4	Permanente	4
Crítico	8		



Reversibilidad		Sinergia	
Corto plazo	1	Sin sinergismo	1
Medio plazo	2	Sinérgico	2
Irreversible	4	Muy sinérgico	4
Acumulación		Efecto	
Simple	1	Indirecto	1
Acumulativo	4	Directo	4
Periodicidad		Recuperabilidad	
Irregular	1	Inmediato	1
Periódico	2	Recuperable	2
Continuo	4	Mitigable	4
		Irrecuperable	8

**Tabla 59:** Criterio de valor para matriz de Conesa.  
**Fuente:** ambiente.chubut.gov.ar.

De esta forma construiremos la matriz de evaluación de impacto ambiental por importancia total.

Luego se analizará la matriz ponderada de importancia. Esta considera la importancia máxima y la mínima de los impactos evaluados. Se aplica la fórmula de normalización:

$$\text{Valor normalizado} = 1 - \frac{\text{Importancia}_{\text{máxima}} - \text{Importancia}}{\text{Importancia}_{\text{máxima}} - \text{Importancia}_{\text{mínima}}} \quad (165)$$

Una vez se pondera todas las importancias se establece una nueva escala, de 20 como valor máximo. Finalmente el criterio de clasificación es el siguiente:

Criterio	Clasificación
Menor a 4	MUY LEVE
Entre 4 y 8	LEVE
Entre 8 y 12	MODERADO
Entre 12 y 16	SEVERO
Mayor a 16	CRÍTICO

**Tabla 60:** Clasificación de riesgos para matriz de Conesa.  
**Fuente:** Elaboración propia.



Los resultados obtenidos en la matriz de impacto ambiental plantean que las actividades desarrolladas en la producción son valoradas con una importancia moderada a baja, es decir de impacto leve.

IMPACTO	NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPORTANCIA	IMPACTO	UIP	PONDERADO	IMPACTO
<b>ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b>																
Emisiones de gases de combustión por vehículos y maquinaria	-	7	4	1	2	1	1	4	4	2	2	46	MODERADO	0,40	8,00	MODERADO
Liberación de material particulado	-	8	2	1	2	1	1	4	4	2	2	45	MODERADO	0,37	7,43	LEVE
Generación de ruidos y vibraciones	-	5	8	8	1	1	1	1	4	2	1	50	SEVERO	0,51	10,29	MODERADO
Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta	-	5	1	2	4	4	1	4	1	2	8	43	MODERADO	0,31	6,29	LEVE
Calidad de los suelos por derrames de sustancias, erosiones y compactaciones	-	6	4	2	4	4	1	4	1	2	8	52	SEVERO	0,57	11,43	MODERADO
Afectación a la fauna por cambios en el ambiente	-	2	1	1	4	4	1	1	4	4	8	35	MODERADO	0,09	1,71	MUY LEVE
Afectación de la vegetación herbácea	-	2	1	1	4	4	1	1	4	4	8	35	MODERADO	0,09	1,71	MUY LEVE
Generación de empleo	+	7	2	4	2	2	1	1	4	4	1	44	POSITIVO	0,34	6,86	POSITIVO
Afectación de sitio de interés cultural	-	1	8	2	4	4	1	1	4	4	8	47	MODERADO	0,43	8,57	MODERADO

**Tabla 61:** Matriz de Conesa. Etapa de construcción.  
**Fuente:** Elaboración propia.





IMPACTO	NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPORTANCIA	IMPACTO	UIP	PONDERADO	IMPACTO
ETAPA DE PRODUCCIÓN																
Emisiones de vapores volátiles	-	4	1	2	1	1	1	4	4	4	2	33	MODERADO	0,03	0,57	MUY LEVE
Olores	-	6	4	8	2	2	1	1	4	4	2	50	SEVERO	0,51	10,29	MODERADO
Ruidos y vibraciones de equipos rotantes	-	6	2	8	1	1	1	1	4	4	1	43	MODERADO	0,31	6,29	LEVE
Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta	-	5	2	2	4	4	1	4	1	2	8	45	MODERADO	0,37	7,43	LEVE
Contaminación en caso de derrames	-	9	2	2	4	4	1	4	1	2	8	57	SEVERO	0,71	14,29	SEVERO
Presencia de contaminantes	-	9	4	4	2	2	1	1	4	4	1	54	SEVERO	0,63	12,57	SEVERO
Emisiones de gases	-	10	8	2	2	2	1	4	4	2	4	67	SEVERO	1,00	20,00	CRÍTICO
Generación de empleo	+	7	8	4	2	2	1	1	4	4	1	56	POSITIVO	0,69	13,71	POSITIVO

Tabla 62: Matriz de Conesa. Etapa de producción.

Fuente: Elaboración propia.

IMPACTO	NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPORTANCIA	IMPACTO	UIP	PONDERADO	IMPACTO
ETAPA DE ABANDONO																
Emisiones de gases de combustión por vehículos y maquinaria	-	7	4	1	2	1	1	4	4	2	2	46	MODERADO	0,40	8,00	MODERADO
Liberación de material particulado	-	8	2	1	2	1	1	4	4	2	2	45	MODERADO	0,37	7,43	LEVE
Generación de ruidos y vibraciones	-	5	8	8	1	1	1	1	4	2	1	50	SEVERO	0,51	10,29	MODERADO
Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta	-	4	1	2	4	4	1	4	1	2	8	40	MODERADO	0,23	4,57	LEVE
Calidad de los suelos por derrames de sustancias, erosiones y compactaciones	-	6	4	2	4	4	1	4	1	2	8	52	SEVERO	0,57	11,43	MODERADO
Afectación a la fauna por cambios en el ambiente	-	1	1	1	4	4	1	1	4	4	8	32	MODERADO	0,00	0,00	MUY LEVE
Afectación de la vegetación herbácea	-	1	1	1	4	4	1	1	4	4	8	32	MODERADO	0,00	0,00	MUY LEVE

Tabla 63: Matriz de Conesa. Etapa de abandono.

Fuente: Elaboración propia.

## 11.7. Conclusiones

Considerando la información procesada como parte del Estudio de Impacto Ambiental, se concluye que la Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto de producción de ácido nítrico, que enfoca tanto el punto de vista ambiental como el socioeconómico, presenta una matriz de valoración de efectos con impactos



negativos, pero de intensidades muy leves o moderadas, duración temporal, dimensión localizada y reversibles o mitigables.

La implementación del Plan de Gestión Ambiental planteado en este estudio servirá para la gestión adecuada de las actividades.

Se presentan los requisitos administrativos cumplidos por el proyecto presentados al Ministerio de Medio ambiente de la provincia de Buenos Aires y el ADA, entre ellos:

- Nota de solicitud del Certificado de Aptitud Ambiental.
- Factibilidad de provisión e informe sobre los consumos máximos estimados de agua, energía eléctrica y gas.
- Constancia de inicio de trámite para la obtención del permiso de vuelco de efluentes líquidos industriales expedido por el organismo con competencia.
- Memoria descriptiva de los procesos productivos con detalle de cada etapa.
- Croquis con identificación de equipos o instalaciones productoras de efluentes gaseosos, líquidos, sólidos y/o semisólidos y sus cantidades producidas junto con su proceso de deposición.
- Descripción de elementos e instalaciones para la seguridad y preservación de la salud del personal y prevención de accidentes, en función de la cantidad de personal y grado de complejidad y peligrosidad de la actividad industrial a desarrollar. Sumado a simulacros mensuales y capacitación del personal en la prevención y mitigación de accidentes.

Habiéndose presentado en este apartado los estudios requeridos por la Entidad Ambiental Competente (Ministerio de medio ambiente y la Autoridad del Agua), se queda a espera de la aprobación del Certificado de Aptitud Ambiental, previa visita de Auditoria.

## 12. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El objetivo primordial de la evaluación económica es determinar la rentabilidad final de las inversiones realizadas para poder predecir si el proyecto es financieramente viable.



Además, se calcularán la cantidad de recursos económicos necesarios para la puesta en marcha de la planta junto con un grupo de indicadores que servirán para estudiarla económicamente.

El presente análisis utilizará como referencia el dólar estadounidense, tomando como base el tipo de cambio actualizado a Enero de 2024, donde 1 USD equivale a 815 ARS.

### 12.1. Inversión.

La inversión del proyecto es el desembolso inicial de recursos financieros para llevar a cabo la implementación y puesta en marcha de la planta. Esta inversión comprende el capital de trabajo y todos los activos fijos y diferidos, los cuales están sometidos a una depreciación.

Para que la planta industrial esté en condiciones para producir se requiere la obtención de terrenos e instalaciones de servicio como maquinaria, tuberías, controles y demás.

El capital necesario para construir la planta y ubicarla de manera que pueda comenzar a producir es el capital fijo. Mientras que el capital necesario para hacerla funcionar regularmente es el capital de trabajo. La suma de ambos capitales es conocida como la inversión de capital total.

#### 12.1.1. Capital fijo.

El capital fijo a su vez se subdivide en:

Costos Directos: Estos incluyen el capital necesario para la adquisición de los equipos de proceso junto con los auxiliares indispensables para la correcta operación del mismo. También se incluye en esa categoría el terreno, la preparación del sitio con sus cimientos y demás.

Costos Indirectos: Estos incluyen los gastos generales que no están directamente relacionados con la operación misma de la planta. Algunos ejemplos son los gastos de construcción, de supervisión, de ingeniería, los honorarios de contratistas y más.



A partir de las hojas de especificación de los equipos previamente diseñados se estimaron los costos utilizando el método de Williams. El método consiste en obtener el costo aproximado de los equipos a partir de costos de referencia según el tipo de equipo, su capacidad y año de cotización según la siguiente ecuación:

$$CE = \left[ CER \left( \frac{\text{Capacidad del equipo}}{\text{Capacidad del equipo de referencia}} \right)^a \right]^{b/c} \quad (166)$$

Donde:

- *CE*: Costo del equipo a cotizar.
- *CER*: Costo del equipo de referencia.
- *a*: Exponente para el escalado del equipo.
- *b*: Índice actualizado de la cotización.
- *c*: Índice de cotización al año de referencia.

Luego de cotizado el equipo se le debe aplicar un factor de corrección que representa el costo de instalación y puesta en marcha. Se considerará para aquellos equipos que no fueron diseñados que su costo es igual que los equipos calculados.

Cotización de equipos diseñados				
Equipo	Capacidad	Unidad	USD	MMUSD
Separador bifásico	0,36	m <sup>3</sup>	50.518,21	0,05
Compresor	6.243,43	HP	21.504.836,30	21,50
Reactor	28,41	m <sup>3</sup>	4.064.176,62	4,06
Columna	16,31	m <sup>3</sup>	205.949,21	0,21
Intercambiador de calor	0,11	Mkcal/h	342.242,10	0,34
Bomba	1,09	kW	185.842,09	0,19
Tanque	923,52	m <sup>3</sup>	2.644.548,97	2,64

**Tabla 64:** Cotización de equipos diseñados.

**Fuente:** Elaboración propia.

Ahora definimos la cantidad de cada tipo de equipo que se requieren para la correcta disposición y funcionamiento de la planta.



Equipos	Cantidad
Separadores bifásicos	3
Compresores	1
Reactores	2
Columnas	3
Intercambiadores de calor	13
Bombas	6
Tanques	5

**Tabla 65:** Cantidad de equipos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Luego realizamos una cotización para el catalizador de mallas que requieren ambos reactores:

Catalizador	USD/Tn	Toneladas	Factor	USD	MMUSD
Pt/Rh 90:10	40.882.735,85	0,01272	2,4	1.248.068,16	1,25

**Tabla 66:** Costo de catalizador.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente pasamos a calcular el costo total por equipos teniendo en cuenta las cantidades de cada uno y aplicando el factor de instalación y PEM.

Equipos	Cantidad	Costo Escalado [MMUSD]	% Instalación	Costo Real Unitario [MMUSD]	Costo Estimado [MMUSD]
Separadores Bifásicos	3	0,05	45%	0,07	0,22
Compresores	1	21,50	49%	32,04	32,04
Reactores	2	4,06	45%	5,89	11,79
Catalizadores	2	1,25	45%	1,81	3,62
Columnas	3	0,21	78%	0,37	1,10
Intercambiadores de Calor	13	0,34	49%	0,51	6,63
Bombas	6	0,19	47%	0,27	1,64
Tanques	5	2,64	49%	3,94	19,70
<b>TOTAL DE EQUIPOS</b>					<b>76,74</b>

**Tabla 67:** Costo total de los equipos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

El costo total de los equipos es de **76,74 MMUSD**.



Para calcular el resto de los activos fijos se utilizan porcentajes recomendados por la bibliografía “Plant Design and Economics for Chemical Engineers – Timmerhaus”, estos porcentajes se toman respecto al costo total de los equipos previamente calculados.

Descripción	%	MMUSD
Localización	20%	15,35
Extra-Terreno	0%	0
Ingeniería	8%	6,14
Obra Civil	25%	19,18
Piping (Cañerías y Accesorios)	30%	23,02
Instrumentación y Control	10%	7,67
Instalación Eléctrica	8%	6,14
Compra de equipos + Instalación	15%	11,51
OSBL	20%	15,35
Paro	3%	2,3
Extra-Equipo	1%	0,77
Contratos	2%	1,53
Contingencias	8%	6,14
<b>TOTAL</b>		<b>115,11</b>

*Tabla 68: Inversión de capital fijo total.  
Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto la inversión de capital fijo total es de **191,84 MMUSD**.

### 12.1.2. Capital de trabajo.

El capital de trabajo es la cantidad de recursos financieros que requiere la empresa para operar regularmente y explotar su actividad de manera que pueda recuperar las inversiones. Matemáticamente representa la diferencia entre el activo circulante y el pasivo circulante.

$$\text{Capital de trabajo} = \text{Activo Circulante} - \text{Pasivo Circulante} \quad (167)$$

Activo Circulante: El activo circulante son los activos y derechos que pueden convertirse en efectivo en el corto plazo, está compuesto por el inventario, las cuentas por cobrar y el dinero en cajas y bancos.



**Inventario:** El inventario consta del stock de materias primas, insumos y aditivos junto con el stock de productos terminados que están almacenados en planta.

En planta se almacenará la solución acuosa de amoníaco que se recibe de Bunge S.A., el catalizador en forma de mallas para el funcionamiento de ambos reactores y el ácido nítrico. Además se destinan dos tanques de almacenamiento para la reserva de agua desmineralizada.

A partir de esta información calcularemos los costos de inventario, considerando tanto la cantidad almacenada como el precio unitario.

- Amoníaco: La disolución acuosa de amoníaco al 60% en volumen es recibida por la planta contigua de Bunge S.A. a través de un ducto y se almacena en tanque dentro del predio. En total el proyecto tiene una capacidad de almacenar 200,23 Tn, es decir, de 4 días de producción. Según datos obtenidos el precio unitario es de 235 USD/Tn, representando en total **0,047 MMU\$D**.
- Catalizador: Se considera la cantidad necesaria para 2 cargas, es decir, se debe tener una disponible en almacenes. Dado que entre los dos reactores se necesitan 0,02544 Tn, el total sería de 0,05088 Tn. Lo que representa un total de **4,99 MMU\$D**.
- Agua desmineralizada: El agua desmineralizada es crucial para la producción de ácido nítrico en la torre de absorción T-102, el agua desmineralizada se almacena en tanques dentro del predio. Se considera una capacidad de almacenamiento de 4 días de producción, es decir 146,65 Tn. Considerando al agua como un utility, su precio unitario es de 2 USD/Tn, lo que representa un total de **0,00029 MMU\$D**.
- Ácido nítrico: Para considerar la cantidad máxima de producto terminado debemos tener en cuenta la capacidad de los tanques de almacenamiento, los cuales son de 923,52 m<sup>3</sup>. Dado que la densidad del ácido nítrico es de 1259 kg/m<sup>3</sup>, se obtiene que dentro del tanque se encuentran 1162,71 Tn. Ya que el precio unitario es de 586 USD/Tn, este representa un valor de **0,681 MMU\$D**. Consideramos solamente uno de los dos tanques en el predio ya que cuando uno está cargando el otro está en despacho.





Insumo	Cantidad [Tn]	USD/Tn	Costo [MMU\$D]
Amoníaco	200,23	235	0,047
Catalizador	0,05088	40.882.735,85	4,99
Agua desmineralizada	146,65	2	0,00029
Ácido nítrico	1.162,71	586	0,681
<b>TOTAL</b>			<b>5,721</b>

**Tabla 69:** Costos de inventario.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Cuentas por cobrar:** Representan el dinero que corresponde a los ingresos que generan las ventas de los productos y subproductos en un mes del año inicial luego de dar inicio a la producción.

Se calcula así la inversión necesaria en consecuencia de vender a crédito los primeros productos, va a depender del PPR (Período Promedio de Recuperación) en que la empresa recupera el capital.

$$Cx C = \left( \frac{VA}{365} \right) PPR \quad (168)$$

Donde:

- *CxC*: Cuentas por cobrar.
- *VA*: Ventas anuales.
- *PPR*: Período promedio de recuperación, se tomará un valor de 120 días para este estudio.

Ventas mes 1 de producción [MMU\$D]	2,76
PPR	120
CxC [MMU\$D]	0,91

**Tabla 70:** Cuentas por cobrar.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Cajas y bancos:** Las cajas y bancos son el efectivo que debe tener la empresa obligatoriamente para solventar los gastos cotidianos y los imprevistos. Se estila utilizar entre un 10 y 20% del monto total invertido en los inventarios y las cuentas por cobrar para obtener un valor aproximado. Para este estudio utilizaremos un 15%.



$$CyB = \frac{15}{100} (Inventarios + CxC) \quad (169)$$

Donde:

- *CyB*: Cajas y bancos.

Inventarios [MMU\$D]	5,721
CxC [MMU\$D]	0,91
CyB [MMU\$D]	0,99

**Tabla 71:** Cajas y bancos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente el activo circulante total es la sumatoria de los tres ítems previos calculados:

$$\text{Activo circulante} = \text{Inventarios} + \text{CxC} + \text{CyB} \quad (170)$$

Obteniendo un total de **7,62 MMU\$D**.

Pasivo Circulante: El pasivo circulante son los créditos a corto plazo en forma de impuestos, servicios y proveedores, en otras palabras son las obligaciones que normalmente deben pagarse dentro de un año.

En la práctica, para la evaluación de proyectos, se estima su valor tomando como base la Tasa Circulante, es decir, la relación entre el activo y el pasivo circulante. Se sugiere que esta sea mayor o igual a 3.

$$TC = \frac{AC}{PC} \geq 3 \quad (171)$$

Donde:

- *TC*: Tasa circulante.
- *AC*: Activo circulante.
- *PC*: Pasivo circulante.

Despejando el Pasivo circulante obtenemos que debería tomar un valor de **2,54 MMU\$D**.



Capital de trabajo: Finalmente con los valores del activo circulante y el pasivo circulante se puede calcular el capital de trabajo. Volviendo a la ecuación previa:

$$\text{Capital de trabajo} = \text{Activo Circulante} - \text{Pasivo Circulante}$$

Por lo tanto el capital de trabajo tiene un valor de **5,082 MMU\$D**.

### 12.1.3. Inversión de capital total.

La suma de la inversión en equipos y los accesorios con el capital de trabajo conforman la inversión de capital total, también conocida como CAPEX.

$$\text{CAPEX} = \text{FCI} + \text{WC} \quad (172)$$

Donde:

- *CAPEX*: Inversión de capital total.
- *FCI*: Inversión de capital fijo.
- *WC*: Capital de trabajo.

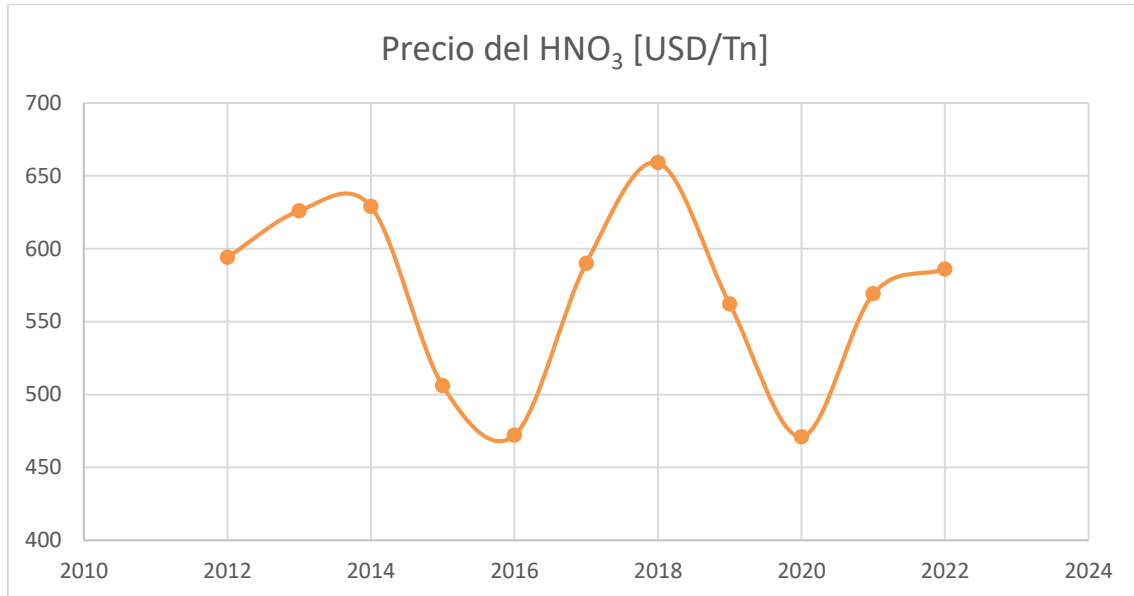
Se obtiene por lo tanto que el CAPEX tiene un valor de **196,93 MMU\$D**.

## 12.2. Ingresos por comercialización.

Los ingresos determinan la entrada de dinero a la empresa, estos van a depender estrictamente de la producción de la planta y del mercado en sí mismo. En este proyecto los ingresos vendrán solamente de la venta del ácido nítrico ya que el subproducto de agua amoniacal no es apto para la venta.

### Proyecciones de ingresos del ácido nítrico:

El precio de la tonelada de ácido nítrico presenta precios oscilatorios en los últimos años. Según datos obtenidos del Anuario del Instituto Petroquímico Argentino podemos visualizar el cambio del precio:



**Figura 60:** Precio histórico del ácido nítrico.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Anuario del Instituto Petroquímico Argentino.

Debido al comportamiento errático de los precios es difícil asegurar cuál será el valor de venta del ácido nítrico en los próximos años, por lo que optamos por tomar el último valor del que se tiene información como valor asignado: 585 USD/Tn. Se tiene además que es un valor intermedio entre los máximos y mínimos alcanzados en la última década por lo que podría servir como promedio para la década siguiente siempre que cumpla con la misma variación.

De esta manera, la proyección de ingresos se calculará teniendo en cuenta las modificaciones en respuesta al aumento de la producción y no a los cambios del precio. Se considera, para la siguiente proyección de ingresos, que en el primer año de funcionamiento la producción será un 70% del alcance total de 56.306 Toneladas de ácido nítrico. En el segundo año de producción el funcionamiento será de un 85% del alcance del proyecto y ya a partir del tercer año en adelante se considerará el 100% del alcance.

Se debe tener en cuenta que el primer año 2024 es donde se realiza el estudio del proyecto y los dos consiguientes se dedican a la construcción de la planta, por ende la producción comenzará en el 2027.



Proyección de ingresos HNO <sub>3</sub>		
Precio [U\$D/Tn]		586
Año	Producción [Tn/año]	Ventas [MMU\$D/año]
2024	0	0
2025	0	0
2026	0	0
2027	39.410	23,09
2028	47.855	28,04
2029	56.300	32,99
2030	56.300	32,99
2031	56.300	32,99
2032	56.300	32,99
2033	56.300	32,99
2034	56.300	32,99
2035	56.300	32,99
2036	56.300	32,99
2037	56.300	32,99

**Tabla 72:** Proyecciones de ingresos por ventas de ácido nítrico.  
*Fuente:* Elaboración propia.

### 12.3. Egresos por compras.

En los egresos se consideran los gastos por la adquisición de materia prima, las cuales se verán afectadas por la capacidad de producción según el año correspondiente. Las materias primas del presente proyecto son la disolución acuosa de amoníaco al 60% y el agua desmineralizada.

#### **Proyecciones de egresos por compra de amoníaco diluido:**

En cuanto a la solución de amoníaco, lamentablemente no se cuenta con un historial de precios, de manera que se dificulta encontrar un patrón de variación. Según la página oficial de *Veritrade Corporation* el último registro del precio por tonelada figura como 235 USD. Utilizando este valor, podremos calcular los egresos por compra del amoníaco, considerando la cantidad de materia prima necesaria para la producción de ácido nítrico según el año correspondiente. Sabiendo que cuando se llega al alcance planteado en el Estudio de Mercado, la cantidad necesaria de amoníaco es 16.686,16 Tn/año.



Proyección de egresos por NH <sub>3</sub>		
Precio [U\$D/Tn]		235
Año	Consumo [Tn/año]	Gastos [MMU\$D/año]
2024	0	0
2025	0	0
2026	0	0
2027	11.680,31	2,74
2028	14.183,24	3,33
2029	16.686,16	3,92
2030	16.686,16	3,92
2031	16.686,16	3,92
2032	16.686,16	3,92
2033	16.686,16	3,92
2034	16.686,16	3,92
2035	16.686,16	3,92
2036	16.686,16	3,92
2037	16.686,16	3,92

**Tabla 73:** Proyecciones de egresos por compra de amoníaco.  
*Fuente:* Elaboración propia.

### Proyecciones de egresos por agua desmineralizada:

Para la estimación del agua desmineralizada consideraremos el precio de agua de servicio estipulado en el Parque Industrial Campana, es decir 2 U\$D/Tn. La cantidad utilizada dependerá de la capacidad de producción de ácido nítrico de la planta según el año correspondiente, sabiendo que cuando se llega al alcance planteado en el Estudio de Mercado, la cantidad necesaria de agua desmineralizada es 12.221,12 Tn/año.

Proyección de egresos por agua desmineralizada		
Precio [U\$D/Tn]		2
Año	Consumo [Tn/año]	Gastos [MMU\$D/año]
2024	0	0
2025	0	0
2026	0	0
2027	8.554,78	0,017



2028	10.387,95	0,021
2029	12.221,12	0,024
2030	12.221,12	0,024
2031	12.221,12	0,024
2032	12.221,12	0,024
2033	12.221,12	0,024
2034	12.221,12	0,024
2035	12.221,12	0,024
2036	12.221,12	0,024
2037	12.221,12	0,024

**Tabla 74:** Proyecciones de egresos por compra de agua desmineralizada.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 12.4. Costos fijos y variables.

### 12.4.1. Costos variables.

Los costos variables incluyen los gastos que dependen del volumen de producción. En esta categoría encontraremos los suministros y los servicios generales, como es el consumo eléctrico, el vapor y el agua de los servicios auxiliares.

Se debe tener en cuenta que dentro de la energía eléctrica hay que incluir los costos por iluminación, motores, aires acondicionados y gastos en las oficinas de administración. Estos requisitos deben incrementarse en un factor del 20% para permitir pérdidas de línea y contingencias.

Servicio	Costo unitario	Unidad	Cantidad anual	Costo Anual [MMUSD]
Energía eléctrica	32	USD/kW	67.137,70	2,15
Agua	2	USD/Tn	2.315.579,52	4,63
Vapor	15	USD/Tn	109.692,96	1,65
<b>TOTAL</b>				<b>8,42</b>

**Tabla 75:** Costos variables.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Se obtiene entonces un costo variable total de **8,42 MMUSD/año**, para una producción al 100% de la capacidad instalada.





### 12.4.2. Costos fijos.

Los costos fijos incluyen los gastos que no dependen del volumen de producción. En esta categoría encontramos los costos de mano de obra, de mantenimiento, de patente, los costos de los laboratorios, los seguros, los impuestos, etc.

Personal: Los costos de mano de obra están referidos a los honorarios del personal contratado. Calcularemos estos gastos según el organigrama previamente desarrollado. Para ello se considerarán un total de 13 sueldos al año, de manera en que contemos el aguinaldo.

Gerencia/Departamento	Puesto	Cantidad	Sueldo Mensual [USD]	Sueldo Anual [USD]
Gerencia	Gerente general	1	\$ 3.064,91	\$ 39.843,83
Secretaría	Secretaria	1	\$ 822,55	\$ 10.693,15
Producción	Gerente de producción	1	\$ 2.018,10	\$ 26.235,30
	Jefe de planta	1	\$ 1.888,93	\$ 24.556,03
	Coordinador de operaciones	1	\$ 1.293,40	\$ 16.814,20
	Supervisor de operaciones	4	\$ 1.276,73	\$ 66.390,13
	Supervisor de energía	1	\$ 1.221,73	\$ 15.882,53
	Supervisor de movimiento de producto	1	\$ 1.221,73	\$ 15.882,53
	Operarios generales	14	\$ 915,39	\$ 166.600,98
	Operarios de producto	2	\$ 960,52	\$ 24.973,61
Servicio técnico	Gerente de área técnica	1	\$ 2.018,10	\$ 26.235,30
	Jefe de proceso y proyecto	1	\$ 1.826,74	\$ 23.747,58
	Jefe de laboratorio	1	\$ 1.620,19	\$ 21.062,51
	Jefe de seguridad y medio ambiente	1	\$ 1.620,19	\$ 21.062,51
	Ingeniero de proceso	1	\$ 1.600,50	\$ 20.806,50
	Ingeniero de proyecto	1	\$ 1.600,50	\$ 20.806,50
	Ingeniero de automatización y control	1	\$ 1.600,50	\$ 20.806,50
	Ingeniero de instrumentos	1	\$ 1.600,50	\$ 20.806,50
	Supervisor de laboratorio	4	\$ 1.188,56	\$ 61.804,94
	Técnico de seguridad y medio ambiente	2	\$ 1.128,94	\$ 29.352,31



	Analistas de laboratorio	10	\$ 1.112,56	\$ 114.632,80	
	Analistas de calidad	2	\$ 1.112,56	\$ 28.926,56	
<b>Recursos humanos</b>	Gerente de RRHH	1	\$ 2.018,10	\$ 26.235,30	
	Selección y reclutamiento	2	\$ 780,03	\$ 20.280,87	
	Formación	2	\$ 780,03	\$ 20.280,87	
	RRLL	1	\$ 780,03	\$ 10.140,43	
	Médico	1	\$ 1.318,40	\$ 17.139,20	
	Enfermero	5	\$ 780,03	\$ 50.701,95	
	Analistas de recursos humanos	2	\$ 780,03	\$ 18.408,78	
	Administrativo relación con la comunidad	1	\$ 703,95	\$ 9.151,35	
	<b>Mantenimiento</b>	Gerente de mantenimiento	1	\$ 1.816,91	\$ 23.619,87
		Jefe de verificación de equipos	1	\$ 1.559,79	\$ 20.277,23
Jefe de almacén		1	\$ 1.526,85	\$ 19.848,99	
Jefe de obras		1	\$ 1.559,79	\$ 20.277,23	
Jefe de paros		1	\$ 1.636,12	\$ 21.269,56	
Especialista en máquinas rotantes		1	\$ 1.092,62	\$ 14.204,06	
Especialista en recipientes a presión		1	\$ 1.092,62	\$ 14.204,06	
Especialista en corrosión y materiales		1	\$ 1.092,62	\$ 14.204,06	
Operarios de almacén		4	\$ 896,70	\$ 46.628,57	
Operarios de obras menores		3	\$ 1.093,29	\$ 42.638,31	
Archivo técnico		1	\$ 880,74	\$ 11.449,63	
Especialista en paros		1	\$ 1.092,62	\$ 14.204,06	
<b>Administración</b>		Gerente de administración	1	\$ 1.859,87	\$ 24.178,31
	Jefe de servicios generales	1	\$ 1.694,79	\$ 22.032,23	
	Jefe de control de gestión	1	\$ 1.636,12	\$ 21.269,56	
	Jefe de planificación operativa	1	\$ 1.636,12	\$ 21.269,56	
	Jefe de compras y contrataciones	1	\$ 1.636,12	\$ 21.269,56	
	Jefe de tesorería	1	\$ 1.718,48	\$ 22.340,28	
	Jefe de contaduría	1	\$ 1.718,48	\$ 22.340,28	
	Operarios de servicios generales	2	\$ 665,97	\$ 17.315,13	



	Analistas de control de gestión	3	\$ 765,86	\$ 29.868,61
	Analistas de planificación	2	\$ 765,86	\$ 19.912,40
	Analistas de compras	3	\$ 765,86	\$ 29.868,61
	Facturador	1	\$ 880,74	\$ 11.449,63
	Tesorero	1	\$ 880,74	\$ 11.449,63
	Contador	1	\$ 1.641,92	\$ 21.344,92
	<b>TOTAL</b>	<b>107</b>	<b>\$ 76.559,54</b>	<b>\$ 1.548.993,89</b>

**Tabla 76:** Costos por mano de obra.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente se obtiene que el costo de mano de obra directa e indirecta anual es de **1,55 MMU\$D/año**.

Otros costos fijos: Para el cálculo del resto de los costos fijos se utilizarán porcentajes aproximados recomendados por la bibliografía de "Plant Design and Economics for Chemical Engineers" de Timmerhaus.

- Mantenimiento: un 3% del Capital Fijo Total.
- Costos de laboratorio: un 5% del costo de salarios.
- Patente: un 1% del costo de la materia prima.
- Seguros: un 1% del CAPEX.
- Impuestos: un 1% del Capital Fijo Total.
- Contratos: un 2% del costo del producto.

Costos Fijos	MMU\$D/año
Mano de obra	\$ 1,55
Mantenimiento	\$ 5,76
Costos de laboratorio	\$ 0,08
Patente	\$ 0,04
Seguros	\$ 1,97
Impuestos	\$ 1,92
Contratos	\$ 0,08
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 11,39</b>

**Tabla 77:** Costos fijos totales.  
**Fuente:** Elaboración propia.



Se concluye entonces que los costos fijos totales son **11,39 MMU\$D**.

### 12.5. Índices de rentabilidad.

Para continuar con la evaluación económica, primero debemos definir ciertos conceptos de interés:

$$\text{Margen Operativo} = \text{Ingresos} - \text{Egresos} \quad (174)$$

$$\text{OPEX} = \text{Costos variables} + \text{Costos fijos} \quad (175)$$

$$\text{EBIDTA} = \text{Margen Operativo} - \text{OPEX} \quad (176)$$

$$\text{Amortización} = \frac{\text{CAPEX}}{10} \quad (177)$$

$$\text{EBIT} = \text{EBITDA} - \text{Amortizaciones} \quad (178)$$

$$\text{IG} = \text{EBIT} * \text{Tasa IG} = \text{EBIT} * 0,3 \quad (179)$$

$$\text{EBT} = \text{EBITDA} - \text{IG} \quad (180)$$

$$\text{NI} = \text{EBT} - \text{Intereses y Pagos} \quad (181)$$

$$\text{FF} = \text{NI} - \text{CAPEX} \quad (182)$$

$$\text{Tasa de Corte} = 12\% \quad (183)$$

Consideramos que los intereses y pagos estarán relacionados con el crédito solicitado a los accionistas. El préstamo que se solicitará a los accionistas será la totalidad del CAPEX en forma de tres cuotas.

Cuota	1	2	3
Porcentaje	8%	70%	22%
MMU\$D	15,75	137,85	43,32

**Tabla 78:** Monto de las cuotas del préstamo.  
*Fuente:* Elaboración propia.

El préstamo se pagará a 10 años con una tasa de interés del 7%.



Tipo	Accionistas
Préstamo	100%
CAPEX [MMU\$D]	196,93
Tasa	7%
Años	10
Cuota [MMU\$D]	19,69
Interés [MMU\$D]	1,38
TOTAL [MMU\$D]	21,07

*Tabla 79: Datos del préstamo.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 12.5.1. Cuadro de flujo de fondos.



Concepto	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ventas	\$ 0	\$ -	\$ -	\$ 23	\$ 28	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33
Compras	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -3	\$ -3	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4
Margen Bruto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20	\$ 25	\$ 29	\$ 29	\$ 29	\$ 29	\$ 29	\$ 29	\$ 29	\$ 29
OPEX	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20
Fijos	\$ -11	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12
Variables	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8
EBITDA	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1	\$ 5	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9
Amortizaciones	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20	\$ -20
EBIT	\$ -19	\$ -19	\$ -15	\$ -19	\$ -15	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10
IG	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
EBT	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1	\$ 5	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 9
Intereses Bancarios	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Pago Accionistas	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21
NI	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -16	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ 9
CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -10	\$ -12	\$ -10	\$ -12	\$ -10	\$ -12	\$ -10	\$ -12	\$ -10	\$ 86
Flujo de Fondo	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -31	\$ -29	\$ -22	\$ -24	\$ -22	\$ -24	\$ -22	\$ -24	\$ -1	\$ 95
Flujo Acumulado	\$ -21	\$ -42	\$ -73	\$ -102	\$ -124	\$ -148	\$ -170	\$ -194	\$ -216	\$ -241	\$ -262	\$ -282	\$ -146

Tabla 80: Flujo de fondos.  
Fuente: Elaboración propia.



### 12.5.2. VAN y TIR.

El valor actual neto representa la rentabilidad del proyecto en unidades monetarias. El VAN indica el valor monetario del proyecto en un determinado plazo llevado al presente. Por lo tanto cuando el valor del VAN es superior a cero, es decir positivo, se tiene un proyecto atractivo y rentable.

La tasa interna de retorno nos permite comprobar la viabilidad de la inversión, matemáticamente representa la tasa a la que el VAN se vuelve 0. Para considerar el proyecto como rentable se exige que la TIR sea mayor a la tasa de corte seleccionada, en nuestro caso la tomaremos del 12%.

<b>VAN</b>	- 111,91
<b>TIR</b>	- 15%

*Tabla 81: Resultados del VAN y la TIR.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 12.5.3. Análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad es una herramienta importante para el estudio de viabilidad económica, porque permite estudiar qué variables y qué tanto afectan la rentabilidad del proyecto. Un buen análisis permitiría conocer cuáles son las variables con mayor sensibilidad y por lo tanto planificar estrategias defensivas para aminorar sus efectos.

Debido a que en nuestro caso de estudio los valores resultaron negativos utilizaremos el análisis de sensibilidad para buscar bajo qué condiciones el proyecto se vuelve rentable y económicamente atractivo para inversores.

Precio del ácido nítrico: El precio de venta debería aumentar a 1.163 USD/Tn, es decir un aumento del 98,48%.

Precio de la dilución de amoníaco: Ningún tipo de reducción del precio de la materia prima lograría hacer rentable el proyecto.

Valor del CAPEX: El valor del CAPEX debería disminuir a 37,35 MMU\$, es decir una reducción del 81%.





Capacidad instalada: El capacidad instalada de la planta debería aumentar a 120.000 Tn/año, es decir un aumento del 112,6%.

Sensibilidad	Variación	TIR
Precio del producto	+ 98,48%	12%
Precio de la materia prima	- 100%	-11%
CAPEX	- 81%	12%
Capacidad instalada	+ 112,6%	12%

**Tabla 82:** Análisis de sensibilidad.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 12.6. Conclusiones.

Una vez concluido el estudio de viabilidad técnico – económico de la planta productora de ácido nítrico se puede afirmar que los resultados obtenidos no fueron satisfactorios. Queda demostrada y justificada la no rentabilidad del proyecto y **se recomienda no invertir en su implementación.**

El pobre desempeño económico del ácido nítrico como producto final sirve como explicación de la falta de plantas productoras del mismo en el país. Debido a esto se deduce que las plantas que producen el ácido nítrico, simplemente lo utilizan como producto intermedio y no como objetivo principal, ya que este debe de justificar su rentabilidad. Se propone entonces la posibilidad de evaluar un proyecto en que se produzca en conjunto, tanto el ácido nítrico como el nitrato de amonio.

## 13. BIBLIOGRAFÍA

### 13.1. Libros:

- Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York: “*Handbuch der Kältetechnik*”, vol. IV.
- *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 4ta edición.
- S.A. Stern, J.T. Mullhaupt, W.B. Kay: “*The Physicochemical Properties of Pure Nitric Acid*”, Chem. Rev.



- Instituto Petroquímico Argentino (2022) “Anuario IPA: Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina”.
- RAY, M.S. Y JOHNSTON, D.W. (1989). “*Chemical engineering design Project*”, Volumen 6. New York, Londres, Paris, Montreux, Tokyo y Melbourne: Gordon and Breach Science Publishers S.A..
- RASE, F.H. “*Chemical Reactor Design for Process Plants. Volume two: Case Studies and Design Data*”. New York, Londres, Sydney y Toronto: John Wiley & Sons.
- GRAND VIEW RESEARCH, MARKET RESEARCH & CONSULTING. (2015). “*Nitric Acid Market Analysis By Application (Fertilizers, Adipic Acid, Nitrobenzene, Toluene Di-isocyanate, Nitrochlorobenzene) And Segment Forecasts To 2022*”. San Francisco, United States.
- SADYKOV, V.A., ISUPOVA, L.A., ZOLOTARSKII, I.A., BOBROVA L.N., NOSKOV, A.S., PARMON, V.N., BRUSHTEIN, E.A., TELYATNIKOVA, T.V., CHERNYSHEV, V.I. Y LUNIN V.V. (2000). “*Oxide catalysts for ammonia oxidation in nitric acid production: properties and perspectives*”. Applied Catalysis A: General, 204, 59–87.
- DON GREEN, W. Y PERRY, R.H. (1992). “*Perry's Chemical Engineers' Handbook*”, Seventh Edition.
- CAO, EDUARDO. (2011). “*Transferencia de calor en ingeniería de procesos*”.
- ASME Section VII: Pressure Vessels. Division 1.
- H. Scott Fogler, McGraw-Hill Book Company (1999) “*Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*”, Tercera edición.
- Muñoz, Hernández, José Aldemar. “*Dinámica y control de procesos químicos*”, sello editorial Universidad de Tolima, 2014.



- Max S. Peters Klaus y D. Timmerhaus, McGraw-Hill Book Company (1991) *Plant design and economics for chemical engineers*, Cuarta edición.

### 13.2. Páginas web:

- Portal oficial de Ácido Nítrico. <http://acido-nitrico.com/propiedades>
- Portal oficial de Fabricaciones Militares de Río Tercero <http://www.fm.gob.ar>
- Página oficial de la Cámara de la Industria Química y Petroquímica Argentina. <http://www.ciqyp.org.ar>
- Portal oficial de UN Comtrade Database. <http://www.comtrade.un.org>
- CIAFA-Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos.
- Portal oficial del Ministerio de Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. <http://www.gob.gba.gov.ar>
- Portal oficial de La Nación. <http://www.lanacion.com.ar>
- [www.technology.matthey.com/pdf/pmr-v11-i2-060-069.pdf](http://www.technology.matthey.com/pdf/pmr-v11-i2-060-069.pdf)
- Portal oficial de Heraeus Metal Management. <http://heraeus-recycling.com>
- Portal oficial del Indec. <http://www.indec.gov.ar>
- Elliott Group Ebara Corporation (2022) Compressors catalogue. <https://www.elliott-turbo.com>
- TradeData – Foreign trade databases. <https://www.trademap.org>
- Página oficial de All Pumps Argentina. <https://allpumps.com.ar>



- Metodología para el cálculo de matrices ambientales.  
<http://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>