

# PROYECTO FINAL DE GRADO

## INGENIERÍA QUÍMICA CON ORIENTACIÓN PETROQUÍMICA



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

# 2025

## **PRODUCCIÓN DE ESTIRENO POR DESHIDROGENACIÓN CATALÍTICA DEL ETILBENCENO**

### **AUTORES**

ALBORNOZ, Gastón Horacio - GALDAME, Lucas Ezequiel - METRAL, Ana Belén

### **DIRECTOR**

Mgter. Ing. GUAJARDO, Adriana Beatriz

### **CO-DIRECTOR**

Mgter. Ing. GONZÁLEZ, Pablo Ramón



## ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

### PRODUCCIÓN DE ESTIRENO POR DESHIDROGENACIÓN CATALÍTICA DEL ETILBENCENO

#### AUTORES

ALBORNOZ, Gastón Horacio - GALDAME, Lucas Ezequiel - METRAL, Ana Belén

#### DIRECTORES

Mgter. Ing. GUAJARDO, Adriana Beatriz - Mgter. Ing. GONZÁLEZ, Pablo Ramón

#### CARRERA

Ingeniería Química con Orientación en Petroquímica

#### Aprobado por:

<u>de Ondaroz, Jorge S</u> Firma Titular	<u>23/07/2025</u> Fecha
<u>Pablo González</u> Firma Vocal	<u>23/07/2025</u> Fecha
<u>Adriana Guajardo</u> Firma Director	<u>23/07/2025</u> Fecha

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria  
San Rafael, Mendoza – Argentina  
2025



## AGRADECIMIENTO

El presente Proyecto de Grado simboliza el cierre de una etapa marcada por el crecimiento, la constancia y la superación de múltiples desafíos. No fue un trayecto simple, implicó tomar decisiones importantes, adaptarse a nuevas exigencias y mantenerse firme incluso en los momentos de mayor incertidumbre. Pero también fue un proceso enriquecedor, repleto de aprendizajes y experiencias que nos formaron no solo como profesionales, sino también como personas.

A nuestras familias, les debemos más que palabras, su presencia, su aliento diario y el ejemplo de esfuerzo que nos brindaron han sido fundamentales para llegar hasta aquí. Cada logro alcanzado es también de ellos.

A los amigos que la vida y la universidad nos regalaron, gracias por los momentos compartidos, por las risas necesarias en los días difíciles y por acompañarnos incluso en silencio cuando más lo necesitábamos.

Agradecemos profundamente a la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. A quienes enseñan, guían, colaboran y hacen posible que esta institución funcione con compromiso y calidez. Haber transitado nuestras carreras en este espacio ha sido, sin duda, una parte invaluable de nuestro camino.

Agradecemos también nuestra Directora del Proyecto, Ing. Adriana Beatriz Guajardo y nuestro Co-Director, Ing. Pablo Ramón González por su acompañamiento, disposición y especialmente por ser guías en esta etapa final de la carrera.

Gracias a cada persona que hizo posible que podamos cerrar esta etapa tan importante en nuestras vidas.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	10
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
1.2 HISTORIA DEL ESTIRENO .....	11
1.3 ESPECIFICACIONES DE LA MATERIA PRIMA .....	11
1.3.1 Obtención del Etilbenceno.....	12
1.3.2 Propiedades .....	12
1.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS .....	12
<b>CAPÍTULO II: ESTUDIO DE MERCADO</b> .....	14
2.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.1.1 Principales usos y sectores de consumo .....	14
2.1.2 Objetivo del estudio de mercado .....	14
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MERCADO.....	15
2.2.1 Mercado nacional .....	15
2.3 MERCADO PROVEEDOR .....	16
2.3.1 Materia Prima Etilbenceno.....	16
2.4 MERCADO COMPETIDOR .....	17
2.4.1 Producción Nacional.....	17
2.4.2 Importaciones.....	18
2.4.3 Competidores indirectos .....	18
2.5.1 Sectores que consumen estireno .....	19
2.5.2 Volumen de consumo por sector .....	20
2.5.3 Factores que afectan la demanda .....	21
2.5.4 Tendencias de consumo.....	22
2.6 IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES.....	25
2.6.1 Volúmenes y valores de importación/exportación en los últimos años.....	25
2.7 CONCLUSIONES.....	25
<b>CAPÍTULO III: LOCALIZACIÓN</b> .....	27



3.1 INTRODUCCIÓN .....	27
3.2 MACROLOCALIZACIÓN .....	27
3.2.1 Parque industrial por Provincia .....	29
3.2.2 Factores a Ponderar .....	30
3.2.3 Matriz de ponderación .....	34
3.2.5 Conclusión.....	34
3.3 MICROLOCALIZACIÓN .....	35
3.3.1 Factores globales de análisis.....	35
3.3.2 Matriz de Ponderación.....	43
3.3.3 Localización elegida .....	44
<b>CAPÍTULO IV: TAMAÑO .....</b>	<b>46</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	46
4.2 ANÁLISIS DE FACTORES QUE AFECTAN AL TAMAÑO.....	46
4.2.1 Competencia .....	46
4.2.2 Demanda proyectada en el mercado local.....	47
4.2.3 Capacidad de la planta para satisfacer la demanda sin generar sobreproducción.....	48
4.2.4 Recursos Humanos .....	49
4.2.5 Capacidad de financiamiento.....	49
4.3 RITMO DE TRABAJO .....	49
4.3.1 Definición de la jornada operativa.....	49
4.3.2 Factores que pueden influir en el ritmo de producción.....	50
4.4 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO .....	51
4.4.1 Capacidad óptima de la planta .....	51
4.4.2 Producción Objetivo: .....	53
4.5 CONCLUSIÓN .....	54
<b>CAPÍTULO V: TECNOLOGÍA .....</b>	<b>55</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	55
5.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	55
5.2.1 Deshidrogenación Catalítica del Etilbenceno.....	55
5.2.2 Oxidación de Etilbenceno .....	56
5.2.3 Proceso seleccionado .....	56
5.3 INGENIERÍA BÁSICA.....	57



5.3.1 Descripción del proceso .....	57
5.3.2 Diagrama de flujo del proceso .....	60
5.4 INGENIERÍA DE DETALLE .....	60
5.4.1 Cálculos de equipos a diseñar .....	61
5.4.2 Balance de masa de los equipos .....	75
<b>CAPÍTULO VI: INGENIERÍA DE PROCESOS .....</b>	<b>76</b>
6.1 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA .....	76
6.1.1 Introducción .....	76
6.1.2 Áreas características de la planta .....	76
6.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS .....	82
<b>CAPÍTULO VII: INGENIERÍA DE GESTIÓN .....</b>	<b>84</b>
7.1 INTRODUCCIÓN .....	84
7.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL .....	84
7.2.1 Principios de organización .....	85
7.2.2 Recursos humanos .....	85
7.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN .....	87
7.3.1 Constitución legal .....	87
7.3.2 Razón social y funciones de la empresa .....	88
7.4 ORGANIGRAMA .....	89
7.5 FICHAS DE FUNCIÓN .....	90
7.6 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CARGOS .....	102
<b>CAPÍTULO VIII: ASPECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>103</b>
8.1 INTRODUCCIÓN .....	103
8.2 MARCO LEGAL .....	104
8.2.1 Legislación nacional .....	104
8.2.2 Legislación provincial .....	105
8.3 DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES .....	105
8.3.1 Medio Físico .....	106
8.3.2 Medio Biótico .....	110
8.3.3 Medio Socioeconómico .....	112



8.3.4 Medio Perceptual.....	118
8.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....	118
8.4.1 Problemática ambiental asociada al proyecto.....	118
8.4.2 Actividades del proyecto en sus distintas fases .....	119
8.4.3 Metodología para la identificación y valoración de impactos ambientales.....	120
8.5 CONCLUSIÓN .....	127
<b>CAPÍTULO IX: ASPECTOS JURÍDICOS.....</b>	<b>128</b>
9.1 INTRODUCCIÓN .....	128
9.2 MARCO LEGAL .....	128
9.2.1 Legislación Nacional.....	128
9.2.2 Legislación Provincial .....	130
9.3 MARCO IMPOSITIVO .....	131
9.3.1 Impuestos Nacionales .....	131
9.3.2 Impuestos Provinciales.....	132
9.3.3 Impuestos Municipales .....	133
9.4 TRÁMITES E INSCRIPCIONES IMPOSITIVAS .....	133
<b>CAPÍTULO X: ASPECTOS NORMATIVOS Y DE CALIDAD .....</b>	<b>135</b>
10.1 INTRODUCCIÓN.....	135
10.2 NORMAS A CERTIFICAR .....	135
10.2.1 Normas ISO.....	136
10.2.1.1 ISO 9000 – Gestión de la calidad .....	136
10.2.2 Normas IRAM.....	139
10.2.3 Normas ASTM .....	139
10.3 CONTROL DE CALIDAD.....	140
10.3.1 Cromatografía de gases (GC).....	140
10.3.2 Medición del contenido de inhibidor (TBC) .....	140
10.3.3 Índice de color .....	141
<b>CAPÍTULO XI: HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL .....</b>	<b>142</b>
11.1 INTRODUCCIÓN.....	142
11.2 CONDICIONES GENERALES DE TRABAJO .....	142



11.2.1	Provisión de agua.....	143
11.2.2	Instalaciones sanitarias y vestuarios.....	143
11.2.3	Iluminación .....	143
11.2.4	Ruidos y vibraciones .....	143
11.2.5	Ambientes ventilados y control de temperatura .....	143
11.2.6	Condiciones ergonómicas .....	144
11.2.7	Certificados médicos .....	144
11.3	SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	144
11.3.1	Responsabilidad de la seguridad.....	145
11.3.2	Plan de seguridad.....	145
11.3.3	Protección contra incendios.....	146
11.3.4	Instalaciones eléctricas.....	147
11.4	GESTIÓN DEL RIESGO Y PREVENCIÓN .....	148
11.4.1	Equipos y elementos de protección personal (EPPP).....	148
11.4.2	Señalización .....	149
11.4.3	Capacitaciones .....	149
11.4.4	Análisis de peligros y control de puntos críticos.....	150
11.4.5	Riesgos antrópicos .....	151
11.4.6	Servicios de higiene y medicina laboral .....	151
<b>CAPÍTULO XII: ANÁLISIS DE RIESGOS .....</b>		<b>153</b>
12.1	INTRODUCCIÓN.....	153
12.2	IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO .....	153
12.2.1	Riesgos físicos .....	153
12.2.2	Riesgos químicos .....	155
12.2.3	Riesgos mecánicos .....	156
12.2.4	Riesgos eléctricos .....	157
12.2.5	Riesgos económicos .....	158
12.2.6	Riesgos Tecnológicos.....	160
12.2.7	Matriz de riesgos .....	161
<b>CAPÍTULO XIII: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO .....</b>		<b>162</b>
13.1	INTRODUCCIÓN.....	162
13.2	TASA DE DESCUENTO.....	163



13.3 ESTRUCTURA DE COSTOS .....	164
13.3.1 Inversión inicial .....	164
13.3.2 Cronograma de inversiones.....	169
13.3.3 Inversión en capital de trabajo.....	172
13.3.4 Costos fijos.....	173
13.3.5 Costos variables .....	178
13.3.6 Costos totales.....	181
13.4 PUNTO DE EQUILIBRIO.....	183
13.5 BENEFICIOS E INGRESOS DEL PROYECTO .....	185
13.5.1 Precio de venta.....	185
13.5.2 Ingresos totales .....	185
13.5.3 Contribución marginal.....	186
13.5.4 Utilidad anual.....	187
13.6 FLUJO DE CAJA Y RENTABILIDAD .....	187
13.6.1 Flujo de caja .....	187
13.6.2 Valor actual neto (VAN).....	189
13.6.3 Tasa interna de retorno (TIR) .....	189
13.7 CONCLUSIÓN .....	190
<b>CAPÍTULO XIV: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....</b>	<b>191</b>
14.1 INTRODUCCIÓN.....	191
14.2 PARÁMETRO A SENSIBILIZAR .....	191
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>195</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>196</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>197</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>199</b>



## RESUMEN

El presente trabajo aborda el análisis y diseño de una planta industrial destinada a la producción de 40.000 toneladas anuales de estireno. La planta se ubicará en el Parque Industrial San Lorenzo, en la provincia de Santa Fe, aprovechando la cercanía a los principales polos petroquímicos y vías logísticas de la región.

La producción se realizará mediante la deshidrogenación catalítica de etilbenceno, utilizando un reactor tubular de flujo pistón y catalizador de óxido férrico soportado. La materia prima principal será abastecida por Pampa Energía, garantizando un suministro estable y competitivo.

El proyecto contempla tanto el diseño del proceso productivo como la planificación del personal necesario, la infraestructura auxiliar, y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. La planta busca satisfacer la demanda nacional de estireno, con foco en la industria de plásticos, aportando al desarrollo industrial de la región con criterios de eficiencia, seguridad y sostenibilidad.



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El presente proyecto tiene como objetivo principal analizar la viabilidad de la producción de monómero de estireno en Argentina, enfocándose en el contexto actual del mercado nacional, las oportunidades de crecimiento y los desafíos asociados a su desarrollo. Para ello, se realizará un estudio detallado que incluye aspectos como el análisis del mercado, las tecnologías de producción disponibles, el impacto económico, entre otros.

En el marco del desarrollo de la industria petroquímica en Argentina, el monómero de estireno ocupa un papel fundamental debido a su versatilidad y a la amplia gama de productos derivados que impactan diversas áreas de la economía. Este compuesto químico, esencial para la fabricación de polímeros como los distintos tipos de poliestireno, cauchos sintéticos y emulsiones, es clave en sectores industriales como la construcción, el embalaje, la automotriz y el consumo masivo.

El monómero de estireno se obtiene principalmente a partir del etilbenceno, una materia prima derivada del petróleo, producto clave del sector petroquímico. El proceso de producción más común es la deshidrogenación del etilbenceno, que requiere condiciones controladas de alta temperatura y el uso de catalizadores específicos para maximizar la conversión y minimizar la formación de subproductos. La disponibilidad de etilbenceno y la infraestructura petroquímica existente en el país juegan un rol crucial en la viabilidad de la producción de estireno a escala industrial.

Existen diferentes técnicas para la producción de monómero de estireno, entre las que destacan la deshidrogenación directa del etilbenceno, el proceso de oxidación selectiva y métodos más recientes que buscan mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. Cada uno de estos métodos presenta ventajas y desafíos particulares, que varían en términos de rendimiento, consumo energético y costos operativos. La elección de la tecnología adecuada dependerá de factores como la disponibilidad de recursos, las condiciones del mercado y los objetivos ambientales del proyecto.

A lo largo de este trabajo se abordarán distintas etapas del proceso productivo del estireno, comenzando con la caracterización del mercado nacional e internacional, para luego profundizar en los aspectos técnicos y económicos necesarios para evaluar su factibilidad. De esta forma, el



proyecto busca contribuir al desarrollo de una industria nacional más competitiva y sostenible, aprovechando los recursos y capacidades existentes en el país.

## 1.2 HISTORIA DEL ESTIRENO

El estireno fue identificado por primera vez en 1839 por el químico alemán Eduard Simon, quien lo aisló a partir del *Styrax officinalis*, una resina natural conocida como estoraque. Simon lo denominó inicialmente *styrol* y observó que, con el tiempo, el compuesto sufría una transformación espontánea en un material más viscoso, lo que posteriormente se identificó como polimerización.

En 1845, John Blyth y August Wilhelm von Hofmann determinaron que el *styrol* podía descomponerse en benceno y etileno, lo que ayudó a establecer su estructura química. Más tarde, en 1866, Marcelin Berthelot confirmó que la transformación del estireno en un material más denso se debía a un proceso de polimerización, aunque sin comprender completamente su mecanismo.

El desarrollo de métodos de producción a escala industrial comenzó en la primera mitad del siglo XX. En 1925, los químicos alemanes de I.G. Farben lograron la producción de estireno a partir de etilbenceno mediante deshidrogenación catalítica, un proceso que se mantiene como el principal método de síntesis en la actualidad.

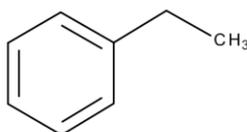
Durante la Segunda Guerra Mundial, el estireno cobró gran importancia debido a su papel en la fabricación del caucho sintético estireno-butadieno (SBR). En ese período, Estados Unidos desarrolló plantas de producción a gran escala para reducir la dependencia del caucho natural, impulsando significativamente la industria del estireno y sus derivados.

A partir de la década de 1950, el estireno se consolidó como un monómero esencial en la producción de plásticos. Se perfeccionaron técnicas para la polimerización controlada y se desarrollaron copolímeros con propiedades mejoradas, como el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) y el poliestireno de alto impacto (HIPS).

Actualmente, la producción global de estireno supera los 30 millones de toneladas anuales, siendo un insumo clave en la fabricación de envases, aislantes térmicos, componentes automotrices y electrónicos, entre otras aplicaciones.

## 1.3 ESPECIFICACIONES DE LA MATERIA PRIMA

El etilbenceno es un hidrocarburo aromático de fórmula química  $C_6H_5CH_2CH_3$ , ampliamente utilizado como materia prima en la producción de estireno, el monómero fundamental para la síntesis de poliestireno y otros polímeros. Se obtiene principalmente a través de la alquilación del benceno con etileno en presencia de catalizadores ácidos, en un proceso conocido como alquilación de Friedel-Crafts o mediante tecnología de lecho fluidizado con catalizadores zeolíticos.

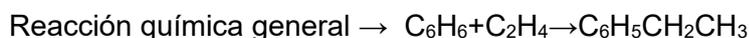


**Figura 1.1 - Estructura química de Etilbenceno**

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

### 1.3.1 Obtención del Etilbenceno

El proceso industrial más común para la producción de etilbenceno es la alquilación catalítica del benceno con etileno, utilizando catalizadores ácidos como Cloruros de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) en sistemas homogéneos o Zeolitas, como la ZSM-5, en procesos heterogéneos más modernos y eficientes.



Este proceso se lleva a cabo a temperaturas entre 100-250°C y presiones moderadas.

### 1.3.2 Propiedades

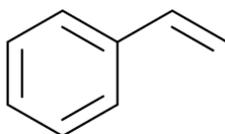
- Fórmula química:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$
- Masa molar: 106.17 g/mol
- Punto de ebullición: 136.2 °C
- Punto de fusión: -95 °C
- Densidad: 0.867 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C
- Solubilidad en agua: Prácticamente insoluble
- Solubilidad en solventes orgánicos: Miscible en benceno, etanol, éter
- Inflamabilidad: Líquido inflamable (Punto de inflamación: 15 °C)

El etilbenceno es un líquido incoloro con un olor característico similar al benceno. Es volátil e inflamable, y su exposición prolongada puede tener efectos tóxicos en el sistema nervioso central y el hígado.

El etilbenceno se usa casi en su totalidad para producir estireno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ ) mediante un proceso de deshidrogenación catalítica a temperaturas entre 550-650°C con catalizadores de óxidos de hierro. Esta transformación es clave en la industria petroquímica para la fabricación de polímeros como el poliestireno, ABS y resinas sintéticas.

## 1.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El estireno también conocido como vinilbenceno, etenilbenceno, cinameno o feniletileno es un hidrocarburo aromático de fórmula  $\text{C}_8\text{H}_8$  el cual tiene un anillo de benceno con un sustituyente etileno.



**Figura 1.2 - Estructura química del Estireno.**  
Fuente: Wikipedia

### Propiedades físicas:

- Líquido oleoso transparente o ligeramente amarillo.
- Punto de fusión: - 30 °C
- Punto de ebullición: 145 °C
- Peso molecular: 104,15 g/mol
- Olor dulce en bajas concentraciones.
- Insoluble en agua, pero como es apolar es soluble en algunos solventes orgánicos.
- Viscosidad: 0,762 cP (a 20 °C)
- Densidad relativa (agua = 1): 0,9

### Propiedades químicas:

- Polimeriza fácilmente al calentarse o al exponerse a la luz solar, por lo que se almacena con inhibidores para prevenir la polimerización no deseada.
- Se descompone al arder produciendo humos tóxicos y óxido de estireno.
- Ataca al cobre y sus aleaciones.
- Puede formar peróxidos explosivos.



## CAPÍTULO II

### ESTUDIO DE MERCADO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

El estireno es un monómero fundamental en la industria petroquímica, tiene amplia variedad de usos como la fabricación de polímeros como el poliestireno (PS) convencional, de alto impacto y expandible, la producción de caucho Estireno-Butadieno, entre otros. Estos materiales tienen varias aplicaciones debido a sus propiedades físicas y mecánicas, lo que los convierte en insumos esenciales para diversas industrias.

##### 2.1.1 Principales usos y sectores de consumo

El monómero de estireno es la base para la producción de diversos polímeros y materiales que se emplean en múltiples industrias:

- **Poliestireno (PS):** Poliestireno convencional, de alto impacto y expandible son utilizados en envases, productos electrónicos de consumo, juguetes y equipos recreativos también es empleado en la industria de la construcción para aislamiento térmico y en embalajes protectores debido a su ligereza y capacidad de amortiguación. El poliestireno se presenta en diferentes formas adaptándose a diversas aplicaciones.
- **Copolímeros como ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y SAN (Estireno Acrilonitrilo):** Utilizados en la fabricación de componentes automotrices, carcasas de dispositivos electrónicos y electrodomésticos, gracias a su resistencia y durabilidad.
- **Caucho de Estireno-Butadieno (SBR):** Principalmente destinado a la producción de neumáticos y otros productos de caucho debido a su resistencia al desgaste.
- **Resinas de Poliéster Insaturado (UPR):** Empleadas en la fabricación de materiales compuestos, revestimientos y adhesivos.

##### 2.1.2 Objetivo del estudio de mercado

El objetivo principal de este estudio de mercado es analizar la viabilidad de la producción de monómero de estireno en Argentina. Para ello, se evaluarán los siguientes aspectos:



*Descripción del mercado nacional:* Examinando la situación actual, evolución histórica y panorama presente del mercado del estireno en el país.

*Mercado proveedor (etilbenceno):* Evaluando su disponibilidad y costos en el mercado local.

*Mercado competidor:* Identificando los principales productores nacionales, sus capacidades de producción, tecnologías empleadas y la competencia con otros monómeros que generen plásticos de usos similares.

*Mercado consumidor:* Determinando los sectores consumidores de monómero de estireno, el volumen de consumo por sector, tendencias de consumo y factores que afectan la demanda.

*Comercio exterior:* Analizando la balanza comercial, incluyendo volúmenes y valores de importación y exportación en los últimos años.

*Precios:* Estudiando la evolución de los precios tanto a nivel nacional como internacional, así como los factores que influyen en su formación.

Este análisis integral proporcionará una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en la implementación de una planta productora de monómero de estireno en Argentina, considerando las oportunidades y desafíos presentes en el mercado.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL MERCADO

### 2.2.1 Mercado nacional

#### 2.2.1.1 Situación actual del mercado en Argentina

El estireno y sus derivados requieren una escala industrial significativa para garantizar su viabilidad económica, lo que ha llevado a la concentración del sector en pocas empresas con plantas de gran capacidad.

La demanda de estireno continúa en expansión, impulsada por su aplicación en los sectores de envases, construcción y automotriz. No obstante, la industria enfrenta desafíos asociados a la volatilidad en los precios de las materias primas y a la creciente preferencia por materiales reciclables y sustentables.

La producción de estireno se realiza a partir del etilbenceno este es sometido a un proceso de deshidrogenación catalítica para obtener el monómero de estireno. Este proceso está influenciado por factores como el precio del petróleo y del gas natural, insumos clave en la industria petroquímica.



## 2.3 MERCADO PROVEEDOR

### 2.3.1 Materia Prima Etilbenceno

El mercado sudamericano del etilbenceno se caracteriza por su creciente base industrial y por las crecientes inversiones en capacidad de fabricación de productos químicos. Brasil y Argentina representan los mercados clave de esta región, y Brasil se perfila como el mercado más grande y de más rápido crecimiento. El desarrollo del mercado de la región está influenciado por la creciente industrialización, un sector automotriz en expansión y una demanda creciente de la industria de la construcción.

#### 2.3.1.1 Disponibilidad y precio de Materia Prima

Según los datos del anuario IPA 2024, en Argentina, el único proveedor local de etilbenceno es Pampa Energía, por lo que existen dos alternativas para el abastecimiento de esta materia prima:

- Compra directa a Pampa Energía, lo que garantiza una logística más sencilla y menores costos asociados al transporte y aranceles de importación.
- La importación de materia prima se realiza desde Estados Unidos, Alemania, Países Bajos, Singapur y Canadá. A pesar de la mayor distancia geográfica de algunos de estos países, su capacidad de abastecimiento asegura un flujo continuo y confiable de insumos para el proceso productivo.

Dado que Pampa Energía es el único proveedor de etilbenceno en Argentina, se ha decidido adquirir la materia prima directamente de esta empresa. Esta elección se basa en varios factores que la hacen más viable en comparación con la importación.

En primer lugar, la compra local permite reducir costos logísticos, eliminando gastos asociados al transporte internacional, aranceles de importación y demoras aduaneras. Además, garantiza un suministro más estable y ágil, evitando posibles interrupciones en la producción debido a fluctuaciones en el mercado externo o restricciones comerciales.

Por otro lado, Pampa Energía es una empresa consolidada en el sector petroquímico, lo que asegura un producto de calidad y en cantidades suficientes para satisfacer la demanda del proceso productivo. Considerando estos aspectos, la compra de etilbenceno a Pampa Energía representa la opción más conveniente para la viabilidad del proyecto.

Para garantizar un abastecimiento constante y condiciones comerciales favorables, se establecerá un convenio de suministro con Pampa Energía, fijando el costo del etilbenceno en 800 USD por tonelada. Esta estrategia permite una mejor planificación financiera y operativa, asegurando la viabilidad del proyecto.



## 2.4 MERCADO COMPETIDOR

### 2.4.1 Producción Nacional

Pampa Energía es la única productora de estireno monómero en Argentina. Su complejo petroquímico integrado, ubicado en Puerto General San Martín, provincia de Santa Fe, posee una capacidad de producción anual de 160.000 toneladas de estireno.

A continuación, se presenta la evolución de la producción de estireno monómero durante el período 2014-2023 según el Anuario IPA 2024.

AÑO	PRODUCCIÓN (tn)
2014	121.272
2015	115.783
2016	115.463
2017	119.140
2018	97.767
2019	87.487
2020	89.503
2021	105.312
2022	100.768
2023	93.134

**Tabla 2.1 - Producción de Estireno**  
**Fuente: Anuario IPA 2024**

Como parte de su estrategia, la empresa emplea un volumen significativo de etilbenceno de producción propia en la síntesis de estireno. A su vez, gran proporción de este estireno se destina a la fabricación de poliestireno y caucho sintético, optimizando así la eficiencia del proceso productivo.

Pampa Energía integra verticalmente sus operaciones petroquímicas, utilizando etilbenceno de producción propia para obtener estireno, que luego se emplea en la producción de poliestireno y caucho sintético. Además, la empresa es el único fabricante integrado en Argentina que abarca desde el petróleo y el gas natural hasta la producción de plásticos.

En términos de comercialización, en 2022 el 69 % de las ventas de estireno tuvieron como destino el mercado argentino, mientras que el 31 % se exportó. En 2023, esta distribución se mantuvo con una tendencia creciente en el mercado local, representando el 71 % de las ventas en Argentina y el 29 % en el exterior.



## 2.4.2 Importaciones

A pesar de que Pampa Energía es el único productor nacional de monómero de estireno en Argentina, el país complementa su demanda interna mediante importaciones.

En 2023, Estireno fue el producto número 427 más comercializado en el mundo. Entre 2022 y 2023 las exportaciones de Estireno decrecieron en -21,4%. El comercio de Estireno representa el 0,038% de todo el comercio mundial.

Las principales empresas importadoras de estireno en Argentina incluyen Styropek S.A., Resigum San Luis S.A., Pampa Energía y otras compañías del sector, que utilizan este insumo en la producción de poliestireno y otros productos petroquímicos. La importación de estireno permite complementar la producción local y asegurar el abastecimiento para diversas aplicaciones industriales.

Argentina adquiere estireno principalmente de Alemania y Estados Unidos, y en menor proporción de Arabia Saudita, Países Bajos, Singapur y Canadá. Estos mercados proveedores garantizan un suministro continuo de materia prima, esencial para el desarrollo de la industria petroquímica nacional.

## 2.4.3 Competidores indirectos

El estireno es un monómero clave en la industria de los plásticos, ampliamente utilizado en la producción de diversos materiales como el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS) y el poliestireno de alto impacto (HIPS). Además, es un componente esencial en la síntesis de copolímeros como el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) y el estireno-acrilonitrilo (SAN), entre otros. No obstante, en el mercado de materiales plásticos, el estireno enfrenta la competencia de otros monómeros que permiten la fabricación de polímeros con propiedades similares, ofreciendo alternativas según las exigencias de cada aplicación.

**PMMA (Polimetilmetacrilato) – Metil Metacrilato** - Compite con el poliestireno en aplicaciones donde la transparencia es clave, como pantallas y luminarias. Aunque es más costoso, ofrece mayor resistencia a la intemperie y estabilidad térmica.

**PC (Policarbonato) – Bisfenol A + Fosgeno** - De alta resistencia mecánica y óptica, es una alternativa premium al poliestireno en equipos electrónicos, automotrices y protección balística, destacando por su resistencia al impacto.

**PP (Polipropileno) – Propileno** - Más económico y resistente al calor y sustancias químicas, reemplaza al poliestireno en envases, embalajes y autopartes.

**PEAD (Polietileno de Alta Densidad) – Etileno** - Su mayor resistencia a impactos y flexibilidad lo hacen una alternativa en envases y productos desechables.



**PVC (Policloruro de Vinilo) – Cloruro de Vinilo** - Versátil y duradero, compite con los plásticos de estireno en construcción, envases y laminados, destacando por su resistencia química.

De acuerdo con los datos más recientes, se observa que en Argentina se reciclaron aproximadamente 343.000 toneladas de plásticos durante el último año, lo que refleja un notable avance en el manejo de residuos y en la implementación de estrategias de economía circular. En cuanto a la producción de manufacturas plásticas, los informes publicados por el INDEC y la Cámara Argentina de la Industria Plástica indican que el poliestireno representa cerca del 5% de la producción total, en contraste con el polietileno y el polipropileno, que concentran aproximadamente el 47% y el 24%, respectivamente.

Estos datos evidencian que, aunque el estireno es fundamental para la elaboración de productos como el poliestireno expandido (EPS) y otros derivados, su uso se limita a nichos específicos, como aplicaciones en aislamiento y empaques ligeros, en comparación con otros polímeros de mayor demanda en sectores como envases y componentes automotrices.

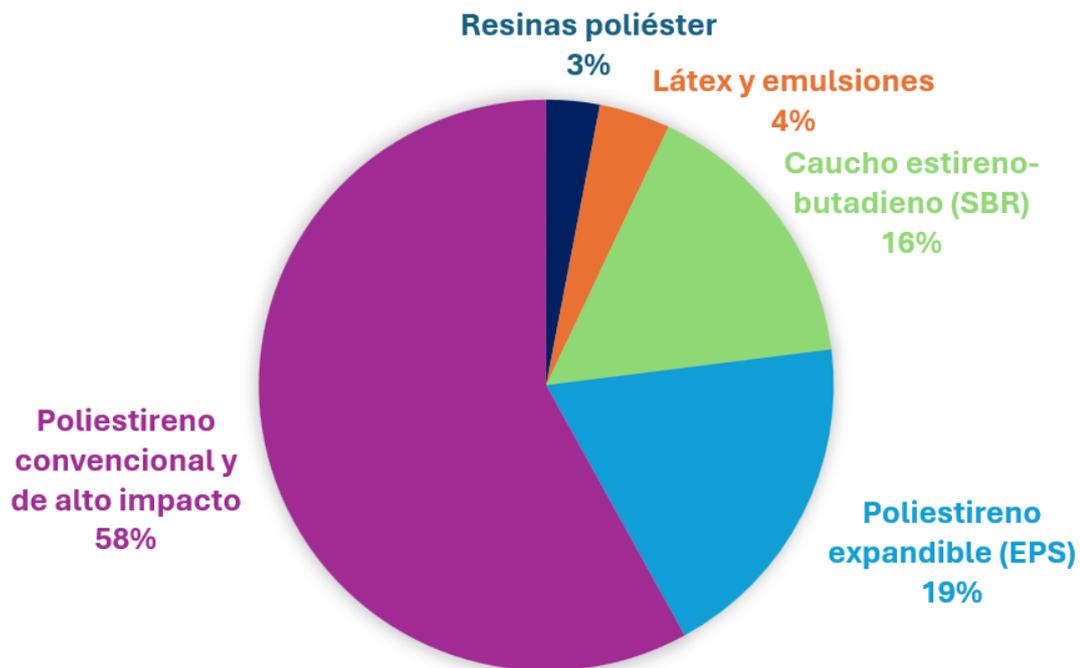
En síntesis, la tendencia actual sugiere que, a pesar de la relevancia del estireno en ciertas aplicaciones, la industria argentina continúa orientándose hacia el empleo predominante de otros polímeros, lo que subraya la importancia de diversificar la oferta de materiales plásticos para responder a las exigencias del mercado.

## **2.5 MERCADO CONSUMIDOR**

### **2.5.1 Sectores que consumen estireno**

El monómero de estireno es un insumo clave para la producción de diversos materiales poliméricos utilizados en distintas industrias, siendo el principal sector de consumo la industria de los poliestirenos.

Los sectores consumidores de estireno en Argentina según el Anuario IPA 2024 son:



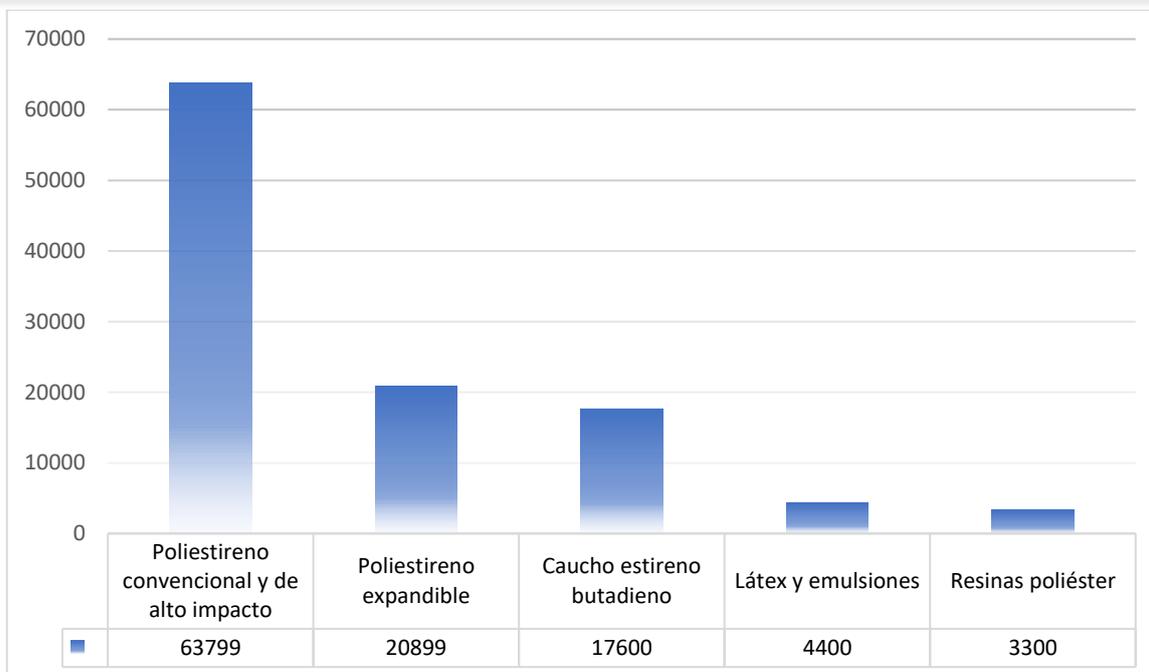
**Gráfico 2.1 - Sectores consumidores de estireno.**  
Fuente: Elaboración propia en base a Anuario IPA 2024

Las empresas consumidoras de estireno que encabezan estos sectores en Argentina son:

- PAMPA ENERGÍA S.A. localizada en Zárate (Buenos Aires), es la única productora de poliestireno convencional y de alto impacto a nivel nacional, donde cuentan con una capacidad instalada de 65.000 tn/año.
- STYROPEK S.A. localizada en General Lagos (Santa Fe), es una de las principales productoras de poliestireno expandible en la región este del país, cuentan con una capacidad instalada de 20.000 tn/año.
- RESIGUM SAN LUIS S.A. localizada en la ciudad de San Luis (San Luis), es una de las principales productoras de poliestireno expandible en la región oeste del país, cuentan con una capacidad instalada de 20.000 tn/año.
- PAMPA ENERGÍA S.A. localizada en Puerto General San Martín (Santa Fe), es la única productora de caucho Estireno-Butadieno a nivel nacional, cuentan con una capacidad instalada de 53.000 tn/año.

### 2.5.2 Volumen de consumo por sector

Según el Anuario IPA 2024 el consumo aparente de estireno en Argentina en el año 2023 fue de 109.998 toneladas, lo que refleja un leve crecimiento respecto al año 2022. El consumo por sectores se distribuye de la siguiente manera:



**Gráfico 2.2 - Volumen de consumo de los sectores.**  
Fuente: Elaboración propia en base a Anuario IPA 2024

### 2.5.3 Factores que afectan la demanda

El consumo de estireno en Argentina ha mostrado fluctuaciones en los últimos años debido a factores como:

- *Crecimiento de la industria del packaging y la construcción:*

El poliestireno expandible (EPS) es ampliamente utilizado en aislación térmica y embalajes. En 2023, el 68% del EPS se destinó a la construcción y el 30% a envases y embalajes. Al igual que el EPS el 61% de poliestireno convencional y de alto impacto se destinaron a packaging.

- *Industria automotriz y neumáticos:*

El caucho SBR, que representa el 16% de la demanda de estireno, es fundamental en la fabricación de neumáticos y autopartes. En 2023, el 60% del SBR se usó en la fabricación de neumáticos.

- *Factores económicos y competitividad de precios:*

La disponibilidad y costo del etilbenceno (materia prima para el estireno) influyen en la producción local.

La importación de poliestireno y SBR también afecta la demanda del monómero, ya que en algunos años los productos finales importados han competido con la producción local, por ejemplo, en el año 2015 según el Anuario IPA 2024 la producción local de poliestireno expandible fue de 14.400 toneladas y en ese año se importaron 11.494 toneladas.

- *Sostenibilidad y reciclaje:*

La tendencia global hacia la reducción del uso de plásticos de un solo uso ha impulsado la búsqueda de alternativas reciclables y biodegradables, lo que puede afectar el consumo de poliestireno en ciertos mercados, esto es debido a que el poliestireno tarda mucho tiempo en degradarse provocando que las empresas opten por plásticos con un tiempo de degradación mucho más corto.

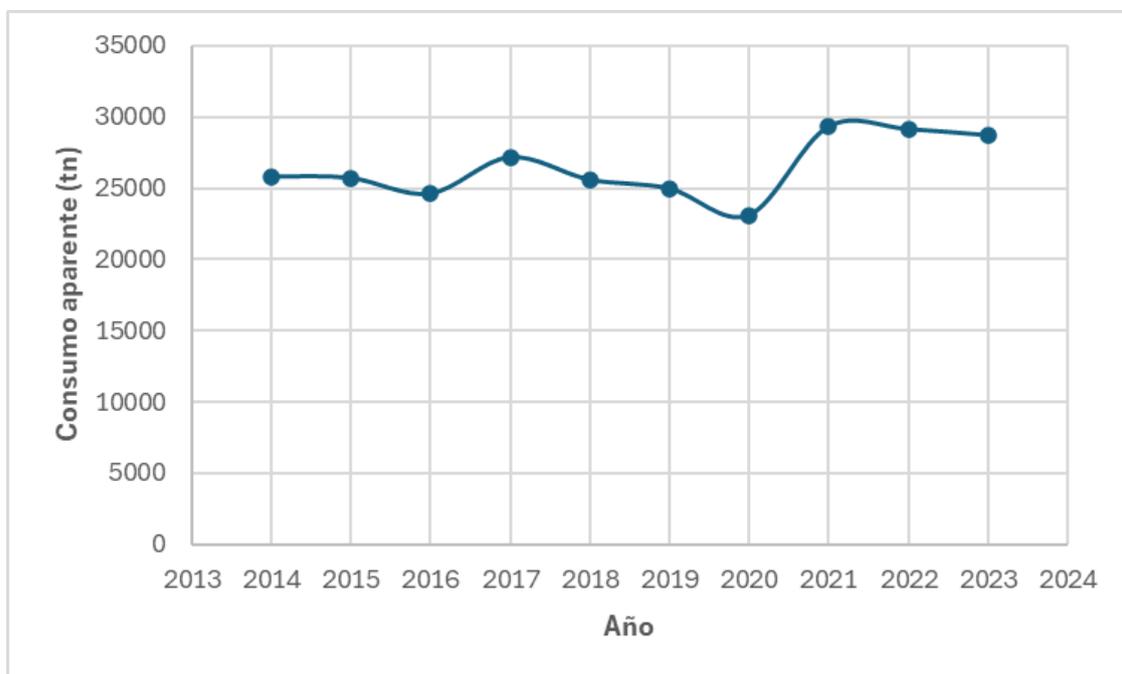
### 2.5.4 Tendencias de consumo

El mercado del estireno en Argentina está influenciado por diversas tendencias, que pueden agruparse en factores de crecimiento y factores de restricción.

#### Tendencias al Alza (Factores de Crecimiento)

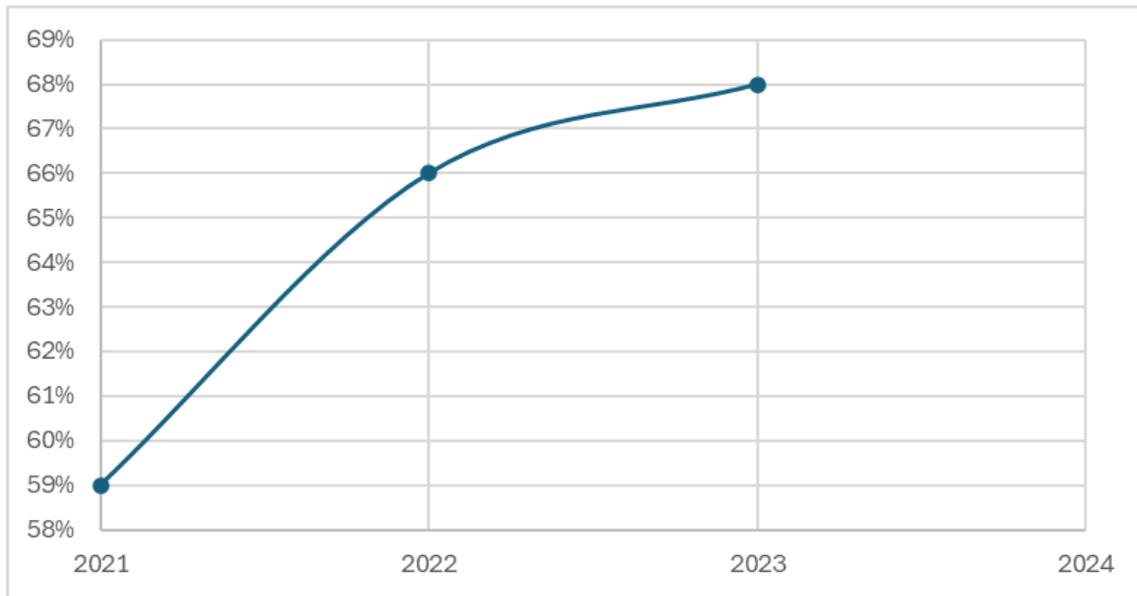
- *Crecimiento en la Construcción y Aislamiento*

El poliestireno expandido (EPS) sigue siendo un material clave en la industria de la construcción debido a sus propiedades de aislamiento térmico y bajo costo.



**Gráfico 2.3 - Consumo aparente de Poliestireno expandido.**  
**Fuente: Elaboración propia a Anuario IPA 2024**

El 68% del EPS se destina al sector de la construcción, con una tendencia creciente por las regulaciones de eficiencia energética en edificios.

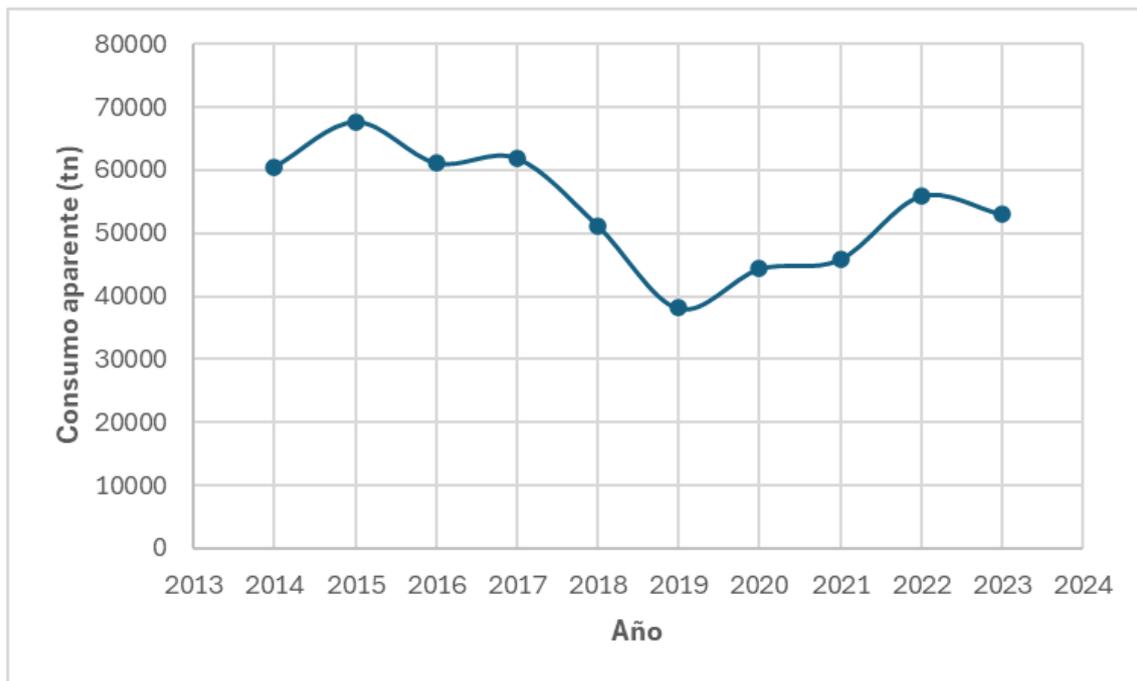


**Gráfico 2.4 - Consumo de Poliestireno expandido para construcción.**  
Fuente: Elaboración propia a Anuario IPA 2024

- *Demanda de Envases y Embalajes*

La industria del packaging sigue demandando poliestireno de alto impacto (HIPS) y EPS, especialmente para envases de alimentos y protección de productos frágiles.

Sin embargo, algunos supermercados y empresas están migrando a envases biodegradables o reciclables debido a restricciones ambientales, si bien en la Argentina esto no se ha llevado a cabo completamente en la actualidad, pero en un futuro se tendría que evaluar la situación.

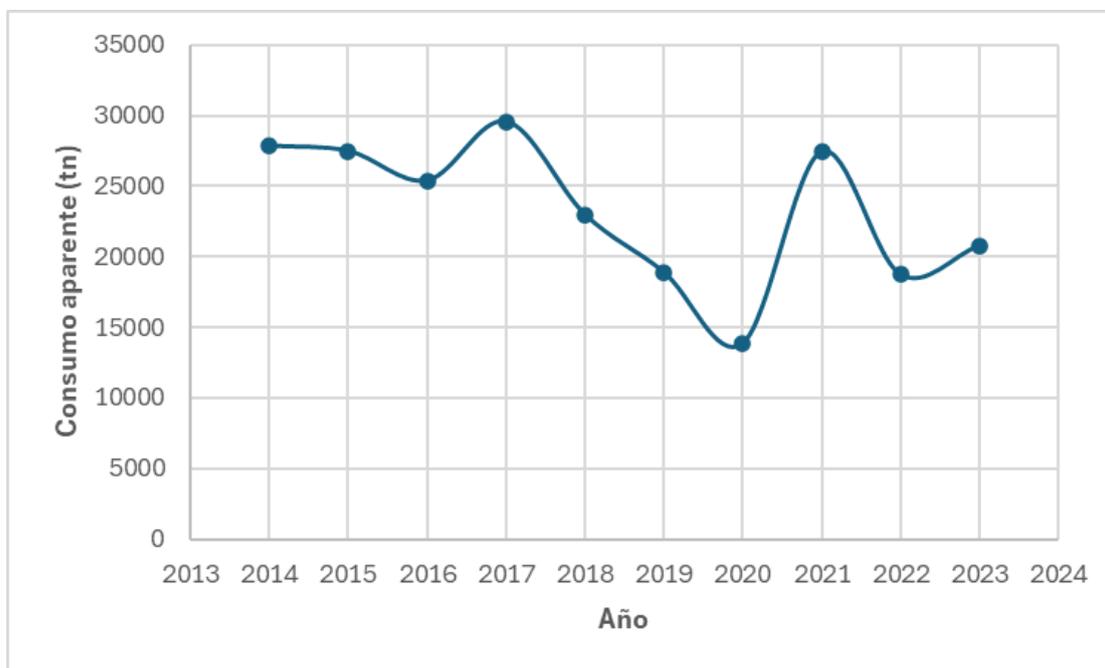


**Gráfico 2.5 - Consumo aparente de Poliestireno Convencional y de Alto impacto.**

Fuente: Elaboración propia a Anuario IPA 2024

- *Industria Automotriz y Neumáticos*

El caucho estireno-butadieno (SBR) representa el 16% del consumo de estireno y es fundamental para la producción de neumáticos.



**Gráfico 2.6 - Consumo aparente de Caucho SBR.**  
Fuente: Elaboración propia a Anuario IPA 2024

La demanda de neumáticos se mantiene estable, aunque las innovaciones en materiales más sostenibles pueden afectar su participación en el mercado a largo plazo.

### **Tendencias a la Baja (Factores de Restricción)**

- *Regulaciones Ambientales y Restricciones al Uso de Plásticos de un Solo Uso*

En muchas partes del mundo se están aplicando prohibiciones y restricciones al uso de poliestireno en envases y productos descartables, lo que podría reducir su demanda en el sector del packaging.

En Argentina, esta tendencia es incipiente, pero algunas ciudades ya han prohibido el uso de sorbetes y envases de poliestireno en comercios gastronómicos.

- *Presión por Alternativas Sostenibles y Reciclables*

La tendencia global hacia la economía circular ha impulsado la búsqueda de materiales biodegradables o reciclables.



Empresas han comenzado a sustituir poliestireno expandido por PET reciclado, papel recubierto o bioplásticos, aunque esto aún no representa una amenaza significativa para el consumo total de estireno en Argentina.

## 2.6 IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES

### 2.6.1 Volúmenes y valores de importación/exportación en los últimos años

En el año 2023 el estireno fue el producto número 427 más comercializado del mundo. En la actualidad, según datos del Anuario IPA 2024 la Argentina importa anualmente 19.810 toneladas de estireno a un costo de 1.285 USD por tonelada.

En 2022, Argentina importó estireno de varios países de la región. Brasil exportó a Argentina productos por un valor de 20,6 millones de dólares. Por otro lado, el país exporta 2.946 toneladas anuales de estireno a un precio promedio de 1.374 USD por tonelada.

Esta dinámica comercial refleja un saldo deficitario en la balanza comercial del estireno, con un volumen de importación significativamente superior al de exportación.

## 2.7 CONCLUSIONES

El análisis del mercado del monómero de estireno en Argentina ha permitido identificar oportunidades y desafíos clave para la viabilidad del proyecto. En términos de abastecimiento, la evaluación de costos y logística ha demostrado que adquirir etilbenceno de Pampa Energía es la opción más conveniente, asegurando un suministro estable y costos más competitivos en comparación con la importación.

Desde la perspectiva de la demanda, el mercado nacional muestra un consumo sostenido, con sectores estratégicos como la construcción y el packaging impulsando la utilización de poliestireno expandible (EPS) y poliestireno de alto impacto (HIPS). En particular, la construcción se proyecta como un sector clave a largo plazo, gracias al aumento en el uso de materiales aislantes y a la implementación de normativas de eficiencia energética. Además, la posibilidad de exportar estireno abre nuevas oportunidades de crecimiento, permitiendo diversificar el mercado y reducir la dependencia del consumo interno.

Sin embargo, el sector enfrenta ciertos desafíos. La competencia con otros polímeros, como PP, PEAD y PVC, y la creciente presión global por materiales reciclables y biodegradables pueden influir en la demanda futura de poliestireno. Aunque en Argentina las regulaciones ambientales aún no han generado un impacto significativo, la tendencia internacional apunta hacia una transición progresiva hacia alternativas más sostenibles.



En conclusión, el estudio de mercado respalda la viabilidad del proyecto, destacando tanto las oportunidades de crecimiento en el mercado interno y externo como los desafíos asociados a la sostenibilidad y la competencia con otros materiales. Con una estrategia adecuada de integración vertical, diversificación de mercado y eficiencia en costos, la producción de monómero de estireno en Argentina puede consolidarse como un actor relevante dentro de la industria petroquímica nacional.



## CAPÍTULO III

### LOCALIZACIÓN

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La localización de una planta industrial es un factor estratégico que impacta directamente en su viabilidad económica, operativa y ambiental. Para la producción de estireno, la selección del emplazamiento debe considerar múltiples variables que optimicen costos, garanticen el acceso a insumos y aseguren la competitividad en el mercado.

En este capítulo, se analiza el proceso de selección de la ubicación óptima para la planta, iniciando con un estudio a nivel macro para identificar las provincias con parques industriales adecuados. Posteriormente, se ponderan factores clave como la disponibilidad y costo de la materia prima, la proximidad a mercados proveedores y consumidores, la infraestructura de transporte, el acceso a servicios esenciales, la disponibilidad de mano de obra calificada y los costos asociados a la instalación.

Finalmente, mediante una matriz de ponderación, se evalúan distintas alternativas para determinar la localización más adecuada, garantizando un equilibrio entre costos operativos, eficiencia logística y cumplimiento normativo.

#### 3.2 MACROLOCALIZACIÓN

La elección de la ubicación de una planta industrial es un factor determinante para el éxito o fracaso del proyecto. Por ello, esta decisión no debe basarse únicamente en criterios económicos, sino también en aspectos estratégicos, institucionales y, en algunos casos, preferencias empresariales.

Para definir la mejor alternativa de localización, es fundamental comparar diversas opciones en función de múltiples variables, tales como:

- Factores logísticos y de acceso: Medios y costos de transporte, cercanía al mercado consumidor y proximidad a proveedores.
- Disponibilidad de recursos: Costo y disponibilidad de materia prima, mano de obra calificada y servicios esenciales.



- Costos y regulaciones: Precio y acceso a terrenos industriales, disposiciones legales y fiscales, normativas ambientales y tratamiento de efluentes.
- Condiciones estratégicas: Proximidad a competidores, infraestructura de comunicaciones y aceptación social de la industria.
- Otros factores: Incentivos gubernamentales, estabilidad política y económica, y alineación con los objetivos y visión empresarial.

Estos criterios permiten evaluar de manera integral las diferentes opciones, garantizando que la localización final optimice costos operativos, minimice riesgos y facilite el desarrollo sostenible de la planta.

En el contexto industrial actual, la localización de nuevas plantas productivas dentro de un aglomerado industrial representa una estrategia ampliamente adoptada debido a los beneficios operativos y logísticos que conlleva. Un aglomerado industrial se define como la concentración de empresas dentro de un espacio geográfico determinado, lo que favorece la disponibilidad de infraestructura, el acceso a proveedores y la optimización de servicios compartidos.

Existen distintos tipos de aglomerados industriales, clasificados según sus características, funciones y objetivos. Entre los más relevantes se encuentran los complejos industriales, polos, parques, zonas y áreas industriales, cada uno con particularidades específicas:

**Zona Industrial:** Se trata de un área delimitada para el desarrollo de actividades industriales, establecida generalmente por normativas municipales en función de criterios urbanísticos. Sus principales ventajas están asociadas a su ubicación estratégica en relación con las redes de transporte y al costo del suelo dentro de esta zona.

**Área Industrial:** Consiste en un terreno previamente acondicionado y dividido en parcelas, destinado a la instalación de establecimientos industriales, ya sea en régimen de venta o alquiler. Además de los beneficios de una zona industrial, permite la optimización de costos mediante el aprovechamiento de economías de escala en infraestructura.

**Parque Industrial:** Es un espacio planificado y urbanizado que cuenta con una distribución estructurada de parcelas e infraestructura desarrollada, incluyendo vialidad, redes de transporte y servicios públicos. Dependiendo de su diseño, puede disponer de edificaciones preexistentes destinadas a la actividad industrial, así como de instalaciones comunes orientadas a mejorar la eficiencia operativa de las empresas establecidas.

Para este proyecto, se ha definido como mercado objetivo a los productores de poliestireno expandible (Syropek S.A., Santa Fe, y Resigum San Luis S.A.), así como a los fabricantes de poliestireno convencional y de alto impacto (Pampa Energía, Buenos Aires).

En el proceso de selección de la localización óptima para la planta, se ha considerado tanto la proximidad a los proveedores de materia prima como la cercanía a los principales clientes. En este sentido, se ha decidido descartar la provincia de San Luis debido a su mayor distancia respecto a los centros de abastecimiento de insumos esenciales para la producción de estireno.



Esta ubicación implicaría costos logísticos más elevados y un mayor tiempo de transporte, lo que afectaría la eficiencia operativa.

Asimismo, dado que una parte significativa del mercado consumidor se encuentra en Buenos Aires y Santa Fe, una ubicación más cercana a esta provincia permitiría optimizar la distribución del producto final, reducir costos de transporte y mejorar la competitividad en términos de tiempos de entrega.

En el contexto de este proyecto, la elección de una ubicación óptima resulta fundamental para asegurar la eficiencia del proceso productivo. En este sentido, las provincias de **Buenos Aires y Santa Fe** han sido identificadas como las alternativas más estratégicas, ya que su proximidad al principal proveedor de materia prima esencial para la producción de estireno permite garantizar un suministro continuo y eficiente, optimizando así la logística y reduciendo costos asociados al transporte.

### 3.2.1 Parque industrial por Provincia

#### 3.2.1.1 Buenos Aires

PARQUE INDUSTRIAL	LOCALIDAD	HECTÁREAS
Campana	Campana	1400
Pilar	Pilar	920
La Cantábrica	Don Torcuato, Tigre	7.8
Plátanos	Berazategui	73
Garín	Escobar	67,63
Ezeiza	Ezeiza	400
La Matanza	La Matanza	250
General Salvo	La Matanza	260
La Bernalesa	La Matanza	9
Tigre	Tigre	90
Parque Central	Ituzaingó	60
Almirante Brown	Almirante Brown	565
Cormisa	Rafael Castillo, La Matanza	440
Guerinca	Presidente Perón	450
La Capilla	Tiegre	130

**Tabla 3.1 - Parques Industriales Buenos Aires**

Fuente: Elaboración propia en base a Listado de Parques Industriales inscriptos en el RENPI

#### 3.2.1.2 Santa Fe



LOCALIDAD	NOMBRE DEL PARQUE INDUSTRIAL	SUPERFICIE TOTAL (HECTÁREAS)
San Lorenzo	Parque Industrial San Lorenzo	167,00
Rosario	Parque Industrial de Rosario	320,00
Cañada de Gómez	Parque Industrial de Cañada de Gómez	70,00
Reconquista	Parque Industrial de Reconquista	35,00
Villa María	Parque Industrial de Villa María	96,00
Las Rosas	Parque Industrial de Las Rosas	10,00
Granadero Baigorria	Parque Industrial de Granadero Baigorria	115,00
Roldán	Parque Industrial de Roldán	58,00
Sauce Viejo	Parque Industrial Sauce Viejo	40,00
Venado Tuerto	Parque Industrial de Venado Tuerto	180,00
El Trébol	Parque Industrial El Trébol	8,50
La Carlota	Parque Industrial La Carlota	8,00

**Tabla 3.2 - Parques Industriales Santa Fe**

**Fuente: Elaboración propia en base a Listado de Parques Industriales inscriptos en el RENPI**

### 3.2.2 Factores a Ponderar

#### 3.2.2.1 Costos y Medios de Transporte

El transporte de materias primas y productos terminados es un factor determinante en la elección de la localización de la planta de estireno, ya que incide directamente en los costos logísticos, la seguridad y la eficiencia operativa. Para este análisis, se considera tanto el transporte del etilbenceno, principal materia prima, como el del monómero de estireno, producto final del proceso.

##### *Transporte de Materia Prima y del Producto Final*

El etilbenceno es un líquido inflamable, lo que exige medidas de seguridad especiales en su traslado. En Argentina, Pampa Energía, ubicada en Puerto General San Martín (Santa Fe), es el único proveedor local de esta materia prima, lo que convierte a la cercanía con esta empresa en un factor clave para reducir costos logísticos.

- En Santa Fe, la proximidad a Pampa Energía es una ventaja significativa, ya que minimiza las distancias de transporte, disminuyendo costos y riesgos en el traslado de etilbenceno.
- En Buenos Aires, el etilbenceno debe recorrer una mayor distancia hasta la planta, lo que incrementa los costos de flete y el riesgo asociado al transporte de sustancias peligrosas.

El monómero de estireno, es un líquido inflamable y propenso a polimerizar espontáneamente. Para evitar reacciones no deseadas, debe transportarse con inhibidores como el 4-tert-butilcatecol (TBC) y bajo condiciones controladas.

- En Santa Fe, la distribución del estireno puede realizarse desde los puertos de Rosario y San Lorenzo, facilitando la exportación. Sin embargo, el transporte terrestre hacia los

consumidores en Buenos Aires y otras regiones puede representar un costo adicional.

- En Buenos Aires, la cercanía con el mercado consumidor facilita la distribución terrestre del producto final, reduciendo costos en fletes internos. Además, el acceso a puertos como Zárate, Campana y Bahía Blanca permite una exportación más eficiente.

Según la Cámara Empresaria del Autotransporte de Cargas (CEDAC), el costo de transporte de carga en camión cisterna (55 toneladas) es de \$1.063,26 ARS/km, equivalente a \$0,97 USD/km. Una mayor distancia entre la planta y el proveedor de materia prima implica un gasto significativo en transporte, afectando la rentabilidad del proyecto. A continuación se presenta una tabla que ayuda a la interpretación sobre el costo de transporte mediante camiones.

KILÓMETROS (KM)	COSTO EN PESOS (ARS)	COSTO EN DÓLARES (USD)
1	\$1.063,26	\$0,97
10	\$10.632,60	\$9,75
50	\$53.163,00	\$48,73
100	\$106.326,00	\$97,46
200	\$212.652,00	\$194,92
300	\$318.978,00	\$292,39
400	\$425.304,00	\$389,85
500	\$531.630,00	\$487,31
600	\$637.956,00	\$584,77
700	\$744.282,00	\$682,24
800	\$850.608,00	\$779,70
900	\$956.934,00	\$877,16
1000	\$1.063.260,00	\$974,62

**Tabla 3.3 - Costos de Transporte**  
**Fuente: Elaboración propia en base a CEDAC**

Según **LDH CHEMICALLOGISTICS** los métodos de transporte para sustancias químicas más utilizados son:

- Camiones cisterna: La opción más común para distribución nacional.
- Ferrocarriles con vagones cisterna: Alternativa viable para grandes volúmenes.
- Buques cisterna: Para exportaciones o transporte interno, utilizando los puertos comerciales más cercanos.

#### *Infraestructura de Transporte y Logística*

Tanto Santa Fe como Buenos Aires cuentan con infraestructura vial, ferroviaria y portuaria adecuada para el transporte de productos petroquímicos. Sin embargo, existen diferencias clave en términos de costos y accesibilidad:

- *Santa Fe* tiene acceso a Pampa Energía, lo que reduce significativamente los costos logísticos de materia prima. Además, cuenta con una red ferroviaria y portuaria en Rosario y San Lorenzo, aunque la distribución terrestre del estireno hacia Buenos Aires y otros mercados internos puede generar costos adicionales.



- *Buenos Aires* se encuentra más alejada del proveedor de materia prima, lo que incrementa los costos de transporte del etilbenceno. No obstante, su acceso directo al mercado consumidor principal y su red portuaria consolidada permiten una distribución más eficiente del producto final.

### 3.2.2.2 Disponibilidad de Mano de Obra

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

### 3.2.2.3 Disponibilidad de la Materia Prima

La disponibilidad de la materia prima es clave para el éxito del proyecto, ya que el único proveedor de etilbenceno en el país es Pampa Energía, cuya planta está ubicada en Santa Fe. Dado que no existen otros proveedores, es fundamental desarrollar una estrategia de transporte eficiente para garantizar el suministro constante de etilbenceno, considerando las distancias y los costos logísticos asociados. Esto asegura la continuidad de la producción y minimiza los riesgos relacionados con el transporte de productos químicos.

### 3.2.2.4 Cercanía al mercado Proveedor y Consumidor

Como detallamos anteriormente, en Argentina, el único proveedor de etilbenceno es Pampa Energía, cuya planta se encuentra en la provincia de Santa Fe. Por otro lado, el principal mercado consumidor de estireno corresponde a poliestireno convencional y de alto impacto es Pampa Energía, ubicada en Buenos Aires, pero en Santa Fe también se encuentran uno de los principales productores de poliestireno expandible STYROPEK S.A. y el único productor de caucho S.B.R. que también es Pampa Energía.

Por lo tanto, para definir la ubicación óptima de la planta de estireno, es fundamental analizar si es más conveniente situarse cerca del proveedor de materia prima, del mercado consumidor o en un punto intermedio.

Estar cerca del proveedor puede reducir costos de insumos y garantizar un suministro constante, mientras que ubicarse próximo al mercado consumidor minimiza costos de distribución y tiempos de entrega. Una ubicación intermedia podría equilibrar ambos aspectos, optimizando la eficiencia general de la cadena de suministro.

### 3.2.2.5 Costo y disponibilidad de terrenos



La selección del terreno para la instalación de la planta de producción de estireno es un aspecto clave en la macrolocalización, ya que influye directamente en la viabilidad económica del proyecto. Es fundamental considerar tanto el costo de adquisición del suelo como su disponibilidad en zonas industriales adecuadas, además de la infraestructura existente y los incentivos fiscales que puedan ofrecer las provincias analizadas.

Uno de los aspectos más importantes es la necesidad de terrenos amplios para albergar las unidades de producción, almacenamiento y distribución, garantizando el cumplimiento de las regulaciones de seguridad y ambientales. Asimismo, se debe evaluar la ubicación del terreno dentro de zonas industriales consolidadas, ya que esto permite aprovechar infraestructura y servicios ya establecidos, evitando costos adicionales en instalaciones complementarias.

### *Costos y Disponibilidad en Santa Fe*

Santa Fe presenta una oferta atractiva de terrenos industriales a costos más accesibles en comparación con Buenos Aires. En zonas estratégicas como Rosario, San Lorenzo y Puerto General San Martín, los precios de los terrenos en áreas industriales oscilan entre 30 y 70 USD/m<sup>2</sup>, por ejemplo un lote de 4.500 m<sup>2</sup> en la Zona Industrial Roldán cuesta US\$160.300 (36\$US/m<sup>2</sup>), lo que representa una ventaja económica significativa.

Además, la provincia cuenta con parques industriales bien desarrollados, donde ya existen servicios como suministro eléctrico, gas natural, acceso a agua industrial y tratamiento de efluentes, lo que reduce la inversión inicial en infraestructura. Otro punto clave es su proximidad con Pampa Energía, único proveedor de etilbenceno en el país, lo que permite disminuir costos logísticos y tiempos de transporte de materia prima.

Santa Fe también ofrece incentivos fiscales para nuevas inversiones industriales, incluyendo exenciones impositivas en ciertas zonas y beneficios en tarifas de servicios. Sin embargo, aunque su cercanía con el proveedor de materia prima es una gran ventaja, la provincia se encuentra más alejada del principal mercado consumidor, lo que podría aumentar los costos de distribución del producto final.

### *Costos y Disponibilidad en Buenos Aires*

En Buenos Aires, los terrenos industriales tienen un costo mayor, con valores que varían entre 60 y 110 USD/m<sup>2</sup>, dependiendo de la ubicación, por ejemplo en el Parque Industrial Campana un terreno de 8550 m<sup>2</sup> vale \$US 813.000 (95 \$US/m<sup>2</sup>). No obstante, la provincia cuenta con una infraestructura industrial altamente desarrollada, con acceso directo a puertos, redes ferroviarias y corredores viales estratégicos, lo que facilita la distribución tanto a nivel nacional como internacional.

Las zonas industriales más adecuadas para la instalación de la planta incluyen Zárate, Campana y Bahía Blanca, donde ya existen industrias petroquímicas y proveedores de insumos complementarios. Esta ubicación ofrece la ventaja de estar más cerca del mercado consumidor.

Si bien Buenos Aires también cuenta con programas de promoción industrial, la carga impositiva suele ser más elevada que en Santa Fe, lo que puede representar un factor a considerar en la



evaluación final. Además, su mayor distancia con Pampa Energía implica costos logísticos adicionales en la adquisición de materia prima.

### 3.2.2.6 Disponibilidad de servicios

Al igual que las políticas económicas facilitan el desarrollo de la industria en la zona, lo mismo sucede con los servicios necesarios para el normal funcionamiento de una empresa. Los Parques Industriales analizados proveen a todas sus compañías de estos beneficios, por lo que no existen diferencias significativas entre las provincias de Buenos Aires y Santa Fe.

### 3.2.3 Matriz de ponderación

La matriz de ponderación es un método de análisis cuantitativo que permite evaluar y comparar distintas opciones en función de una serie de criterios previamente definidos. Su objetivo es asignar valores numéricos a factores relevantes para la toma de decisiones, permitiendo una selección objetiva y fundamentada de la localización.

Factores	Peso	Buenos Aires		Santa Fe	
		Calif	Pond	Calif	Pond
Costos y Transporte de Materia Prima	0,2	6	1,2	8	1,6
Costos y Transporte del Producto	0,2	8	1,6	6	1,2
Costo de Mano de Obra	0,1	7	0,7	7	0,7
Disponibilidad de Materia Prima	0,2	5	1	9	1,8
Mercado Consumidor	0,15	8	1,2	6	0,9
Costos de Terreno	0,1	8	0,8	6	0,6
Costos de Servicios	0,05	7	0,35	7	0,35
TOTAL	1	-	<b>6,85</b>	-	<b>7,15</b>

**Tabla 3.4 Matriz de Ponderación para Macrolocalización**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.5 Conclusión

Tras un análisis detallado de los factores clave para la ubicación de la planta de producción de estireno, se ha determinado que la provincia de Santa Fe es la opción más adecuada. Esta decisión se basó en una matriz de ponderación, donde se evaluaron criterios como costos de materia prima, infraestructura logística, disponibilidad de terrenos, acceso a mercados y costos operativos.

Uno de los factores determinantes en la elección de Santa Fe fue su proximidad a Pampa Energía, el único proveedor nacional de etilbenceno, materia prima fundamental para la producción de estireno. Esta cercanía minimiza los costos logísticos y reduce los riesgos



asociados al transporte de sustancias peligrosas, lo que representa una ventaja significativa frente a otras ubicaciones.

Además, Santa Fe cuenta con zonas industriales bien desarrolladas, con disponibilidad de terrenos a precios competitivos en comparación con otras provincias. La infraestructura existente, incluyendo redes viales, ferroviarias y portuarias en Rosario y San Lorenzo, facilita tanto el abastecimiento de insumos como la distribución del producto final, permitiendo el acceso eficiente a los mercados nacionales e internacionales.

Si bien Buenos Aires presentaba ventajas en términos de cercanía al mercado consumidor, su mayor distancia al proveedor de materia prima y el alto costo de terrenos hicieron que su puntuación en la evaluación fuera menor. En contraste, Santa Fe ofrece un equilibrio entre costos logísticos, disponibilidad de servicios y conectividad, lo que la convierte en la mejor opción para la instalación de la planta.

En conclusión, la selección de Santa Fe optimiza la eficiencia operativa y la rentabilidad del proyecto, garantizando un suministro confiable de materia prima, costos logísticos reducidos y acceso a infraestructura industrial consolidada.

### 3.3 MICROLOCALIZACIÓN

La determinación de la microlocalización del proyecto se realiza mediante el Método de Factores Ponderados, al igual que en la etapa de macrolocalización. Dado que el análisis macro identificó a la provincia de Santa Fe como el emplazamiento óptimo, en esta etapa se procede a evaluar y ponderar los distintos Parques Industriales dentro de la provincia. Este análisis permitirá seleccionar la ubicación específica más adecuada para la instalación de la planta.

Se analizarán 3 parques industriales de Santa Fe y se seleccionará el mejor de acuerdo a una matriz de ponderación. Los parques son:

- Parque industrial San Lorenzo
- Parque industrial Sauce Viejo
- Parque Industrial Alvear

#### 3.3.1 Factores globales de análisis

Para la microlocalización de la planta dentro de la provincia de Santa Fe, los factores globales analizados son:

##### *Disponibilidad de Servicios*

- Disponibilidad y capacidad de suministro de energía eléctrica.
- Acceso a gas natural y otros insumos energéticos.



- Disponibilidad de agua industrial y sistema de tratamiento de efluentes.
- Conectividad con redes de telecomunicaciones.

#### *Disponibilidad de Materias Primas e Insumos*

- Proximidad al proveedor de etilbenceno y otros insumos clave.
- Costos y tiempos de transporte de materias primas.

#### *Costo y disponibilidad de Terrenos*

- Costos de adquisición de terrenos o alquiler dentro de Parques Industriales.
- Disponibilidad de parcelas con dimensiones adecuadas.
- Restricciones ambientales o normativas de uso de suelo.
- Posibilidades de expansión futura del predio.

#### *Disponibilidad del transporte*

- Conectividad con rutas nacionales y provinciales.
- Acceso a puertos fluviales (Rosario, San Lorenzo, Villa Constitución).
- Proximidad a vías férreas y terminales de carga.
- Infraestructura vial dentro del parque industrial.
- Condiciones de acceso para camiones de carga pesada.

#### *Costo de Transporte*

- Tarifas de transporte de materias primas y productos terminados.
- Costos logísticos asociados a diferentes medios (camión, tren, barco).
- Distancia a clientes principales y centros de distribución.
- Eficiencia en la cadena de suministro y costos operativos asociados.

#### *Factores Regulatorios y Económicos*

- Incentivos fiscales y beneficios provinciales o municipales.
- Costos laborales y disponibilidad de mano de obra calificada.
- Normativas ambientales y facilidad para obtener permisos industriales.

### **3.3.1.1 Disponibilidad de Servicios**

Dado que la instalación se encuentra dentro de un parque industrial, las condiciones generales de infraestructura y zonificación son homogéneas entre las distintas opciones de microlocalización dentro del mismo. No obstante, existen variaciones en la disponibilidad y capacidad de servicios esenciales, como el suministro de gas y energía eléctrica. Estos factores han sido evaluados durante el análisis de localización, asegurando que la selección final garantice el acceso adecuado a los recursos necesarios para la operación de la planta, minimizando restricciones técnicas y optimizando la eficiencia operativa.

### 3.3.1.2 Disponibilidad de Materias Primas e Insumos

La proximidad a la materia prima es un factor clave en la selección del sitio para la planta de producción de estireno, ya que influye directamente en los costos operativos, la eficiencia logística y la seguridad en el abastecimiento. El etilbenceno, principal insumo para la producción de estireno, debe ser adquirido a proveedores estratégicos, minimizando los costos de transporte y reduciendo riesgos asociados a la interrupción en la cadena de suministro.

A continuación, se ubican geográficamente los Parques Industriales detallados anteriormente y se define la cercanía a nuestro proveedor.

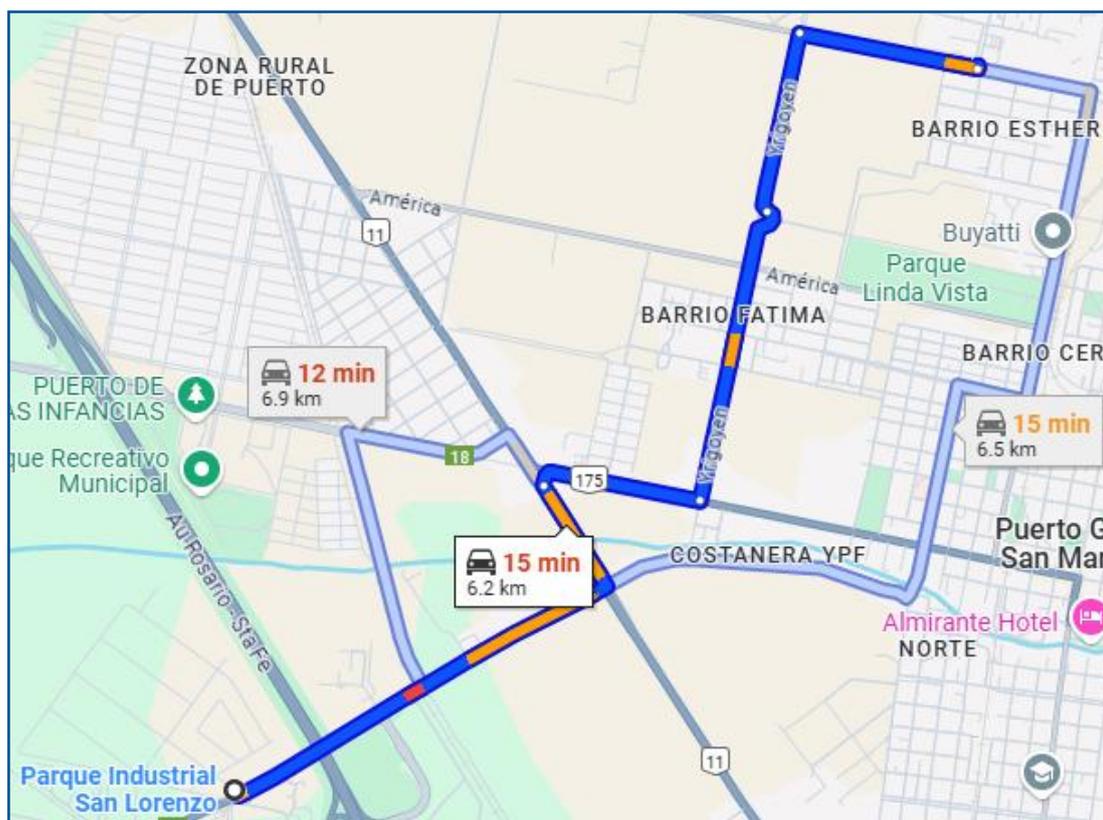


Figura 3.1 - Parque Industrial San Lorenzo hasta Pampa Energía en Puerto Gral. San Martín: 6,2 km

Fuente: Google Maps

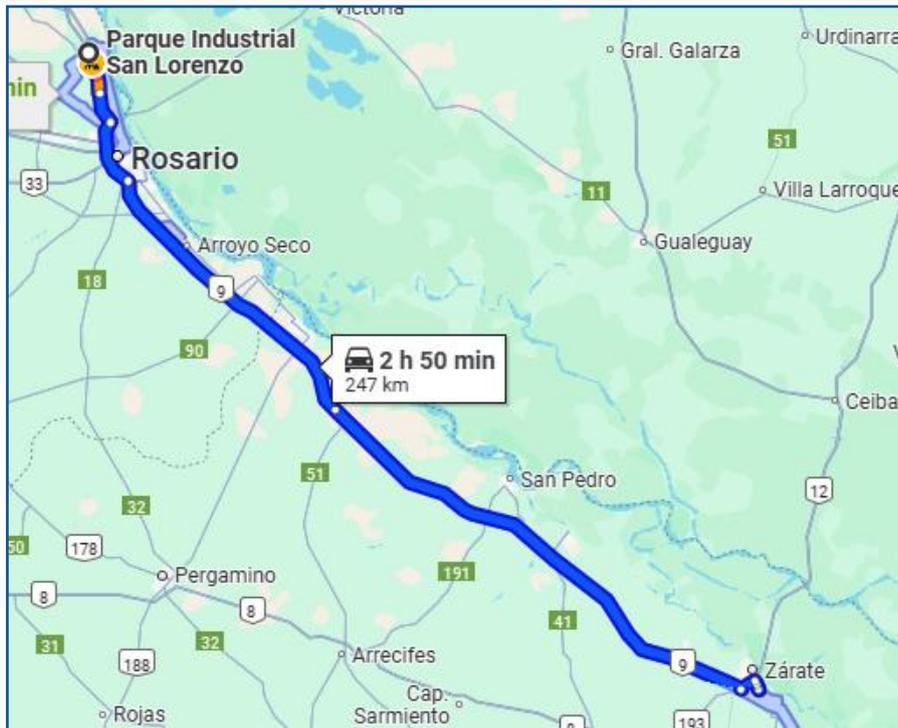


Figura 3.2 - Parque Industrial San Lorenzo hasta Pampa Energía en Zárate, Buenos Aires:  
**247 km**  
Fuente: Google Maps



Figura 3.3 - Parque Industrial Alvear hasta Pampa Energía en Puerto Gral. San Martín:  
**54,5 km**  
Fuente: Google Maps



Figura 3.4 - Parque Industrial Alvear hasta Pampa Energía en Zárate, Buenos Aires: **209 km**

Fuente: Google Maps

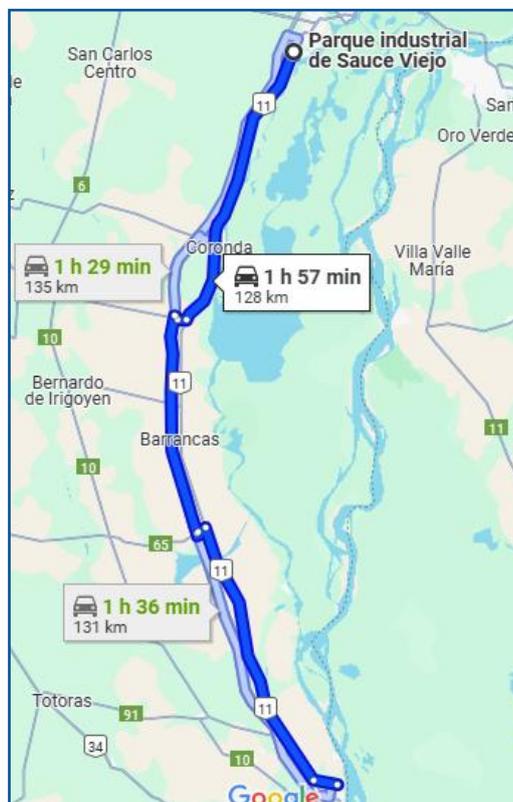


Figura 3.5 - Parque Industrial Sauce Viejo hasta Pampa Energía en Zárate, Buenos Aires: **128 km**

Fuente: Google Maps

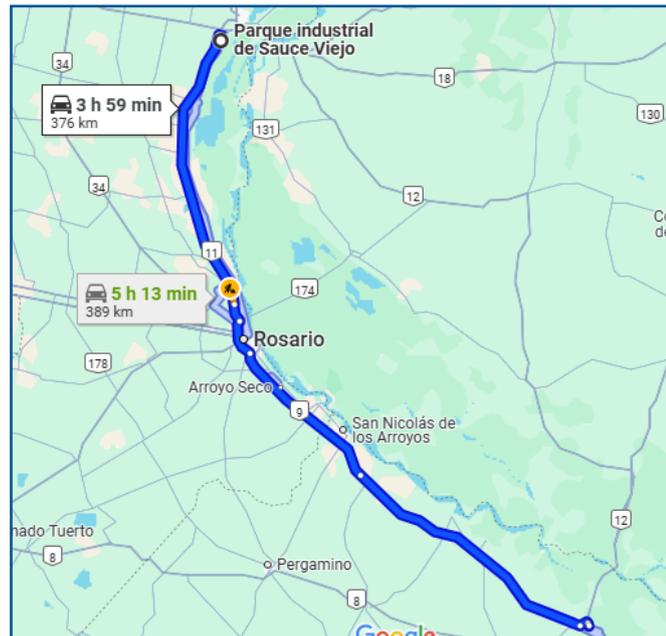


Figura 3.6 - Parque Industrial Sauce Viejo hasta Pampa Energía en Puerto Gral. San Martín: 376 km  
Fuente: Google Maps

#### 3.3.1.4 Costos y disponibilidad de Terrenos

**Parque industrial San Lorenzo:** Terreno de 2.000 m<sup>2</sup> situado en la calle principal de acceso del sector logístico, con posesión y escritura inmediata tiene un precio de venta de USD 150.000

**Parque industrial Alvear:** Terreno de 2.000 m<sup>2</sup> se encuentra en una ubicación estratégica dentro del parque y cuenta con fácil acceso, el precio de venta es de USD 170.000 (85 USD/m<sup>2</sup>).

**Parque industrial Sauce Viejo:** Terreno de 9.000 m<sup>2</sup> está sobre calle asfaltada completamente desde la entrada hasta el lote, tiene Todos los servicios y el precio es de USD 465.000 (52 USD/m<sup>2</sup>).

Al ver los distintos precios de los terrenos podemos concluir en que cuanto más cerca de Rosario, más caro tiende a ser el metro cuadrado de terreno, debido a la mayor demanda, mejor infraestructura, acceso a rutas clave y cercanía a centros de consumo y exportación.

#### 3.3.1.5 Costos y disponibilidad de Transporte

Para garantizar una logística eficiente, la planta debe contar con accesos adecuados que permitan el tránsito fluido de camiones para el ingreso de materias primas y la salida de productos terminados, minimizando costos operativos asociados al transporte.



Los parques industriales analizados disponen de accesos asfaltados que facilitan la conectividad con rutas principales y centros de distribución.

El transporte es un factor determinante en la localización de la planta, ya que impacta directamente en los costos logísticos y en la eficiencia de la cadena de suministro. En este sentido, se analizan dos aspectos clave: la disponibilidad de medios de transporte y los costos asociados al traslado de la materia prima y productos terminados.

### ***Disponibilidad de Transporte:***

Los tres parques industriales seleccionados San Lorenzo, Sauce Viejo y Alvear presentan ventajas logísticas debido a su ubicación estratégica dentro de la provincia de Santa Fe. A continuación, se detallan los principales medios de transporte disponibles en cada parque:

- Transporte Terrestre:

Todos los parques cuentan con acceso a rutas nacionales y provinciales que facilitan el traslado de insumos y productos terminados. San Lorenzo y Alvear están ubicados cerca de la Autopista Rosario-Santa Fe (RN 11 y RN 9), permitiendo una conexión rápida con Buenos Aires. Sauce Viejo está próximo a la RN 19, que conecta con Córdoba y el centro del país.

- Transporte Ferroviario:

San Lorenzo y Alvear cuentan con acceso a la red ferroviaria del Belgrano Cargas, lo que permite un transporte más económico a largo plazo. Sauce Viejo tiene infraestructura ferroviaria cercana, pero no está integrada al parque.

- Transporte Fluvial:

San Lorenzo tiene la ventaja de contar con proximidad al puerto de San Lorenzo, clave para la exportación de productos petroquímicos. Alvear se encuentra relativamente cerca del Puerto de Rosario, con acceso a la Hidrovía Paraná-Paraguay. Sauce Viejo no posee acceso directo a puertos, lo que puede ser una desventaja en términos logísticos.

### ***Costos de Transporte:***

El costo del transporte está influenciado por la distancia al proveedor de materia prima y a los clientes, así como por el tipo de medio utilizado.

- Transporte de Materia Prima:

San Lorenzo sería la mejor opción para minimizar costos, ya que se encuentra más cerca del proveedor (Pampa Energía). En segundo lugar estaría Alvear y por último Sauce Viejo.



- Transporte del Producto Final (Estireno):

Si se transporta en cisternas de acero inoxidable ó en tren para su distribución a clientes, no habría una gran diferencia entre las 3 opciones con respecto a los costos de transporte pero San Lorenzo y Alvear están ubicados cerca de la Autopista Rosario-Santa Fe (RN 11 y RN 9), permitiendo una conexión rápida con Buenos Aires. Para exportación, los parques con acceso fluvial (San Lorenzo y Alvear) ofrecen ventajas en costos y tiempos de envío.

### 3.3.1.5 Factores Regulatorios y Económicos

La elección del parque industrial para la instalación de la planta de producción de estireno debe considerar el marco regulatorio vigente y las condiciones económicas de cada ubicación. Estos factores influyen en la viabilidad del proyecto, asegurando el cumplimiento normativo y optimizando los costos asociados a la operación.

#### **Factores Regulatorios:**

Los parques industriales en Santa Fe están sujetos a normativas ambientales, de seguridad industrial y de promoción de inversiones que pueden afectar la instalación y operación de la planta.

- **Normativa Ambiental**

La producción de estireno involucra procesos químicos con emisiones y residuos industriales que deben cumplir con la Ley Provincial N° 11.717 de Medio Ambiente y la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos. Los parques industriales San Lorenzo y Alvear tienen regulaciones estrictas debido a su proximidad a zonas urbanas y al puerto, lo que puede requerir mayores inversiones en mitigación ambiental. Sauce Viejo, al estar más alejado de áreas densamente pobladas, puede ofrecer mayor flexibilidad en términos de restricciones ambientales.

- **Normativa de Seguridad y Zonificación**

Todos los parques industriales están habilitados para la radicación de industrias químicas, cumpliendo con normativas de zonificación específicas. La Ley de Parques Industriales en Santa Fe (Ley N° 13.680) establece que los parques deben contar con infraestructura de seguridad, sistemas de prevención de incendios y planes de contingencia, aspectos que impactan en la inversión inicial.

- **Incentivos y Beneficios Fiscales**

Santa Fe promueve la radicación de industrias a través de la Ley de Promoción Industrial N° 8.936, que otorga exenciones fiscales y financiamiento preferencial. San Lorenzo y Alvear, al estar en zonas estratégicas de producción y exportación, pueden acceder a incentivos adicionales en programas nacionales y provinciales.

#### **Factores Económicos**

Los costos de operación en cada parque industrial están influenciados por la disponibilidad de financiamiento, costos laborales y acceso a servicios básicos como electricidad, gas y agua.

- **Costo de Servicios Públicos**

*Electricidad:* La tarifa eléctrica en Santa Fe es regulada por la Empresa Provincial de la Energía (EPE), con costos competitivos para industrias.

*Gas Natural:* Los parques industriales cuentan con conexión a la red de gas natural, pero San Lorenzo se beneficia por su cercanía a los principales gasoductos.

*Agua y Tratamiento de Efluentes:* Sauce Viejo tiene acceso a aguas subterráneas con costos relativamente bajos, mientras que Alvear y San Lorenzo dependen del sistema de aguas superficiales del río Paraná.

- **Costos Laborales y Disponibilidad de Mano de Obra**

La provincia de Santa Fe cuenta con mano de obra calificada en el sector petroquímico, con costos laborales competitivos respecto a otras regiones del país.

San Lorenzo y Alvear, al estar más cerca de Rosario, ofrecen una mayor disponibilidad de técnicos y profesionales. Sauce Viejo puede representar una opción con costos laborales más bajos debido a su menor densidad industrial.

### 3.3.2 Matriz de Ponderación

Factores	Peso	Alvear		San Lorenzo		Sauce Viejo	
		Calif	Pond	Calif	Pond	Calif	Pond
Costos de Transporte de Materia Prima	0,25	7	1,75	9	2,25	6	1,5
Costos de Transporte del Producto	0,25	7	1,75	6	1,5	5	1,25
Disponibilidad de servicios	0,15	8	1,2	8	1,2	8	1,2
Acceso de Transporte	0,15	9	1,35	9	1,35	7	1,05
Costos y disponibilidad de Terreno	0,15	8	1,2	7	1,05	9	1,35
Factores regulatorios y económicos	0,05	8	0,4	8,5	0,425	9,5	0,475
TOTAL	1	-	<b>7,65</b>	-	<b>7,775</b>	-	<b>6,825</b>

**Tabla 3.5 - Matriz de Ponderación para Microlocalización**  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Localización elegida

A partir del análisis de localización realizado y considerando los factores clave mediante una matriz de ponderación, se determinó que la ubicación más conveniente para la instalación de la planta de producción de estireno es el Parque Industrial San Lorenzo.

Este resultado se fundamenta en la evaluación de distintos criterios, incluyendo disponibilidad de servicios, accesibilidad, costos de terreno y logística de transporte, tanto para la materia prima (etilbenceno) como para el producto final (estireno).

Si bien esta ubicación implica estar a mayor distancia del principal mercado consumidor de estireno (Pampa Energía en Zárate, donde se produce poliestireno), se priorizó la cercanía al único proveedor de materia prima, Pampa Energía en Santa Fe, debido a que:

- El transporte de etilbenceno en grandes volúmenes representa un costo logístico significativo, que se minimiza al estar cerca de su fuente de producción.
- El transporte de estireno, aunque más costoso y delicado, puede optimizarse utilizando la infraestructura ferroviaria y portuaria disponible en San Lorenzo, facilitando su distribución tanto a nivel nacional como internacional.
- La cercanía a la materia prima reduce riesgos operativos, asegurando un suministro constante y estable.

Por lo tanto, la ubicación en el Parque Industrial San Lorenzo representa la mejor opción desde el punto de vista económico, logístico y operativo, garantizando eficiencia en costos y una operación sostenible a largo plazo.

#### 3.3.3.1 Datos de la Localización

- Teléfono: +54 0341 4241814
- e-mail: [info@pisanlorenzo.com](mailto:info@pisanlorenzo.com)
- Web: <https://pisanlorenzo.com/>
- Ubicación: Ruta Prov. N° 25 y Autopista Rosario Santa Fe, (Acc. Norte de San Lorenzo)



Figura 3.7 - Distancia del Parque Industrial San Lorenzo a puntos de interés

Fuente: <https://pisanlorenzo.com/>

- Superficie en Has.: 150



Figura 3.8 - Mapa del Parque Industrial San Lorenzo  
Fuente: <https://pisanlorenzo.com/>

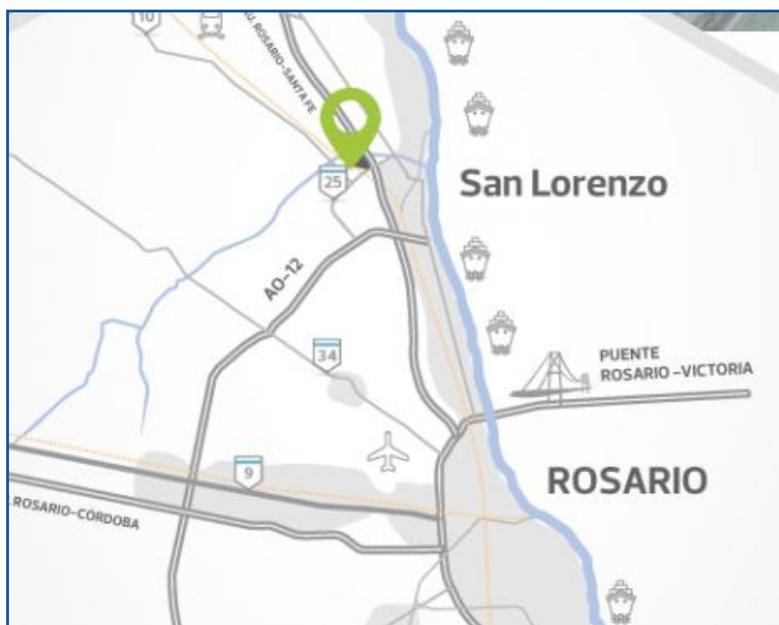


Figura 3.9 - Mapa de la ubicación del Parque Industrial San Lorenzo  
Fuente: <https://pisanlorenzo.com/>



## CAPÍTULO IV

### TAMAÑO

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se buscará definir una capacidad productiva que se acerque a la óptima para el proyecto.

La determinación del tamaño de la planta requiere un análisis integral de múltiples variables interrelacionadas, tales como la demanda, la disponibilidad de insumos, la competencia, la localización, la tecnología, la capacidad de gestión, los recursos humanos y el plan estratégico comercial, entre otros factores.

Dado que estas variables están interconectadas y ninguna puede evaluarse de manera completamente aislada, no es posible establecer un orden de análisis estricto. Por ello, se realizará una estimación preliminar del tamaño de la planta, considerando únicamente algunas de las variables mencionadas, debido a la falta de recursos para analizar y caracterizar todas en detalle.

#### 4.2 ANÁLISIS DE FACTORES QUE AFECTAN AL TAMAÑO

##### 4.2.1 Competencia

En Argentina, el único productor de estireno es Pampa Energía, cuya planta está ubicada en Puerto General San Martín, Santa Fe. La producción se lleva a cabo mediante el proceso de deshidrogenación catalítica del etilbenceno.

La planta posee una capacidad instalada de 160.000 toneladas anuales, aunque actualmente según datos del Anuario IPA 2024 opera con una producción efectiva de aproximadamente 90.000 toneladas anuales, lo que indica un nivel de utilización inferior a su capacidad máxima.

En América Latina, además de Pampa Energía en Argentina, se destacan las siguientes empresas productoras de estireno:



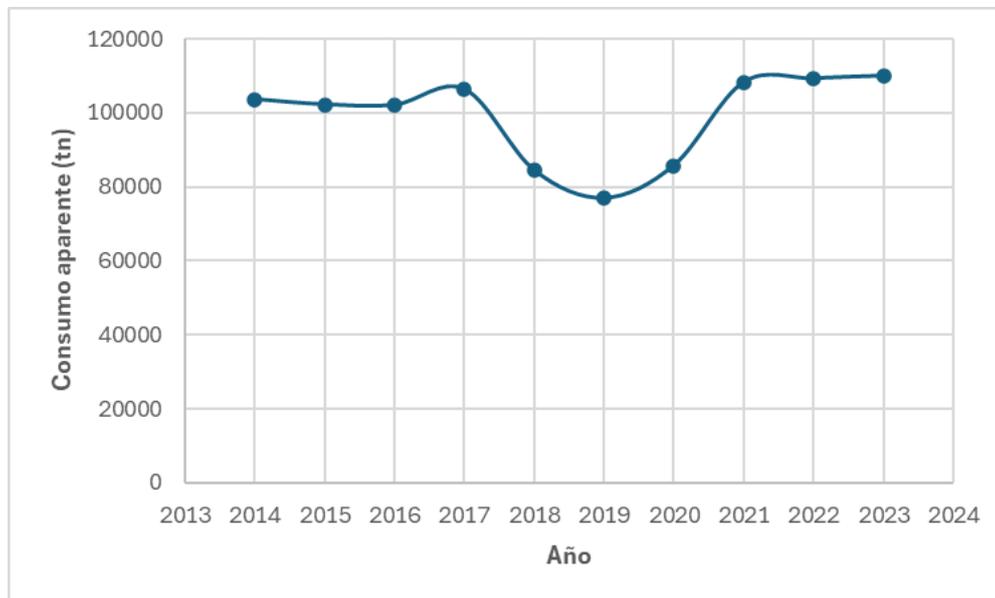
- **Innova:** Con sede en Triunfo, Brasil, Innova produce estireno, poliestireno y etilbenceno, materias primas esenciales para diversas industrias.
- **Arinos Química:** Ubicada en Osasco, São Paulo, Brasil, Arinos Química es proveedora de monómero de estireno.

Es importante mencionar que, a nivel global, empresas como Chevron, Phillips Chemical Company, INEOS Group, Royal Dutch Shell plc., LyondellBasell Industries Holdings B.V. y BASF SE son actores clave en el mercado del estireno.

#### 4.2.2 Demanda proyectada en el mercado local

La demanda del estireno en Argentina está impulsada principalmente por sectores industriales como la fabricación de plásticos y caucho sintético. En particular, el poliestireno expandido (EPS) y el poliestireno convencional y de alto impacto representan una parte significativa del consumo, con aplicaciones en la industria del embalaje y la construcción.

Según los datos obtenidos del Anuario IPA 2024, la demanda interna de estireno ha mostrado una tendencia fluctuante en los últimos años, influenciada por factores como la actividad económica nacional, el crecimiento del sector de la construcción y la sustitución de importaciones.



**Gráfico 4.1 - Consumo aparente de Estireno**  
Fuente: Elaboración propia en base a Anuario IPA 2024

A pesar de las variaciones en el consumo, se espera un crecimiento moderado debido a la recuperación de la actividad industrial post-pandemia y el aumento en la producción de polímeros derivados del estireno. En el año 2023, el consumo aparente de estireno en Argentina fue de



109.998 toneladas. Para el año 2025, se proyecta un incremento en la demanda, estimando un consumo de 115.000 toneladas. Esta proyección tiene en cuenta diversos factores, como el crecimiento de las industrias que utilizan estireno, la producción de poliestireno expandido, poliestireno convencional y de alto impacto, y otras aplicaciones plásticas, que continúan siendo fundamentales para diversos sectores.

En función de este análisis, se estima que la demanda local de estireno se mantendrá estable, con un crecimiento potencial impulsado por la reactivación económica y la necesidad de abastecer a la industria petroquímica nacional. Esto posiciona la producción de estireno como una oportunidad estratégica para reducir la dependencia de importaciones y fortalecer el desarrollo industrial en Argentina.

#### **4.2.3 Capacidad de la planta para satisfacer la demanda sin generar sobreproducción**

La capacidad de producción de la planta debe diseñarse para satisfacer la demanda proyectada de estireno en el mercado local sin incurrir en una sobreproducción significativa que genere problemas de almacenamiento o ventas forzadas a precios no competitivos.

##### *Factores a considerar en la determinación de la capacidad de la planta*

*Nivel de participación de la nueva planta en el mercado:* Se debe definir qué porcentaje de la demanda local se pretende cubrir con la producción de la nueva planta y qué parte seguirá siendo abastecida por importaciones o por la producción existente.

*Flexibilidad de producción:* Se debe analizar si la tecnología adoptada permite ajustar la producción en función de la demanda sin afectar significativamente los costos operativos.

*Mercado de exportación:* En caso de que la capacidad instalada supere la demanda local, la posibilidad de exportación podría ayudar a absorber el excedente de producción.

##### *Alternativas para evitar sobreproducción*

*Producción modulada:* Diseñar la planta con flexibilidad para operar en distintos niveles de producción según las condiciones del mercado.

*Alianzas estratégicas:* Establecer acuerdos con empresas consumidoras de estireno para garantizar una demanda estable.

*Expansión progresiva:* Construir la planta en fases, comenzando con una capacidad inicial más baja y ampliándola en función del crecimiento del mercado.

La capacidad de la planta debe diseñarse de manera estratégica para abastecer el mercado sin generar excedentes difíciles de colocar. Una opción viable sería una planta con una capacidad de producción inicial alineada con la demanda proyectada, con la posibilidad de expansión futura si el mercado lo requiere.



#### 4.2.4 Recursos Humanos

Una vez definido el tamaño del proyecto, es fundamental garantizar la disponibilidad del personal técnico necesario para cada puesto dentro de la empresa, tanto en cantidad como en nivel de especialización. La elección de la ubicación, realizada en conjunto con la determinación del tamaño de la planta, asegura el acceso a una oferta laboral calificada. Dado que la instalación se ubicará en un parque industrial cercano a centros de capacitación y formación profesional, se prevé que la disponibilidad de capital humano capacitado no representará una limitación significativa para la operación de la planta.

#### 4.2.5 Capacidad de financiamiento

##### 4.2.5.1 Opciones de financiamiento y su impacto en la capacidad de inversión.

Al momento de llevar a cabo la inversión necesaria, hay que tener en cuenta los recursos financieros disponibles. Lo óptimo sería escoger aquel tamaño que pueda financiarse con mayor comodidad y seguridad, y que a la vez ofrezca los menores costos y un alto rendimiento de capital. Los medios por los cuales se puede obtener la capacidad financiera requerida son:

*Inversores privados:* Pueden aportar capital sin generar deuda, pero podrían exigir participación en la toma de decisiones.

*Créditos bancarios:* Permiten mantener el control total de la empresa, pero generan costos financieros y obligaciones de pago.

*Subsidios y programas estatales:* Pueden reducir el costo del capital inicial, pero suelen tener requisitos y plazos específicos.

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

#### 4.3 RITMO DE TRABAJO

##### 4.3.1 Definición de la jornada operativa

Se establece una jornada operativa continua de 24 horas diarias con un sistema de turnos rotativos, permitiendo una disponibilidad teórica de 365 días al año. No obstante, para garantizar la confiabilidad y eficiencia del proceso, se contemplan paradas programadas para mantenimiento, reduciendo el tiempo efectivo de operación a un rango de 330 a 350 días anuales.



Para el presente análisis, se considera un régimen operativo de 340 días al año, lo que equivale a una disponibilidad efectiva de:

Si se opera 340 días al año → 8.160 horas/año

Dado un volumen de producción planificado de 40.000 toneladas anuales, la capacidad de producción horaria promedio se calcula como:

$$\frac{40.000 \text{ T/anuales}}{8.160 \text{ h/anuales}} = 5 \frac{\text{T}}{\text{h}}$$

Este valor representa la tasa media de producción bajo las condiciones operativas establecidas, considerando las paradas programadas y la capacidad efectiva de la planta.

#### 4.3.2 Factores que pueden influir en el ritmo de producción

Varios elementos pueden afectar la capacidad efectiva de la planta:

##### Mantenimiento y Paradas Técnicas:

- Mantenimiento preventivo: Inspección programada de equipos para evitar fallas.
- Paradas de emergencia: Fallas inesperadas en reactores, calderas o sistemas auxiliares.
- Limpieza y regeneración de catalizadores: Puede ser necesario en ciertos procesos.

##### Disponibilidad de Materia Prima:

- Suministro de etilbenceno estable y a buen precio.
- Logística de importación o producción local.

##### Condiciones de Mercado:

- La demanda fluctuante puede llevar a operar por debajo de la capacidad nominal.
- Precio del estireno y competencia en el mercado.

##### Factores Energéticos:

- Cortes de electricidad o gas pueden afectar la producción.
- Las tarifas de energía pueden influir en decisiones de carga y descarga de producción.

##### Eficiencia Operativa:

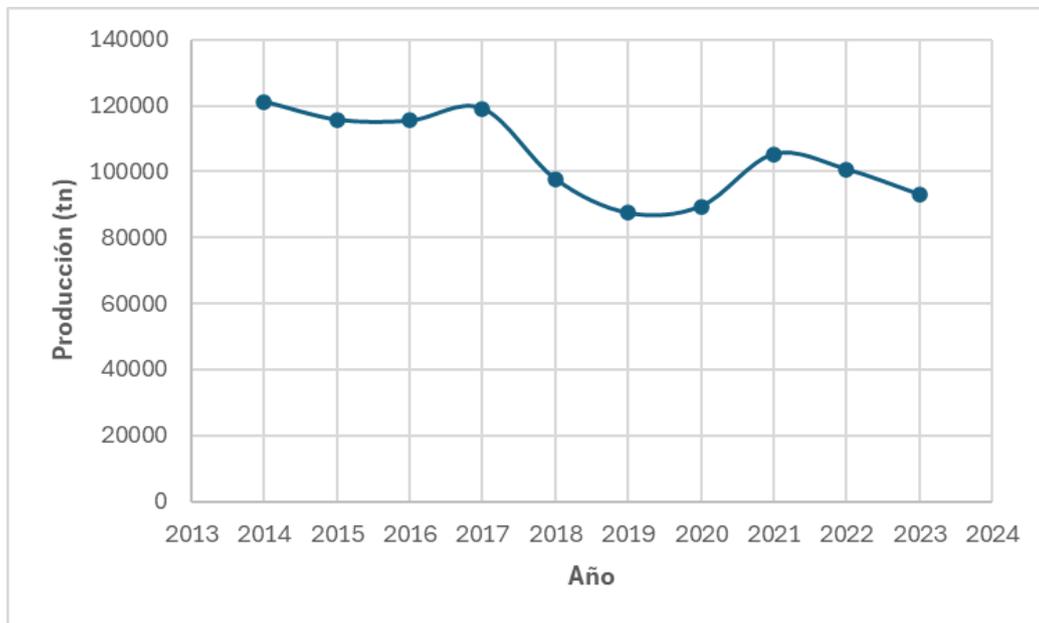
- Optimización de parámetros de reacción.



### **Análisis de la demanda y producción actual de Estireno**

- Demanda proyectada para 2025: 115.000 toneladas.
- Producción actual de Pampa Energía (único productor local): 93.134 toneladas.
- Capacidad instalada de Pampa Energía: 160.000 toneladas
- Importaciones recientes: 19.810 toneladas.

La demanda actual no está completamente satisfecha con la producción nacional, lo que genera la necesidad de importaciones, además la producción de Pampa Energía ha venido decreciendo levemente en los últimos años:



**Gráfico 4.2 - Producción de estireno de Pampa Energía**  
**Fuente: Elaboración Propia en base a Anuario IPA 2024**

Esto genera oportunidades para la planta, ya que puede abastecer la demanda insatisfecha y reducir la dependencia del mercado externo.

### **Capacidad recomendada para la nueva planta**

Dado que ya existe una capacidad instalada en el país, la nueva planta debe diseñarse para cubrir la demanda insatisfecha sin generar una sobreproducción excesiva. Se pueden considerar dos enfoques:

#### **Enfoque conservador:**



Diseñar la planta con una capacidad inicial de 15.000 - 25.000 t/año, junto con la posibilidad de expansión futura si la demanda crece. Esto permitiría cubrir la demanda insatisfecha sin generar sobreoferta.

#### *Enfoque agresivo:*

Construir una planta de 35.000 - 45.000 t/año, buscando desplazar las importaciones y competir con la producción de Pampa Energía. Este enfoque requiere una evaluación de la viabilidad económica y comercial.

#### **Estrategia tomada**

La estrategia va a consistir en una capacidad inicial de 40.000 t/año, con la posibilidad de expandir hasta las 45.000 toneladas anuales en función del crecimiento del mercado. Este tamaño permitirá:

- Cubrir la demanda insatisfecha actual.
- Reducir la dependencia de importaciones.
- Ingresar al mercado internacional tras la exportación del producto e importación de la materia prima.
- Evitar una excesiva sobreproducción que genere problemas de comercialización.
- Diseñar la planta con escalabilidad para futuras ampliaciones.

#### **Demanda de Materia prima**

Para determinar la cantidad de etilbenceno necesaria para producir 40.000 toneladas anuales de estireno, nos basaremos en el rendimiento típico del proceso de deshidrogenación de etilbenceno a estireno el cual se encuentra exployado en el capítulo siguiente. La cantidad necesaria de materia prima para producir 40.000 t/año de estireno sería de 74.485 t/año de etilbenceno.

#### **4.4.2 Producción Objetivo:**

La producción de estireno se ha establecido en 40.000 toneladas anuales, con el objetivo de satisfacer la demanda interna del país y garantizar un volumen destinado a la exportación. Este valor ha sido determinado en función del análisis del mercado nacional e internacional, considerando la capacidad instalada de la planta y la disponibilidad de materia prima.



Dado el régimen operativo de 340 días al año, la producción estimada en diferentes períodos es la siguiente:

- **Producción anual:** 40.000 toneladas
- **Producción mensual promedio:**  $\approx 3.333$  toneladas
- **Producción diaria promedio:**  $\approx 117$  toneladas

#### 4.5 CONCLUSIÓN

La planta contará con una capacidad operativa de 40.000 toneladas anuales de estireno, lo que permitirá garantizar un equilibrio óptimo entre producción y demanda, permitiendo el abastecimiento del consumo interno, contribuyendo así a la reducción de importaciones y al fortalecimiento del mercado nacional e internacional.

Se prevé que la planta tenga la capacidad de expandirse en el futuro para atender posibles incrementos en la demanda. Por ello, se ha considerado una capacidad máxima de 45.000 toneladas anuales de estireno, decisión que ha sido influenciada por el límite de materia prima nacional y la posibilidad de importar materia prima. Esto permitirá absorber eventuales aumentos en el consumo interno y en la demanda de exportación, garantizando flexibilidad operativa y competitividad en el mercado.

Además, la cantidad de materia prima demandada para la producción de estireno establecida es de 74.485 toneladas anuales de etilbenceno. Considerando la futura ampliación de la planta, la cantidad necesaria de materia prima para cubrirla va a ser de 83.795 toneladas anuales de etilbenceno, y teniendo en cuenta que el límite nacional de materia prima es de 80.000 toneladas anuales de etilbenceno, se deberá importar el faltante de 3.795 toneladas anuales de materia prima para conseguir completar la futura ampliación.

Para finalizar, la planta operará bajo un régimen de trabajo continuo de 24 horas con horarios rotativos, teniendo un régimen operativo de 340 días al año.



## CAPÍTULO V

### TECNOLOGÍA

#### 5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrolla el estudio tecnológico de la planta, abarcando tanto la ingeniería básica como la ingeniería de detalle.

La ingeniería básica comprende una descripción del proceso seleccionado en la producción de estireno, estableciendo los principios fundamentales de operación, las etapas clave y los principales requerimientos técnicos.

Por otro lado, la ingeniería de detalle profundiza en el diseño específico de los equipos y sistemas de la planta, incluyendo los cálculos necesarios para su dimensionamiento y selección, garantizando así un diseño eficiente y seguro.

#### 5.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Existen varios procesos industriales para la fabricación de estireno. Todos ellos suelen emplear como materia prima etilbenceno procedente de la alquilación de benceno con etileno. Los más empleados son:

- a) El 89% del estireno se obtiene mediante la deshidrogenación del etilbenceno.
- b) El 11%, mediante la oxidación de etilbenceno a etilbenceno hidroperóxido. En este método también se obtiene óxido de propileno.

##### 5.2.1 Deshidrogenación Catalítica del Etilbenceno

Este es el método más utilizado a nivel industrial, representando aproximadamente el 90% de la producción mundial de estireno. Consiste en una reacción endotérmica y reversible donde el etilbenceno se convierte en estireno, utilizando catalizadores basados en óxidos de hierro. La reacción se lleva a cabo a temperaturas superiores a 600 °C y el proceso requiere gran cantidad de vapor de agua.



#### Ventajas:

- Alta selectividad hacia el estireno (88–94%).
- Proceso consolidado con amplia experiencia industrial.
- Catalizador de bajo costo y fácilmente disponibles.

#### Desventajas:

- Alto consumo energético debido a la naturaleza endotérmica de la reacción.
- Requiere grandes cantidades de vapor de agua, aumentando los costos operativos.
- Formación de subproductos como tolueno y benceno, y deposición de coque que desactiva el catalizador.
- Necesidad de sistemas de purificación debido a la cercanía de los puntos de ebullición del estireno y el etilbenceno.

### 5.2.2 Oxidación de Etilbenceno

Este proceso, también conocido como POSM (Propylene Oxide Styrene Monomer), implica la oxidación del etilbenceno para formar hidroperóxido de etilbenceno, que luego se utiliza para epoxidar propileno, produciendo óxido de propileno y 1-feniletanol. El 1-feniletanol se deshidrata posteriormente para obtener estireno. Este método opera a temperaturas más bajas (130–150 °C) y presiones moderadas (1–4 bar).

#### Ventajas:

- Permite la producción conjunta de estireno y óxido de propileno, mejorando la eficiencia económica.
- Opera a temperaturas y presiones más bajas, reduciendo el consumo energético.
- Menor formación de subproductos indeseados y menor riesgo de formación de coque.

#### Desventajas:

- Proceso más complejo con múltiples etapas y necesidad de manejo de peróxidos, que son compuestos potencialmente peligrosos.
- Requiere una integración eficiente de las unidades de producción para maximizar la rentabilidad.
- Dependencia del mercado del óxido de propileno para asegurar la viabilidad económica del proceso.

### 5.2.3 Proceso seleccionado

Luego de analizar los distintos métodos disponibles para la producción de estireno, se ha seleccionado el proceso de deshidrogenación catalítica de etilbenceno como la alternativa más adecuada para este proyecto. Esta decisión se fundamenta en varias razones técnicas y económicas.



En primer lugar, se trata del proceso más utilizado a nivel industrial, lo cual garantiza un alto grado de conocimiento técnico, disponibilidad de datos operativos y una sólida base de experiencias previas que reducen la incertidumbre del diseño y la operación. Además, el proceso presenta una alta selectividad hacia el estireno (superior al 90%) y utiliza un catalizador económico y duradero, lo que contribuye a una producción eficiente y rentable.

Si bien es cierto que la deshidrogenación es un proceso altamente endotérmico, que requiere altas temperaturas y grandes cantidades de vapor de agua, estas demandas energéticas se equilibran con su simplicidad relativa en comparación con procesos más complejos como el POSM. Asimismo, los subproductos generados (como hidrógeno y pequeñas cantidades de tolueno y benceno) pueden ser gestionados mediante sistemas de recuperación y purificación bien establecidos.

En resumen, la elección de este proceso se basa en su madurez tecnológica, viabilidad operativa, buen rendimiento selectivo y escalabilidad industrial, lo cual lo convierte en una opción sólida y confiable para el diseño de una planta de producción de estireno.

## 5.3 INGENIERÍA BÁSICA

### 5.3.1 Descripción del proceso

El proceso se compone de cuatro etapas:

- a) Pre calentamiento del etilbenceno, mezclado y vaporización
- b) Deshidrogenación
- c) Enfriamiento
- d) Separación/Purificación

A continuación, se detalla cada una de estas etapas

#### Pre calentamiento del etilbenceno, mezclado y vaporización

El proceso de producción de estireno se inicia con el pre calentamiento del etilbenceno, que ingresa al sistema en fase líquida a temperatura ambiente (25 °C) y es elevado hasta aproximadamente 136 °C mediante un intercambiador de calor de casco y tubos

Posteriormente, la corriente pre calentada se mezcla con un flujo de reciclaje, el cual está compuesto principalmente por etilbenceno y agua, con trazas de estireno y tolueno provenientes de la parte superior de la columna de destilación 2 *Columna de Estireno*. Esta mezcla se realiza en un recipiente cilíndrico a presión, operando bajo condiciones isobáricas.



La corriente resultante es completamente vaporizada en un segundo intercambiador de calor de casco y tubos, alcanzando una temperatura aproximada de 250 °C. Los vapores generados son enviados a otro recipiente presurizado *Mezclador de Vapor*, que también opera en condiciones isobáricas. En esta etapa, se inyecta vapor sobrecalentado con el objetivo de elevar la temperatura de la mezcla gaseosa hasta 600 °C, condición óptima para la reacción.

La cantidad de vapor sobrecalentado introducida en el Mezclador de Vapor se ajusta para alcanzar una relación molar final de agua/etilbenceno de aproximadamente 14:1, antes de ser alimentada al reactor de conversión, donde se llevará a cabo la deshidrogenación catalítica del etilbenceno para la producción de estireno.

### Reacción de Deshidrogenación Catalítica

La conversión de etilbenceno a estireno se lleva a cabo mediante un proceso de deshidrogenación catalítica en un reactor cilíndrico tubular vertical, diseñado para operar de manera adiabática.

En este reactor, la mezcla gaseosa reactiva fluye a través del lecho catalítico, mientras que vapor sobrecalentado es inyectado en la carcasa del reactor con el fin de mantener la temperatura dentro del rango óptimo de 580 - 610 °C. Es fundamental evitar que la temperatura supere los 610 °C, ya que valores más elevados pueden inducir la descomposición térmica del etilbenceno y el estireno, generando subproductos no deseados y afectando la eficiencia del proceso.

Actualmente, se utilizan varios óxidos metálicos como catalizadores para obtener estireno a partir de etilbenceno. En este proceso, el óxido de hierro (III) soportado sobre alúmina se utilizará como catalizador principal. Operando con estas tecnologías se obtienen conversiones que oscilan entre el 60% y el 65%

A la salida del reactor, se obtiene una mezcla gaseosa caliente, la cual será posteriormente enfriada y sometida a procesos de separación para la obtención del producto final.

### Enfriamiento de la Mezcla Gaseosa

La mezcla gaseosa caliente proveniente del reactor catalítico, que presenta una temperatura cercana a 600 °C y una presión de 2 bar, es sometida a un proceso de presurización mediante válvulas reguladoras de presión, elevando su presión hasta 6 bar.

Posteriormente, la mezcla es enfriada hasta 50 °C a través de dos intercambiadores de calor de casco y tubos, utilizando agua de enfriamiento como medio de intercambio térmico.

A la salida del segundo enfriador, se obtiene una corriente bifásica (vapor-líquido) con una temperatura aproximada de 50 °C, la cual es enviada al sistema de separación y purificación para la recuperación del estireno y otros componentes del proceso.



## Separación y Purificación del Estireno

El estireno presente en la corriente de salida del reactor de conversión debe separarse y purificarse de otros componentes no deseados, como agua, tolueno, etc; para obtener un producto de alta pureza.

### *Separación inicial*

La corriente bifásica (vapor-líquido) obtenida a la salida de los enfriadores se dirige a un separador trifásico (LLV: líquido-líquido-vapor), operando a 5 bar y 50 °C. En este equipo se obtienen tres corrientes diferenciadas:

1. Corriente gaseosa ligera (parte superior): Compuesta principalmente por hidrógeno con pequeñas cantidades de otros gases.
2. Corriente líquida de aguas residuales (parte inferior): Es una corriente de agua con rastros de estireno, benceno, tolueno y etilbenceno.
3. Corriente intermedia (corriente útil): Rica en estireno, contiene el etilbenceno sin reaccionar y pequeñas cantidades de benceno y tolueno. Esta corriente se dirige a la Columna de Destilación 1 (Columna de Benceno-Tolueno).

### *Destilación fraccionada*

La primera etapa de destilación permite la recuperación de benceno y tolueno, que se extraen en la parte superior de la columna. En la parte inferior, se obtiene una corriente rica en estireno, que es enviada a la Columna de Destilación 2, *Columna de Estireno*, para su purificación final.

En esta última columna, el estireno se obtiene en la corriente inferior con una alta pureza, mientras que la corriente superior, compuesta por etilbenceno, se recicla al proceso, mezclándose nuevamente con la corriente de etilbenceno precalentada en el primer intercambiador de calor.

### *Control de polimerización*

El estireno puro es susceptible a la polimerización espontánea en presencia de altas temperaturas y altas presiones (generalmente más de 6 bar y 125 °C). Para minimizar este riesgo, la destilación se lleva a cabo a la presión más baja posible, con las siguientes condiciones:

- Columna de Benceno-Tolueno (columna 1): 1,5 bar
- Columna de Estireno (columna 2): 1,0 atm (destilación atmosférica)

Este control permite evitar la polimerización de los compuestos vinil-aromáticos generados en la etapa de reacción y asegurar la estabilidad del estireno obtenido.

### 5.3.2 Diagrama de flujo del proceso

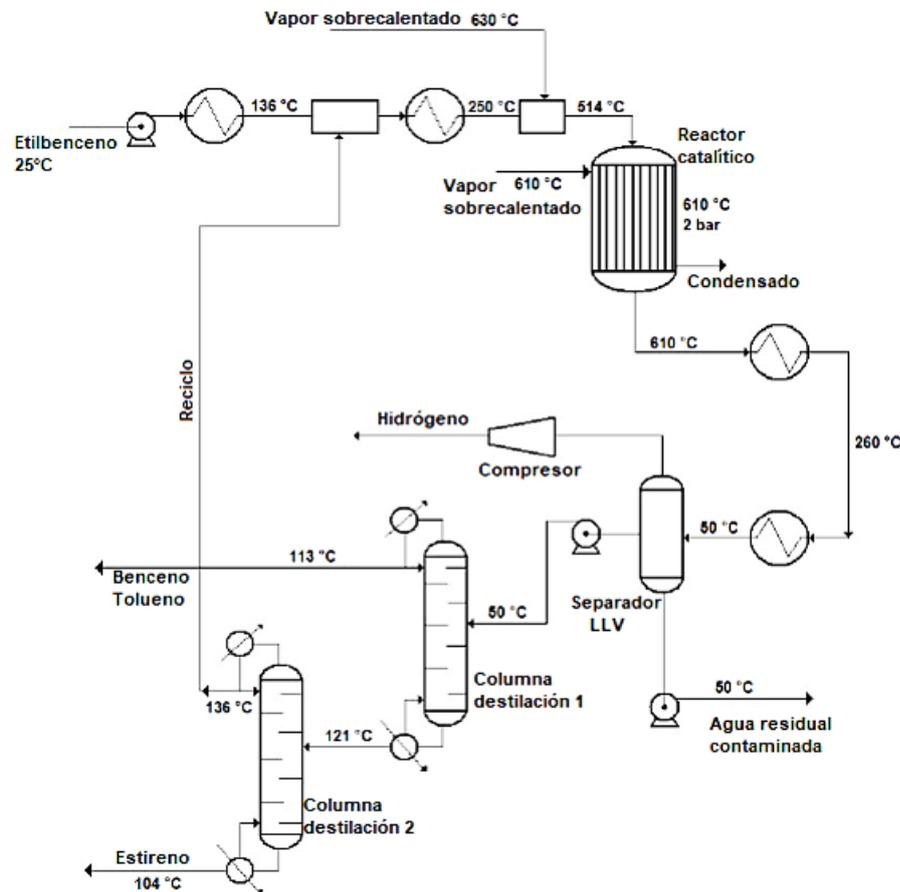


Figura 5.1 - Diagrama de flujo de producción de estireno vía la deshidrogenación catalítica del etilbenceno  
Fuente: Pérez et al., 2017

### 5.4 INGENIERÍA DE DETALLE

En esta sección se desarrollará la ingeniería de detalle del proceso, la cual incluye el diseño de los principales equipos que conforman la planta. Este diseño se realiza en base a los requerimientos del proceso establecidos durante la ingeniería básica y contempla las condiciones de operación, selección de materiales y dimensiones específicas.



### 5.4.1 Cálculos de equipos a diseñar

Se diseñarán tres equipos clave, siendo el primero de ellos el reactor de deshidrogenación catalítica el cual es fundamental para la conversión de etilbenceno en estireno, el siguiente equipo será la columna de destilación 2, la cual es esencial para la purificación final del estireno, y para finalizar el último equipo a diseñar será el intercambiador de calor al que ingresa el etilbenceno desde los tanques de almacenamiento.

Antes de empezar con el diseño de los mismos, se realizará un balance de masa considerando todos los equipos involucrados en el proceso, con el objetivo de verificar los flujos.

En base a datos comerciales y bibliográficos sobre el rendimiento típico de los equipos industriales involucrados en plantas de producción de estireno, se estima una eficiencia de 98% para cada una de las columnas de destilación y de 95% para el separador trifásico. Estos valores representan promedios realistas observados en instalaciones de escala industrial bajo condiciones operativas estables.

En este estudio nos centraremos exclusivamente en el producto principal del proceso, el estireno. Si bien durante la deshidrogenación del etilbenceno pueden generarse subproductos como benceno, tolueno o gases ligeros (principalmente hidrógeno). La decisión de focalizar únicamente en el estireno responde a que constituye el producto de interés comercial y el principal objetivo de diseño y análisis técnico-económico de la planta.

Teniendo en cuenta estas eficiencias y la conversión del reactor, se procederá a calcular la cantidad neta de estireno al final del proceso, a partir de los 74.485 t/año de etilbenceno, donde por comodidades de cálculos los flujos se van a expresar en cantidad de mol por hora, siendo de esta manera los 74.485 t/año equivalentes a 85.978 mol/h de etilbenceno.

Equipo	Flujo de entrada (mol/h)	Rendimiento/Eficiencia	Flujo de salida (mol/h)
Reactor	85.978	60%	51.586,8
Separador Trifásico	51.586,8	95%	49.007,46
Columna de destilación 1	49.007,46	98%	48.027,31
Columna de destilación 2	48.027,31	98%	47.066,76

**Tabla 5.1 - Flujos de entrada y salida de estireno de los equipos.**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Cabe destacar que el flujo de 85.978 mol/h corresponde a etilbenceno, los demás corresponden a flujos de estireno.

Como se puede observar, al final del proceso se obtienen 47.066,76 mol/h los cuales son equivalentes a 40.000 t/año de estireno. Concluyendo que se logra obtener la cantidad de producto especificada en el anterior capítulo.

### Reactor cilíndrico tubular vertical



### Datos principales

**Temperatura de reacción:** 600 °C = 873 K

**Presión de operación:** 2 bar = 1,97 atm

**Conversión** = 60% = 0,6

### Cálculo de flujos molares y volumétricos

$$F_{nEB} = 85.978 \text{ Mol/h}$$

Como la relación molar es 14/1, sabemos que por cada mol de etilbenceno tendremos 14 mol de agua. Por lo que tendremos:

$$F_{n_{H_2O}} = 14 \cdot 85978 \text{ Mol/h} = 1.203.692 \text{ mol agua/h}$$

$$F_{n_{TOTAL}} = 1.203.692 \text{ mol/h} + 85978 \text{ mol} = 1.289.670 \text{ mol/h}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow V = n \cdot R \cdot T / P$$

$$FV \text{ mezcla gaseosa} = \frac{1.289.670 \text{ mol} \cdot 0,082 \cdot 873K}{1,97 \text{ atm}} = 46.864.120 \frac{L}{h} = 46864 \text{ m}^3/h$$

$$C_{EBO} = \frac{F_n}{F_v} = \frac{85978 \text{ mol/h}}{46.864.120 \text{ L/h}} = 0,0018 \text{ mol/L}$$

**Reacción de orden cero:**

$$r = k \cdot C_{EB}^0$$

r Velocidad de reacción

k: Constante cinética de velocidad

C<sub>EB</sub>: Concentración molar de etilbenceno

### Ecuación de diseño

$$\frac{dX}{dW} = \frac{r_A}{F_{A0}} \rightarrow W = \int_0^X \frac{F_{A0}}{-r_A} dx = F_{A0} \int_0^X \frac{dx}{K1(PT \cdot y_{EB} - (PT \cdot y_{estireno} \cdot y_{H2} / K_{eb}))}$$



### Datos cinéticos de la reacción

Según datos del libro *Kinetics and Reactor Design of Styrene Production, Handbook of Chemical Engineering Calculations, Fourth Edition*, libro Perry y otras bibliografías tenemos que:

$$dH_{EB} = -10822 \text{ J/mol}$$

$$R = 8,3144 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$K_{EB} = e^{\left(\frac{-dHEB}{R.T}\right)}$$

$$A_1 = 0,75$$

$$Ea_1 = 175,38 \text{ KJ/mol} = 175380 \text{ J/mol}$$

$$K_1 = 10000 \cdot e^{\left(A_1 \frac{-Ea_1}{R.T}\right)} = \frac{\text{mol}}{\text{s} \cdot \text{kg ctz} \cdot \text{bar}}$$

$$PT = 2 \text{ bar}$$

$$F_{A0} = n_{EB}$$

Según el balance de masa tenemos los siguientes datos:

$$\text{Moles totales} = 1 \text{ mol EB} + 14 \text{ mol H}_2\text{O} = 15 \text{ mol}$$

$$y_{EB} = \frac{1-X}{\text{Moles totales} + X}$$

$$y_{H_2} = \frac{X}{\text{Moles totales} + X}$$

$$y_{\text{Estireno}} = \frac{X}{\text{Moles totales} + X}$$

$$W = \int_0^X \frac{F_{A0}}{-r_A} dx = F_{A0} \int_0^X \frac{dx}{K_1(PT \cdot y_{EB} - (PT \cdot y_{\text{estireno}} \cdot y_{H_2}/K_{EB}))}$$

$$= 85.978 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \int_0^X \frac{dx}{K_1 \frac{\text{mol}}{\text{h} \cdot \text{kg ctz} \cdot \text{bar}} \left( 2 \text{ bar} \cdot \frac{1-X}{15+X} - \left( 2 \cdot \frac{X}{15+X} \cdot \frac{X}{15+X} \right) / K_{EB} \right)}$$

$$T = T^0 + \alpha \cdot X_A$$

$$\alpha = \frac{F_{A0} \cdot \Delta H}{v_{EB} \cdot (F_{EB} \cdot cp_{EB} + F_{H_2O} \cdot cp_{H_2O})}$$

$$cp_{EB} = 182,61 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$cp_{H_2O} = 34 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$



$$\Delta H = 124000 \text{ J/mol}$$

$$\alpha = \frac{85.978 \text{ Mol/h} \cdot 124000 \text{ J/mol}}{-1 \cdot (85.978 \text{ Mol/h} \cdot 182,61 \frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{K}} + 1.203.692 \text{ mol/h} \cdot 34 \frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{K}})} = -188,3 \text{ K}$$

$$T^\circ = 873\text{K}$$

$$\rho_{ctz} = 1282 \text{ kg ctz} / \text{m}^3$$

Ahora procedemos a resolver la integral:

XA	ΔXA	T	k1	KEB	yeb	yH2	yestireno	Z	Δw (z.ΔXA)	Z= FAº/-rA			
0	0,05	873	784,4091437	0,2251592	0,06666667	0	0	822,0646	41,1032307				
0,05	0,05	863,585	692,0986449	0,2215289	0,06312292	0,00332226	0,00332226	984,7935	49,2396744	α=	-188,3		
0,1	0,05	854,17	608,9682811	0,21787905	0,05960265	0,00662252	0,00662252	1188,41	59,4205028	Tº	873		
0,15	0,05	844,755	534,2968202	0,21420999	0,05610561	0,00990099	0,00990099	1445,857	72,2928546	A1	0,75	Ea1º	83357
0,2	0,05	835,34	467,4012447	0,21052211	0,05263158	0,01315789	0,01315789	1775,255	88,762729	AEB	1	dHEB	-10822
0,25	0,05	825,925	407,6361603	0,20681582	0,04918033	0,01639344	0,01639344	2202,533	110,126658	R	8,3144		
0,3	0,05	816,51	354,3931238	0,20309157	0,04575163	0,01960784	0,01960784	2765,78	138,28902	Faº	85978		
0,35	0,05	807,095	307,0998932	0,19934985	0,04234528	0,0228013	0,0228013	3522,73	176,136477				
0,4	0,05	797,68	265,2196031	0,19559119	0,03896104	0,02597403	0,02597403	4564,357	228,217855				
0,45	0,05	788,265	228,2498689	0,19181617	0,03559871	0,02912621	0,02912621	6041,234	302,061716				
0,5	0,05	778,85	195,7218231	0,18802538	0,03225806	0,03225806	0,03225806	8219,018	410,950892				
0,55	0,05	769,435	167,1990893	0,1842195	0,02893891	0,03536977	0,03536977	11608,85	580,442624				
0,6	0,05	760,02	142,2766973	0,18039924	0,02564103	0,03846154	0,03846154	17324,22	866,21117				
								W (kg ctz)	3123,2554				

Tabla 5.2 - Diseño de reactor  
Fuente: Elaboración Propia

$$V_{\text{reactor}} = \frac{W}{\rho_{ctz}} = \frac{3123,25 \text{ kg ctz}}{1282 \text{ kg ctz} / \text{m}^3} = 2,44 \text{ m}^3$$

En base a datos de bibliografía y de fabricación se propone un diámetro de 1 m

$$D = 1 \text{ m}$$

$$V_{\text{reactor}} = \pi \cdot r^2 \cdot L = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L}{4}$$

$$\text{Largo del reactor} = L = \frac{4 \cdot V_{\text{reactor}}}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 2,44 \text{ m}^3}{(1 \text{ m})^2 \cdot \pi} = 3,11 \text{ m}$$

## Columna de Destilación 2

Para el diseño de la columna de destilación se va a hacer uso del programa de simulación de procesos DWSIM.

### 1. Objetivo del diseño

La principal función de la torre va a ser separar adecuadamente la corriente de etilbenceno-estireno que proviene de la torre de destilación anterior (torre 1). Se ha establecido como objetivo



que en el producto de fondo se tenga una concentración molar del 99% de estireno, y en el destilado tenga una composición del 2%.

Por lo tanto, el diseño de la torre se va a hacer en base al cumplimiento de estos objetivos.

## 2. Selección de Corrientes de Entrada y Salida

Como sabemos la alimentación proviene de la torre de destilación 1, las características de esta corriente son:

- Flujo molar = 80045,5 mol/h
- Temperatura = 121 °C
- Presión = 1 atm
- Estado = líquido subenfriado
- Composición: Etilbenceno = 40% , Estireno = 60%

Con respecto a las corrientes de salida las características deseadas que tengan estas son:

### Fondo

- Composición: Estireno = 99,5% , Etilbenceno = 0,5%

### Destilado

- Composición: Estireno = 2% , Etilbenceno = 98%

## 3. Elección del Modelo Termodinámico

Para la simulación de la columna de destilación en DWSIM, se seleccionó el modelo de estado de fugacidad Peng-Robinson, por tratarse de una mezcla de hidrocarburos aromáticos no polares (estireno y etilbenceno), cuya separación se realiza típicamente a presiones reducidas para evitar la degradación térmica del estireno. El modelo Peng-Robinson es adecuado para este tipo de compuestos, y provee una buena precisión en la predicción de equilibrio vapor-líquido (VLE) en sistemas no fuertemente asociados y en condiciones de operación típicas de este proceso.

## 4. Condiciones de Operación Iniciales

Debido a que en condiciones de alta presión y temperatura el estireno tiende a polimerizar, la torre de destilación va a trabajar a presión atmosférica.

Para obtener una primera aproximación de los parámetros clave de diseño, se utilizó el módulo Shortcut Column de DWSIM. Esta herramienta permite estimar variables esenciales como la

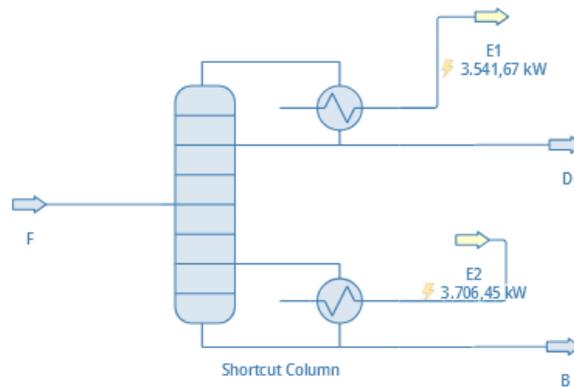
relación de reflujo mínima, número mínimo de etapas, y ubicación óptima de la alimentación basándose en métodos simplificados (Fenske, Underwood y Gilliland).

### Parámetros de entrada:

- Compuesto Liviano (LK): Etilbenceno
- Compuesto Pesado (HK): Estireno
- Fracción molar de LK en el fondo: 0,005
- Fracción molar de HK en el tope: 0,02
- Relación de reflujo asumida: 10 (basada en la relación de reflujo mínima)
- Presión del condensador y del rehervidor: 1 atm
- Tipo de condensador: Total

### Resultados de la Shortcut Column

PROPERTIES TABLE		
Shortcut Column	Minimum Reflux Ratio	7,90132
Shortcut Column	Minimum Stages	35,1498
Shortcut Column	Optimal Feed Stage	34,877
Shortcut Column	Actual Stages	65,5402
Shortcut Column	Reflux Ratio	10
Shortcut Column	Heavy Key Molar Fraction	0,02
Shortcut Column	Light Key Molar Fraction	0,005
Shortcut Column	Condenser Pressure	1 atm
Shortcut Column	Reboiler Pressure	1 atm
Shortcut Column	Stripping Liquid Molar Flow	413980 mol/h
Shortcut Column	Rectify Liquid Molar Flow	324287 mol/h
Shortcut Column	Stripping Vapor Molar Flow	366363 mol/h
Shortcut Column	Rectify Vapor Molar Flow	356716 mol/h
Shortcut Column	Condenser Duty	3541,67 kW
Shortcut Column	Reboiler Duty	3706,45 kW



**Figura 5.2 - Resultados de la torre Shortcut column.**  
Fuente: Elaboración propia mediante el uso del simulador DWSIM.

Los valores obtenidos permiten establecer condiciones iniciales para un diseño más preciso. A partir de estos resultados, se procedió al diseño riguroso de la columna mediante el uso de una columna ChemSep en DWSIM, la cual considera perfiles de temperatura, composición y flujo a lo largo de la torre y permite una simulación más representativa del comportamiento real del sistema.

## 5. Diseño Riguroso de la Columna de Destilación con ChemSep

Una vez obtenidas las condiciones de operación preliminares mediante el atajo de columna (Shortcut Column), se procedió al diseño riguroso de la torre de destilación utilizando el simulador ChemSep, integrado en el entorno de simulación.



Se trabajó con una mezcla binaria de estireno (componente pesado) y etilbenceno (componente liviano). El objetivo de separación consistió en obtener un tope rico en etilbenceno (98% molar) y un fondo con alta pureza de estireno (99,5% molar).

### Condiciones de operación

- Número total de etapas: 66
- Plato de alimentación: 35
- Presión de operación: 1 atm (101325 Pa) tanto en tope como fondo
- Tipo de condensador: Total
- Tipo de rehervidor: Parcial
- Temperaturas:
  - Tope: 136,61 °C
  - Fondo: 145,77 °C
  - Alimentación: 121,15°C

### Composición de corrientes (mol/h)

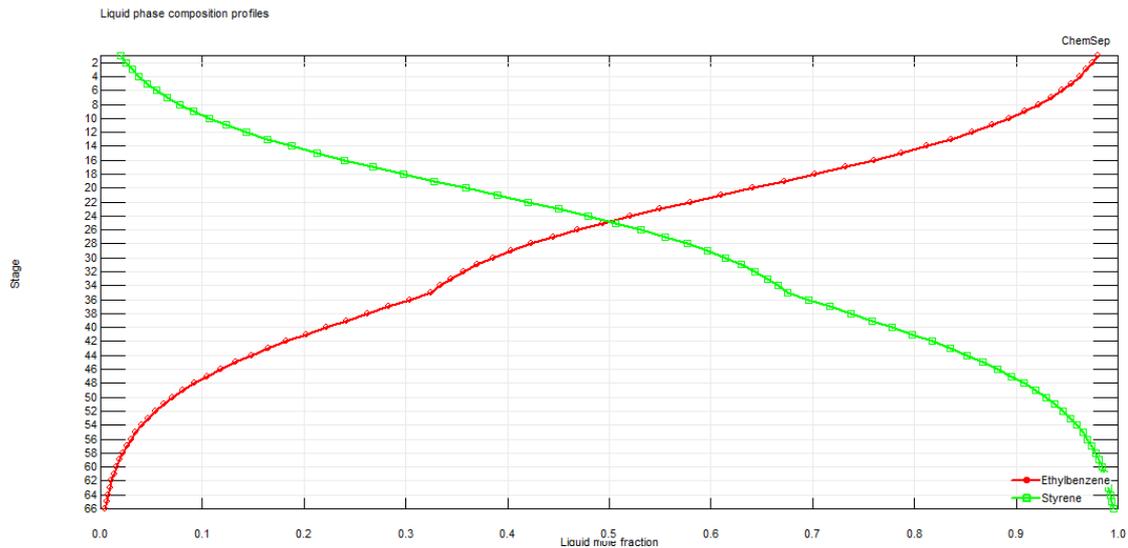
Corriente	Etilbenceno	Estireno	Fracción molar etilbenceno	Fracción molar estireno
Alimentación	32.018,2	48.027,3	0,4	0,6
Destilado	31.780,1	648,6	0,98	0,02
Fondo	238,1	47378,7	0,005	0,995

**Tabla 5.3 - Composición de las corrientes de la columna ChemSep.  
Fuente: Elaboración propia mediante datos del simulador DWSIM**

Se observa que el diseño permite alcanzar las especificaciones planteadas para las purzas tanto en el tope como en el fondo de la columna, validando así la selección del número de etapas y la relación de reflujo utilizada.

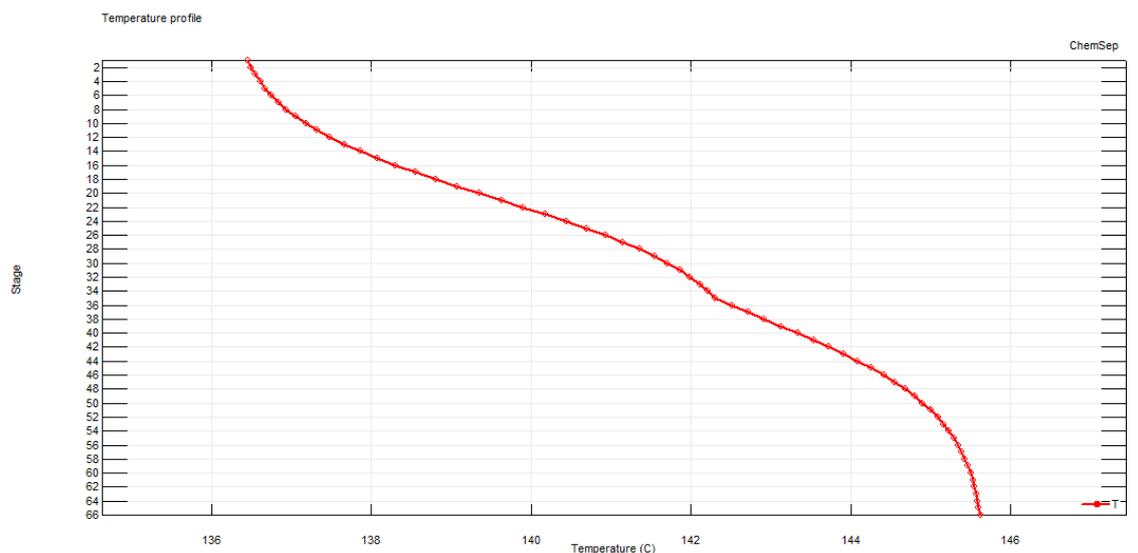
### Gráficas de interés:

**Perfiles de composición de la fase líquida:** este gráfico nos sirve para mostrar cómo varían las concentraciones de etilbenceno y estireno a lo largo de la columna.



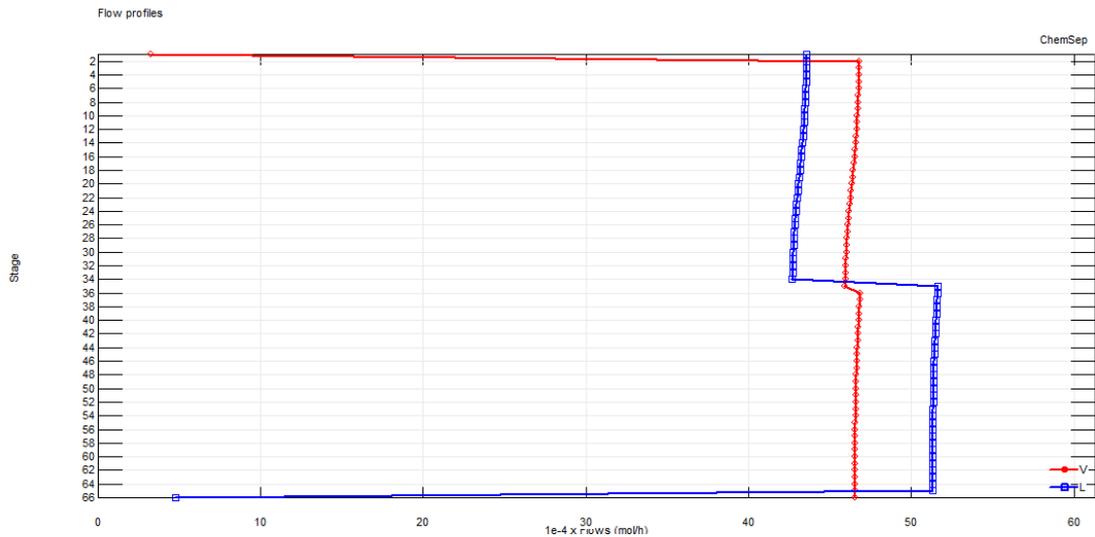
**Figura 5.3 - Perfiles de composición de la fase líquida de la torre.**  
Fuente: Elaboración propia mediante el uso del simulador DWSIM.

**Perfil de temperaturas:** Este gráfico nos permite visualizar el perfil de temperaturas a lo largo de la columna, lo cual es clave para validar la consistencia térmica del diseño.



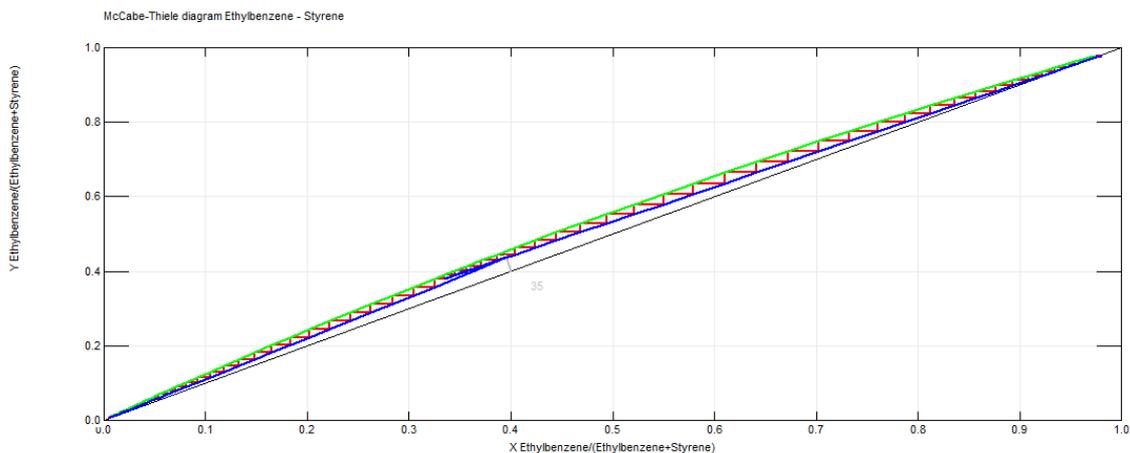
**Figura 5.4 - Perfil de temperaturas de la torre.**  
Fuente: Elaboración propia mediante el uso del simulador DWSIM.

**Perfil de flujos:** Este gráfico nos permite visualizar cómo varían a lo largo de la columna los flujos molares de la fase líquida y la fase vapor. Se puede visualizar claramente la entrada de la alimentación al plato 35.



**Figura 5.5 - Perfil de flujos de la torre.**  
**Fuente: Elaboración propia mediante el uso del simulador DWSIM.**

**Gráfico de McCabe-Thiele:** Este gráfico nos permite visualizar todos los platos ideales que tendrá la torre, como es el equilibrio de todos los platos a medida que se produce la operación de separación de los componentes en la torre, y también nos permite identificar el plato de alimentación.



**Figura 5.6 - Gráfico de McCabe-Thiele.**  
**Fuente: Elaboración propia mediante el uso del simulador DWSIM.**

## 6. Cálculo del diámetro de la columna

Para el cálculo del diámetro se va a seguir el procedimiento de cálculo propuesto por McCabe Smith.

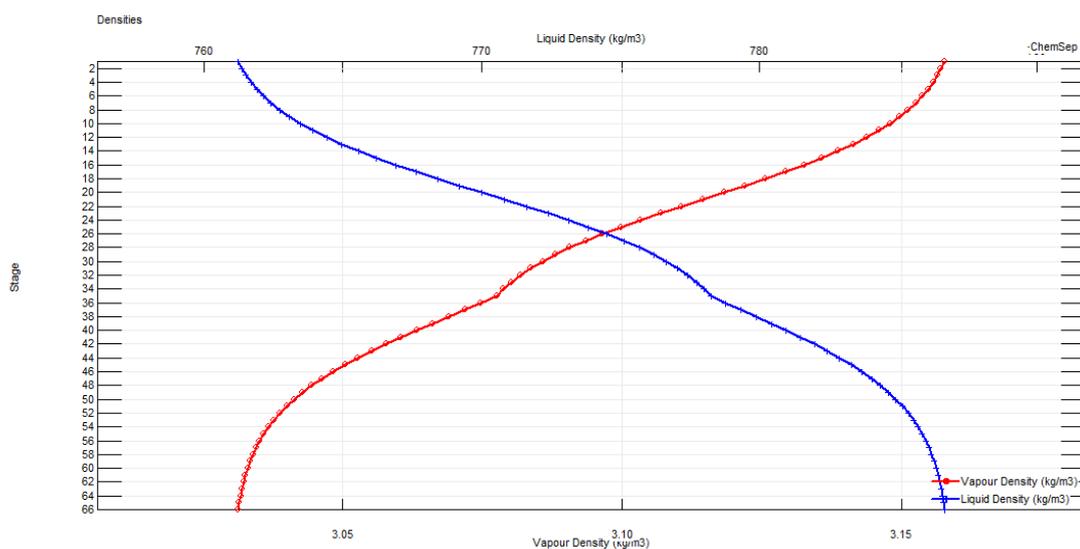
### a) Cálculo de la velocidad de vapor permisible

Para el correspondiente cálculo de la velocidad se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$u_c = K_v \sqrt{\frac{p_L - p_V}{p_V}} \left(\frac{\sigma}{20}\right)^{0,2}$$

La velocidad de vapor permisible se calculará en la parte superior de la columna, porque la inundación es más probable aquí, donde la densidad de vapor es más elevada que en la base.

Los datos de las densidades se van a extraer del simulador DWSIM:



**Figura 5.7 - Gráfico de densidades de L y V en la columna.**  
Fuente: Elaboración propia mediante el uso del simulador DWSIM.

Se va a tomar un valor promedio de las densidades de la fase vapor y líquida de los primeros 10 platos, dando como resultado:

$$p_V = 3,153 \text{ kg/m}^3 ; p_L = 762,406 \text{ kg/m}^3$$

De la misma manera se tomarán valores promedio de las corrientes L y V de los primeros 10 platos, en la figura 5.5 se puede apreciar el perfil de los flujos.

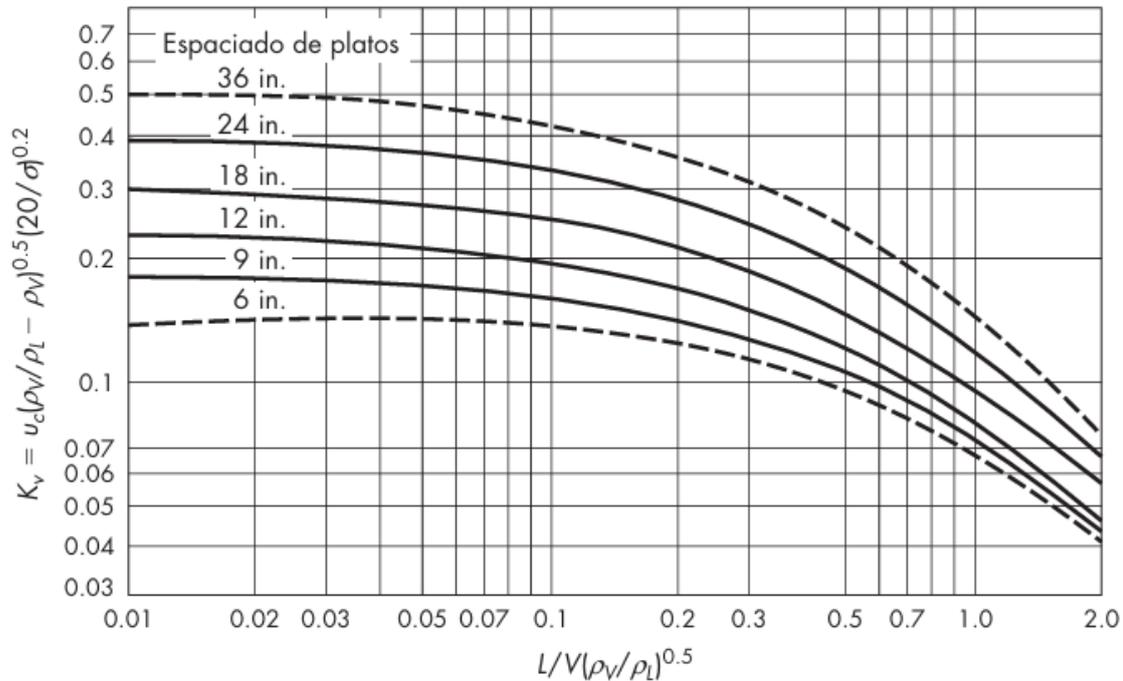
$$V = 467711,27 \text{ mol/h} ; L = 435113,28 \text{ mol/h}$$

Ahora se va a proceder a calcular la siguiente relación la cual es necesaria para entrar al gráfico y averiguar nuestra velocidad:



$$\frac{L}{\bar{V}} \sqrt{\frac{p_V}{p_L}} = \frac{435113,28 \text{ mol/h}}{467711,27 \text{ mol/h}} \sqrt{\frac{3,153 \text{ kg/m}^3}{762,406 \text{ kg/m}^3}} = 0,06$$

Una vez obtenida la relación podemos entrar al gráfico, donde el tipo de plato elegido es platos perforados y la separación entre platos elegida es de 18 pulgadas o sea 0,457 m.



**Figura 5.8 - Valores de  $K_v$  para platos perforados en condiciones de inundación.**  
Fuente: Operaciones Unitarias en Ingeniería Química séptima edición, McCabe Smith

Entonces con una relación de 0,06 y un espaciado de 18 in obtenemos del gráfico un valor de ordenadas de  $K_v = 0,28$ .

Ahora tenemos que despejar de la ecuación correspondiente a la ordenada la velocidad:

$$K_v = u_c \sqrt{\frac{p_V}{p_L - p_V} \left(\frac{20}{\sigma}\right)^{0.2}} \rightarrow u_c = K_v \sqrt{\frac{p_L - p_V}{p_V} \left(\frac{\sigma}{20}\right)^{0.2}}$$

Donde  $\sigma$  es la tensión superficial en dina/cm, este dato se extrajo del simulador DWSIM y el mismo es igual a  $\sigma = 0,0167403 \text{ N/m} = 16,7403 \text{ dina/cm}$

$$u_c = 0,28 \sqrt{\frac{762,406 \text{ kg/m}^3 - 3,153 \text{ kg/m}^3}{3,153 \text{ kg/m}^3} \left(\frac{16,7403}{20}\right)^{0.2}} = 4,19 \text{ ft/s} = 1,28 \text{ m/s}$$



## b) Área transversal de la columna

Primero tenemos que convertir nuestro flujo de vapor a las unidades de m<sup>3</sup>/s:

$$V = 467711,27 \text{ mol/h} = 4,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

Área de burbujeo:

$$\frac{4,37 \text{ m}^3/\text{s}}{1,28 \text{ m/s}} = 3,41 \text{ m}^2$$

Si el área de burbujeo es 0.7 del área total de la columna, entonces:

$$\frac{3,41 \text{ m}^2}{0,7} = 4,87 \text{ m}^2$$

## c) Diámetro de la columna

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,87 \text{ m}^2}{\pi}} = 2,5 \text{ m}$$

## 7. Cálculo de la altura de la columna

Como sabemos la torre tiene 64 platos (66 contando la etapa del condensador y el reboiler), y el espaciado entre platos es de 18 pulgadas o sea 0,457 m, por lo tanto la altura de la torre de destilación sería:

$$H = 64 \cdot 0,457 \text{ m} = 29,25 \text{ m} \approx 30 \text{ m}$$

## Intercambiador de calor

Al ingresar a la etapa de producción, el etilbenceno debe ser elevado de temperatura. Para ello, se utiliza un intercambiador de calor del tipo condensador de casco y tubo, cuyo objetivo es calentar el etilbenceno desde 25 °C hasta aproximadamente 136 °C, utilizando como fluido calefactor vapor saturado.

Para el diseño del equipo, se dispone del caudal másico y molar del etilbenceno procesado en planta, con un valor aproximado de 9120 kg/h - 85978 mol/h. El fluido caliente va a circular por la carcasa, es decir, el vapor, y por tubos va a circular etilbenceno.

## Diseño del equipo

Calor necesario aplicar para elevar la T del etilbenceno desde 25°C-136°C.

$$Q = W_e \cdot c_{p_e} (t_2 - t_1) = W_v \cdot \lambda_v$$



$$cp_e = 1765 \text{ J/kg K}$$

$$\rho_e = 866.5 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_e = 6.69 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_v = 2014 \text{ kJ/kg}$$

$$t_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 136^\circ\text{C}$$

$$Q = 9120 \text{ kg/h} \cdot 1765 \text{ J/kg K} \cdot (408 \text{ K} - 298 \text{ K}) = 1.729 \cdot 10^9 \text{ J/h} = 480441.6 \text{ J/s}$$

Cantidad de vapor necesaria para aportar Q.

$$W_v = \frac{Q}{\lambda_v} = \frac{480.4416 \text{ kJ/kg}}{2014 \text{ kJ/h}} = 0.24 \text{ kg/h}$$

Área de intercambio

$$Q = A_o U_d DMLT \cdot f_T$$

$f_T = 1$  - Factor de corrección de DMLT, para la fase condensada su valor es 1

$$DMLT = \frac{(T_s - t_1) - (T_s - t_2)}{\ln\left(\frac{T_s - t_1}{T_s - t_2}\right)} = \frac{(170^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) - (170^\circ\text{C} - 136^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{170^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{170^\circ\text{C} - 136^\circ\text{C}}\right)} = 76.53^\circ\text{C}$$

Para la estimación del coeficiente global de transferencia de calor U, se propone utilizar una tabla referenciada en la bibliografía de E. Cao. Esta tabla proporciona rangos típicos de U en función de las características de los fluidos involucrados y del tipo de servicio térmico. A partir de los valores de referencia allí presentados, se seleccionará un valor representativo dentro del rango correspondiente, considerando las propiedades del sistema específico analizado.

$$U = 550 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_o = \frac{Q}{U_d DMLT f_T} = \frac{480441.6 \text{ kJ/kg}}{550 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 76.53^\circ\text{C} \cdot 1} = 11.41 \text{ m}^2$$

Los tubos utilizados en este intercambiador son 1" BWG 16x6. Las dimensiones de los tubos son las descriptas a continuación.

$$d_o = 0.0254 \text{ m}$$



$$d_i = 0.0221m$$

Área y número de tubos

$$A = \pi d_o L = \pi 0.0254 m \cdot 6m = 0.478 m^2$$

$$N_T = \frac{A_o}{A} = \frac{11.41 m^2}{0.478 m^2} = 23.8 \approx 24 \text{ tubos teóricos}$$

Sección de paso, área transversal

$$a_T = \frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.0221 m)^2}{4} = 3.83 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Número de Reynolds} = 10000 \Rightarrow Re = \frac{v \rho d_i}{\mu}$$

$$v = \frac{Re \mu}{\rho d_i} = \frac{10000 \cdot 6.69 \cdot 10^{-4} kg/s \cdot m}{866.5 kg/m^3 \cdot 0.022 m} = 0.35 m/s$$

Velocidad propuesta para asegurar un Reynolds mayor a 10000 es  $\Rightarrow v = 1 m/s$

$$W = 9120 \frac{kg}{h} = 2.533 \frac{kg}{s} n_p = \frac{W}{\rho \cdot v \cdot a_T} = \frac{2.533 \frac{kg}{s}}{866.5 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{m}{s} \cdot 3.83 \cdot 10^{-4} m^2} \approx 7 \text{ tubos x paso}$$

$$n = \frac{N_T}{n_p} = \frac{24}{7} = 4 \text{ pasos}$$

Especificación de la Carcasa del intercambiador

1I; Ds = 12" ; 44 tubos BWG 16x6; 1 1/4"  $\Delta$ ; 4 pasos en tubos fijos

$$n_p = \frac{44}{4} = 11 \text{ tubos por paso}$$

$$v = \frac{W}{n_p \rho a_T} = \frac{2.533 kg/s}{11 \cdot 866.5 kg/m^3 \cdot 3.83 \cdot 10^{-4} m^2} = 0.7 m/s$$

$$Re = \frac{v \rho d_i}{\mu} = \frac{0.7 \frac{m}{s} \cdot 866.5 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.0221 m}{6.69 \frac{10^{-4} kg}{s} \cdot m} = 20037 \Rightarrow \text{Verifica el Reynolds turbulento}$$



Se decidió seleccionar un intercambiador de calor de tipo casco y tubos con 44 tubos para garantizar un área de intercambio térmico adecuada, capaz de suministrar el calor necesario para elevar la temperatura del etilbenceno desde 25 °C hasta 136 °C.

Área de intercambiador

$$A_{intercambiador} = N_T \cdot A_T = 44 \cdot 0.478 \text{ m}^2 = 21.032 \text{ m}^2 \approx \mathbf{22 \text{ m}^2}$$

#### 5.4.2 Balance de masa de los equipos

Todos los flujos presentados en la siguiente tabla se encuentran en la unidad de mol/h.

Componente	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3	Flujo 4	Flujo 5
EB	85978	34391,2	34391,2		32671,64
STY		51586,8	51586,8		49007,46
BZ		859,78	859,78		816,791
TL		1719,56	1719,56		1633,582
H2		51586,8	51586,8	51586,8	
CO2 y otros gases		859,78	859,78	859,78	
H2O		1203692	1203692		
Total	85978	1344695,9	1344695,9	52446,58	84129,473

Componente	Flujo 6	Flujo 7	Flujo 8	Flujo 9	Flujo 10
EB	1719,56	653,4328	32018,207	31377,8431	640,364144
STY	2579,34	980,1492	48027,311	960,546216	47066,7646
BZ	42,989	816,791			
TL	85,978	1633,582			
H2					
CO2 y otros gases					
H2O	1203692				
Total	1208119,87	4083,955	80045,518	32338,3893	47707,1287

**Tabla 5.4 - Balance de masa de los equipos**

**Fuente: Elaboración propia**



## CAPÍTULO VI

### INGENIERÍA DE PROCESOS

#### 6.1 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

##### 6.1.1 Introducción

Una etapa fundamental dentro del diseño de una planta industrial es la adecuada distribución de las distintas áreas que componen la empresa. Esta organización no solo responde a criterios operativos, sino también a aspectos vinculados con la seguridad, la eficiencia del proceso productivo, la circulación del personal, la gestión ambiental y el cumplimiento normativo.

En este capítulo se procederá a identificar y delimitar las distintas zonas funcionales necesarias para el correcto funcionamiento de una planta productora de estireno. Entre ellas se incluyen áreas de producción, almacenamiento de materias primas y productos terminados, laboratorios de control de calidad, oficinas administrativas, servicios generales y zonas de carga y descarga.

Una vez definidas estas áreas, se elaborará un *layout* o plano de distribución física, con el objetivo de optimizar el uso del espacio disponible, minimizar los desplazamientos innecesarios de materiales y personal, y asegurar una operación continua, segura y eficiente. Para lograr dicha optimización, se tiene en cuenta el Diagrama de Recorrido de las materias primas, con el fin de reducir al mínimo la distancia recorrida. Mientras menor sea este recorrido, mayor será la economía de movimientos y de tiempos, lo que incrementa la eficacia y eficiencia de la empresa. Como consecuencia de esto, se mejora también la rentabilidad del proyecto. Este diseño será clave para dimensionar correctamente los espacios y prever futuras expansiones o adaptaciones del sistema productivo.

##### 6.1.2 Áreas características de la planta

###### 6.1.2.1 Ingreso a la Planta - Área de Recepción

Como punto de ingreso a la planta, se propone una entrada principal que conduce directamente a una oficina de recepción. Esta oficina, de dimensiones reducidas, cumple la función de puesto de control para el acceso al predio industrial, sin requerir un espacio amplio, ya que su propósito es exclusivamente supervisar y registrar el ingreso y egreso del personal, vehículos y visitas.



Dado que no se requiere una gran extensión para su funcionamiento, se propone que tenga una dimensión compacta de 4 x 4, dando un área de **16m<sup>2</sup>**.

### 6.1.2.2 Área de Carga y Descarga

Se proyecta una zona central equipada con una oficina de control destinada a la supervisión tanto del ingreso de materia prima como del egreso del producto final. A ambos lados de esta oficina se dispondrán estructuras techadas independientes: una correspondiente al área de descarga de etilbenceno y otra al sector de carga de estireno. Esta configuración permite un flujo organizado y seguro de vehículos, optimizando las maniobras de los camiones cisterna y separando físicamente las operaciones de ingreso y egreso. El área total destinada a estas operaciones es de aproximadamente **224 m<sup>2</sup>**, con una dimensión de 14 m x 16 m, incluyendo las zonas de circulación, techados y la oficina de control, que ocupará una superficie aproximada de 4 x 6 m, es decir un área de **24 m<sup>2</sup>**.

### Ingreso de materia prima – Etilbenceno

Los camiones cisterna acceden al predio por el portón principal y se dirigen a la zona techada de descarga. Allí, cada camión se conecta mediante mangueras flexibles a un manifold que forma parte del sistema de cañerías fijas de la planta. Este sistema conduce el etilbenceno hacia los tanques de almacenamiento. Esta zona techada es de 16 x 5, dando un área de **80 m<sup>2</sup>**.

### Egreso de producto – Estireno

Del lado opuesto, en el área de carga, los camiones se posicionan bajo una estructura techada diseñada para operar en condiciones seguras. El estireno, previamente almacenado en tanques de almacenamiento, es bombeado hacia las unidades móviles mediante líneas. Este área tiene igual dimensiones que el ingreso de materia prima, es decir un área de **80 m<sup>2</sup>**.

### 6.1.2.3 Tanques de almacenamiento

El estireno producido será almacenado en una zona especialmente diseñada con seis tanques cilíndricos verticales de almacenamiento, cada uno con una capacidad de 200 m<sup>3</sup>. Esta cantidad de tanques permite garantizar el abastecimiento continuo del proceso, mantener un stock estratégico equivalente a varios días de producción, y cumplir con los requerimientos operativos y de seguridad industrial.

Adicionalmente, el etilbenceno, materia prima principal, será almacenado en el mismo sector en ocho tanques cilíndricos verticales de 200 m<sup>3</sup> cada uno. Esta disposición permite asegurar el suministro constante de materia prima, incluso ante variaciones en el ritmo de producción o interrupciones logísticas.



Cada tanque se estima con un diámetro de 5 metros y una altura aproximada de 10 metros. Considerando los espacios de seguridad entre tanques, pasillos técnicos y zonas de contención de derrames, la superficie total destinada al almacenamiento de estireno y etilbenceno será de aproximadamente **720 m<sup>2</sup>**, distribuidos en un área de 45 m x 16 m.

La disposición se organizará en filas paralelas de tanques, separadas por pasillos de inspección y mantenimiento, con espacio adicional para válvulas, manifolds, sistemas de carga y descarga.

#### 6.1.2.4 Área de Producción

En el área de producción se encuentran ubicados los equipos donde se desarrollan las distintas etapas del proceso que permiten obtener el producto final. Para dimensionar esta área, se consideran todos los equipos necesarios en cada una de las etapas del proceso, teniendo en cuenta no solo su volumen físico, sino también los espacios requeridos para operación, mantenimiento, seguridad y circulación.

La distribución de los equipos se realiza siguiendo el orden del proceso, con el objetivo de optimizar el flujo de materiales y minimizar tiempos de traslado. Además, se prevé el espacio suficiente entre unidades para permitir el acceso del personal, el paso de herramientas y el cumplimiento de normas de seguridad industrial.

En función de estas consideraciones, se estima que el área total necesaria para la zona de producción es de aproximadamente **128 m<sup>2</sup>**, 16 m x 8 m.

#### 6.1.2.5 Sala de Control

La sala de control es el área destinada al monitoreo y supervisión continua del proceso productivo. Desde este espacio se realiza el seguimiento de cada etapa mediante conexiones directas con los distintos equipos, permitiendo visualizar y controlar en tiempo real las variables operativas clave, como temperatura, presión, caudales y niveles.

Se prevé una superficie de aproximadamente **24 m<sup>2</sup>** (6 m x 4 m), considerada adecuada para alojar el equipamiento de control necesario, incluyendo paneles, pantallas de supervisión, sistemas de adquisición de datos y estaciones de trabajo del personal técnico.

#### 6.1.2.6 Área de Servicios Auxiliares

El área de servicios auxiliares es fundamental para el funcionamiento integral de la planta, ya que en ella se ubican los equipos que brindan soporte a los procesos principales. Entre estos servicios se encuentran la generación de vapor, sistemas de aire comprimido, bombas auxiliares, sistemas de agua de enfriamiento, entre otros.



Dado que este sector debe albergar equipos de gran porte como la caldera, tanques de alimentación de agua y equipos de bombeo, se estima un espacio cubierto de alrededor de **80 m<sup>2</sup>**, 10 m x 8 m. Esta superficie permite disponer los equipos con los accesos y pasillos de operación y mantenimiento necesarios, cumpliendo con los requisitos de seguridad, ventilación y separación entre equipos según normativas industriales.

La ubicación de esta área debe garantizar una buena conexión con las líneas de proceso, evitando interferencias con otras operaciones, y facilitando la evacuación de gases o efluentes cuando corresponda.

#### 6.1.2.7 Laboratorio

El laboratorio se destina al control de calidad del proceso y del producto final. Se proyecta un espacio de **24 m<sup>2</sup>** (6 m x 4 m), suficiente para el equipamiento esencial, zona de análisis y almacenamiento seguro de insumos.

#### 6.1.2.8 Área de Mantenimiento

El área de mantenimiento cumple una función esencial en el aseguramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de planta. Desde este sector se llevan a cabo tareas preventivas, correctivas y de almacenaje de repuestos, herramientas y equipos auxiliares necesarios para la operación eficiente del sistema productivo.

Se prevé un espacio cubierto de aproximadamente **36 m<sup>2</sup>**, suficiente para albergar un banco de trabajo, estanterías para herramientas, repuestos críticos, espacio de maniobra para el personal técnico y una pequeña oficina para gestión de órdenes de mantenimiento y documentación técnica.

La ubicación de esta área dentro del layout general se define buscando accesibilidad rápida a los sectores productivos, sin interferir con el tránsito operativo, y asegurando condiciones adecuadas de seguridad y ventilación.

#### 6.1.2.9 Área de Administración

El área de administración se encuentra ubicada en un edificio independiente de 7 x 12 m, totalizando una superficie de **84 m<sup>2</sup>**. En su interior se disponen oficinas destinadas a tareas administrativas, incluyendo sectores para personal de gerencia, recursos humanos, contabilidad y coordinación operativa. Este espacio también contempla un área de recepción y una sala de reuniones, permitiendo una adecuada organización del trabajo administrativo y de gestión dentro del establecimiento.



### 6.1.2.10 Edificios Auxiliares

#### Comedor

El comedor está dimensionado según la Ley 19.587 y el Decreto 351, considerando una capacidad para 16 personas. Se proyecta un espacio de 10 x 7 m, **70 m<sup>2</sup>**, adecuado para brindar comodidad al personal. Contará con buena iluminación, ventilación, mobiliario apropiado, y medios para guardar, recalentar alimentos y lavar utensilios, cumpliendo con las condiciones de higiene y confort necesarias.

#### Vestuarios y Sanitarios

Diseñados conforme a la Ley 19.587 y el Decreto 351, se consideran espacios diferenciados para hombres y mujeres, equipados con duchas, inodoros, lavamanos y bancos. La dimensión estimada del bloque principal es de **7 x 6 m, 42 m<sup>2</sup>**, asegurando condiciones adecuadas de higiene, comodidad y privacidad para todo el personal.

Además, se prevé un segundo núcleo sanitario ubicado en otro sector de la planta, pensado para el personal que desarrolla tareas alejadas del área principal. Este espacio contará con instalaciones básicas de sanitarios y lavamanos, con una dimensión estimada de **4 x 5 m, 20 m<sup>2</sup>**, garantizando accesibilidad y cumplimiento de las condiciones de higiene en todo el predio.

#### Playa de Estacionamiento

Se prevé un sector con capacidad para al menos 10 vehículos, incluyendo espacio para visitas y movilidad interna. La superficie estimada es de 5 x 34 m, **170 m<sup>2</sup>**, con señalización, accesos organizados y espacio de maniobra suficiente para garantizar seguridad y fluidez. Este espacio estará ubicado dentro del predio general del proyecto, pero separado físicamente del área operativa, de modo que no interfiera con el flujo de trabajo y mantenga una clara división entre zonas administrativas, operativas y de acceso vehicular.

#### Área de Seguridad y Emergencias / Enfermería

Esta área cuenta con un espacio de 7 x 4 m, **28 m<sup>2</sup>**, destinado a primeros auxilios y atención médica básica, además de servir como punto de coordinación ante emergencias. Estará equipada con camilla, botiquín, elementos de protección y comunicación directa con otras áreas.

### 6.1.11 Infraestructura Requerida



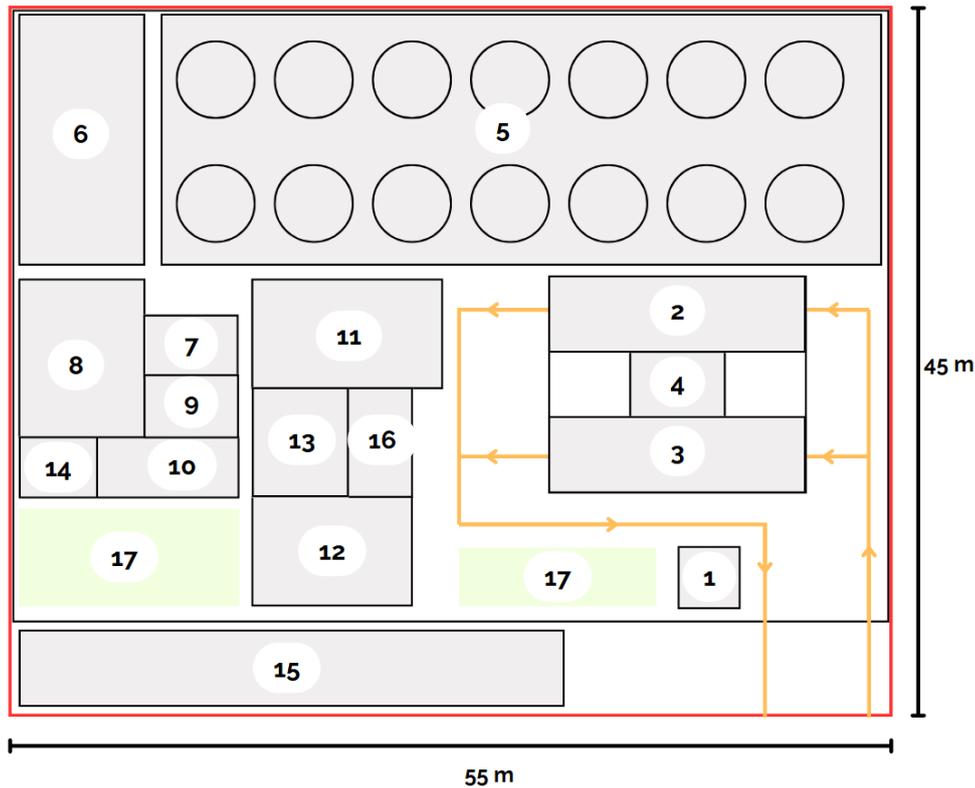
El terreno sobre el cual se instalará la empresa tiene una superficie de 2.500 m<sup>2</sup> (55 m de frente por 45.45 m de fondo). Sus dimensiones resultan adecuadas tanto para el funcionamiento actual de la empresa como para posibles ampliaciones vinculadas al aumento del volumen de producción. En cuanto a la infraestructura básica, el terreno dispone de desagües pluviales e industriales, red interna de gas, suministro de energía eléctrica y abastecimiento de agua potable.

Es importante tener en cuenta que la distribución presentada en esta tabla no contempla las superficies destinadas a espacios libres, como áreas verdes, accesos para camiones y zonas de circulación; sin embargo, dichas áreas pueden visualizarse en el layout general de la planta.

ÁREA	SUBÁREA	SUPERFICIE	SUPERFICIE TOTAL
Ingreso a la Planta	Área de recepción	16 m <sup>2</sup>	<b>16 m<sup>2</sup></b>
Área de Carga y Descarga	Ingreso de Materia Prima	80 m <sup>2</sup>	<b>224 m<sup>2</sup></b>
	Egreso de Producto	80 m <sup>2</sup>	
	Oficina de Ingreso de MP y egreso de Producto	24 m <sup>2</sup>	
Área de A Almacenamiento	Tanques de Almacenamiento de Materia Prima	408 m <sup>2</sup>	<b>720 m<sup>2</sup></b>
	Tanques de Almacenamiento Estireno	312 m <sup>2</sup>	
Área de Producción y Control	Área de Producción	128 m <sup>2</sup>	<b>292 m<sup>2</sup></b>
	Sala de Control	24 m <sup>2</sup>	
	Área de servicio auxiliares	80 m <sup>2</sup>	
	Laboratorio	24 m <sup>2</sup>	
	Área de mantenimiento	36 m <sup>2</sup>	
Administración	Área de Administración	84 m <sup>2</sup>	<b>84 m<sup>2</sup></b>
Edificios Auxiliares	Comedor	70 m <sup>2</sup>	<b>330 m<sup>2</sup></b>
	Vestuarios / Sanitarios	42 m <sup>2</sup>	
	Sanitarios	20 m <sup>2</sup>	
	Playa de Estacionamiento	170 m <sup>2</sup>	
	Área de Seguridad y Emergencia	28 m <sup>2</sup>	

**Tabla 6.1 - Infraestructura de la planta**  
**Fuente: Elaboración propia**

### 6.1.12 Layout de la empresa



- 1 - Área de recepción
  - 2 - Ingreso de Materia Prima
  - 3 - Egreso de Estireno
  - 4 - Oficina carga y descarga
  - 5 - Almacenamiento
  - 6 - Área de producción
  - 7 - Sala de control
  - 8 - Área de servicios auxiliares
  - 9 - Laboratorio
  - 10 - Mantenimiento
  - 11 - Área de administración
  - 12 - Comedor
  - 13 - Vestuario / Sanitarios
  - 14 - Sanitarios
  - 15 - Playa de estacionamiento
  - 16 - Área de seguridad y emergencia
  - 17 - Área verde
- Ingreso y egreso de camiones  
- Área total del terreno

**Figura 6.1 – Layout de la planta**  
Fuente: Elaboración propia

## 6.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

En esta sección se detallarán los equipos principales y secundarios que componen la planta, junto con sus respectivos precios estimados. Para ello, se consultaron catálogos industriales, bases de datos de proveedores y referencias bibliográficas especializadas.

DATOS TÉCNICOS	
EQUIPO	Reactor
MODELO	FYS-3000
MARCA	Shandong Sayhi Machinery
CAPACIDAD	3000L
COSTO (U\$D)	\$30.000



Tabla 6.2 - Datos Técnicos del reactor

Fuente: <https://es.made-in-china.com>

DATOS TÉCNICOS	
EQUIPO	Columna Destilación 2
MODELO	Columna de destilación industrial personalizada
MARCA	JINTA
COSTO (U\$D)	\$500.000

Tabla 6.3 - Datos Técnicos de la Columna de Destilación 2

Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/industrial-distillation-column\\_1600083646626.html](https://www.alibaba.com/product-detail/industrial-distillation-column_1600083646626.html)

DATOS TÉCNICOS	
EQUIPO	Tanque almacenamiento
MARCA	Fengda
CAPACIDAD	200m3
COSTO (U\$D)	\$60.000

Tabla 6.4 - Datos Técnicos del Tanque de Almacenamiento

Fuente: <https://es.made-in-china.com>

DATOS TÉCNICOS	
EQUIPO	Intercambiador de Calor 1
MODELO	TY-THE-1
MARCA	Tianya
Área de Intercambio	21 m <sup>2</sup>
COSTO (U\$D)	\$15000

Tabla 6.5 - Datos Técnicos del Intercambiador de Calor

Fuente: <https://es.made-in-china.com>



## CAPÍTULO VII

### INGENIERÍA DE GESTIÓN

#### 7.1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería de gestión cumple un rol fundamental en la planificación, organización y administración de los recursos necesarios para llevar adelante un proyecto industrial. En esta etapa, se define la estructura organizacional más adecuada para asegurar una implementación eficiente del proyecto y su posterior operación sostenible en el tiempo.

La correcta definición de funciones, jerarquías y responsabilidades permite optimizar los procesos internos, minimizar los costos operativos y garantizar una toma de decisiones eficaz. Asimismo, una organización bien estructurada contribuye significativamente al cumplimiento de los objetivos estratégicos del proyecto, impactando de manera directa en su viabilidad técnica y económica.

#### 7.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura organizativa propuesta para una planta de producción de estireno responde a las exigencias técnicas y operativas de un proceso químico de alta complejidad. A diferencia de industrias con procesos más simples, la producción de estireno involucra operaciones a altas temperaturas, manejo de reactivos volátiles e inflamables, control de reacciones catalíticas y una rigurosa supervisión de las etapas de separación y purificación. Estas características requieren un plantel técnico calificado y un esquema organizativo bien definido que asegure la continuidad operativa bajo condiciones seguras y eficientes.

Por lo tanto, la estructura contempla tantas áreas de producción y mantenimiento con personal capacitado, como un equipo de control de calidad, seguridad e higiene industrial, automatización y monitoreo de procesos. En paralelo, la gestión administrativa debe ser lo suficientemente sólida para coordinar aspectos logísticos, financieros, comerciales y regulatorios, en un entorno que exige cumplimiento normativo y estándares internacionales.

La estructura propuesta busca ser funcional y equilibrada, con líneas jerárquicas claras pero con canales de comunicación abiertos entre los diferentes sectores. Esta flexibilidad favorece una rápida respuesta ante posibles eventualidades, y promueve una cultura organizacional colaborativa y orientada a la mejora continua.



### 7.2.1 Principios de organización

El diseño estructural de una organización industrial, debe sustentarse en principios organizativos sólidos que garanticen un funcionamiento eficiente, seguro y coherente. Estos principios son esenciales para asegurar una adecuada distribución de tareas, una jerarquía clara y un entorno laboral ordenado. A continuación, se detallan los lineamientos fundamentales adoptados:

- **Separación de funciones:** Se establece una clara diferenciación entre las áreas técnicas, operativas, administrativas y comerciales, con el fin de evitar superposición de responsabilidades y permitir una gestión especializada en cada área.
- **División lógica del trabajo:** Las funciones se subdividen de manera racional dentro de cada área, garantizando que no existan solapamientos ni ambigüedades. Esto permite que cada trabajador reciba directivas de un único superior inmediato, fortaleciendo la cadena de mando y la eficiencia operativa.
- **Claridad en la asignación de responsabilidades:** Cada nivel jerárquico cuenta con tareas específicas claramente definidas, lo que evita la dispersión o duplicación de responsabilidades y asegura una rendición de cuentas efectiva.
- **Delegación adecuada de autoridad:** La autoridad es delegada en función del nivel jerárquico de cada puesto, garantizando que cada integrante tenga la capacidad y el respaldo necesarios para tomar decisiones dentro de su ámbito de competencia.
- **Selección basada en idoneidad:** Cada posición dentro de la organización será ocupada por el personal más calificado y conveniente, teniendo en cuenta tanto la formación técnica como las habilidades personales requeridas para el cumplimiento de los objetivos de cada área.

Estos principios permiten una estructura organizativa coherente y eficiente, alineada con los requerimientos técnicos y de seguridad que implica una operación industrial compleja como lo es la producción de estireno.

### 7.2.2 Recursos humanos

Para el correcto funcionamiento de la planta de producción de estireno, se requiere un equipo humano con formación técnica, operativa y administrativa que permita asegurar tanto la continuidad del proceso productivo como el cumplimiento de las normativas de seguridad, calidad y medio ambiente. A continuación, se detalla la estructura propuesta del recurso humano:



- **Gerente General:** Responsable de la administración global de la empresa y la toma de decisiones estratégicas. Se sugiere que el perfil corresponda a un ingeniero químico, industrial o civil con experiencia en dirección de plantas industriales.
- **Gerente de Producción:** Encargado de planificar, coordinar y supervisar todas las actividades relacionadas con la producción de estireno. Asegura el cumplimiento de metas de cantidad, calidad, eficiencia y seguridad operativa.
- **Gerente de Administración y Finanzas:** Responsable de la gestión administrativa diaria, el control presupuestario, la planificación financiera y el cumplimiento de obligaciones fiscales. Supervisa áreas como compras, pagos, recursos humanos y contabilidad.
- **Jefe de Producción:** Supervisa el proceso productivo en tiempo real, asegurando el cumplimiento de los estándares operativos. Coordina al equipo de operarios y técnicos, resuelve contingencias técnicas y reporta directamente al gerente de producción.
- **Jefe de Mantenimiento:** Encargado de planificar y ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos y sistemas de la planta. Se recomienda contar con un equipo técnico compuesto por un técnico mecánico, un técnico eléctrico y un técnico en instrumentación.
- **Ingeniero de Procesos:** Profesional responsable de optimizar los parámetros operativos, asegurar el cumplimiento de las condiciones de reacción (temperatura, presión, relación vapor/EB, etc.) y analizar datos para mejorar la eficiencia del reactor y otras unidades del proceso.
- **Supervisor de Seguridad e Higiene Industrial:** Encargado de implementar y controlar el cumplimiento de normas de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente. Participa activamente en la capacitación del personal y en la gestión de riesgos.
- **Operarios de Planta:** Ejecutan las tareas operativas de carga de materias primas, monitoreo de equipos, control de variables y apoyo en paradas de mantenimiento. Se prevé una dotación mínima distribuida por turnos para garantizar la operación continua.
- **Laboratorista de Control de Calidad:** Realiza análisis de materias primas, productos intermedios y producto final, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas. Su labor es esencial para garantizar la calidad del estireno producido.
- **Encargado de Logística y Almacén:** Planifica, organiza y controla las operaciones de recepción, almacenamiento y despacho de materias primas, insumos y productos terminados. También coordina el transporte y la distribución.
- **Encargado de Compras y Ventas:** Profesional responsable del abastecimiento de insumos, negociación con proveedores y desarrollo de estrategias de comercialización



del producto. Su perfil ideal es el de un ingeniero industrial o comercial con experiencia en ventas técnicas.

- **Contador Externo:** Brinda soporte contable, financiero y fiscal a la empresa. Su trabajo incluye liquidación de sueldos, balances, gestión impositiva y presentación de declaraciones juradas ante organismos oficiales.
- **Secretaría Administrativa:** Apoya en tareas de gestión documental, atención de llamadas, coordinación de reuniones y soporte general a la gerencia.
- **Personal de Seguridad:** Encargado de custodiar las instalaciones, controlar accesos y velar por la seguridad del personal y los activos.
- **Personal de Limpieza:** Encargado de la higiene de oficinas, baños, áreas comunes y zonas industriales, garantizando condiciones adecuadas de orden y limpieza.
- **Supervisor de Medio Ambiente:** Profesional responsable del monitoreo ambiental, cumplimiento de normativas y gestión de residuos peligrosos y emisiones de la planta.
- **Ingeniero de Instrumentación y Control:** A cargo del mantenimiento, configuración y calibración de sistemas de control, sensores y válvulas automáticas. Fundamental en plantas con automatización avanzada.

## 7.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN

### 7.3.1 Constitución legal

La constitución legal de una empresa se realiza cuando una persona o un grupo de personas registran formalmente su organización ante las autoridades competentes, con el objetivo de cumplir con la normativa vigente y acceder a los múltiples beneficios de operar legalmente.

Este proceso permite que **Estyrex S.A.** sea reconocida como una entidad jurídica legítima, con capacidad para emitir comprobantes fiscales, acceder a créditos, y llevar adelante sus actividades de producción, comercialización y promoción de productos con respaldo legal y sin restricciones.

En el caso de Argentina, la constitución de una sociedad comercial se encuentra regulada por la Ley N.º 19.550 de Sociedades Comerciales, que define las distintas formas societarias y detalla los derechos, beneficios y obligaciones para quienes la integran.

**Estyrex S.A.** se ha constituido como una **Sociedad Anónima**, una figura jurídica especialmente apta para proyectos industriales de gran envergadura como lo es la producción de estireno. Este tipo societario permite contar con un mínimo de dos socios, sin límite máximo, y operar bajo una



razón social y/o denominación específica. El capital se representa mediante acciones, en lugar de participaciones sociales, lo que brinda mayor flexibilidad y dinamismo financiero.

Entre las principales ventajas de este tipo societario se destacan:

- Es una sociedad abierta, lo cual habilita a los socios a vender sus acciones libremente y posibilita que la empresa cotice en bolsa.
- El capital se representa por acciones y los socios limitan su responsabilidad a la integración de las acciones suscritas.
- Puede constituirse incluso con un único socio, sin necesidad de contar con un grupo societario.
- Las utilidades de la sociedad no están sujetas a cargas sociales ni a seguros médicos.
- Genera una imagen sólida y profesional, tanto frente a otras empresas como ante entidades financieras y organismos del Estado.
- La gestión y administración pueden ser llevadas a cabo por personas externas a los socios accionistas, permitiendo una conducción objetiva e independiente.
- Facilita la movilización del capital y su crecimiento.
- Permite atraer inversión de múltiples personas sin necesidad de conocerlas personalmente, promoviendo una mayor captación de fondos.

De esta manera, **ESTYREX S.A.** se posiciona como una organización formal, competitiva y con una base jurídica sólida para desarrollar sus actividades en la industria química y petroquímica nacional e internacional.

### 7.3.2 Razón social y funciones de la empresa

Estyrex S.A. es una empresa argentina dedicada a la producción de estireno mediante la deshidrogenación catalítica del etilbenceno. Ubicada en el Parque Industrial San Lorenzo, en la provincia de Santa Fe, iniciará sus operaciones comerciales en el año 2026.

Con una visión orientada hacia la excelencia operativa y el compromiso con el desarrollo sostenible, Estyrex S.A. se posiciona para satisfacer la creciente demanda de estireno en Argentina, contribuyendo al fortalecimiento de la industria petroquímica nacional y al desarrollo económico de la región.

### Datos Sociales, Tributarios y Comerciales

**Tipo de perfil:** Empresa

**País:** Argentina



**CUIT:** 30-71629584-6

**Actividad principal:** Producción y venta al por mayor de estireno a partir de la deshidrogenación catalítica del etilbenceno.

**Actividad principal ARCA:** 201190 - Fabricación de materias químicas orgánicas básicas n.c.p

**Perfil de comercialización:** Mayorista

**Fecha de contrato social:** 2026

**Domicilio de la sede social:** Parque Industrial San Lorenzo, Provincia de Santa Fe, Argentina

**Teléfono:** 034234595

## 7.4 ORGANIGRAMA

El organigrama de la planta industrial tiene como objetivo representar de manera clara y estructurada la distribución jerárquica y funcional del personal dentro de la organización. Esta herramienta permite visualizar las relaciones de dependencia, los niveles de autoridad y los canales de comunicación entre las distintas áreas, sectores y puestos de trabajo.

La elaboración del organigrama es fundamental para garantizar una gestión eficiente de los recursos humanos, facilitando la coordinación entre sectores, la toma de decisiones y la asignación adecuada de responsabilidades. Además, permite identificar con precisión los flujos de supervisión y reporte, promoviendo una estructura organizativa coherente con los objetivos estratégicos de la empresa.

Tomando en consideración las funciones, jerarquías y vínculos se presenta a continuación el siguiente organigrama de la planta:

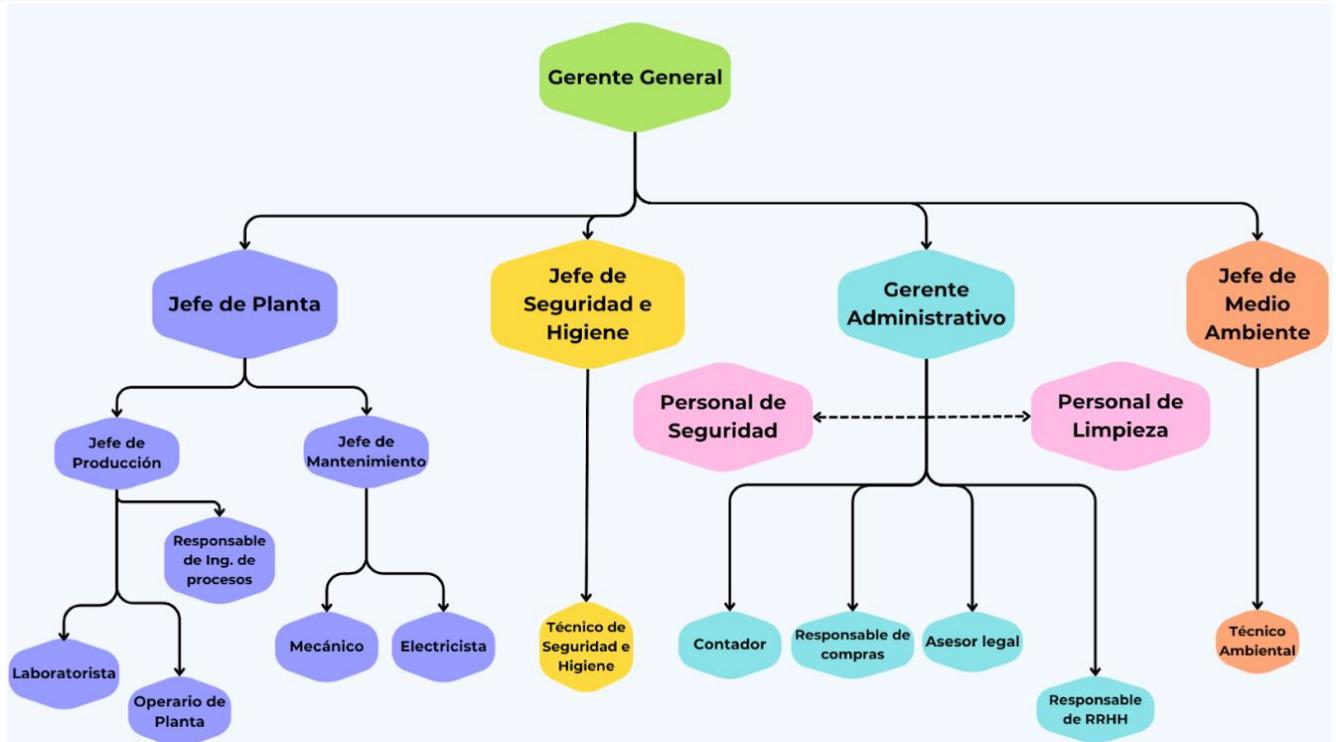


Figura 7.1 - Organigrama de la empresa Estyrex S.A  
Fuente: Elaboración Propia

## 7.5 FICHAS DE FUNCIÓN

Para los distintos puestos se establecerán las fichas de función:

### Área Dirección

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Dirección
Sector	Gerencia General
Función	Coordinar, dirigir y supervisar el funcionamiento integral de la empresa.
Supervisar a	Gerente de Planta, Gerente de Finanzas, Gerente de Seguridad e Higiene, Gerente de Recursos Humanos, Gerente Comercial.
Reportar a	Junta Directiva / Accionistas
Categoría	Fuera CCT
<b>DEBERES</b>	



Establecer objetivos estratégicos y operativos
Definir la visión y estrategia de la empresa.
Evaluar el desempeño de los gerentes de área.
Alinear las distintas gerencias.
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Formación universitaria completa, preferentemente en Ingeniería, Administración o Economía.
Experiencia mínima de 10 años en cargos directivos industriales.
Habilidades de liderazgo, comunicación y toma de decisiones estratégicas.

**Tabla 7.1 - Ficha de Función del Gerente General**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Dirección
<b>Sector</b>	Gerente de Producción
<b>Función</b>	Liderar la producción de la planta, gestionando los recursos productivos, técnicos y humanos
<b>Supervisar a</b>	Jefes de Producción, Mantenimiento, Seguridad Industrial y Logística.
<b>Reportar a</b>	Gerente General
<b>Categoría</b>	Fuera CCT
<b>DEBERES</b>	
Garantizar el cumplimiento de los objetivos productivos.	
Coordinar con otras áreas para optimizar procesos.	
Velar por la seguridad y eficiencia operativa.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Profesional en Ingeniería Química, Industrial o afín..	
Experiencia mínima de 8 años en plantas industriales.	
Habilidades de liderazgo, toma de decisiones y capacidad de gestión.	

**Tabla 7.2 - Ficha de Función del Jefe de Planta**  
Fuente: Elaboración Propia



### Área de Administración

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Administración
Sector	Dirección Administrativa
Función	Gestionar los recursos económicos, financieros y contables de la empresa.
Supervisar a	Contador, RRHH, Compras, Tesorería.
Reportar a	Gerente General
Categoría	Fuera CCT
DEBERES	
Elaborar presupuestos y reportes financieros.	
Coordinar auditorías internas y externas.	
Supervisar la gestión contable y fiscal.	
PERFIL DEL PUESTO	
Lic. en Administración, Economía o Contador Público.	
Experiencia mínima de 5 años.	
Alta capacidad analítica y visión estratégica.	

**Tabla 7.3 - Ficha de Función del Gerente Administrativo**  
Fuente: Elaboración Propia

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Administración
Sector	Finanzas
Función	Gestionar balances, impuestos y auditorías
Reportar a	Gerente de Administración
Categoría	A2
DEBERES	
Liquidación de sueldos	



Balances contables
Declaraciones juradas
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Contador Público.

**Tabla 7.4 - Ficha de Función del Contador**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Administración
<b>Sector</b>	Legales
<b>Función</b>	Asesorar jurídicamente a la empresa
<b>Reportar a</b>	Gerente de Administración
<b>Categoría</b>	A2
<b>DEBERES</b>	
Redacción de contratos	
Defensa legal	
Cumplimiento Normativo	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Abogado con experiencia en derecho laboral y ambiental	

**Tabla 7.5 - Ficha de Función de Asesor Legal**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Administración
<b>Sector</b>	Compras
<b>Función</b>	Gestionar compras y contratos de insumos y servicios
<b>Reportar a</b>	Gerente de Administración
<b>Categoría</b>	A2
<b>DEBERES</b>	



Negociar precios, evaluar proveedores, emitir órdenes de compra
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Técnico o Lic. en Administración

**Tabla 7.6 - Ficha de Función de Responsable de Compras**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Administración
<b>Sector</b>	RRHH
<b>Función</b>	Gestionar el personal de la empresa, desde selección, capacitación y desarrollo hasta relaciones laborales y cumplimiento normativo.
<b>Reportar a</b>	Gerente de Administración
<b>Categoría</b>	A2
<b>DEBERES</b>	
Definir y ejecutar políticas de RRHH.	
Supervisar procesos de selección y capacitación.	
Mantener actualizada la documentación laboral.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Profesional en RRHH, Psicología o carreras afines.	
Experiencia mínima de 3 años en plantas industriales.	
Buen manejo de relaciones interpersonales y conocimientos de legislación laboral.	

**Tabla 7.7 - Ficha de Función de Responsable de Recursos Humanos**  
Fuente: Elaboración Propia

**Área de Producción**

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Área Técnica de Operación
<b>Función</b>	Supervisar el proceso productivo de estireno,



	garantizando eficiencia, calidad y seguridad.
<b>Supervisar a</b>	Supervisores de Turno, Técnicos de Operación.
<b>Reportar a</b>	Jefe de Planta
<b>Categoría</b>	Fuera CCT
<b>DEBERES</b>	
Controlar indicadores clave de producción	
Resolver desvíos operativos.	
Coordinar con mantenimiento y calidad.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ing. Químico o afín.	
Experiencia de al menos 3 años en procesos químicos continuos.	
Orientado a resultados y gestión de equipos.	

**Tabla 7.8 - Ficha de Función del Jefe de producción**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Laboratorio
<b>Función</b>	Analizar la calidad del producto final
<b>Reportar a</b>	Jefe de Planta
<b>Categoría</b>	A2
<b>DEBERES</b>	
Analizar muestras, emitir reportes, calibrar instrumentos	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Lic. en Química o afín	

**Tabla 7.9 - Ficha de Función del Laboratorista**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>
-------------------------



<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Mantenimiento
<b>Función</b>	Planificar y supervisar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.
<b>Supervisar a</b>	Técnicos Mecánicos, Electricistas.
<b>Reportar a</b>	Jefe de Planta
<b>Categoría</b>	Fuera CCT
<b>DEBERES</b>	
Mantener equipos en óptimas condiciones.	
Coordinar paradas técnicas.	
Gestionar repuestos y contratos de servicio.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ing. Mecánico/Electromecánico.	
Experiencia comprobable en plantas industriales.	
Perfil resolutivo y orientado a la mejora continua.	

**Tabla 7.10 - Ficha de Función del Jefe de Mantenimiento**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Operación en línea
<b>Función</b>	Operar los equipos y controlar las variables del proceso productivo bajo supervisión directa.
<b>Reportar a</b>	Jefe de Producción
<b>Categoría</b>	A1
<b>DEBERES</b>	
Realizar controles rutinarios de presión, temperatura y caudal.	
Operar válvulas, bombas y reactores según instrucciones.	
Registrar datos operativos.	



PERFIL DEL PUESTO	
Secundario completo técnico (químico o electromecánico).	
Experiencia en plantas de procesos es valorada.	

**Tabla 7.11 - Ficha de Función del Operario de Planta**  
Fuente: Elaboración Propia

FICHA DE FUNCIÓN	
<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Ingeniería
<b>Función</b>	Optimizar procesos y apoyar en proyectos de mejora
<b>Reportar a</b>	Jefe de Producción
<b>Categoría</b>	B1
DEBERES	
Modelado de procesos, balances de masa y energía, eficiencia energética	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero químico o de procesos.	
Experiencia en plantas de procesos es valorada.	

**Tabla 7.12 - Ficha de Función del Responsable de Ingeniería de Procesos**  
Fuente: Elaboración Propia

FICHA DE FUNCIÓN	
<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Mantenimiento Mecánico
<b>Función</b>	Ejecutar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos mecánicos de la planta.
<b>Reportar a</b>	Jefe de Mantenimiento
<b>Categoría</b>	A1
DEBERES	
Diagnosticar fallas mecánicas	
Realizar reparaciones y mantenimiento programado.	



Registrar intervenciones en los equipos.
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Técnico mecánico
Experiencia en plantas de procesos es valorada.
Capacidad para trabajar bajo presión y disponibilidad para turnos rotativos.

**Tabla 7.13 - Ficha de Función de Mecánico**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Producción
<b>Sector</b>	Mantenimiento Eléctrico
<b>Función</b>	Realizar tareas de mantenimiento eléctrico en instalaciones y maquinaria.
<b>Reportar a</b>	Jefe de Mantenimiento
<b>Categoría</b>	A1
<b>DEBERES</b>	
Mantenimiento y reparación de tableros, motores y sistemas de control.	
Detección de fallas y prevención de riesgos eléctricos.	
Verificación de instalaciones según normativa eléctrica.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Técnico electricista con conocimientos en automatización industrial	
Experiencia en media y baja tensión.	
Conocimiento de normas de seguridad eléctrica.	

**Tabla 7.14 - Ficha de Función de Electricista**  
Fuente: Elaboración Propia

**Área Seguridad e Higiene**

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Seguridad e Higiene



<b>Sector</b>	Seguridad Industrial
<b>Función</b>	Asegurar el cumplimiento de normas de seguridad, higiene y ambiente
<b>Supervisar a</b>	Técnicos en Seguridad e Higiene
<b>Reportar a</b>	Gerente General
<b>Categoría</b>	Fuera CCT
<b>DEBERES</b>	
Diseñar programas de prevención de riesgos.	
Capacitar al personal.	
Realizar auditorías internas.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Técnico o Licenciado en Seguridad e Higiene.	
Experiencia comprobable en plantas industriales.	
Proactivo y con habilidades pedagógicas.	

**Tabla 7.15 - Ficha de Función del Jefe de Seguridad e Higiene**  
Fuente: Elaboración Propia

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>Área</b>	Seguridad e Higiene
<b>Sector</b>	Planta
<b>Función</b>	Asegurar el cumplimiento de las normativas de seguridad industrial y salud ocupacional.
<b>Reportar a</b>	Responsable de Seguridad e Higiene
<b>Categoría</b>	A2
<b>DEBERES</b>	
Verificar uso de EPP.	
Asistir en capacitaciones y simulacros.	
Inspeccionar condiciones de trabajo y levantar reportes.	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Técnico en Seguridad e Higiene con matrícula habilitante.	



Se valora experiencia en industria química.

**Tabla 7.16 - Ficha de Función de Técnico de Seguridad e Higiene**  
Fuente: Elaboración Propia

**Área Medio Ambiente**

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Medio Ambiente
Sector	Corporativo
Función	Supervisar el cumplimiento ambiental de la planta y promover prácticas sostenibles.
Supervisar a	Técnicos en Medio Ambiente
Reportar a	Gerente General
Categoría	Fuera CCT
DEBERES	
Gestionar residuos y efluentes.	
Controlar emisiones.	
Preparar informes ambientales regulatorios.	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero ambiental, químico o similar	
Experiencia en normativas ISO 14001.	

**Tabla 7.17 - Ficha de Función del Jefe de Medio Ambiente**  
Fuente: Elaboración Propia

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Medio Ambiente
Sector	Corporativo
Función	Supervisar el cumplimiento ambiental de la planta y promover prácticas sostenibles.
Reportar a	Jefe de Medio Ambiente
Categoría	A2



DEBERES	
Gestionar residuos y efluentes.	
Controlar emisiones.	
Preparar informes ambientales regulatorios.	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero ambiental, químico o similar	
Experiencia en normativas ISO 14001.	

**Tabla 7.18 - Ficha de Función de Técnico Ambiental**  
Fuente: Elaboración Propia

**Área de Servicios Generales**

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Servicios Generales
Sector	Planta y Oficinas
Función	Mantener limpieza e higiene
Reportar a	Gerente General
Categoría	CCT
DEBERES	
Limpieza de áreas comunes, retiro de residuos	
PERFIL DEL PUESTO	
Primario completo, experiencia previa valorada	

**Tabla 7.19 - Ficha de Función del Personal de Limpieza (externo)**  
Fuente: Elaboración Propia

FICHA DE FUNCIÓN	
Área	Servicios Generales
Sector	Seguridad
Función	Controlar accesos y monitoreo de seguridad



<b>Reportar a</b>	Gerente General
<b>Categoría</b>	CCT
<b>DEBERES</b>	
Verificar ingreso/egreso, control por cámaras, reportes	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Secundario completo, formación en vigilancia	

**Tabla 7.20 - Ficha de Función de Personal de Seguridad (externo)**  
**Fuente: Elaboración Propia**

## 7.6 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CARGOS

Los distintos cargos establecidos en la planta industrial fueron organizados de acuerdo con las categorías contempladas en el Convenio Colectivo de Trabajo N.º 77/89. Este convenio regula las condiciones laborales del personal perteneciente a las industrias químicas y petroquímicas, incluyendo aspectos como jornadas de trabajo, beneficios sociales, salarios y demás derechos laborales.

Cabe destacar que el CCT 77/89 tiene vigencia en todo el territorio de la República Argentina y prohíbe la aplicación de quitas o descuentos zonales sobre los salarios de referencia, asegurando así condiciones equitativas para todos los trabajadores del sector, sin importar su ubicación geográfica.

En función de lo establecido por este convenio, se definieron las categorías correspondientes a cada uno de los puestos incluidos en el organigrama y las condiciones básicas que corresponden a cada trabajador en su rol dentro de la empresa.



## CAPÍTULO VIII

### ASPECTOS AMBIENTALES

#### 8.1 INTRODUCCIÓN

La adecuada gestión de los aspectos ambientales constituye un pilar fundamental para el desarrollo y funcionamiento de cualquier emprendimiento industrial. En el caso de Estyrex S.A., cuyo objetivo es la producción de estireno, resulta indispensable alcanzar un equilibrio entre el rendimiento económico y la protección del entorno natural y social.

La experiencia demuestra que la falta de una gestión ambiental responsable puede generar una fuerte oposición social, lo cual puede ralentizar e incluso detener la puesta en marcha de nuevos proyectos. Por el contrario, el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, acompañado de un diálogo transparente con la comunidad, promueve una producción sustentable y socialmente aceptada.

El impacto ambiental se define como toda alteración, ya sea positiva o negativa, provocada por una acción o actividad sobre el ambiente o cualquiera de sus componentes. Estos impactos pueden variar en su magnitud, duración e intensidad, y pueden manifestarse durante distintas etapas del proyecto.

La evaluación de impacto ambiental es un procedimiento técnico y administrativo que permite identificar, predecir y valorar las consecuencias que una determinada actividad podría generar sobre el entorno. Este análisis temprano de los posibles efectos facilita la toma de decisiones informadas y permite implementar medidas preventivas o correctivas para minimizar los riesgos ambientales.

Para lograrlo, se requiere una visión integral de los procesos involucrados, incluyendo no solo el aspecto técnico, sino también las dimensiones económicas y sociales del proyecto.

En el presente capítulo, se llevará a cabo un análisis preliminar de los posibles impactos ambientales que podrían generarse durante las fases de construcción, operación y mantenimiento de la planta industrial de Estyrex S.A. Cabe señalar que este estudio constituye una base inicial que deberá ser profundizada y complementada en la etapa de factibilidad del proyecto.



## 8.2 MARCO LEGAL

El marco legal ambiental que regula la instalación y operación de plantas industriales en Argentina se basa en una combinación de normas nacionales, provinciales y municipales, que garantizan la protección del ambiente, la prevención de la contaminación y la gestión sustentable de los recursos naturales. A continuación, se detallan las disposiciones más relevantes a considerar para el desarrollo del presente proyecto de producción de estireno.

### 8.2.1 Legislación nacional

A nivel nacional, el proyecto se encuentra alcanzado por una serie de normas generales que regulan las actividades con potencial impacto ambiental:

#### **Ley General del Ambiente N° 25.675**

Es la ley marco en materia ambiental. Establece los principios de política ambiental, como el principio precautorio, preventivo, de equidad intergeneracional y de sustentabilidad.

La ley exige que todo proyecto con potencial impacto ambiental sea sometido a un proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), con participación ciudadana y la emisión de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) por parte de la autoridad competente.

#### **Ley N.º 25.688 – Régimen de Gestión Ambiental de Aguas**

Regula la preservación y uso racional de los recursos hídricos. Las actividades industriales deben garantizar que los efluentes líquidos cumplan con los parámetros permitidos antes de su disposición final, evitando así la contaminación de cuerpos receptores.

#### **Ley N.º 24.051 – Residuos Peligrosos**

Determina el tratamiento, transporte, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos generados por actividades industriales. Las plantas deben inscribirse en el Registro Nacional de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos, y llevar un control estricto de los residuos generados.

**Ley N.º 26.331 – Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos,** y otras leyes complementarias relacionadas con biodiversidad, cambio climático y recursos naturales que, si bien no afectan directamente al proyecto, podrían ser consideradas en la evaluación ambiental general del sitio.



### **8.2.2 Legislación provincial**

Dado que la planta estará localizada en la provincia de Santa Fe, se deberán cumplir también con los siguientes marcos regulatorios provinciales:

#### **Ley Provincial N.º 11.717 – Política Ambiental Provincial**

Establece las bases para la gestión ambiental en Santa Fe. Exige la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental para proyectos industriales y regula los procedimientos de control y seguimiento ambiental. La autoridad de aplicación es el Ministerio de Ambiente y Cambio Climático de la Provincia de Santa Fe.

#### **Decreto Reglamentario N.º 101/2003**

Reglamenta los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental, incluyendo el contenido mínimo de los estudios, los mecanismos de participación ciudadana, y las condiciones para otorgar la Declaración de Impacto Ambiental.

#### **Ley N.º 12.530 – Gestión Integral de Residuos Industriales y de Servicios**

Complementa la legislación nacional en lo referido al tratamiento de residuos industriales. La provincia cuenta con un registro de operadores habilitados para transporte, tratamiento y disposición de residuos peligrosos y no peligrosos.

#### **Ley N.º 13.060 – Gestión Integral del Recurso Hídrico en Santa Fe**

Regula el uso del agua para actividades industriales. Se requiere autorización para uso de aguas superficiales o subterráneas, y control de efluentes líquidos industriales, los cuales deben ser tratados antes de su vertido.

### **8.3 DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES**

El desarrollo de una planta industrial conlleva la necesidad de evaluar detalladamente el entorno natural y social en el cual se inserta, a fin de anticipar posibles impactos, garantizar la sostenibilidad del proyecto y cumplir con la legislación vigente. En este sentido, el presente apartado tiene como objetivo analizar de manera integral las condiciones ambientales del área



de emplazamiento de la planta, ubicada en el Parque Industrial San Lorenzo, en la provincia de Santa Fe.

El análisis ambiental abarcará tanto el medio físico (aire, suelo, agua superficial y subterránea), como el medio biológico (flora y fauna presentes en el entorno) y el medio socioeconómico. Además, se tendrá en cuenta la influencia de la planta en el entorno inmediato y en sus alrededores, considerando las interacciones entre los distintos componentes ambientales.

Este estudio constituye una herramienta fundamental para identificar situaciones críticas, prever posibles afectaciones, y establecer estrategias de prevención, mitigación o compensación. Asimismo, permite sentar las bases para la elaboración de planes de gestión ambiental, en consonancia con los principios del desarrollo sostenible y las normativas nacionales y provinciales que rigen en la materia.

### **8.3.1 Medio Físico**

#### **8.3.1.1 Aire**

##### ***Calidad fisicoquímica del aire***

La región de San Lorenzo, ubicada en el corredor industrial del sur de Santa Fe, presenta una situación ambiental compleja en lo que respecta a la calidad del aire. La alta concentración de actividades industriales particularmente en los rubros petroquímico, agroexportador y metalúrgico, junto con el movimiento constante en el complejo portuario y el tránsito vehicular pesado, genera una carga significativa de emisiones gaseosas a la atmósfera. Entre los principales contaminantes presentes se encuentran el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y el ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ), todos ellos con efectos negativos potenciales sobre la salud humana y el ambiente.

Diversos estudios y campañas de monitoreo ambiental han demostrado que, si bien los niveles promedio de estos gases pueden encontrarse ocasionalmente dentro de los límites establecidos por la legislación nacional (según el Decreto 1074/18 que reglamenta la Ley 20.284 de Protección del Aire), existen episodios frecuentes de superación de dichos valores, especialmente durante picos de producción industrial o bajo determinadas condiciones meteorológicas, como la inversión térmica, que dificulta la dispersión de los contaminantes. Estas fluctuaciones ponen de manifiesto que la calidad del aire en San Lorenzo no puede considerarse aceptable de manera sostenida ni generalizada.

##### ***Niveles de material particulado (PM)***

El material particulado en suspensión, constituye uno de los parámetros de mayor relevancia ambiental, dado su impacto directo sobre la salud respiratoria.



Diversos estudios ambientales realizados en el cordón industrial del Gran Rosario y en particular en San Lorenzo, han registrado valores de material particulado por encima de los niveles aceptables. Por ejemplo, informes de monitoreo desarrollados por instituciones como la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) sede Rosario detectaron que alrededor del 27% de las muestras analizadas superaban los valores permitidos según la normativa argentina. Asimismo, estudios puntuales en inmediaciones de plantas industriales han demostrado que, en más de la mitad de los días monitoreados, las concentraciones de partículas sedimentables y en suspensión excedieron los límites legales.

Estas partículas no solo afectan la visibilidad y la limpieza de superficies, sino que también representan un riesgo sanitario, ya que las fracciones más finas pueden ingresar al sistema respiratorio y alcanzar los alvéolos pulmonares, agravando enfermedades respiratorias y cardiovasculares, especialmente en niños, adultos mayores y personas con patologías preexistentes.

### ***Nivel sonoro***

El entorno del Parque Industrial San Lorenzo se caracteriza por la presencia de diversas fuentes de ruido, tanto fijas como móviles. Entre las principales fuentes sonoras se encuentran el funcionamiento de maquinaria industrial, la operación de camiones de carga, y el tránsito en rutas cercanas. El nivel sonoro promedio diurno en el área industrial ronda los 65-75 dB, mientras que en horario nocturno suele descender a valores cercanos a los 55 dB.

Si bien estos niveles son tolerables para una zona industrial, es necesario tomar medidas de mitigación para evitar molestias o afectaciones en sectores residenciales cercanos, como los barrios periféricos de San Lorenzo y Puerto General San Martín. Para ello, se deberán implementar barreras acústicas, aislamiento en fuentes emisoras y horarios controlados de funcionamiento de equipos ruidosos.

### ***Clima de la región***

La zona donde se localiza el Parque Industrial San Lorenzo presenta un clima templado húmedo subtropical, típico del litoral argentino, con estaciones bien marcadas y una importante influencia de las masas de aire húmedas provenientes del océano Atlántico. Este clima puede plantear desafíos vinculados a la humedad ambiental, tormentas intensas y períodos de inundaciones.

### ***Temperatura***

Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 17 y 20 °C. El verano, se caracteriza por ser cálido y húmedo, con temperaturas máximas promedio de 30 a 33 °C, aunque pueden superar los 38 °C en olas de calor. El invierno, es moderadamente frío, con temperaturas mínimas promedio de 6 a 8 °C, y en ocasiones se registran heladas, aunque son poco frecuentes y de corta duración.

## **Precipitaciones**

La región recibe una precipitación media anual de entre 900 y 1200 mm, distribuidos de manera relativamente homogénea a lo largo del año, con un leve aumento durante la primavera y el verano. Las lluvias son generalmente de tipo convectivo, es decir, se presentan en forma de chaparrones intensos de corta duración, muchas veces acompañados de tormentas eléctricas.

## **Humedad y vientos**

La humedad relativa promedio es elevada, rondando el 70% al 80%, lo que puede influir tanto en la percepción térmica como en procesos industriales sensibles a la humedad ambiental. En cuanto a los vientos predominantes, soplan principalmente desde el noreste y sudeste, con velocidades promedio de 15 a 25 km/h, siendo más intensos durante la primavera.

### **8.3.1.2 Agua**



**Figura 8.1 - Ríos cercanos a San Lorenzo**  
**Fuente: Mapoteca**

En la figura anterior y en las posteriores, el cuadrado rojo nos indica la ubicación del parque industrial San Lorenzo, en donde se ubicará nuestra planta de estireno.

El medio hídrico en el área de influencia del Parque Industrial San Lorenzo está compuesto por una red de cuerpos de agua superficiales y acuíferos subterráneos de gran relevancia ecológica y productiva. Esta región del sur santafesino forma parte de la cuenca del río Paraná, a la que se integran también otros cursos de agua como el río Carcarañá y el arroyo Saladillo, que actúan como tributarios y colectores secundarios del sistema.

El río Paraná, de carácter navegable y con un importante caudal permanente, representa el principal cuerpo de agua superficial en la zona. Es utilizado intensamente tanto para navegación



comercial como para captación de agua con fines industriales, urbanos y agrícolas. El Parque Industrial San Lorenzo se encuentra a aproximadamente 4 km del río Paraná, que bordea la ciudad de San Lorenzo.

El río Carcarañá, que desemboca en el Paraná al norte de la ciudad de San Lorenzo, es otro curso de agua importante para el equilibrio hídrico y ecológico de la región. Si bien no se utiliza directamente en el parque industrial, influye en la dinámica hidrológica regional y podría verse afectado por escurrimientos superficiales o alteraciones del uso del suelo. El Río Carcarañá, se ubica a unos 15 km del Parque Industrial San Lorenzo.

Por su parte, el arroyo Saladillo, ubicado al sur del parque, actúa como un colector natural de aguas pluviales e industriales de zonas suburbanas e industriales cercanas. Su caudal varía según la época del año, y se han identificado impactos negativos relacionados con la descarga de efluentes y residuos sólidos, por lo que constituye un punto sensible a considerar desde el punto de vista ambiental. El Río Carcarañá, se ubica a unos 40 km del Parque Industrial San Lorenzo.

Respecto al agua subterránea, el parque se ubica sobre formaciones del sistema Pampeano y Puelche, que contienen napas freáticas de moderada profundidad. Estas pueden representar una fuente alternativa de abastecimiento, aunque actualmente el uso principal en áreas industriales es el agua superficial. Aun así, es necesario proteger las napas ante posibles infiltraciones, especialmente en zonas de almacenamiento de sustancias peligrosas o residuos

Es importante destacar que toda actividad industrial en la zona debe ajustarse al cumplimiento de la Ley Provincial N.º 13.740 (Ley de Aguas de Santa Fe), que regula el uso, manejo y protección de los recursos hídricos, estableciendo pautas claras para la captación, tratamiento de efluentes y vertidos.

### **Calidad del agua en alrededores del Parque Industrial San Lorenzo**

El medio acuático en la región, presenta importantes signos de deterioro ambiental derivados de la actividad industrial y portuaria intensiva. A pesar de la existencia de normativas que regulan los vertidos industriales y la necesidad de tratamiento previo de efluentes, diversos informes han evidenciado episodios de contaminación en cuerpos de agua superficiales, principalmente por descargas no controladas o insuficientemente tratadas.

Las principales fuentes de impacto sobre el recurso hídrico incluyen el vertido de efluentes líquidos industriales con altas cargas orgánicas e inorgánicas, presencia de metales pesados, compuestos tóxicos y nutrientes que pueden generar procesos de eutrofización. Estas descargas afectan tanto al cauce principal del río Paraná como a los arroyos y canales que atraviesan o bordean el área industrial. También se han reportado alteraciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la conductividad, el pH y la turbidez; que superan los límites establecidos por la normativa nacional para cuerpos de agua receptores.

Además, en algunos casos se ha identificado una deficiente gestión de residuos líquidos, tanto en cuanto a su almacenamiento como a su transporte y disposición final, lo que incrementa el



riesgo de filtraciones o derrames accidentales que alcanzan cuerpos de agua superficiales o incluso napas subterráneas.

Estos episodios no solo implican riesgos para la biodiversidad acuática, sino que también comprometen usos potenciales del recurso, como el abastecimiento de agua para consumo humano, riego o recreación, y representan un problema ambiental de escala regional.

En conclusión, la calidad del agua en la zona del Parque Industrial San Lorenzo no puede considerarse aceptable, dada la recurrencia de eventos contaminantes y la falta de un sistema de monitoreo continuo, integral y público que permita evaluar en tiempo real la situación del medio hídrico.

### **8.3.1.3 Suelo**

El suelo en el área del Parque Industrial San Lorenzo está caracterizado por su alta fertilidad natural y una estructura apta para actividades agroindustriales. Desde el punto de vista físico-químico, los suelos predominantes en la zona son de tipo franco-limosos, con buena capacidad de retención de agua, moderada permeabilidad y una textura que permite una adecuada infiltración.

La capacidad de uso del suelo en esta región se clasifica generalmente como Clase II o III, lo que indica que es apto para diversos usos productivos, aunque puede presentar limitaciones leves a moderadas relacionadas con pendientes suaves, erosión o drenaje deficiente en ciertos sectores. No obstante, la ubicación del parque industrial fue seleccionada justamente sobre suelos estabilizados y con infraestructura adecuada para minimizar estos riesgos.

Desde el punto de vista químico, estos suelos presentan niveles aceptables de materia orgánica, aunque su contenido puede variar dependiendo del historial de uso de la parcela. El pH suele estar en rangos neutros a ligeramente alcalinos (entre 6.5 y 7.5), y los niveles de sales solubles totales son bajos, lo cual es favorable para evitar problemas de salinidad.

En conclusión, los suelos del Parque Industrial San Lorenzo presentan condiciones físicas y químicas favorables para el desarrollo de actividades industriales, siempre que se respeten las normativas vigentes y se implementen medidas de prevención y monitoreo ambiental durante las distintas etapas del proyecto.

### **8.3.2 Medio Biótico**



**Figura 8.2: Flora y Fauna de alrededores de San Lorenzo**  
Fuente: Mapoteca

### 8.3.2.1 Flora

El área circundante al Parque presenta una vegetación mayormente alterada por la intensa urbanización e industrialización de la región. Sin embargo, aún pueden identificarse remanentes de especies adaptadas a las condiciones del entorno.

La vegetación nativa en los alrededores del Parque Industrial San Lorenzo ha sido en gran medida reemplazada por especies introducidas y cultivos agrícolas. El paisaje actual muestra un predominio de especies exóticas, como eucaliptos, pinos, fresnos y paraísos, que han sido incorporadas principalmente con fines ornamentales o como cortinas forestales. Asimismo, la presencia de áreas cultivadas y fincas en las inmediaciones refleja un uso intensivo del suelo con fines productivos, lo que ha contribuido significativamente a la transformación del entorno y a la pérdida de la flora autóctona.

Como conclusión podemos observar que si bien aún persisten algunas especies de flora introducida y adaptada, la cobertura vegetal se encuentra fragmentada y en retroceso, especialmente en sectores intervenidos por infraestructura, tránsito pesado o acumulación de residuos. La pérdida de vegetación y la proliferación de especies exóticas e invasoras comprometen la biodiversidad y la capacidad del entorno de cumplir funciones ecológicas clave, como la protección del suelo, la regulación hídrica o la captura de contaminantes. Frente a este escenario, es fundamental promover acciones de restauración ecológica



### 8.3.2.2 Fauna

A pesar del alto grado de transformación del paisaje debido a la presencia del complejo industrial y portuario, en los alrededores del Parque Industrial San Lorenzo todavía es posible encontrar especies de fauna silvestre que se han adaptado a las condiciones urbanas e industriales.

Entre las **aves** más comunes se encuentran especies generalistas como la calandria, el hornero, el zorzal, el benteveo y el tordo, que se adaptan bien a entornos alterados. En áreas más tranquilas y cercanas al río o a cuerpos de agua, también pueden observarse garzas, patos silvestres, caranchos y otras aves acuáticas o rapaces.

En cuanto a mamíferos, la presencia es más limitada, aunque se han registrado especies pequeñas y de hábitos nocturnos como comadrejas, cuises y murciélagos que encuentran refugio en estructuras urbanas o arboledas.

Los anfibios y reptiles, especialmente aquellos vinculados a ambientes húmedos como zanjas, arroyos o charcas temporales, también están presentes. Se destacan ranas comunes, sapos y lagartijas, aunque su presencia puede verse afectada por la contaminación del agua y el suelo. En ambientes ribereños, la fauna acuática del río Paraná incluye peces nativos como el sábalo, el dorado y la boga, aunque estos se encuentran en disminución por efectos de la contaminación, el tránsito fluvial y las modificaciones del hábitat.

En base a todo esto, podemos concluir que la fauna del área se ve claramente influenciada por la presión antrópica: la reducción de hábitat, el ruido constante, el movimiento de maquinaria pesada y la presencia de contaminantes atmosféricos e hídricos limitan la biodiversidad y favorecen especies oportunistas o resistentes. Aun así, los corredores biológicos naturales, como el borde del río Paraná o sectores de vegetación espontánea, permiten que ciertas especies persistan, aunque con poblaciones probablemente fragmentadas y en retracción.

### 8.3.3 Medio Socioeconómico

La ciudad de San Lorenzo forma parte del Gran Rosario, un importante conglomerado urbano-industrial del país. Su ubicación estratégica sobre el río Paraná y su cercanía a Rosario (a 25 km) le otorgan características metropolitanas, con acceso a servicios urbanos, infraestructura consolidada y una oferta educativa y sanitaria significativa. Además, es una zona con fuerte presencia industrial (oleaginosas, puertos, metalmecánica, química), lo que condiciona el entorno social y laboral.

#### 8.3.3.1 Sociedad

San Lorenzo es una ciudad con una población cercana a los 50.000 habitantes. Está compuesta en mayor parte de población adulta joven y familias trabajadoras. La migración interna (de pueblos vecinos hacia San Lorenzo) es habitual, especialmente por la oferta educativa y laboral. Existen políticas sociales orientadas a la inclusión de jóvenes y adultos mayores, y en líneas generales, la cohesión social es alta.



## **Educación**

San Lorenzo tiene un sistema educativo desarrollado, con:

- Instituciones de nivel inicial, primario y secundario, tanto públicas como privadas.
- Oferta de nivel terciario y técnico, en carreras como electrónica, química, electricidad, informática, etc., que se relacionan directamente con la demanda industrial.
- Vinculación con universidades de Rosario como la UNR (Universidad Nacional de Rosario) y la UTN (Facultad Regional Rosario), lo que permite la formación de profesionales calificados en ingeniería, administración, medio ambiente, entre otras áreas.

Esta oferta facilita la capacitación del recurso humano local y el desarrollo de programas de formación conjunta entre el sector educativo y el industrial.

## **Salud**

La ciudad cuenta con centros de salud municipales y provinciales, además de clínicas privadas. Existen hospitales como el Hospital Granaderos a Caballo, con servicios de mediana complejidad, y una red de centros de atención primaria de la salud (CAPS) en diferentes barrios.

## **Seguridad y convivencia**

Como ciudad intermedia dentro de un corredor industrial, San Lorenzo enfrenta algunos problemas de seguridad urbana, en especial relacionados con el narcotráfico en zonas más densamente pobladas del Gran Rosario. Sin embargo, en el centro de la ciudad y alrededores del parque industrial predomina una convivencia pacífica y comunitaria, con acciones municipales y provinciales de prevención del delito y fortalecimiento del tejido social.

### **8.3.3.2 Infraestructura**

La ciudad de San Lorenzo se destaca por su ubicación estratégica dentro del corredor industrial más importante del país, lo que se refleja en una red vial altamente desarrollada. El **Parque Industrial San Lorenzo** se sitúa en un punto clave de conectividad, en el cruce de importantes rutas nacionales y provinciales que facilitan tanto el abastecimiento de materias primas como la distribución de productos terminados.

## Red Vial

- **Autopista Rosario – Santa Fe (RN A007):** eje troncal de comunicación que conecta a San Lorenzo hacia el sur con Rosario (a unos 20 km) y hacia el norte con la capital provincial Santa Fe. Esta autopista es fundamental para el transporte interurbano, tanto de cargas como de pasajeros.
- **Ruta Nacional 11:** atraviesa San Lorenzo de norte a sur y es una vía histórica del corredor bioceánico. Se vincula directamente con numerosos centros productivos e industriales.



**Figura 8.3: Ruta Nacional 11**  
Fuente: Wikipedia

- **Ruta Provincial 10:** conecta con localidades vecinas y sirve como acceso directo al Parque Industrial desde la autopista. Es esencial para la logística local.

Gracias a esta infraestructura vial, el Parque se encuentra en condiciones óptimas para operaciones logísticas eficientes, con acceso rápido a puertos, ferrocarriles y a los principales centros urbanos e industriales del país.

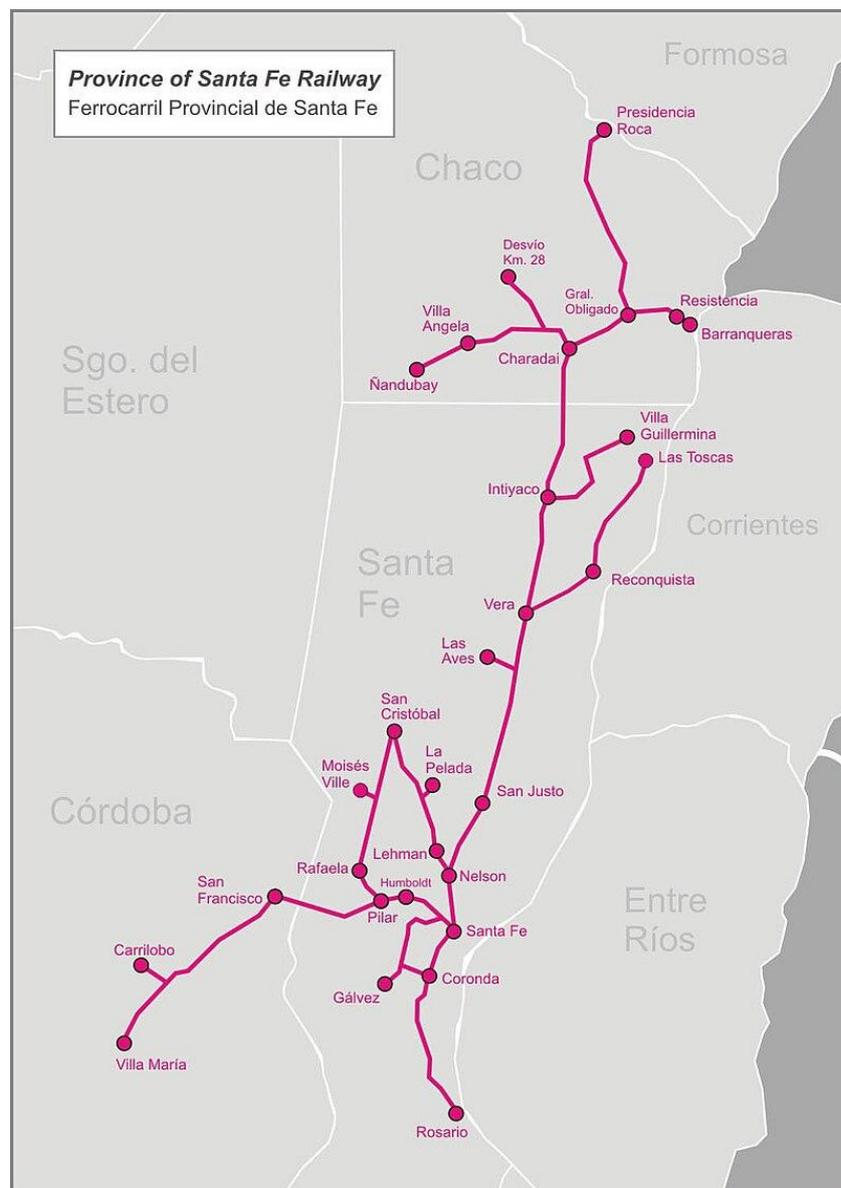
## Red Ferroviaria

El transporte ferroviario continúa siendo un componente esencial en la infraestructura logística del área de San Lorenzo, especialmente por su papel en el transporte de cargas a granel como granos, harinas, aceites y subproductos industriales. La ciudad está integrada a la red ferroviaria nacional a través de dos ramales principales:



- **Línea Belgrano Cargas:** Esta línea, de trocha angosta, conecta el norte argentino con los puertos del Gran Rosario, incluyendo los de San Lorenzo. Transporta principalmente productos agrícolas y minerales.
- **Línea Mitre (ex NCA – Nuevo Central Argentino):** De trocha ancha, es utilizada activamente para el transporte de productos industriales, combustibles y contenedores, y conecta el sur del país con los puertos del litoral.

Estas líneas atraviesan o bordean directamente el Parque Industrial San Lorenzo, permitiendo que muchas industrias cuenten con playas de maniobra internas o acceso cercano a los ramales para el despacho directo de mercancías.



**Figura 8.4 - Vías Férreas de Santa Fe**  
Fuente: Wikipedia



## **Red Eléctrica**

El suministro de energía en la ciudad de San Lorenzo y en el Parque Industrial está a cargo de la **Empresa Provincial de la Energía (EPE)**, que opera y mantiene una red robusta de media y baja tensión.

En el Parque Industrial San Lorenzo, se garantiza:

- Acceso a **energía eléctrica trifásica en media tensión**, apta para el funcionamiento de maquinaria industrial pesada.
- **Estaciones transformadoras** de uso común que permiten adecuar la tensión según las necesidades particulares de cada industria.
- Red interna totalmente operativa, con postes metálicos y cableado subterráneo en sectores específicos.

## **Red de gas**

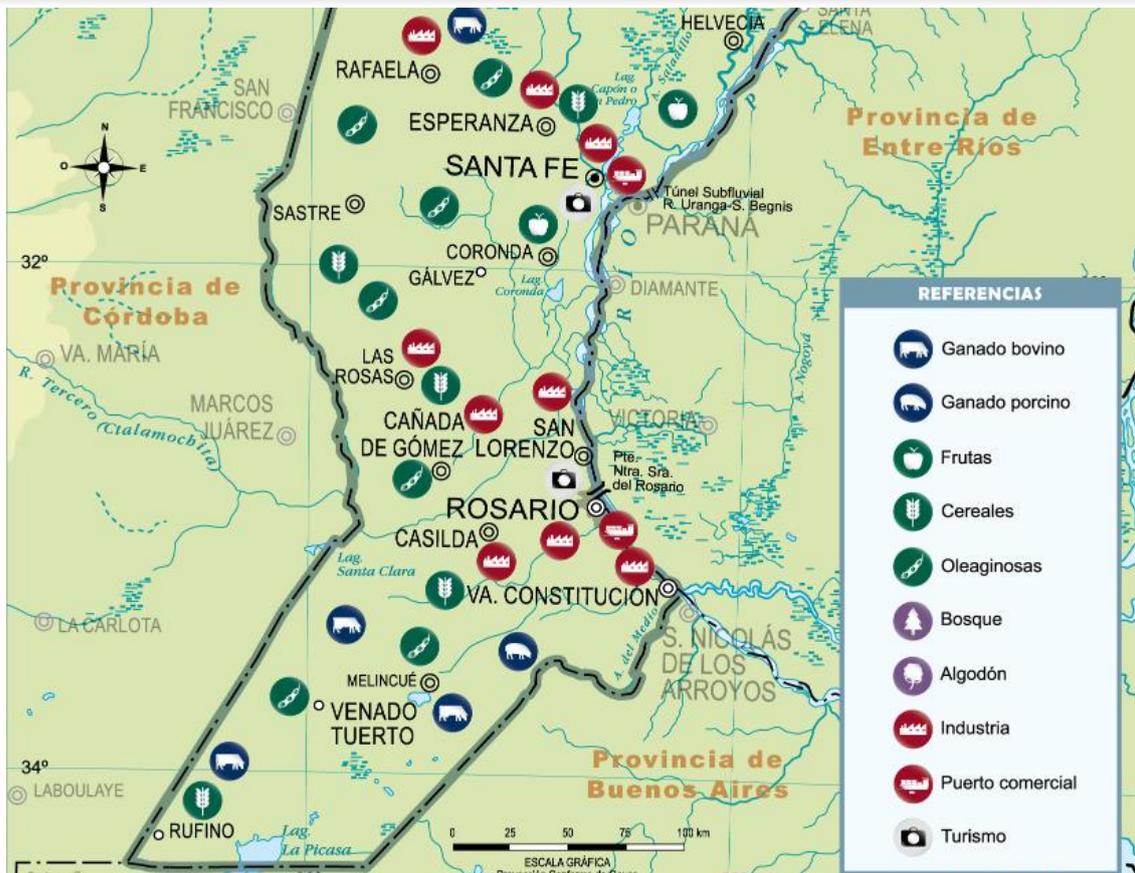
La provisión de gas natural en el Parque Industrial San Lorenzo está asegurada por la conexión con la red nacional, gestionada por **Litoral Gas**. La disponibilidad del servicio es uno de los factores más atractivos para la instalación de industrias que requieren procesos térmicos o calefacción intensiva.

- El Parque cuenta con gas natural en media y alta presión, permitiendo abastecer tanto a pymes como a grandes industrias.
- Las instalaciones cumplen con las normativas del Enargas, y se han diseñado ramales internos para facilitar las conexiones individuales.

La presencia de esta infraestructura energética reduce costos operativos y asegura una fuente de energía eficiente y menos contaminante, especialmente en comparación con otros combustibles fósiles.

### **8.3.3.3 Economía**

La economía local está fuertemente vinculada a la actividad industrial y portuaria, lo que genera una amplia demanda laboral, aunque también puede ocasionar dependencia económica del sector. En los últimos años, se han impulsado políticas de diversificación económica y fortalecimiento del empleo formal.



**Figura 8.5 - Mapa Económico de la provincia de Santa Fe**  
Fuente: Mapoteca

Como lo detalla el mapa anterior, la agricultura se destaca por el cultivo de cereales (trigo, maíz) y oleaginosas (soja, girasol), con un alto grado de tecnificación y rendimiento. Esta actividad es la base de la cadena agroindustrial local, que incluye plantas de procesamiento, aceiteras, y empresas exportadoras.

La ganadería bovina y porcina se desarrolla en zonas rurales próximas al área urbana, en campos integrados a sistemas mixtos de producción o feedlots. Estas actividades también aportan materias primas a industrias frigoríficas y alimenticias de la región.

El sector frutícola tiene una menor participación relativa, pero se desarrolla en zonas puntuales, principalmente con especies adaptadas al clima templado húmedo, como cítricos, duraznos y ciruelas.

La industria ocupa un lugar central en el entramado económico, que alberga empresas químicas, logísticas, metalmecánicas y alimentarias.

El puerto comercial es clave para la economía local y regional. A través de este sistema portuario se exportan millones de toneladas de productos agroindustriales cada año, lo que convierte a esta zona en un nodo logístico estratégico para el comercio exterior argentino. El parque San Lorenzo se encuentra en cercanía directa con el complejo portuario San Lorenzo–Puerto General San Martín–Timbúes, uno de los polos exportadores más importantes del país.



Por último, el **turismo** tiene una presencia incipiente pero creciente, especialmente ligado a la historia, la cultura y los paisajes ribereños del Paraná. San Lorenzo, por ejemplo, cuenta con el Campo de la Gloria, lugar histórico de la Batalla de San Lorenzo, y con propuestas de turismo educativo, náutico y rural.

En conjunto, estas actividades configuran un entorno económico favorable para el desarrollo de nuevos emprendimientos industriales, con acceso a materias primas, infraestructura logística, mercados nacionales e internacionales, y un ecosistema productivo interconectado.

### **8.3.4 Medio Perceptual**

#### **8.3.4.1 Paisaje**

El paisaje alrededor del Parque Industrial San Lorenzo está marcadamente transformado por la actividad humana. Predominan construcciones industriales, galpones, depósitos y calles internas, que definen un entorno de uso intensivo y carácter netamente productivo.

Hacia los alrededores del parque se observan también algunas fincas, campos cultivados, caminos rurales y sectores con viviendas dispersas, lo que muestra una mezcla entre lo industrial y lo agropecuario. El relieve es llano, típico de la región, y no se identifican elementos naturales destacados ni paisajes de valor escénico. La cobertura vegetal es escasa y mayormente compuesta por especies introducidas o asociadas a usos rurales.

Se trata de un paisaje claramente antropizado, donde el entorno natural original ha sido reemplazado casi por completo por infraestructura y actividades productivas.

## **8.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta esencial para prevenir, minimizar y compensar los efectos negativos que un proyecto puede generar sobre el ambiente. En el caso de una planta de producción de estireno, se trata de una actividad industrial con potencial riesgo ambiental, por lo que resulta indispensable identificar las distintas interacciones entre el proyecto y el entorno.

### **8.4.1 Problemática ambiental asociada al proyecto**

La empresa Estyrex S.A. proyecta la instalación de una planta de producción de estireno, ubicada estratégicamente en el Parque Industrial San Lorenzo, en la provincia de Santa Fe. Esta localización brinda ventajas significativas en cuanto a infraestructura, acceso a materias primas y transporte, además de favorecer la aceptación social al encontrarse en una zona industrialmente consolidada.



No obstante, dado el tipo de proceso industrial que se llevará a cabo “la deshidrogenación catalítica de etilbenceno”, se identifican distintas problemáticas ambientales relevantes que deben ser cuidadosamente abordadas. Estas problemáticas incluyen la generación de efluentes gaseosos y líquidos, el manejo de residuos sólidos, y el consumo intensivo de recursos como energía y agua, además del riesgo asociado al manejo de sustancias inflamables y tóxicas.

### ***Efluentes gaseosos***

El mayor foco de emisión gaseosa se encuentra en los reactores de deshidrogenación, donde el etilbenceno se convierte en estireno a altas temperaturas con la ayuda de catalizadores. Durante este proceso, pueden liberarse compuestos orgánicos volátiles (COVs), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Para mitigar estos efectos, se prevé la instalación de equipos de tratamiento de gases, tales como lavadores químicos, o catalizadores de oxidación, que permitan reducir la carga contaminante antes de la emisión a la atmósfera.

### ***Efluentes líquidos***

Los efluentes líquidos provendrán principalmente de los procesos de limpieza de equipos, purgas de sistemas de enfriamiento, y posibles derramamientos accidentales. Estos líquidos pueden contener hidrocarburos, solventes, detergentes, grasas, aceites y restos de catalizadores.

Todos los efluentes serán recolectados en tanques de contención primaria y posteriormente tratados mediante procesos físico-químicos. En caso de ser necesario, se recurrirá a operadores habilitados para el tratamiento y disposición final fuera del predio industrial, conforme a la normativa ambiental vigente.

### ***Residuos sólidos***

Los residuos sólidos generados en la planta incluirán restos de materias primas, materiales absorbentes utilizados en el manejo de sustancias peligrosas, residuos de mantenimiento, catalizadores agotados, así como residuos domésticos y de oficina.

Estos residuos serán gestionados mediante el sistema de recolección dispuesto dentro del Parque Industrial San Lorenzo.

## **8.4.2 Actividades del proyecto en sus distintas fases**



La evaluación se realiza considerando las siguientes fases del proyecto: Construcción, Operación, Cierre.

#### Fase de construcción:

- Movimiento de suelos, nivelación y compactación del terreno, accesos y caminos.
- Construcción de cimientos, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, salas de control.
- Instalación de redes de servicios, equipos, tuberías y sistemas de control.
- Gestión de residuos de obra.

#### Fase de operación:

- Recepción, almacenamiento y manejo de M.P.
- Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno.
- Tratamiento de efluentes industriales.
- Monitoreo ambiental y control de procesos

#### Fase de cierre o abandono:

- Limpieza y descontaminación de equipos y tanques.
- Disposición adecuada de residuos remanentes.
- Desmantelamiento de estructuras y restauración del sitio.

### 8.4.3 Metodología para la identificación y valoración de impactos ambientales

Para la evaluación de los impactos ambientales del proyecto, se implementó una metodología estructurada que comenzó con la identificación de los factores ambientales potencialmente afectados por las distintas actividades más relevantes del proyecto. Esta etapa inicial nos permitió establecer una base clara de los elementos del entorno que podrían experimentar cambios significativos. Los factores y subfactores contemplados por medios son:

Medio	Factor	Subfactor
Medio Físico	Aire	Calidad fisicoquímica
		Nivel de PM
		Nivel sonoro
	Agua	Agua superficial
		Agua subterránea



	Suelo	Calidad fisicoquímica
Medio Biótico	Fauna	Autóctona
	Flora	Introducida
Medio Socioeconómico	Sociedad	Educación
		Calidad de vida
	Infraestructura	Redes eléctricas
		Redes de Gas
		Redes viales
	Economía	Nivel de empleo
		Regional

**Tabla 8.1 - Factores y Subfactores evaluados**  
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a vincular las acciones del proyecto con los factores identificados, a través de la construcción de una matriz de identificación de impactos, lo que permitió detectar de forma sistemática los impactos ambientales que podrían generarse a lo largo del ciclo de vida del proyecto, en los casos donde un subfactor no se ve afectado por una acción determinada del proyecto corresponderá poner N.C. (No Corresponde) en la matriz.

Una vez identificados estos impactos, se avanzó con su valoración cualitativa, utilizando una matriz de Leopold adaptada, la cual permite evaluar cada impacto según criterios preestablecidos, sean estos positivos o negativos, basados en su magnitud, importancia, extensión, duración, entre otros, durante las fases de construcción, operación y cierre de un proyecto.

***Criterios que evalúa:***

**INTENSIDAD**

Se refiere al grado de destrucción o de mejora que el impacto genera sobre el entorno, pudiendo ser esta:

- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta



## EXTENSIÓN

Se refiere al área de influencia del impacto ambiental en relación con el entorno del proyecto.

- Puntual: el impacto se encuentra en el sitio de las operaciones.
- Parcial: el impacto se encuentra dentro del área de influencia directa de las operaciones.
- Extenso: el área de influencia del impacto no rebasa los límites del área de influencia de las operaciones.
- Total: el impacto ocurrido se extiende por toda el área de influencia de la operación.

## MOMENTO

- Se refiere al plazo de manifestación o tiempo que demora el impacto en afectar al entorno.
- Inmediato: el entorno se ve afectado inmediatamente con la acción
- Medio plazo: se evidencian efectos pasado el tiempo de haber generado la acción
- Largo plazo: se presentan los efectos en entorno mucho tiempo después de haber generado la acción.

## PERSISTENCIA

Representa la permanencia del efecto ocasionado por el impacto.

- Fugaz: el periodo de recuperabilidad toma menos de un año.
- Temporal: cuando el periodo de recuperabilidad se encuentra entre un año y tres años
- Permanente: se considera así cuando al entorno le toma entre tres y doce años restituir la situación inicial.

INDICADORES							
NATURALEZA		INTENSIDAD			EXTENSIÓN (Área de Influencia)		
	Impacto Beneficioso	Baja		Baja	Pu	Puntual	
	Impacto Perjudicial	Media		Media	Pa	Parcial	
		Alta		Alta	E	Extenso	
		Muy Alta		Muy Alta	To	Total	

MOMENTO (Plazo de Manifestación)		PERSISTENCIA (Permanencia del Efecto)	
LP	Largo Plazo	F	Fugaz
MP	Medio Plazo	Te	Temporal
I	Inmediato	Pe	Permanente

**Tabla 8.2 - Criterios de evaluación de los impactos ambientales.**

Fuente: Elaboración propia.

### 8.4.3.1 Matriz de Identificación de los impactos generados



Acciones	Factores	Subfactores	Construccion				
			Movimiento de suelos, nivelación y compactación del terreno, accesos y caminos	Construcción de cimientos, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, salas de control	Instalación de redes de servicios, equipos, tuberías y sistemas de control	Gestión de residuos de obra.	
Factores			A1	A2	A3	A4	
Medio físico	Aire	Calidad fisicoquímica	F1	Contaminación por emisión de gases de maquinaria	N.C.	Contaminación por emisión de gases durante instalación	N.C.
		Nivel de PM	F2	Generación de polvo por movimiento de tierra	N.C.	N.C.	N.C.
		Nivel sonoro	F3	Incremento de los decibeles	Incremento de los decibeles	Incremento de los decibeles	N.C.
	Agua	Agua superficial	F4	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
		Agua subterránea	F5	Reduce la capacidad de infiltración	Impermeabilización del área	N.C.	N.C.
	Suelo	Calidad fisicoquímica	F6	Parcialmente alterado por compactación de la zona	Parcialmente alterado por compactación de la zona	N.C.	Posible contaminación por residuos
Acciones	Factores	Subfactores	Construccion				
			Movimiento de suelos, nivelación y compactación del terreno, accesos y caminos	Construcción de cimientos, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, salas de control	Instalación de redes de servicios, equipos, tuberías y sistemas de control	Gestión de residuos de obra.	
Factores			A1	A2	A3	A4	
Medio biótico	Flora	Introducida	F7	Pérdida de vegetación existente	N.C.	N.C.	N.C.
	Fauna	Autoctona	F8	Fragmentación de habitat	Desplazamiento de individuos	N.C.	N.C.
Medio socioeconómico	Sociedad	Educación	F9	N.C.	Posible visitas de escuelas	N.C.	N.C.
		Calidad de vida	F10	Posibles molestias por ruido, polvo y tránsito	Posibles molestias por ruido y tránsito	Posibles molestias por ruido y tránsito	Incomodidades por residuos en zonas cercanas
	Infraestructura	Redes eléctricas	F11	N.C.	Demanda de energía para maquinaria	N.C.	N.C.
		Redes de Gas	F12	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
		Redes viales	F13	Aumento del tráfico	Aumento del tráfico	Aumento del tráfico	N.C.
	Economía	Nivel de empleo	F14	Generación de empleo temporal	Empleo en construcción	Empleo técnico especializado	Empleo para manejo de residuos
Regional		F15	Inversión en infraestructura local	Mejora en movimiento económico	Aporte a economía por compras de insumos	N.C.	
Medio perceptual	Paisaje	Paisaje	F16	N.C.	Afecta debido a estructuras altas	N.C.	N.C.



Acciones	Factores	Subfactores	Operación				
			Recepción, almacenamiento y manejo de M.P.	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno	Tratamiento de efluentes industriales	Monitoreo ambiental y control de procesos	
Factores			A5	A6	A7	A8	
Medio físico	Aire	Calidad fisicoquímica	F1	N.C.	Contaminación por emisión de COVs y subproductos	N.C.	Posible contaminación por fugas de gases por mal control
		Nivel de PM	F2	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
		Nivel sonoro	F3	Incremento de los decibeles	Incremento de los decibeles	Incremento de los decibeles	N.C.
	Agua	Agua superficial	F4	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Posible contaminación por efluentes mal tratados	Posible contaminación por mal control
		Agua subterránea	F5	Posible contaminación por infiltraciones de pérdidas accidentales	Posible contaminación por infiltraciones de pérdidas accidentales	Posible contaminación por infiltración de efluentes mal tratados	Posible contaminación por mal control
	Suelo	Calidad fisicoquímica	F6	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Posible contaminación por efluentes sólidos y líquidos mal tratados	Posible contaminación por mal control
Acciones	Factores	Subfactores	Operación				
			Recepción, almacenamiento y manejo de M.P.	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno	Tratamiento de efluentes industriales	Monitoreo ambiental y control de procesos	
Factores			A5	A6	A7	A8	
Medio biótico	Flora	Introducida	F7	N.C.	N.C.	Posible afectación por efluentes mal tratados	N.C.
	Fauna	Autoctona	F8	Posible intoxicación por fugas accidentales	Posible intoxicación por fugas accidentales	Posible afectación por efluentes mal tratados	N.C.
Medio socioeconómico	Sociedad	Educación	F9	N.C.	Posible visitas de escuelas	Posible visitas de escuelas	Posible visitas de escuelas
		Calidad de vida	F10	Posible intoxicación por fugas accidentales	Posible intoxicación por fugas accidentales	Posible afectación por efluentes mal tratados	Posible afectación por mal control del proceso
	Infraestructura	Redes eléctricas	F11	Consumo eléctrico por almacenamiento	Consumo eléctrico por los procesos	Consumo energético en plantas de tratamiento	N.C.
		Redes de Gas	F12	N.C.	Consumo de gas para procesos	Consumo para calentamiento o tratamiento	N.C.
		Redes viales	F13	Aumento del tráfico	Aumento del tráfico por entregas del producto	N.C.	N.C.
	Economía	Nivel de empleo	F14	Empleo operativo	Empleo técnico para separación y control	Empleo en mantenimiento y gestión ambiental	Empleo para monitoreo ambiental y control de procesos
Regional		F15	Generación de movimiento logístico	Generación de valor agregado regional	Posible afectación por conflictos ambientales	Positivo si cumple con normas	
Medio perceptual	Paisaje	Paisaje	F16	N.C.	Afecta debido a plumas de gases	N.C.	N.C.



Acciones	Factores	Subfactores	Cierre			
			Limpeza y descontaminación de equipos y tanques	Disposición adecuada de residuos remanentes	Desmantelamiento de estructuras y restauración del sitio	
Factores			A9	A10	A11	
Medio físico	Aire	Calidad fisicoquímica	F1	N.C.	Posible afectación si no es correcta	N.C.
		Nivel de PM	F2	N.C.	N.C.	Emisión de polvo por demolición de estructuras
		Nivel sonoro	F3	N.C.	N.C.	Incremento de los decibeles
	Agua	Agua superficial	F4	Posible contaminación por vertidos accidentales de residuos	Posible contaminación si no es correcta	N.C.
		Agua subterránea	F5	Posible contaminación por infiltraciones accidentales de residuos	Posible contaminación por infiltración si no es correcta	N.C.
	Suelo	Calidad fisicoquímica	F6	Posible contaminación por vertidos accidentales de residuos	Posible contaminación si no es correcta	Alteración del suelo por retiro de estructuras
Acciones	Factores	Subfactores	Cierre			
Factores			Limpeza y descontaminación de equipos y tanques	Disposición adecuada de residuos remanentes	Desmantelamiento de estructuras y restauración del sitio	
Medio biótico	Flora	Introducida	F7	N.C.	Posible afectación si no es correcta	Mejora por restauración del sitio
	Fauna	Autoctona	F8	N.C.	Posible afectación si no es correcta	Mejora por restauración del sitio
Medio socioeconómico	Sociedad	Educación	F9	N.C.	N.C.	N.C.
		Calidad de vida	F10	N.C.	Posible afectación si no es correcta	Mejora por restauración del sitio
	Infraestructura	Redes eléctricas	F11	Consumo por equipos de limpieza	N.C.	Mejora por disminución de consumo
		Redes de Gas	F12	N.C.	N.C.	Mejora por disminución de consumo
		Redes viales	F13	N.C.	N.C.	Mejora por disminución del tráfico
	Economía	Nivel de empleo	F14	Empleo para limpieza técnica	Empleo indirecto	Empleo en tareas de cierre del sitio
Regional		F15	Positivo si se gestiona adecuadamente	Positivo por cierre ordenado	Mejora si se recupera el terreno	
Medio perceptual	Paisaje	Paisaje	F16	N.C.	N.C.	Mejora al no haber plumas ni estructuras

Tabla 8.3 - Matriz de identificación de impactos ambientales.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 8.4.3.2 Matriz de valoración de los impactos generados



Factores	Factores	Subfactores	Construcción				Operación				Cierre		
			Movimiento de suelos, nivelación y compactación del terreno	Construcción de cimientos, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, salas de control	Instalación de redes de servicios, equipos, tuberías y sistemas de control	Gestión de residuos de obra.	Recepción, almacenamiento y manejo de etilbenceno	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno	Tratamiento de efluentes industriales	Monitoreo ambiental y control de procesos	Limpieza y descontaminación de equipos y tanques	Disposición adecuada de residuos remanentes	Desmantelamiento de estructuras y restauración del sitio
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
Medio físico	Aire	Calidad fisicoquímica	F1	Pu - I - F					Pa - MP - Pe		Pa - MP - Pe		
		Nivel de PM	F2	Pa - I - F									Pa - I - F
	Agua	Nivel sonoro	F3	Pa - I - F	Pa - I - F	Pa - I - F		Pu - I - Pe	Pu - I - Pe	Pu - I - Pe			
		Agua superficial	F4					Pa - MP - Pe	Pa - MP - Pe	E - MP - Pe	E - MP - Pe	Pa - MP - Te	Pa - MP - Pe
Medio biótico	Flora	Agua subterránea	F5	Pu - I - Pe	Pu - I - Pe			Pa - MP - Pe	Pa - MP - Pe	E - MP - Pe	E - MP - Pe	E - MP - Te	E - MP - Pe
		Calidad fisicoquímica	F6	Pu - I - Pe	Pu - I - Pe		Pu - I - Te	Pu - I - Te	Pu - I - Te	E - I - Pe	Pu - I - Te		Pu - I - Te
	Fauna	Introducida	F7	Pu - I - Pe						E - MP - Pe			Pu - I - Pe
		Autoctona	F8	Pu - I - Pe	Pu - MP - Pe			Pu - I - Pe	Pu - I - Pe	E - MP - Pe			Pu - MP - Pe
Medio socioeconómico	Infraestructura	Educación	F9					To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Pe			
		Calidad de vida	F10	Pa - I - Te	Pa - I - Te	Pa - I - Te	Pa - I - Te	Pa - I - Pe	Pa - I - Pe	Pa - MP - Pe	Pa - I - Pe		Pa - MP - Pe
		Redes eléctricas	F11		Pu - I - F				Pu - I - Pe	Pu - I - Pe	Pu - I - Pe		Pu - I - Te
		Redes de Gas	F12						Pu - I - Pe	Pu - I - Pe			
	Economía	Redes viales	F13	E - I - Te	Pa - I - F	E - I - Te			E - I - Pe	E - I - Pe			E - I - Te
		Nivel de empleo	F14	To - I - Te	To - I - Te	To - I - Te	To - I - Te	To - I - Te	To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Te	To - I - Te
Medio perceptual	Paisaje	Paisaje	F15	To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Pe		To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Pe	To - I - Pe	
			F16		Pa - I - Pe			Pa - I - Pe				Pa - I - Pe	

Tabla 8.4 - Matriz de valoración de los impactos ambientales. Fuente: Elaboración propia.

### 8.4.3.3: Medidas de Prevención y Mitigación

Impacto	Actividad y Subfactor	Medida Propuesta
A6, F1	Contaminación por emisión de COVs y subproductos	Produción, separación, purificación y almacenamiento de estireno – Calidad fisicoquímica del aire
A5, F4	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Recepción, almacenamiento y manejo de etilbenceno – Agua superficial
A6, F4	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno – Agua superficial
A7, F4	Posible contaminación por efluentes mal tratados	Tratamiento de efluentes industriales – Agua superficial
A5, F5	Posible contaminación por infiltraciones de pérdidas accidentales	Recepción, almacenamiento y manejo de etilbenceno – Agua subterránea
A6, F5	Posible contaminación por infiltraciones de pérdidas accidentales	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno – Agua subterránea
A7, F5	Posible contaminación por infiltración de efluentes mal tratados	Tratamiento de efluentes industriales – Agua subterránea
A5, F6	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Recepción, almacenamiento y manejo de etilbenceno – Suelo
A6, F6	Posible contaminación por pérdidas accidentales	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno – Suelo
A7, F6	Posible contaminación por efluentes mal tratados	Tratamiento de efluentes industriales – Suelo
A7, F8	Posible afectación por efluentes mal tratados	Tratamiento de efluentes industriales – Fauna autóctona
A5, F10	Posible intoxicación por fugas accidentales	Recepción, almacenamiento y manejo de etilbenceno – Calidad de vida
A6, F10	Posible intoxicación por fugas accidentales	Producción, separación, purificación y almacenamiento de estireno – Calidad de vida
A7, F10	Posible afectación por efluentes mal tratados	Tratamiento de efluentes industriales – Calidad de vida

Tabla 8.5 - Medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales. Fuente: Elaboración propia.



## 8.5 CONCLUSIÓN

El análisis de los aspectos ambientales asociados a la producción de estireno por deshidrogenación catalítica de etilbenceno permitió identificar y evaluar de forma integral los impactos potenciales derivados de la implementación del proyecto. A partir del relevamiento del marco legal vigente, tanto a nivel nacional como provincial, se constató que el proyecto se ajusta a las normativas ambientales actuales, particularmente en lo referente a emisiones gaseosas, vertidos líquidos, manejo de residuos y protección de la biodiversidad.

El estudio detallado de los medios físico, biótico y socioeconómico evidenció que los principales impactos negativos se concentran en el medio físico, con especial énfasis en las emisiones atmosféricas ( $\text{CO}_2$ , COVs,  $\text{NO}_x$ ), mientras que los efectos sobre la flora, fauna y comunidad local pueden considerarse moderados o bajos, siempre que se apliquen las medidas de prevención y mitigación diseñadas.

La evaluación de impacto ambiental, basada en una metodología sistemática de identificación y valoración de impactos, permitió jerarquizar las problemáticas más significativas y proponer un conjunto de acciones correctivas y preventivas orientadas a minimizar la huella ambiental del proceso. Entre ellas, se destacan el tratamiento de corrientes gaseosas antes de su liberación, el monitoreo continuo de efluentes, entre otros.

En síntesis, el desarrollo del proyecto es ambientalmente viable, siempre que se asegure el cumplimiento riguroso de las normativas aplicables y la implementación efectiva de las medidas de control propuestas. El compromiso con la sustentabilidad y la mejora continua debe acompañar cada etapa del ciclo de vida del proyecto, garantizando así una producción responsable y compatible con el entorno.



## CAPÍTULO IX

### ASPECTOS JURÍDICOS

#### 9.1 INTRODUCCIÓN

Para llevar adelante un emprendimiento industrial como el de **Estyrex S.A.**, dedicado a la producción de estireno, es imprescindible que todas las actividades proyectadas estén enmarcadas dentro de un conjunto de normas legales que regulen su funcionamiento. Estas disposiciones son esenciales para definir y organizar los derechos, obligaciones y responsabilidades tanto de la empresa como de los distintos actores sociales, económicos y ambientales involucrados.

En este sentido, la viabilidad de un proyecto no puede limitarse a los aspectos técnicos o económicos. Su ejecución y continuidad también dependen del cumplimiento de las leyes y regulaciones vigentes en el territorio donde se llevará a cabo. La adhesión a este marco normativo no solo evita conflictos legales, sino que también permite operar con transparencia, seguridad jurídica y aceptación social.

Dado que cada etapa del proyecto, desde su diseño hasta su puesta en marcha y posterior operación, implica interacciones con distintos entes reguladores y grupos de interés, es fundamental considerar desde el inicio todas las implicancias legales del rubro químico-petroquímico y de la jurisdicción provincial y nacional.

Por lo tanto, en el siguiente capítulo se presentarán los principales aspectos jurídicos aplicables al proyecto Estyrex S.A., en función de la actividad industrial a desarrollar y su localización en el Parque Industrial San Lorenzo, provincia de Santa Fe.

#### 9.2 MARCO LEGAL

##### 9.2.1 Legislación Nacional

###### 9.2.1.1 Constitución Nacional



Es el marco jurídico supremo del país. Establece en su artículo 41 el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano. También impone el deber de preservarlo y obliga a las autoridades a proveer a la protección del medio ambiente. La producción de estireno, al tratarse de una actividad con potencial impacto ambiental, debe adecuarse a estos principios fundamentales.

#### **9.2.1.2 Ley 24 354/94 – Decreto Reglamentario 720/95: Sistema Nacional De Inversión Pública**

Esta ley establece la creación del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), que tiene como objetivo asegurar que los proyectos de inversión del sector público se planifiquen, formulen, evalúen y ejecuten de forma eficiente, eficaz y transparente. El decreto reglamentario 720/95 define los procedimientos y requisitos para la incorporación de proyectos al sistema.

#### **9.2.1.3 Ley General del Ambiente N.º 25.675/02**

Establece los presupuestos mínimos para la gestión ambiental sustentable, la preservación y protección de la biodiversidad y la implementación del principio preventivo. Estyrex S.A. debe someterse a estudios de impacto ambiental y garantizar un plan de gestión que minimice los efectos negativos sobre el entorno.

#### **9.2.1.4 Ley 25 612/02: Gestión Integral De Residuos Industriales**

Regula la generación, tratamiento, transporte y disposición final de los residuos industriales y asimilables. Resulta clave para el manejo adecuado de los residuos que se generan en la planta de estireno, asegurando trazabilidad y control.

#### **9.2.1.5 Ley 25 688/02: Régimen de Gestión Ambiental de Aguas**

Establece los presupuestos mínimos para la preservación de los recursos hídricos. El uso del agua en procesos dentro de la planta deberá adecuarse a esta normativa, especialmente en lo relativo a vertido de efluentes.

#### **9.2.1.6 Ley 20 284: Ley de Contaminación Atmosférica**

Establece las normas para la preservación de los recursos del aire: fija parámetros de calidad de aire, crea el registro catastral de fuentes contaminantes y establece sanciones. No está reglamentada.



### **9.2.1.7 Ley 24 051/91: Residuos Peligrosos**

Define y regula la gestión de residuos peligrosos. La producción de estireno puede generar residuos catalogados bajo esta ley, por lo que es obligatorio su inscripción en el registro correspondiente y el cumplimiento de medidas de seguridad.

### **9.2.1.8 Decreto Reglamentario 831/93**

Complementa la Ley 24.051, estableciendo límites máximos de contaminantes en los efluentes industriales.

### **9.2.1.9 Decreto 674/89: Recursos Hídricos**

Obliga a toda planta industrial a presentar una declaración jurada ambiental y a adoptar un sistema de tratamiento de efluentes adecuado. También incluye mecanismos de monitoreo por parte de la autoridad competente.

### **9.2.1.10 Ley 19 857 Decreto 351: Ley de Higiene y Seguridad Laboral**

Establece las condiciones mínimas que deben cumplirse en cuanto a higiene, seguridad y salud en los lugares de trabajo. Esto cobra especial importancia en Estyrex S.A., donde la manipulación de sustancias químicas y equipos de alta temperatura requiere de estrictas normas de seguridad laboral.

### **9.2.1.11 Convenio Colectivo de Trabajo N°77/89**

Regula las relaciones laborales específicas del sector, estableciendo categorías, remuneraciones mínimas, condiciones de trabajo y derechos sindicales. La empresa debe aplicar este convenio para todo el personal técnico, operativo y de mantenimiento que encuadre dentro de esta industria.

## **9.2.2 Legislación Provincial**

### **9.2.2.1 Ley N.º 11.717 – Medio Ambiente**

Es la Ley General del Medio Ambiente de la provincia. Establece los principios rectores para la preservación, conservación y recuperación del medio ambiente. Obliga a toda actividad susceptible de degradar el ambiente a realizar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el cual debe ser evaluado por la autoridad competente antes de autorizar el proyecto.



### **9.2.2.2 Ley N.º 13.740 – Ley de Aguas de la Provincia de Santa Fe**

Esta ley establece el marco normativo para la gestión integrada, sostenible y equitativa del agua como recurso natural, reconociendo su valor social, económico y ambiental. Regula el uso del agua superficial y subterránea, los vertidos, la protección de fuentes y la planificación hídrica a nivel provincial.

### **9.2.2.3 Ley N.º 13.055 – Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos e Industriales**

Establece los lineamientos para una gestión adecuada de los residuos sólidos, promoviendo su reducción, tratamiento, reciclado y disposición final segura.

### **9.2.2.4 Ley N.º 11.717 – Decreto Reglamentario N.º 0100/03 Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable**

Complementa la Ley de Medio Ambiente, estableciendo en detalle los procedimientos de evaluación de impacto ambiental, autoridades de aplicación, y exigencias documentales y técnicas para presentar el estudio..

### **9.2.2.5 Ley N.º 8.478 – Régimen de Promoción Industrial**

Instituye un régimen de promoción industrial con el fin de propender al desarrollo económico y social de la provincia, mediante el apoyo a inversiones industriales. Estyrex S.A. podría beneficiarse de este régimen, accediendo a incentivos fiscales y financieros.

## **9.3 MARCO IMPOSITIVO**

En Argentina, el sistema impositivo se organiza en tres niveles de gobierno: nacional, provincial y municipal. Cada uno de ellos posee competencias específicas en materia tributaria, recaudando ingresos mediante diversos gravámenes que afectan las ganancias, el patrimonio y el consumo.

### **9.3.1 Impuestos Nacionales**

Desde octubre de 2024, la Agencia de Recaudación y Control Aduanero (ARCA) es el organismo encargado de la recaudación y fiscalización de los tributos nacionales, así como del control aduanero y de los recursos de la seguridad social. ARCA opera bajo la órbita del Ministerio de



Economía y fue creada con el objetivo de mejorar la eficiencia y especialización en la gestión tributaria y aduanera.

Los principales impuestos nacionales que recauda ARCA incluyen:

- **Impuesto a las Ganancias:**

Grava todos los ingresos obtenidos por las empresas residentes en el país, incluyendo ganancias de capital y rentas de fuente extranjera. Están comprendidas bajo este régimen tanto las sociedades anónimas constituidas en el país como las sucursales de empresas extranjeras. En estos casos, se considera que la entidad tiene residencia fiscal argentina, por lo que tributa sobre sus ganancias mundiales.

La alícuota vigente para sociedades es del 35%, y el impuesto se liquida de manera anual

- **Impuesto al Valor Agregado (IVA):** aplica sobre la venta de bienes y la prestación de servicios. La alícuota general del impuesto es del 21%, aunque existen casos particulares donde se aplica un 10,5% o un 27%, dependiendo del tipo de bien o servicio. Las empresas deben presentar declaraciones mensuales donde se expone el cálculo del impuesto y se abona el saldo que resulte
- **Impuesto sobre los Bienes Personales:** afecta el patrimonio de las personas físicas. Aunque el patrimonio propio de la empresa no esté gravado por este impuesto, sí representa una carga administrativa que debe contemplarse. Esto ocurre cuando la sociedad tiene entre sus accionistas a personas físicas. En ese caso, la empresa actúa como responsable sustituto, debiendo determinar, declarar y pagar el impuesto correspondiente a la tenencia de acciones o participaciones societarias por parte de los socios
- **Impuesto sobre los Débitos y Créditos en Cuentas Bancarias y Otras Operatorias:** conocido como "impuesto al cheque".
- **Impuestos internos y específicos:** aplicables a determinados productos o actividades.
- **Derechos de exportación e importación:** relacionados con el comercio exterior.

### 9.3.2 Impuestos Provinciales

Las provincias tienen autonomía para establecer y administrar sus propios impuestos. En la provincia de Santa Fe, la Administración Provincial de Impuestos (API) es el organismo responsable de la recaudación y fiscalización tributaria.

Los principales tributos provinciales incluyen:

- **Impuesto sobre los Ingresos Brutos:** grava el ejercicio de actividades comerciales, industriales, profesionales o de servicios.



- **Impuesto de Sellos:** afecta actos, contratos y operaciones registrales.
- **Impuesto Inmobiliario y Patente Única sobre Vehículos:** gravan la propiedad de bienes inmuebles y vehículos, respectivamente.

### 9.3.3 Impuestos Municipales

Los municipios no tienen potestad tributaria, pero pueden establecer tasas y contribuciones por la prestación de servicios o el mantenimiento de la infraestructura urbana. En el caso del municipio de San Lorenzo, donde se ubicará la planta de Estyrex S.A., las tasas municipales relevantes son:

- Tasa general de servicios: alumbrado, barrido y limpieza.
- Derechos de inspección y seguridad e higiene: relacionados con la habilitación y control de actividades comerciales e industriales

## 9.4 TRÁMITES E INSCRIPCIONES IMPOSITIVAS

Para iniciar formalmente las actividades de **Estyrex S.A.** en la provincia de Santa Fe, es necesario cumplir con una serie de trámites e inscripciones impositivas a nivel provincial y nacional.

### Inscripción ante la Administración Provincial de Impuestos (API)

El primer paso es la inscripción de la empresa en la Administración Provincial de Impuestos (API) de Santa Fe. Este organismo es responsable de la recaudación de tributos provinciales, como el Impuesto sobre los Ingresos Brutos. La inscripción se realiza a través del sitio oficial de la API, donde se debe completar el formulario correspondiente y presentar la documentación requerida.

### Inscripción ante la Agencia de Recaudación y Control Aduanero (ARCA)

Posteriormente, se debe proceder a la inscripción ante la Agencia de Recaudación y Control Aduanero (ARCA), organismo que reemplazó a la AFIP desde octubre de 2024. ARCA es responsable de la administración de los tributos nacionales y el control aduanero. La inscripción se realiza en línea a través del portal oficial de ARCA, donde se debe:

- Obtener la Clave Única de Identificación Tributaria (CUIT).
- Gestionar la Clave Fiscal, que permite acceder a los servicios en línea de ARCA.
- Declarar el Domicilio Fiscal Electrónico, obligatorio para todas las comunicaciones oficiales.



- Dar de alta los impuestos nacionales correspondientes, como el Impuesto a las Ganancias y el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

### **Constitución legal de la sociedad**

En el caso de las sociedades, como Estyrex S.A., es necesario realizar la constitución legal ante la Inspección General de Personas Jurídicas (IGPJ) de la provincia de Santa Fe. Este trámite implica:

- Presentar el estatuto social y la documentación de los socios.
- Designar a los representantes legales.
- Obtener la matrícula de la sociedad.

Una vez completada la inscripción en la IGPJ, se puede proceder con los trámites ante la API y ARCA.



## CAPÍTULO X

### ASPECTOS NORMATIVOS Y DE CALIDAD

#### 10.1 INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, las organizaciones productivas y de servicios operan en un entorno regulado por diversas normativas de calidad que contribuyen a la mejora continua de los procesos, la competitividad y el acceso a nuevos mercados. Entre las más reconocidas se encuentran las normas ISO (como la ISO 9001 de gestión de la calidad, ISO 14001 de gestión ambiental y ISO 45001 de seguridad y salud en el trabajo), las normas IRAM de aplicación nacional, y otras normativas técnicas internacionales como las ASME, aplicables especialmente en ingeniería y diseño de equipos bajo presión.

La implementación de estos sistemas de gestión, ya sea por requisitos contractuales, exigencias del mercado o decisión estratégica de la alta dirección, representa una herramienta clave para profesionalizar la organización y aumentar su eficiencia. En muchos casos, las certificaciones no sólo abren puertas a mercados más exigentes o permiten participar en licitaciones públicas y privadas, sino que además fortalecen la imagen institucional y la confianza de los clientes y partes interesadas.

No obstante, su aplicación y posterior certificación implica una inversión inicial tanto en recursos financieros como en capital humano capacitado, así como un compromiso sostenido en el tiempo para su mantenimiento y mejora. Las empresas que adoptan estas normas deben adaptar sus estructuras organizativas, documentar sus procesos y establecer mecanismos de control y evaluación continua del desempeño.

Diversos estudios han demostrado que la implementación efectiva de un sistema de gestión de la calidad contribuye directamente a la mejora de la rentabilidad. Esto se traduce en la reducción de costos asociados a reprocesos, tiempos ociosos, fallas internas y externas, optimización de la logística, mejoras en el diseño del layout productivo, y una mayor satisfacción del cliente debido a la estandarización de los productos y servicios. De este modo, las normas de calidad no sólo representan un cumplimiento formal, sino que se constituyen en una verdadera ventaja competitiva para las empresas que las adoptan con una visión estratégica.

#### 10.2 NORMAS A CERTIFICAR



## 10.2.1 Normas ISO

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es una entidad independiente, no gubernamental, formada por organismos nacionales de normalización de más de 160 países. Su principal función es desarrollar normas internacionales consensuadas que contribuyan a asegurar la calidad, la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de productos, procesos y servicios en todos los sectores industriales.

Las normas ISO no son obligatorias, pero su adopción voluntaria y certificación proporcionan ventajas competitivas, cumplimiento normativo y mejora continua de las organizaciones. A continuación, se describen las tres normas más relevantes para una planta industrial petroquímica: ISO 9001, ISO 45001 e ISO 14001.

### 10.2.1.1 ISO 9000 – Gestión de la calidad

La norma ISO 9001:2015 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), con el objetivo de aumentar la satisfacción del cliente mediante la mejora de los procesos internos, el enfoque en la calidad del producto y la eficiencia operativa.

La norma ISO 9001 se implementaría para garantizar la consistencia en la calidad del estireno producido, establecer procedimientos de control de procesos en cada etapa (deshidrogenación, separación, almacenamiento) y mejorar la trazabilidad de los lotes. Además, facilitará auditorías internas y externas que aseguren el cumplimiento de estándares nacionales e internacionales.

#### Objetivos

- Asegurar la calidad constante de productos y servicios.
- Mejorar la experiencia del cliente.
- Estandarizar procesos con enfoque a la mejora continua.

#### Beneficios

- Reducción de errores y retrabajos.
- Mayor confianza de clientes y partes interesadas.
- Mejora en la eficiencia de los procesos.
- Acceso a nuevos mercados que exigen certificaciones.

El ciclo Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA), también conocido como ciclo de Deming o ciclo PDCA, constituye la base del enfoque de mejora continua propuesto por la norma ISO 9001. Este modelo cíclico permite a las organizaciones estructurar su Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) de manera lógica, ordenada y orientada a resultados, promoviendo una mejora constante en el desempeño de los procesos y en la satisfacción del cliente.

#### *Planificar*



En esta primera etapa se definen los objetivos del sistema y los procesos necesarios para alcanzar resultados que estén alineados con los requisitos del cliente y las metas estratégicas de la organización. En una planta industrial productora de estireno, esta fase implica identificar los procesos clave del sistema productivo, como la reacción de deshidrogenación, la purificación del producto y el almacenamiento final. También se realiza un análisis de riesgos y oportunidades, se definen indicadores de calidad, y se establecen la política de calidad, los objetivos específicos y la asignación de recursos. Esta planificación es esencial para garantizar que todo el sistema de producción y gestión opere bajo parámetros claramente establecidos y medibles.

### ***Hacer***

Una vez planificados los procesos y recursos, se procede a su implementación. En una planta como la de estireno, esta etapa implica la ejecución operativa de los procedimientos definidos, asegurando que las actividades diarias se lleven a cabo según lo estipulado. Esto incluye desde la operación de los equipos, el monitoreo de variables críticas, el mantenimiento preventivo y correctivo, hasta la capacitación del personal en los procedimientos del sistema de gestión de la calidad. Además, se documentan los resultados y se generan registros que permiten rastrear y verificar que los procesos se están desarrollando correctamente y que los productos cumplen con las especificaciones establecidas.

### ***Verificar***

En la etapa de verificación se realiza el seguimiento, la medición y el análisis del desempeño de los procesos y productos en relación con los objetivos de calidad planificados. Esto incluye la realización de auditorías internas, inspecciones de calidad del estireno producido, y análisis de indicadores como los niveles de rechazo de productos, tiempos de parada de planta, eficiencia energética y cumplimiento de plazos. También se consideran los resultados de las devoluciones o reclamos de clientes, así como la eficacia de las acciones implementadas. Esta verificación permite detectar desvíos, evaluar la efectividad del sistema y preparar información clave para la toma de decisiones.

### ***Actuar***

La última etapa del ciclo consiste en tomar acciones basadas en los resultados obtenidos durante la verificación, con el objetivo de mejorar continuamente el sistema de gestión. En esta fase se implementan acciones correctivas frente a no conformidades, se ajustan procedimientos que han resultado ineficientes, se revisan y actualizan los documentos del sistema y se analizan nuevas oportunidades de mejora. Además, se lleva a cabo la revisión por la dirección, que permite evaluar el cumplimiento general de los objetivos de calidad y establecer nuevas metas de mejora.

## **10.2.1.2 ISO 45000 – Seguridad y Salud en el Trabajo**



La norma **ISO 45001:2018** define un marco para gestionar los riesgos laborales y proporcionar un entorno de trabajo seguro y saludable, previniendo accidentes, enfermedades y mejorando el bienestar de los trabajadores.

### Objetivos

- Prevenir lesiones y afecciones laborales.
- Eliminar peligros y minimizar riesgos en el entorno de trabajo.
- Promover una cultura preventiva y de participación activa.

### Beneficios

- Reducción de incidentes laborales y sus costos asociados.
- Cumplimiento de la legislación en seguridad y salud ocupacional.
- Mejora del clima laboral y la motivación del personal.
- Reducción del ausentismo y aumento de la productividad.

### Requisitos principales

- Identificación de peligros y evaluación de riesgos.
- Planificación de medidas preventivas y controles operacionales.
- Participación de los trabajadores.
- Preparación ante emergencias.
- Revisión continua del sistema y mejora del desempeño en SST.

En nuestra planta que manipulará sustancias inflamables como el etilbenceno y operará a altas temperaturas, la implementación de la ISO 45001 nos permitirá establecer protocolos de seguridad, realizar capacitaciones permanentes, monitorear condiciones de trabajo y preparar al personal ante emergencias, minimizando el riesgo de accidentes mayores.

### 10.2.1.3 ISO 14000 – Gestión ambiental

La norma **ISO 14001** establece los requisitos para implementar un **Sistema de Gestión Ambiental (SGA)** orientado a minimizar los impactos ambientales adversos derivados de la actividad industrial.

### Objetivos

- Gestionar de forma responsable los aspectos ambientales.
- Reducir emisiones, efluentes y residuos.
- Cumplir con la legislación ambiental vigente.
- Mejorar el desempeño ambiental de manera continua.

### Beneficios



- Reducción de riesgos legales y sanciones ambientales.
- Mejor relación con la comunidad y las autoridades ambientales.
- Ahorro de recursos mediante la eficiencia energética y reducción de residuos.
- Acceso a mercados que valoran la sostenibilidad.

El proceso de deshidrogenación de etilbenceno genera emisiones gaseosas y residuos que deben gestionarse adecuadamente. ISO 14001 permite monitorear y controlar emisiones de COVs y otros subproductos, optimizar el uso de energía, implementar un plan de residuos industriales y cumplir con todas las normativas ambientales locales y nacionales.

### 10.2.2 Normas IRAM

Las normas IRAM son normas técnicas elaboradas por el **Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM)**, una asociación civil sin fines de lucro que actúa como el organismo nacional de normalización en la Argentina. Su principal función es desarrollar, mantener y promover normas que aseguren la calidad, seguridad, eficiencia y compatibilidad de productos, procesos y servicios en distintos sectores de la industria y la sociedad.

Al igual que las normas ISO a nivel internacional, las normas IRAM ofrecen lineamientos claros, objetivos y consensuados que permiten establecer estándares mínimos de calidad. Estas normas son de aplicación voluntaria, salvo cuando son exigidas por contratos, pliegos de licitación o disposiciones legales específicas.

Implementar normas IRAM en una organización aporta múltiples ventajas:

- Mejora la calidad de productos y servicios, al estandarizar procesos y requisitos.
- Aumenta la confianza del cliente, gracias a la garantía de que se cumplen criterios reconocidos a nivel nacional o internacional.
- Facilita la participación en licitaciones y concursos, donde suelen requerirse productos o servicios certificados bajo normas específicas.
- Permite mejorar la competitividad de la empresa, tanto a nivel nacional como internacional.
- Contribuye a la reducción de riesgos laborales, ambientales y técnicos, al establecer prácticas seguras y responsables.

### 10.2.3 Normas ASTM

Las normas ASTM son normas internacionales y técnicas que especifican métodos de ensayo, definiciones, procedimientos de muestreo, criterios de aceptación y propiedades de materiales, entre otras cosas.

A diferencia de las normas ISO o IRAM, que suelen enfocarse en sistemas de gestión o estructuras organizacionales, las normas ASTM se centran en el nivel técnico, operativo y de laboratorio. Por eso son muy utilizadas en sectores como el químico, petroquímico, metalúrgico, de plásticos, construcción, farmacéutico y de combustibles.



No son obligatorias por ley en Argentina, salvo que alguna autoridad regulatoria, cliente o contrato lo exija. Sin embargo, son muy valoradas como referencia técnica internacional, especialmente en proyectos de envergadura o que buscan exportar productos, obtener certificaciones o trabajar con estándares globales.

### 10.3 CONTROL DE CALIDAD

Es fundamental implementar un sistema de control de calidad interno que permita monitorear las distintas etapas del proceso, verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del producto final y detectar cualquier desviación o anomalía que pueda comprometer la seguridad o la calidad.

Este control debe ser sistemático, documentado y basado en normas técnicas reconocidas, permitiendo no solo cumplir con requisitos contractuales o normativos, sino también optimizar la eficiencia operativa y reducir pérdidas.

#### 10.3.1 Cromatografía de gases (GC)

La cromatografía de gases (GC) es una de las técnicas más utilizadas para evaluar la pureza del estireno y detectar impurezas residuales como etilbenceno, benceno, tolueno u otros subproductos del proceso de producción.

El procedimiento consiste en inyectar una pequeña cantidad de la muestra en un cromatógrafo de gases, donde se vaporiza y se transporta a través de una columna por un gas portador (como helio o nitrógeno). Los diferentes compuestos presentes en la muestra se separan en función de su volatilidad y su interacción con la fase estacionaria de la columna. A medida que van saliendo del sistema, se detectan individualmente y se representan como picos en un cromatograma. Cada pico corresponde a un compuesto específico, y su área permite cuantificar su proporción en la mezcla.

Este análisis permite verificar que el estireno alcance niveles de pureza superiores al 99,7%, que es el estándar requerido para su uso industrial en la producción de polímeros.

#### 10.3.2 Medición del contenido de inhibidor (TBC)

El TBC es un inhibidor que se añade al estireno para evitar su polimerización espontánea durante el almacenamiento y transporte. Este compuesto debe mantenerse dentro de un rango específico (generalmente entre 10 y 15 ppm), ya que una concentración insuficiente puede derivar en reacciones indeseadas, mientras que un exceso puede interferir en procesos posteriores donde se busca la polimerización controlada.



Para determinar la concentración de TBC, se utiliza un método instrumental. Una de las técnicas más comunes es la espectrofotometría ultravioleta (UV), donde la muestra líquida de estireno se diluye con un solvente adecuado, como metanol. Luego, se introduce en un espectrofotómetro que mide la absorción de luz a una longitud de onda específica, característica del TBC. Con una curva de calibración previa, se calcula la concentración exacta. Alternativamente, también puede emplearse cromatografía de gases para detectar y cuantificar el TBC con mayor precisión.

### 10.3.3 Índice de color

El aspecto visual del estireno también constituye un indicador relevante de calidad. En condiciones normales, el estireno debe ser incoloro y transparente. Un cambio en el color, como una tonalidad amarilla o marrón, puede indicar la presencia de productos de degradación, oxidación, impurezas metálicas o reacciones indeseadas ocurridas durante el proceso o almacenamiento.

Para realizar esta prueba, se compara visualmente una muestra de estireno con una escala de referencia de colores estándar, como la definida por la norma ASTM D1209 (índice de color de platino-cobalto). La comparación se realiza en tubos de vidrio, observando bajo condiciones de luz controladas. Este procedimiento permite realizar un control rápido, económico y efectivo, y es especialmente útil como alerta temprana de desviaciones en el proceso.



## CAPÍTULO XI

### HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

#### 11.1 INTRODUCCIÓN

La higiene y seguridad industrial constituyen pilares fundamentales en el diseño, operación y gestión de instalaciones destinadas a procesos químicos, donde el manejo de sustancias inflamables, tóxicas o de alta temperatura implica riesgos inherentes tanto para las personas como para el ambiente. En este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo identificar, analizar y establecer las condiciones necesarias para garantizar un entorno laboral seguro, saludable y conforme a la normativa vigente.

Dado que el proyecto en cuestión involucra la producción de estireno a partir de la deshidrogenación catalítica de etilbenceno, proceso que opera a altas temperaturas y en presencia de materiales potencialmente peligrosos, resulta esencial considerar de forma rigurosa los factores de riesgo presentes en cada etapa del ciclo productivo. Esto incluye no sólo las condiciones físicas de la planta, sino también los sistemas de protección, los procedimientos de emergencia, la formación del personal y la implementación de buenas prácticas industriales.

El desarrollo de este capítulo se apoya en normativas nacionales e internacionales, en principios de prevención y en metodologías de análisis de riesgo reconocidas, como el análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) y el enfoque de seguridad basada en el comportamiento. Asimismo, se contemplan los deberes y derechos de los trabajadores y empleadores, y se establecen recomendaciones específicas para minimizar la probabilidad de accidentes, enfermedades laborales y daños estructurales.

En suma, este apartado busca no sólo cumplir con requisitos legales, sino promover una cultura de seguridad proactiva y sustentable, que contribuya a la integridad de las personas, la continuidad del proceso y el desempeño ambiental del proyecto.

#### 11.2 CONDICIONES GENERALES DE TRABAJO

Las condiciones generales de trabajo comprenden el conjunto de características ambientales, ergonómicas y sanitarias del entorno laboral que influyen directamente en la salud, el bienestar y el desempeño de los trabajadores. En una planta destinada a la producción de estireno, estas condiciones revisten especial importancia, dado el carácter continuo del proceso, las temperaturas elevadas implicadas y la manipulación de sustancias químicas potencialmente peligrosas.



Para asegurar un entorno laboral adecuado, se han considerado los siguientes aspectos fundamentales.

### **11.2.1 Provisión de agua**

Se garantizará un suministro permanente de agua potable para consumo humano, conforme a los parámetros establecidos por la legislación sanitaria vigente. Asimismo, se contará con agua de proceso y agua industrial destinada a sistemas de refrigeración y limpieza, separadas de la red de agua potable para evitar contaminaciones cruzadas.

### **11.2.2 Instalaciones sanitarias y vestuarios**

Se dispondrá de baños, duchas y vestuarios separados por género, adecuados en cantidad y ubicación, conforme al número de operarios. Estas instalaciones deberán mantenerse en condiciones higiénicas, contar con ventilación natural o forzada y agua caliente.

### **11.2.3 Iluminación**

Las áreas de trabajo contarán con iluminación natural y artificial suficiente, conforme a las exigencias de las tareas a realizar. Se priorizará la utilización de sistemas de iluminación LED eficientes, con niveles de iluminación adecuados para zonas de operación, control y circulación, evitando deslumbramientos o zonas oscuras que comprometan la seguridad.

### **11.2.4 Ruidos y vibraciones**

El diseño de la planta incluirá estrategias de aislamiento acústico en aquellas zonas con equipos ruidosos (reactores, compresores, bombas), con el fin de mantener los niveles de exposición sonora dentro de los límites permitidos. En caso de superar dichos valores, se proveerá al personal de protectores auditivos adecuados.

### **11.2.5 Ambientes ventilados y control de temperatura**

Se asegurará la renovación constante del aire mediante sistemas de ventilación natural o mecánica. En espacios cerrados se incorporarán extractores y filtros para controlar vapores y partículas. En sectores donde las condiciones térmicas puedan ser extremas, se evaluará la incorporación de climatización o barreras térmicas.



### 11.2.6 Condiciones ergonómicas

Las estaciones de trabajo estarán diseñadas para minimizar esfuerzos innecesarios, posturas forzadas y movimientos repetitivos. Se tendrá especial consideración en la selección de herramientas, equipos de carga y dispositivos de asistencia, especialmente en las zonas de envasado, mantenimiento y monitoreo.

### 11.2.7 Certificados médicos

Con el fin de preservar la salud integral de los trabajadores y asegurar su aptitud para desempeñar las tareas asignadas dentro del ámbito industrial, se exigirá la presentación de certificados médicos periódicos, en cumplimiento con lo establecido por la normativa vigente en materia de salud ocupacional.

Los exámenes médicos de ingreso permitirán constatar que el personal no presenta patologías incompatibles con la actividad a realizar, en particular aquellas que puedan agravarse por exposición a agentes químicos, ruidos o condiciones térmicas adversas. Además, se realizarán controles médicos periódicos, con la frecuencia estipulada por la legislación y en función del grado de exposición a riesgos laborales. Estos exámenes incluirán evaluaciones clínicas generales, análisis específicos (como espirometrías, audiometrías y estudios de sangre) y estudios orientados a la detección precoz de enfermedades profesionales.

La gestión de los certificados estará a cargo del servicio de medicina del trabajo, en coordinación con el área de higiene y seguridad. Toda información médica será tratada con la debida confidencialidad, en concordancia con la Ley de Protección de Datos Personales.

El cumplimiento estricto de estos controles médicos constituye una herramienta preventiva clave, ya que permite identificar condiciones de salud que puedan representar un riesgo tanto para el trabajador como para el entorno de trabajo, y actuar en consecuencia mediante reasignación de tareas, tratamientos o adecuaciones del puesto.

## 11.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL

La seguridad industrial abarca el conjunto de medidas técnicas, organizativas y conductuales orientadas a prevenir accidentes, incidentes y situaciones de emergencia dentro del ámbito laboral. En una planta de producción de estireno, donde se trabaja con sustancias inflamables y procesos endotérmicos a altas temperaturas, la implementación de estrategias de seguridad resulta crítica para resguardar la integridad física del personal, la continuidad operativa y la infraestructura de la instalación.

Esta sección desarrolla los principales aspectos relacionados con la responsabilidad institucional en materia de seguridad, el diseño e implementación del plan de seguridad, así como las medidas específicas frente a riesgos de incendio y fallos en instalaciones eléctricas.



### 11.3.1 Responsabilidad de la seguridad

La responsabilidad de la seguridad dentro de un establecimiento industrial recae tanto en el empleador como en los trabajadores. El empleador debe garantizar condiciones seguras de trabajo mediante el cumplimiento de la legislación vigente (como la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y su Decreto Reglamentario 351/79), la implementación de medidas preventivas, la capacitación del personal y la provisión de elementos de protección.

El trabajador, por su parte, tiene la obligación de cumplir con los procedimientos establecidos, utilizar adecuadamente los equipos de protección personal (EPP), notificar riesgos detectados y participar activamente en las instancias de capacitación.

A su vez, los servicios internos o contratados de Higiene y Seguridad deben realizar auditorías, evaluaciones de riesgo, asesoramiento técnico y seguimiento de acciones correctivas, garantizando un enfoque sistemático y preventivo en toda la organización.

### 11.3.2 Plan de seguridad

El plan de seguridad es el núcleo operativo del sistema de gestión de seguridad industrial. Su propósito es prevenir y controlar los riesgos inherentes a la operación de una planta de deshidrogenación catalítica del etilbenceno, una actividad caracterizada por el uso de reactores a alta temperatura, compuestos inflamables y procesos endotérmicos.

El plan contempla los siguientes ejes fundamentales:

#### Identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER)

Se realiza una evaluación sistemática de todas las actividades, instalaciones y operaciones de la planta para identificar los peligros presentes (químicos, físicos, eléctricos, térmicos, ergonómicos, etc.). Cada peligro se analiza mediante herramientas como el análisis de riesgo cualitativo (matriz de riesgo), el método HAZOP (Hazard and Operability Study) o el análisis "What if", asignando una criticidad que combina probabilidad y severidad.

#### Implementación de controles

Una vez identificados los riesgos, se aplican controles bajo el principio de jerarquía de control:

- **Controles de ingeniería:** sistemas de enclavamiento, ventilación mecánica, válvulas de alivio, detectores de gas inflamable y tóxico, aislamientos térmicos, blindaje de equipos eléctricos.



- **Controles administrativos:** procedimientos operativos estandarizados (POE), permisos de trabajo (PT), registros de mantenimiento y operaciones, y rotación de personal en tareas de alta carga térmica o riesgo químico.
- **Controles personales:** uso obligatorio de EPP específicos (guantes resistentes a hidrocarburos, antiparras, máscaras con filtro, ropa ignífuga, calzado dieléctrico).

### Procedimientos ante emergencias

El plan incluye un conjunto detallado de protocolos para distintas situaciones de emergencia: incendios, fugas de gas o líquidos inflamables, explosiones, accidentes personales, cortes de energía y fallas de equipos críticos. Para cada evento se define:

- Activación de alarmas.
- Interrupción de procesos mediante sistemas de parada de emergencia (ESD).
- Evacuación segura según rutas establecidas.
- Coordinación con brigadas internas y servicios externos (bomberos, policía, SAME).
- Comunicación efectiva a través de sistemas redundantes (radios, megáfonos, sirenas).

### Formación y concientización

El plan contempla un programa de capacitación continuo que incluye:

- Inducción inicial en seguridad para nuevos trabajadores.
- Entrenamientos específicos para operaciones críticas (manejo de productos químicos, ingreso a espacios confinados, trabajos en altura, operación de válvulas manuales).
- Simulacros de emergencia con evaluación posterior.
- Refrescos periódicos sobre riesgos particulares y uso de EPP.

### Supervisión, auditoría y mejora continua

El sistema se complementa con registros de incidentes, auditorías internas, inspecciones planificadas, revisión de procedimientos tras eventos relevantes y participación del personal en propuestas de mejora. Esta dinámica busca promover una cultura de seguridad, donde cada trabajador se sienta partícipe y responsable de su entorno laboral.

#### 11.3.3 Protección contra incendios

La protección contra incendios es prioritaria en plantas donde se manipulan hidrocarburos y sustancias inflamables como el etilbenceno y el estireno. La estrategia de protección se basa en el diseño preventivo, la detección temprana, la respuesta rápida y la formación del personal.



### 11.3.3.1 Condiciones generales de extinción

La planta contará con un sistema de detección automática de incendios, bocas de incendio equipadas (BIE), extintores portátiles, hidrantes, y rociadores automáticos en áreas de alto riesgo. Los extintores estarán seleccionados en función del tipo de fuego probable (clase B principalmente) y distribuidos según lo exige la normativa IRAM y el Reglamento de Seguridad contra Incendios.

Además, se prevé una red de agua contra incendios presurizada, independiente del sistema de proceso, alimentada por una reserva exclusiva con capacidad suficiente para operar en forma continua durante un evento crítico.

### 11.3.3.2 Plan de emergencias

El plan de emergencias incluye:

- Procedimientos para distintos escenarios (incendio, fuga, explosión).
- Rutas de evacuación señalizadas y libres de obstrucciones.
- Puntos de reunión externos a la zona de peligro.
- Roles asignados al personal (coordinador, primeros auxilios, evacuador).
- Entrenamiento y simulacros obligatorios.
- Comunicación inmediata con bomberos, policía y servicios médicos.

Este plan será revisado periódicamente y actualizado ante cambios en la configuración de la planta o el proceso.

### 11.3.4 Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas industriales deben cumplir con normas de seguridad que minimicen el riesgo de contacto eléctrico, cortocircuitos, sobrecargas e ignición de atmósferas explosivas. En la planta de estireno, donde pueden coexistir gases inflamables, se adoptarán criterios de diseño a prueba de explosión (normas ATEX o similares).

#### 11.3.4.1 Consignación de líneas y aparatos

Toda intervención sobre equipos eléctricos requerirá la consignación de los mismos, es decir, su aislamiento eléctrico y señalización mediante candados y etiquetas ("lock out-tag out"). Esta práctica garantiza que no se energicen accidentalmente durante tareas de mantenimiento o inspección.



#### 11.3.4.2 Distancias de seguridad

Se respetarán las distancias mínimas exigidas entre conductores, tableros, canalizaciones y equipos, evitando interferencias mecánicas y facilitando tareas de inspección. Las zonas con equipos energizados estarán adecuadamente señalizadas y protegidas contra accesos no autorizados.

#### 11.3.4.3 Condiciones de seguridad

Los tableros eléctricos estarán contruidos en gabinetes metálicos cerrados, con puesta a tierra, protección contra sobrecorriente y diferenciales. Se garantizará el cumplimiento de las normas IRAM e IEC aplicables. Además, en áreas clasificadas, se utilizarán elementos eléctricos antideflagrantes o encapsulados.

### 11.4 GESTIÓN DEL RIESGO Y PREVENCIÓN

La gestión del riesgo en una planta industrial dedicada a la producción de estireno debe ser rigurosa y proactiva, dado que el proceso involucra altas temperaturas, productos inflamables y la presencia constante de riesgos operacionales. Esta sección aborda las principales herramientas y recursos destinados a prevenir accidentes, minimizar exposiciones y proteger al personal, los activos y el entorno.

#### 11.4.1 Equipos y elementos de protección personal (EPPP)

Los EPPP son dispositivos diseñados para ser utilizados por el trabajador con el fin de protegerlo de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud. En la industria química, su uso es obligatorio y debe ajustarse a la naturaleza del riesgo presente en cada tarea.

##### 11.4.1.1 Características de los EPPP

Los EPPP deben cumplir con las normativas nacionales (Resolución SRT 299/2011) e internacionales (IRAM, ANSI, EN) y adaptarse ergonómicamente al usuario. En el contexto de esta planta, los principales equipos incluyen:

**Protección respiratoria:** mascarillas con filtros para vapores orgánicos, respiradores de cartucho dual para exposición a gases o partículas.

**Protección ocular y facial:** antiparras químicas, máscaras faciales integrales, visores.

**Protección dérmica:** trajes resistentes a productos químicos (Tychem, PVC), guantes de nitrilo/neopreno.



**Protección auditiva:** orejeras o tapones auditivos, especialmente en zonas con compresores y sopladores.

**Protección contra calor y llamas:** indumentaria ignífuga (FR), calzado dieléctrico y antiestático.

Se deberá proveer, capacitar y controlar el uso correcto y obligatorio de los EEPP.

#### 11.4.2 Señalización

La señalización constituye un elemento esencial en la prevención de accidentes. Las señales deben ser visibles, durables y estar colocadas estratégicamente en lugares de riesgo o tránsito.

Se incluirán:

**Señales de advertencia:** riesgo eléctrico, sustancias inflamables, atmósfera explosiva, alta temperatura.

**Señales de obligación:** uso obligatorio de EPP, lavado de ojos, uso de mascarilla.

**Señales de prohibición:** fumar, uso de celular, acceso no autorizado.

**Señales de emergencia:** salidas de evacuación, ubicación de matafuegos, duchas y lavaojos de emergencia, punto de reunión.

La señalización estará normalizada según la IRAM 10005 y la Ley de Higiene y Seguridad.

#### 11.4.3 Capacitaciones

La capacitación del personal es una de las herramientas más eficaces en la gestión del riesgo. Todo trabajador debe conocer los peligros del entorno, los procedimientos de trabajo seguro, y la respuesta ante emergencias.

El plan de formación incluye:

- Inducción general en seguridad y salud ocupacional.
- Cursos específicos por puesto o tarea (manejo de químicos, bloqueo eléctrico, trabajos en altura).
- Talleres sobre primeros auxilios y uso de extintores.
- Simulacros periódicos de evacuación y contingencia.
- Evaluaciones de comprensión y actualización de contenidos.

La participación es obligatoria, con registros auditables.



#### 11.4.4 Análisis de peligros y control de puntos críticos

El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) o HACCP (por sus siglas en inglés), es una herramienta sistemática para identificar, evaluar y controlar peligros significativos que puedan comprometer la seguridad del proceso, el ambiente o la salud de los trabajadores. Si bien esta metodología es ampliamente utilizada en la industria alimentaria, en el contexto de procesos industriales peligrosos se adapta con criterios técnicos más estrictos, en particular bajo normas como la ISO 45001 y elementos del PHA (Process Hazard Analysis).

#### Metodología aplicada

En la planta de producción de estireno, el análisis de peligros se ejecuta sobre las diferentes etapas del proceso: alimentación de etilbenceno, reacción de deshidrogenación, separación de productos, tratamiento de corrientes gaseosas, manejo de subproductos y residuos. Los pasos típicos del análisis son:

1. **Identificación de peligros:** Se consideran peligros físicos (explosiones, incendios), químicos (exposición a vapores tóxicos, reactividad cruzada), mecánicos (fallos de válvulas, rotura de líneas), térmicos (altas temperaturas) y eléctricos.
2. **Determinación de puntos críticos de control (PCC):** Se identifican los puntos del proceso donde el peligro puede ser controlado eficazmente mediante una intervención técnica u operativa. Ejemplos:
  - Temperatura y presión del reactor de deshidrogenación.
  - Concentración de oxígeno en atmósferas controladas.
  - Integridad de trampas de calor y válvulas de seguridad.
  - Caudal y pureza del vapor utilizado.
3. **Establecimiento de límites críticos:** Se definen valores máximos y mínimos aceptables para los parámetros de cada PCC, según especificaciones de proceso y seguridad. Por ejemplo:
  - $T > 620$  °C en el lecho catalítico → riesgo de sinterización del catalizador y runaway térmico.
  - $P > 3$  atm en columna de destilación → riesgo de sobrepresión.
4. **Monitoreo de PCC:** Se implementan sensores, alarmas y sistemas de control automático para registrar en tiempo real las variables críticas. Estos datos son gestionados por el sistema de control distribuido (DCS).
5. **Acciones correctivas:** Se establecen procedimientos de respuesta ante la desviación de los límites críticos, que incluyen parada segura del sistema, purgado de líneas, y activación de válvulas de alivio.



6. **Verificación y validación:** Inspecciones técnicas, análisis de fallas, auditorías y revisión periódica de registros aseguran que el sistema siga siendo eficaz.
7. **Documentación y registros:** Toda la información debe quedar debidamente documentada para su trazabilidad y análisis posterior ante incidentes.

### Ejemplo aplicado

Durante la operación del reactor de deshidrogenación, se identifican los siguientes PCC:

- Temperatura del lecho catalítico: Si se supera el límite operativo seguro, puede desencadenarse una reacción descontrolada con formación de coque, disminución de selectividad y potencial riesgo de incendio.
- Presión diferencial en el sistema de alimentación: Un incremento abrupto puede indicar una obstrucción, fuga o mal funcionamiento de válvulas, con riesgo de sobrepresión o derrames.
- Concentración de oxígeno en el gas de purga: Debe mantenerse por debajo del 3% para evitar atmósferas explosivas al entrar en contacto con hidrocarburos volátiles.

Esta metodología se integra dentro de un enfoque de gestión integral del riesgo de procesos (Process Safety Management) y es fundamental para garantizar la operación segura, eficiente y sostenible de la planta.

#### 11.4.5 Riesgos antrópicos

Se contemplan aquellos riesgos que pueden surgir por error humano, sabotaje, terrorismo o vandalismo. Las medidas de prevención incluyen:

- Control de accesos mediante tarjetas magnéticas y vigilancia física.
- Restricciones de ingreso a áreas críticas.
- Control de sustancias peligrosas (registro, almacenamiento seguro, inventario).
- Políticas de cero tolerancia ante conductas temerarias.
- Comunicación y coordinación con autoridades locales ante amenazas externas.

#### 11.4.6 Servicios de higiene y medicina laboral

Los servicios de higiene y medicina laboral son esenciales para proteger la salud del trabajador, prevenir enfermedades profesionales y promover condiciones laborales saludables.



Las funciones que se deberán realizar son:

- Realización de exámenes médicos periódicos y preocupacionales.
- Vigilancia epidemiológica (registro de enfermedades, ausentismo, lesiones).
- Monitoreo ambiental (ruido, iluminación, temperatura, contaminantes).
- Asistencia en emergencias médicas.
- Asesoramiento sobre ergonomía y fatiga laboral.
- Rehabilitación y reinserción laboral post-accidente.

El servicio deberá contar con un profesional médico y un técnico en seguridad e higiene, cuya presencia dependerá del tamaño y riesgo de la planta. Según el Decreto 1338/96 y normas de la SRT, se deben afectar horas profesionales en función del número de trabajadores y la peligrosidad de la actividad.



## CAPÍTULO XII

### ANÁLISIS DE RIESGOS

#### 12.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrollará un análisis integral de los riesgos asociados a la operación de la planta industrial de producción de estireno. El objetivo es identificar y evaluar los distintos tipos de riesgos presentes en las distintas áreas de la planta.

Este análisis permitirá establecer una jerarquía de riesgos, priorizando aquellos que requieren medidas inmediatas o especiales de mitigación. Asimismo, se propondrán estrategias de prevención, compensación y contingencia ante posibles eventos no deseados

El análisis de riesgos no solo tiene una función técnica y operativa, sino también económica. Su correcta interpretación permitirá incorporar variables clave en futuras simulaciones del flujo de caja del proyecto y en la evaluación de su rentabilidad, ya que pone en evidencia los puntos críticos que podrían comprometer la viabilidad técnica o financiera del emprendimiento.

#### 12.2 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO

##### 12.2.1 Riesgos físicos

En la planta de producción de estireno, los riesgos físicos constituyen un conjunto de peligros asociados fundamentalmente a las condiciones ambientales y operativas del proceso industrial. Estos riesgos, si no son correctamente identificados y gestionados, pueden derivar en lesiones al personal, daños materiales o interrupciones del proceso productivo. A continuación, se detallan los principales riesgos físicos identificados:

##### 12.2.1.1 Altas temperaturas

La deshidrogenación catalítica de etilbenceno a estireno se realiza a temperaturas elevadas (entre 600 °C y 650 °C en los reactores de flujo pistón). Esta condición genera riesgos de quemaduras térmicas graves por contacto accidental con superficies calientes o por exposición



a radiación térmica. También se incrementa el riesgo de incendios en caso de fugas o pérdidas de contención.

#### **Medidas de mitigación:**

- Instalación de barreras físicas de protección y señalización de superficies calientes.
- Capacitación del personal en el uso de elementos de protección personal (EPP) adecuados: guantes térmicos, mamelucos ignífugos, protectores faciales.
- Implementación de sistemas automáticos de monitoreo de temperatura con alarmas.

#### **12.2.1.2 Altas presiones**

Aunque el proceso de deshidrogenación es moderadamente endotérmico y no se opera a presiones extremas, existen equipos como compresores, válvulas, cañerías y recipientes sometidos a presiones superiores a la atmosférica. La falla de estos sistemas podría provocar explosiones mecánicas o fugas peligrosas.

#### **Medidas de mitigación:**

- Instalación de válvulas de seguridad calibradas para liberar exceso de presión de manera controlada.
- Planes de mantenimiento preventivo y predictivo para detectar corrosión, grietas o deformaciones.

#### **12.2.1.3 Ruido**

El funcionamiento continuo de compresores, bombas de proceso y ventiladores industriales genera niveles de ruido que, si superan los 85 dB(A), pueden causar daños auditivos progresivos (hipoacusia laboral). La exposición prolongada sin protección auditiva adecuada constituye un riesgo importante para los operarios de planta.

#### **Medidas de mitigación:**

- Aislamiento acústico en salas de máquinas mediante cabinas insonorizadas y recubrimientos absorbentes.
- Uso obligatorio de protectores auditivos (orejeras o tapones) certificados para niveles superiores a 80 dB(A).

#### **12.2.1.4 Vibraciones**



Algunos equipos rotativos, como bombas centrífugas, compresores o motores de alta potencia, transmiten vibraciones al entorno. Las vibraciones constantes pueden generar fatiga estructural en componentes metálicos, aumentando el riesgo de fallas mecánicas, además de afectar la salud del personal si se exponen durante tiempos prolongados.

#### **Medidas de mitigación:**

- Instalación de soportes antivibratorios en bombas, motores y compresores.
- Balanceo dinámico regular de ejes rotativos.
- Programas de monitoreo de vibraciones mediante sensores piezoeléctricos para detectar anomalías tempranas.

### **12.2.2 Riesgos químicos**

#### **12.2.2.1 Exposición a vapores de estireno**

Durante las operaciones normales de la planta, como el llenado de reactores, almacenamiento en tanques o trasvases, se liberan vapores de estireno al ambiente. El estireno es una sustancia volátil que, al ser inhalada, puede causar irritación en las vías respiratorias, ojos y piel. La exposición aguda puede provocar dolor de cabeza, fatiga, mareos y, en casos severos, afectar el sistema nervioso central. La exposición crónica, incluso a concentraciones moderadas, ha sido vinculada a efectos neurotóxicos, alteraciones en la memoria y en la capacidad de concentración.

#### **Medidas de mitigación:**

- Implementar sistemas de ventilación forzada y extracción localizada en áreas de transferencia o manipulación de estireno.
- Utilizar monitores fijos y portátiles para medir concentración de vapores (detector de gases).
- Uso obligatorio de mascarillas con filtros para vapores orgánicos, cuando se opere en zonas de riesgo.

#### **12.2.2.2 Contacto con productos químicos corrosivos**

En la planta de estireno no solo se maneja estireno puro, sino también otros productos químicos utilizados en tareas de mantenimiento, limpieza de equipos o auxiliares de proceso, como agentes

ácidos, alcalinos, catalizadores, inhibidores o solventes especiales. Muchos de estos compuestos son corrosivos y, al contacto directo con la piel, ojos o mucosas, pueden generar quemaduras químicas de diferente gravedad. La gravedad de la lesión depende del tipo de sustancia, concentración y tiempo de contacto.



### Medidas de mitigación:

- Uso obligatorio de elementos de protección personal (EPP) específicos: guantes de neopreno, gafas de seguridad, trajes resistentes a químicos.
- Sistemas de duchas de emergencia y lavaojos accesibles a menos de 10 segundos de cualquier área de riesgo.
- Capacitación en el manejo seguro de sustancias corrosivas y protocolos de primeros auxilios.

#### 12.2.2.3 Riesgo de incendio y explosión

El estireno posee un punto de inflamación relativamente bajo, lo que implica que, a temperaturas ambientales habituales, puede formar vapores inflamables. Cuando estos vapores se mezclan con el oxígeno del aire en proporciones adecuadas, existe un alto riesgo de ignición ante la presencia de una chispa, superficie caliente o cualquier fuente de calor. Un incendio o explosión no solo pone en riesgo las instalaciones y al personal, sino que también puede desencadenar liberaciones químicas secundarias y contaminar el medioambiente.

### Medidas de mitigación:

- Instalación de sistemas de detección y extinción de incendios: sensores de llama, sprinklers, sistemas de espuma antiincendios.
- Prohibición estricta de fuentes de ignición: no fumar, no utilizar dispositivos eléctricos comunes en áreas clasificadas
- Elaboración y simulacros de planes de evacuación y respuesta a emergencias químicas.

#### 12.2.3 Riesgos mecánicos

En la operación de una planta industrial como la de producción de estireno, los riesgos mecánicos son inevitables debido a la presencia de maquinaria pesada, equipos rotativos, sistemas de presión y estructuras móviles. Estos riesgos pueden derivar en accidentes personales, daños materiales o interrupciones del proceso productivo, por lo cual es crucial su identificación temprana y su adecuada gestión.

##### 12.2.3.1 Riesgo por fallos estructurales o colapsos

Tanques, tuberías, soportes de reactores y plataformas de operación deben ser diseñados para soportar cargas operativas y condiciones ambientales. Sin embargo, defectos de fabricación, corrosión, fatiga de materiales o cargas imprevistas pueden conducir a fallos estructurales, provocando desprendimientos, caídas o colapsos parciales de estructuras.



### Medidas de mitigación:

- Realizar inspecciones periódicas de integridad estructural (ultrasonido, mediciones de espesores, ensayos no destructivos) para detectar debilitamientos, fisuras o corrosión.
- Llevar a cabo tareas de mantenimiento preventivo y correctivo
- Formar a los operarios y supervisores para detectar visualmente signos tempranos de debilitamiento o deformaciones anormales en las estructuras.

#### 12.2.3.2 Riesgo por fallas de equipos mecánicos

Los equipos mecánicos utilizados en una planta de producción de estireno: reactores, compresores, bombas, válvulas, intercambiadores de calor, etc. Operan en condiciones exigentes de presión, temperatura y carga mecánica. El desgaste por uso, la corrosión interna o externa, las vibraciones prolongadas, errores de operación o deficiencias en el mantenimiento pueden llevar a fallas inesperadas.

Una falla de equipo no sólo representa un riesgo mecánico, sino que muchas veces dispara otros riesgos asociados

### Medidas de mitigación:

- Establecer rutinas sistemáticas de mantenimiento (lubricación, alineación, calibración, limpieza) en base a manuales de fabricantes y mejores prácticas industriales.
- Incorporar técnicas como análisis de vibraciones, termografía infrarroja, análisis de aceites y ultrasonido para anticipar fallos incipientes en equipos críticos.
- Entrenar a operadores y técnicos en la correcta operación y mantenimiento de los equipos, previniendo daños por errores humanos.

#### 12.2.4 Riesgos eléctricos

##### Electrocución de personal

Contacto directo o indirecto con partes energizadas debido a aislaciones defectuosas, equipos dañados, conexiones inadecuadas o trabajos de mantenimiento inseguros. Puede causar lesiones graves o la muerte.

##### Cortocircuitos y sobrecargas

Fallos en el aislamiento, errores en la instalación o deterioro de los cables y equipos pueden provocar cortocircuitos o sobrecargas, generando incendios, daños en los equipos eléctricos o paradas de producción.



## **Incendios por fallas eléctricas**

Un cortocircuito, una sobrecarga o una chispa en un ambiente con vapores de estireno (producto inflamable) puede desencadenar incendios de considerable magnitud.

## **Fallos en el suministro eléctrico**

Cortes de energía, variaciones de tensión o fallas en los sistemas de respaldo afectan la continuidad de los procesos, pudiendo llevar a daños en los productos, pérdidas económicas o riesgos de accidentes operativos.

### **Medidas de mitigación para riesgos eléctricos:**

- Toda la instalación debe realizarse conforme a normas nacionales/internacionales y ser proyectada por ingenieros electricistas matriculados.
- Todos los equipos, estructuras metálicas y líneas eléctricas deben contar con una puesta a tierra eficaz para evitar descargas a personas o incendios.
- Instalar disyuntores diferenciales, interruptores termomagnéticos, relés de sobrecarga y protecciones contra sobretensiones en todos los circuitos.
- Realizar inspecciones periódicas de tableros eléctricos, cables, motores y protecciones, y mediciones de aislamiento y termografías para detectar puntos calientes o fallas incipientes.
- Capacitar a todo el personal en riesgos eléctricos.
- Instalar generadores de emergencia para garantizar el suministro de energía en áreas críticas.

## **12.2.5 Riesgos económicos**

### **12.2.5.1. Falta de disponibilidad de materia prima**

La producción de estireno depende directamente de la disponibilidad constante de etilbenceno. Cualquier interrupción en el suministro (por problemas logísticos, paradas de planta de proveedores, restricciones de importación, conflictos gremiales, etc.) puede paralizar la producción.

### **Medidas de mitigación:**



- **Diversificación de proveedores:** No depender exclusivamente de un solo proveedor local. Mantener contratos alternativos con proveedores internacionales, aunque el costo sea algo mayor.
- **Stock de seguridad:** Mantener un inventario de etilbenceno suficiente para cubrir entre 30 y 60 días de producción en caso de corte de suministro.
- **Contratos de suministro con cláusulas de garantía:** Negociar acuerdos donde el proveedor se comprometa a indemnizar o priorizar entregas en caso de restricciones.

#### 12.2.5.2. Aumento del precio de la materia prima

El etilbenceno, derivado del petróleo y el gas natural, está expuesto a la volatilidad de los precios internacionales de commodities energéticos. Eventos geopolíticos (conflictos, sanciones), variaciones de oferta-demanda global o regulaciones ambientales pueden disparar los precios.

##### Medidas de mitigación:

- **Contratos a precio fijo:** Negociar contratos de suministro de etilbenceno que incluyan precios fijos a 6-12 meses o cláusulas de ajuste moderado.
- **Desarrollo de reservas de materia prima:** Comprar materia prima en períodos de precios bajos para acumular stock estratégico.
- **Acuerdos comerciales a largo plazo**

#### 12.2.5.3 Fluctuaciones en los costos energéticos

El proceso de deshidrogenación de etilbenceno a estireno requiere altas temperaturas, grandes volúmenes de vapor y sistemas de vacío, todo lo cual implica un alto consumo de energía (gas, electricidad).

Cambios en:

- Tarifas locales de gas y electricidad.
- Regulaciones de subsidios o impuestos energéticos.

##### Medidas de mitigación:

- **Contratos de energía a largo plazo:** Negociar precios de gas natural y electricidad a mediano plazo, minimizando la exposición a cambios bruscos.



- **Eficiencia energética:** Invertir en tecnología de recuperación de calor, optimización de quemadores y aislamiento térmico para reducir consumo energético.
- **Energías alternativas:** Analizar la posibilidad de autogeneración parcial mediante fuentes renovables (biogás, solar térmico) para bajar la dependencia de redes externas.

## 12.2.6 Riesgos Tecnológicos

### 12.2.6.1. Falla del reactor principal

El reactor tubular de deshidrogenación es el equipo clave del proceso. Una falla puede deberse a problemas mecánicos, deterioro del catalizador, pérdida de control de temperatura, o contaminación del lecho catalítico. Esto puede provocar una parada total de la producción, riesgo de fuga de gases inflamables, incremento de presión, riesgos para el personal y pérdida económica.

- **Mitigación:**
  - Instalación de un reactor de respaldo preparado para entrar en operación ante fallas críticas del reactor principal.
  - Monitoreo en línea de variables críticas (temperatura, presión, composición) mediante un sistema SCADA.
  - Programa de mantenimiento preventivo y predictivo del reactor y del catalizador.
  - Sistema de venteo controlado y antorcha para situaciones de sobrepresión o emergencia.

### 12.2.6.2 Fallo en el intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor se utilizan para precalentar corrientes, recuperar energía y mantener condiciones óptimas en distintas etapas del proceso. Las fallas más comunes incluyen incrustaciones, corrosión, rotura de tubos, fugas internas (mezcla de corrientes) o externas, y caída de eficiencia térmica.

- **Consecuencias:**
  - Descenso en la eficiencia energética del proceso.
  - Sobreconsumo de servicios auxiliares (vapor, agua de enfriamiento).
  - Riesgo de fuga de sustancias peligrosas.
  - Necesidad de parada de planta para reparación.



● **Mitigación:**

- Monitoreo de presión diferencial para detectar incrustaciones o taponamientos.
- Programa de limpieza periódica (química o mecánica) según régimen de operación.
- Selección de materiales resistentes a la corrosión (acero inoxidable, aleaciones especiales).
- Inspecciones no destructivas en paradas programadas.

**12.2.7 Matriz de riesgos**

<b>MATRIZ DE RIESGOS DEL PROYECTO</b>				
<b>Aspetto</b>	<b>Riesgo identificado</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Importancia</b>	<b>Medida de Mitigación</b>
<b>Mecánico</b>	Falla de equipos críticos	Media	Alta	Plan de mantenimiento preventivo
	Falla en el suministro eléctrico	Baja	Media	Instalar generadores de emergencia
<b>Económico</b>	Falta de MP	Media	Alta	Contar con un stock de seguridad
	Aumento del precio de la MP	Baja	Baja	Acuerdos comerciales a largo plazo
	Variación en costos energéticos	Baja	Baja	Contratos de energía a largo plazo
	Variación del Precio de Venta	Baja	Alta	Contrato de ventas a mediano plazo. Flexibilidad operativa
<b>Tecnológico</b>	Falla del reactor	Baja	Alta	Reactor de respaldo y plan de mantenimiento preventivo
	Falla en Intercambiadores	Baja	Media	Plan de mantenimiento preventivo



## CAPÍTULO XIII

### EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

#### 13.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación económica de un proyecto industrial constituye una herramienta fundamental para determinar su viabilidad, sustentabilidad y rentabilidad en el mercado. En el caso específico de la producción de estireno mediante el proceso de deshidrogenación catalítica de etilbenceno, el análisis económico adquiere particular importancia debido a las elevadas inversiones iniciales, la complejidad de la operación, el consumo intensivo de energía, y la sensibilidad de los costos e ingresos a las condiciones de mercado internacionales.

El presente capítulo tiene como objetivo principal realizar un estudio económico integral del proyecto, a través de la identificación, cuantificación y análisis de los principales factores que afectan la estructura de costos, los ingresos esperados y, en consecuencia, la rentabilidad de la inversión. Para ello, se seguirán metodologías clásicas de análisis financiero como el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Período de Recupero de la Inversión (Payback), las cuales permitirán evaluar la conveniencia económica de llevar adelante el proyecto en las condiciones planteadas.

#### **La evaluación se estructura en distintos apartados:**

**Estructura de costos:** Se identificarán los costos de inversión inicial, inversiones en capital de trabajo, costos fijos de operación (como mano de obra, mantenimiento, servicios públicos) y costos variables (como materias primas, catalizadores, servicios energéticos y residuos).

**Punto de equilibrio:** Se determinará el volumen mínimo de producción y venta de estireno necesario para cubrir los costos operativos, permitiendo conocer la vulnerabilidad del proyecto frente a fluctuaciones de demanda o precios.

**Beneficios e ingresos:** Se estimarán los ingresos anuales proyectados en función de la capacidad de producción, precios de venta y condiciones de mercado previstas, evaluando también la contribución marginal del proyecto.

**Flujo de caja:** Se elaborará un flujo de caja proyectado a lo largo de la vida útil del proyecto, considerando egresos e ingresos anuales, amortizaciones e inversiones de reposición.



Indicadores de rentabilidad: A partir del flujo de fondos, se calcularán los indicadores financieros clave (VAN, TIR y Payback) que permitirán valorar la factibilidad económica de la inversión bajo diferentes escenarios.

El análisis económico asumirá un horizonte representativo que se estima de X años de vida útil, y contemplará factores como la tasa de inflación esperada, el costo de capital, las tasas impositivas vigentes, y posibles subsidios o incentivos para la producción industrial.

El desarrollo de esta evaluación permitirá establecer una base objetiva y cuantificada para la toma de decisiones estratégicas, minimizando riesgos financieros y optimizando la asignación de recursos en el marco de la ingeniería económica.

## 13.2 TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento o coste de capital es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro.

La tasa de descuento empleada en la actualización de los flujos de caja de un proyecto, es una de las variables que más influyen en el resultado de la evaluación del mismo, teniéndose así que la utilización de una tasa de descuento inapropiada puede llevar a un resultado equivocado de la evaluación.

El método más empleado en la actualidad para determinar esta tasa es el basado en el modelo de precios de los activos de capital, conocido con las siglas CAPM (Capital Asset Pricing Model). Por este método la tasa de descuento se calcula de la siguiente forma:

$$r = R_f + (R_m - R_f) \beta + R_p$$

Para el cálculo de la tasa de descuento a través de este método se tiene en cuenta:

**Tasa libre de riesgo (Rf):** Se adopta como  $r_f$  el rendimiento del bono del Tesoro de Estados Unidos a 10 años, considerado referencia en mercados globales por su liquidez y seguridad, que al 29 de abril de 2025 es de 4,23%, según datos de trading economics.

**Tasa de rentabilidad observada en el mercado (Rm) (EEUU):** Se considera de un 9,5% y abarca a todos los sectores de la economía.

**Beta ( $\beta$ ):** La beta refleja el riesgo sistemático del proyecto frente al mercado. Según datos de Damodaran, se adoptará un  $\beta$  de 1,10, valor cercano al promedio de industrias manufactureras y químicas, estimado a partir de los betas apalancados de Damodaran.



**Riesgo país (Rp):** Según los datos históricos de la fuente ámbito, se ha tomado un promedio y se ha optado por un valor de riesgo país de 720 puntos básicos.

Con los datos obtenidos ya puede procederse al cálculo de la tasa de descuento aplicable a este proyecto.

$$r = Rf + (Rm - Rf) \beta + Rp = 0,0423 + (0,095 - 0,0423) \cdot 1,1 + 0,072$$

$$r = 0,17227$$

### 13.3 ESTRUCTURA DE COSTOS

#### 13.3.1 Inversión inicial

La realización de un proyecto industrial implica la utilización de recursos económicos en dos grandes etapas:

Para dimensionar adecuadamente la inversión inicial requerida, es indispensable analizar en detalle la distribución de las áreas de la planta, el tamaño y rendimiento de las maquinarias seleccionadas, las características constructivas de las instalaciones, así como el equipamiento complementario necesario para su funcionamiento seguro y eficiente.

La inversión inicial comprende todas las erogaciones previas a la puesta en marcha de la planta, y representa un componente crítico del proyecto debido a su magnitud y a la influencia directa que tiene sobre la rentabilidad futura. Antes de comprometer este capital, es fundamental realizar un análisis que permita determinar si los ingresos proyectados serán suficientes para cubrir dicha inversión y generar beneficios económicos sostenibles en el tiempo.

Desde un punto de vista contable, la inversión inicial se compone de dos grandes categorías de activos, estos son los *activos tangibles*, que incluyen terrenos, edificios, equipos, maquinaria, mobiliario e instalaciones y los *activos intangibles*, como licencias, estudios de ingeniería, servicios profesionales, patentes, permisos ambientales y costos legales.

Con el objetivo de reflejar de forma clara y ordenada el destino de los fondos necesarios para la puesta en funcionamiento de la planta, se presentarán a continuación tablas clasificadas por tipo de bien, identificando cada uno de los rubros y su correspondiente estimación de costos.

Para el caso particular de las maquinarias, se aplicará el método de Lang, una herramienta ampliamente utilizada en ingeniería económica para estimar el costo total instalado de equipos industriales. Este método considera un factor multiplicador aplicado al costo base del equipo, con el fin de incorporar los gastos asociados a transporte, montaje, instalación, puesta en marcha, obras civiles y conexión a servicios, ofreciendo una estimación con un margen de error aceptable ( $\pm 20\%$ ).



Esta estructura de inversión permitirá no solo conocer el capital necesario para ejecutar el proyecto, sino también establecer una base sólida para la evaluación económica y financiera posterior.

## Terreno

Dado que la planta se ubicará en el Parque Industrial San Lorenzo, es importante considerar que la adquisición de terrenos generalmente implica un costo. Este costo puede variar según la ubicación específica dentro del parque, la superficie del terreno y las condiciones establecidas por las autoridades locales.

Para el presente estudio, se analizarán los costos correspondientes al **Lote 091**, con una superficie de **2.500 m<sup>2</sup>**. Este lote ha sido seleccionado por su ubicación estratégica dentro del parque y por cumplir con los requerimientos mínimos de superficie para la implantación de la planta industrial de estireno proyectada.

Adquisición (USD)	Trámites (USD)	Nivelación (USD)	Inversión en cierre perimetral (USD)	Total (USD)
\$225.000	\$3000	\$7100	\$3700	\$238.800

**Tabla 13.1 - Costos del Terreno**  
Fuente: Elaboración Propia

## Edificio e instalaciones

Edificio e Instalaciones				
Áreas	Subáreas	Superficie (m <sup>2</sup> )	Precio Unitario (USD/m <sup>2</sup> )	CostoTotal (USD)
Ingreso a la Planta	Área de recepción	16	\$50	\$2400
Área de Carga y Descarga	Ingreso de MP Egreso de Producto Oficina de Ingreso de Mp y egreso de Producto	288	\$180	\$51840
Área de Almacenamiento	Tanques de almacenamiento de MP Tanques de almacenamiento de Producto	720	\$250	\$180000



<b>Área de Producción y Control</b>	Área de producción Sala de control Área de servicios auxiliares Laboratorio Área de Mantenimiento	278	\$300	<b>\$83400</b>
<b>Administración</b>	Área de administración	80	\$170	<b>\$13600</b>
<b>Edificios Auxiliares</b>	Comedor Vestuarios/sanitarios Sanitarios Playa de estacionamiento Área de seguridad y Emergencias	468	\$150	<b>\$70200</b>
<b>Costo Total</b>				<b>\$401440</b>

**Tabla 13.2 - Costos de Edificio e Instalaciones**  
Fuente: Elaboración Propia

### Maquinaria y equipos

En esta sección se detallarán los equipos principales y secundarios que componen la planta, junto con sus respectivos precios estimados. Para ello, se consultaron catálogos industriales, bases de datos de proveedores y referencias bibliográficas especializadas. Además del costo directo de adquisición de cada equipo, se incluirá una estimación del costo total de inversión aplicando el método de Lang, el cual contempla gastos asociados como transporte, instalación, montaje, obras complementarias y conexiones auxiliares.

En este caso el factor de Lang es de 1,9, obtenido de la revista Chemical Engineering en la sección de "Economics Indicator".

<b>MÁQUINAS Y EQUIPOS</b>				
<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>	<b>Costo Instalado (USD)</b>
Tanques Almacenamiento Estireno	7	\$60000	\$420000	\$798000
Tanques Almacenamiento Etilbenceno	10	\$60000	\$600000	\$1140000
Bombas	5	\$6000	\$30000	\$57000
Compresores	4	\$8000	\$32000	\$60800
Caldera	1	\$30000	\$30000	\$57000
Tanques mezcladores	2	\$20000	\$40000	\$76000



Reactor	1	\$30000	\$30000	\$57000
Separador LLV	1	\$24000	\$24000	\$45600
Intercambiador de calor 1	1	\$15000	\$15000	\$28500
Intercambiador de calor 2	1	\$55000	\$55000	\$104500
Intercambiador de calor 3	1	\$90000	\$90000	\$171000
Intercambiador de calor 4	1	\$70000	\$70000	\$133000
Columna de Destilación I	1	\$400000	\$400000	\$760000
Columna de Destilación II	1	\$500000	\$500000	\$950000
Instrumentación	1	\$90000	\$90000	\$171000
<b>Costo Total</b>				<b>\$4.609.400</b>

**Tabla 13.3 - Costos de Máquinas y Equipos**  
Fuente: Elaboración Propia

### Rodados

En este apartado se contempla la inversión necesaria para la adquisición de los rodados requeridos para las operaciones internas de la planta, tales como autoelevadores y otros vehículos de carga y movimiento de materiales. La cantidad y tipo de unidades se determina en función de las necesidades logísticas del proceso productivo y del tamaño de la instalación.

RODADOS				
Especificación	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Costo (USD)	Total
Autoelevadores	2	\$25000	\$50000	
Camionetas	1	\$20000	\$20000	
<b>Costos Totales</b>			<b>\$70000</b>	

**Tabla 13.4 - Costos de Rodados**  
Fuente: Elaboración Propia

### Muebles y Útiles

MUEBLES Y ÚTILES				
Especificación	Cantidad	Precio Unitario	Costo	Total



		(USD)	(USD)
Computadoras	5	\$500	\$2500
Impresoras	2	\$300	\$600
Sillas ergonómicas	18	\$60	\$1080
Escritorios	5	\$100	\$500
Mesas	4	\$80	\$320
Aire acondicionado	2	\$800	\$1600
Armarios	5	\$140	\$700
Teléfonos	2	440	\$80
Imprevistos (5%)	-	-	\$369
<b>Costos Totales</b>			<b>\$7749</b>

**Tabla 13.5 - Costos de muebles y útiles**  
Fuente: Elaboración Propia

### Costos Diferidos

Los costos diferidos comprenden las inversiones en activos intangibles necesarias para poner en marcha el proyecto. Estos gastos no se traducen en bienes físicos, pero son fundamentales para su desarrollo y operación inicial.

El monto total de estos cargos se calcula como un porcentaje de las inversiones previamente estimadas. A continuación, se detallan los conceptos considerados:

- **Planeamiento e integración del proyecto:** Se estima en un **0,3%** del total invertido en activos fijos.
- **Ingeniería del proyecto:** Representa el **0,35%** del costo total de los equipos de planta.
- **Supervisión del proyecto:** Se considera un **0,15%** de la inversión total en activos fijos.
- **Constitución de la empresa:** Este trámite legal tiene un costo estimado de **USD 4.500**.
- **Administración del proyecto:** Se calcula como el **0,5%** del valor de los activos fijos.
- **Puesta en marcha de los equipos:** Tiene un costo equivalente al **2%** del valor total de los equipos de planta.

Estas estimaciones permiten anticipar correctamente los gastos asociados al desarrollo y la ejecución inicial del proyecto.

<b>Inversión total en Activos Fijos</b>	<b>\$5.327.389</b>
---	--------------------

<b>Costos Diferidos</b>		
<b>Item</b>	<b>%</b>	<b>Costo (U\$D)</b>



Planeamiento e integración del proyecto	0,3	\$15.982
Ingeniería del proyecto	0,35	\$18.646
Supervisión del proyecto	0,15	\$7.991
Constitución de la empresa	--	\$4500
Administración del proyecto	0,5	\$26.637
Puesta en marcha de los equipos	2	\$106.548
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>\$180.304</b>

**Tabla 13.6 - Costos Diferidos**  
Fuente: Elaboración Propia

### Inversiones Necesarias

Para la instalación y puesta en marcha de una planta de producción de estireno de las características planteadas en este proyecto, se necesita una inversión inicial igual a la suma de los valores planteados anteriormente.

En este caso ese valor asciende a los **USD 5.507.693**

#### 13.3.2 Cronograma de inversiones

El cronograma de inversiones detalla la distribución temporal de los desembolsos necesarios para llevar adelante el proyecto, ordenados por conceptos clave y expresados por unidad de tiempo (años). Dado que se trata de una planta industrial con procesos continuos y tecnología integrada, se establece que toda la inversión requerida para la puesta en marcha se realizará durante el primer año.

Dentro de este período, se considera el siguiente esquema de ejecución:

- Construcción e instalaciones: Se ejecutará durante los primeros seis meses, en desembolsos mensuales iguales, para asegurar la disponibilidad de las áreas críticas de producción, almacenamiento y servicios auxiliares en los tiempos previstos.



- Costos diferidos: Serán asumidos mayoritariamente en el primer mes, con excepción del costo correspondiente a la puesta en marcha de equipos, que se ejecutará en el último mes, al momento de iniciar las pruebas y calibraciones necesarias.
- Adquisición de equipos de planta: Está prevista para los últimos seis meses del año (meses 7 al 12). La compra se realizará en partes iguales mensualmente, lo que permite escalonar los pagos y organizar la logística de recepción, instalación y pruebas.
- Muebles, útiles y rodados: Estos bienes, que no requieren plazos prolongados de instalación ni montaje, se incorporarán en el último mes del año, justo antes del inicio de operaciones, para reducir costos de almacenamiento y optimizar su vida útil.

Debido a que las inversiones se efectúan en distintos momentos del año, para su análisis económico-financiero se procederá a la actualización al momento cero del proyecto, aplicando las tasas de descuento correspondientes a cada mes.

El primer paso para realizar este cálculo es determinar la tasa equivalente mensual a la tasa de descuento anual calculada para este proyecto.

$$TEM = (1 + r)^{1/12} - 1 = (1 + 0,17227)^{1/12} - 1 = 0,0134 = 1,34\%$$

Con esta tasa se actualizan las inversiones a realizar cada mes.





### Tabla 13.7 - Cronograma de Inversiones Fuente: Elaboración Propia

**Obtenemos así un valor de inversión de U\$D 5.581.496**

#### 13.3.3 Inversión en capital de trabajo

En términos generales, el capital de trabajo representa los recursos que la planta requiere para poder operar de forma continua y eficiente. En este contexto, se entiende como capital de trabajo a aquellos activos circulantes necesarios para cubrir las operaciones diarias: efectivo, cuentas por cobrar, inventarios de materias primas, productos en proceso y productos terminados, así como otros recursos líquidos de corto plazo.

Para que la planta pueda funcionar adecuadamente desde su puesta en marcha, es necesario contar con recursos suficientes para adquirir materias primas, insumos auxiliares, cubrir la mano de obra directa e indirecta, mantener niveles mínimos de inventario, asumir los costos operativos iniciales y realizar reposiciones menores de activos. Estos recursos deben estar disponibles a corto plazo para garantizar la continuidad de las operaciones.

Desde el punto de vista financiero, el capital de trabajo se puede determinar de manera objetiva como la diferencia entre los activos corrientes y los pasivos corrientes. Este cálculo proporciona el capital de trabajo neto, es decir, los recursos líquidos disponibles una vez cubiertas las obligaciones de corto plazo.

Existen diversos métodos para calcular el capital de trabajo requerido en un proyecto industrial. Entre ellos destacan el método del déficit acumulado máximo, adecuado para proyectos con estacionalidad marcada, y el método del periodo de desfase, útil en proyectos con ciclos de recuperación breves. Este último, aunque tiende a sobreestimar el capital necesario al no considerar ingresos generados durante el periodo de recuperación, resulta adecuado para proyectos de rápida rotación operativa.

Dado el tipo de operaciones y el ritmo esperado en la planta proyectada, se considera más conveniente utilizar el método del periodo de desfase, que permite estimar de forma conservadora los requerimientos de capital de trabajo para los primeros meses de operación.

#### Cálculo de la Inversión de Capital de Trabajo

El detalle del cálculo del costo anual de operación se presenta en apartados posteriores.

COSTOS EROGABLES ANUALES	
CF de Mano de Obra	421440 USD/año



<b>CF de Servicios</b>	<b>52000 USD/año</b>
<b>CV</b>	<b>102858395 USD/año</b>
<b>TOTAL</b>	<b>103331835 USD/año</b>

**Tabla 13.8 - Costos erogables anuales**  
**Fuente: Elaboración Propia**

El cálculo del capital de trabajo a través del método seleccionado se realiza empleando la siguiente fórmula:

$$ICT = \frac{CE}{340 \text{ días}} \cdot n_d$$

Donde:

- ICT: Inversión en capital de trabajo
- CE: Costos erogables anuales
- $n_d$ : número de días de desfase entre la ocurrencia de los egresos y la generación de ingresos.
- Y los 340 días, son los días laborales considerados por el proyecto.

Para calcular el periodo de desfase se tendrá en cuenta:

Inventarios de materias primas (EB): 45 días, plazo medio de aprovisionamiento y almacenamiento antes de proceso.

Inventarios en proceso: 10 días, tiempo de residencia en reactor y separación.

Inventarios de productos terminados (Estireno): 30 días, stock mínimo para despacho y mezcla en lotes de venta.

Cuentas por cobrar (Clientes): 30 días, plazo comercial estándar.

Cuentas por pagar (Proveedores): - 40 días, plazo medio de pago a proveedores.

$$n_d = 45 + 10 + 30 + 30 - 40 = 75 \text{ días}$$

Por lo tanto, la inversión en capital de trabajo sería:

$$ICT = \frac{103.331.835 \text{ USD/año}}{340 \text{ días/año}} \cdot 75 \text{ días} = 22.793.787,13 \text{ USD}$$

### 13.3.4 Costos fijos

Los costos fijos representan aquellos compromisos económicos que la planta debe asumir de manera constante, independientemente del volumen de producción. Es decir, se trate de un



periodo con alta actividad o de una fase con baja o nula producción, estos costos deben ser cubiertos invariablemente.

Este tipo de erogaciones forman parte esencial de la estructura de costos de cualquier planta industrial, ya que garantizan el funcionamiento básico del proyecto y la disponibilidad de recursos clave. Su carácter ineludible los convierte en un componente crítico a considerar desde la etapa de planificación financiera.

Dentro de estos costos se incluyen, por ejemplo, los pagos por arrendamiento de instalaciones o terrenos, que deben abonarse se produzca o no. También forman parte de esta categoría los salarios del personal permanente, los seguros obligatorios, los servicios públicos mínimos para mantener las instalaciones operativas (como energía, agua o mantenimiento básico), así como los gastos administrativos recurrentes.

En este proyecto, los costos fijos estarán compuestos por diversos factores operativos y contractuales que serán detallados y cuantificados en los apartados siguientes, a fin de reflejar con precisión su impacto en la viabilidad económica de la planta.

#### 13.3.4.1 Depreciaciones y Amortizaciones

Tanto la depreciación como la amortización representan la pérdida de valor que experimentan los activos de la planta a lo largo del tiempo, producto del uso, el desgaste o el simple paso del tiempo. Estos conceptos permiten reflejar de manera contable la reducción progresiva del valor económico de los bienes adquiridos por la empresa.

La depreciación se aplica a los activos tangibles, como maquinarias, equipos, vehículos, mobiliario o instalaciones físicas. En cambio, la amortización se refiere a la pérdida de valor de los activos intangibles, tales como licencias, patentes, desarrollos tecnológicos, software o derechos de uso.

El porcentaje aplicado para calcular la depreciación o amortización varía según el tipo de bien y está determinado por la normativa fiscal vigente, lo que permite una estandarización en el tratamiento contable y tributario de estos activos.

En las siguientes tablas se detallan los montos correspondientes a las depreciaciones y amortizaciones estimadas para los diferentes bienes que conforman la inversión inicial del proyecto, con sus respectivas tasas aplicables y vida útil esperada.

TABLA DE DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES					
Activos Tangibles		Periodo de Depreciación	Depreciación ANUAL	Depreciación TOTAL (10 años)	Valor Residual
Ítem	Valor (U\$D)				



<b>Edificio e Instalaciones</b>					
<b>\$401.440</b>	25	\$16.057,6	\$160576	\$240864	
<b>Maquinaria y Equipos</b>	<b>\$4.609.400</b>	10	\$460.940	\$4609400	\$-
<b>Rodados</b>	<b>\$70.000</b>	5	\$14.000	\$70000	\$-
<b>Muebles y Útiles</b>	<b>\$7.749</b>	3	\$2.583	\$7749	\$-
<b>TOTAL</b>	<b>\$5.088.589</b>	-	<b>\$493.580,6</b>	\$4.847.725,00	\$240864

ACTIVOS INTANGIBLES		Periodo de Amortización	Amortización ANUAL	Amortización TOTAL	Valor Residual
Item	Valor (U\$D)				
Costos Diferidos	\$180.304	3	\$60.101,33	\$180.304	\$ -
<b>TOTAL</b>	<b>\$180.304</b>	-	<b>\$60.101,33</b>	\$180.304	\$ -

**Tabla 13.9 - Tabla de Depreciaciones y Amortizaciones**  
Fuente: Elaboración Propia

Obteniéndose así un total de Depreciaciones y Amortizaciones de **553.682 USD/año**.

#### 13.3.4.2 Costos de Mano de Obra Fija

En el CAPÍTULO VII - "Ingeniería de Gestión" se presentó un análisis del organigrama de la empresa. Partiendo de esta información se determina cuáles son las funciones que componen la mano de obra permanente.

Su definición se realiza planteando un escenario de parada de producción, y en este caso se analiza cuáles son las personas que deben seguir prestando función para que la planta pueda seguir funcionando.

MANO DE OBRA FIJA						
Función	Categoría	Cantidad de Puestos	Sueldo Básico (U\$D)	Extras (Vacaciones,	Sueldo Bruto (U\$D)	Sueldo Total Anual



				aguinaldo, etc)		
				0,6		
<b>Gerente General</b>	Fuera CCT	1	\$2400	\$1440	\$3840	\$46080
<b>Jefe de Planta</b>	Fuera CCT	1	\$2000	\$1200	\$3200	\$38400
<b>Jefe de Seguridad e Higiene</b>	Fuera CCT	1	\$1700	\$1020	\$2720	\$32640
<b>Gerente Administrativo</b>	Fuera CCT	1	\$1800	\$1080	\$2880	\$34560
<b>Jefe de Medio Ambiente</b>	Fuera CCT	1	\$1700	\$1020	\$2720	\$32640
<b>Jefe de Producción</b>	Fuera CCT	1	\$1900	\$1140	\$3040	\$36480
<b>Jefe de Mantenimiento</b>	Fuera CCT	1	\$1850	\$1110	\$2960	\$35520
<b>Responsable de Ing de Procesos</b>	B1	1	\$1500	\$900	\$2400	\$28800
<b>Mecánico</b>	A1	2	\$1000	\$600	\$1600	\$19200
<b>Electricista</b>	A1	2	\$1000	\$600	\$1600	\$19200
<b>Técnico de Seguridad e Higiene</b>	A2	1	\$850	\$510	\$1360	\$16320
<b>Contador</b>	A2	1	\$850	\$510	\$1360	\$16320
<b>Responsable de Compras</b>	A2	1	\$850	\$510	\$1360	\$16320
<b>Asesor Legal</b>	A2	1	\$850	\$510	\$1360	\$16320
<b>Responsable de RRHH</b>	A2	1	\$850	\$510	\$1360	\$16320
<b>Técnico Ambiental</b>	A2	1	\$850	\$510	\$1360	\$16320



<b>TOTAL</b>	<b>\$421440</b>
--------------	-----------------

**Tabla 13.10 - Tabla de Mano de obra Fija**  
Fuente: Elaboración Propia

#### 13.3.4.3 Costos de Servicios

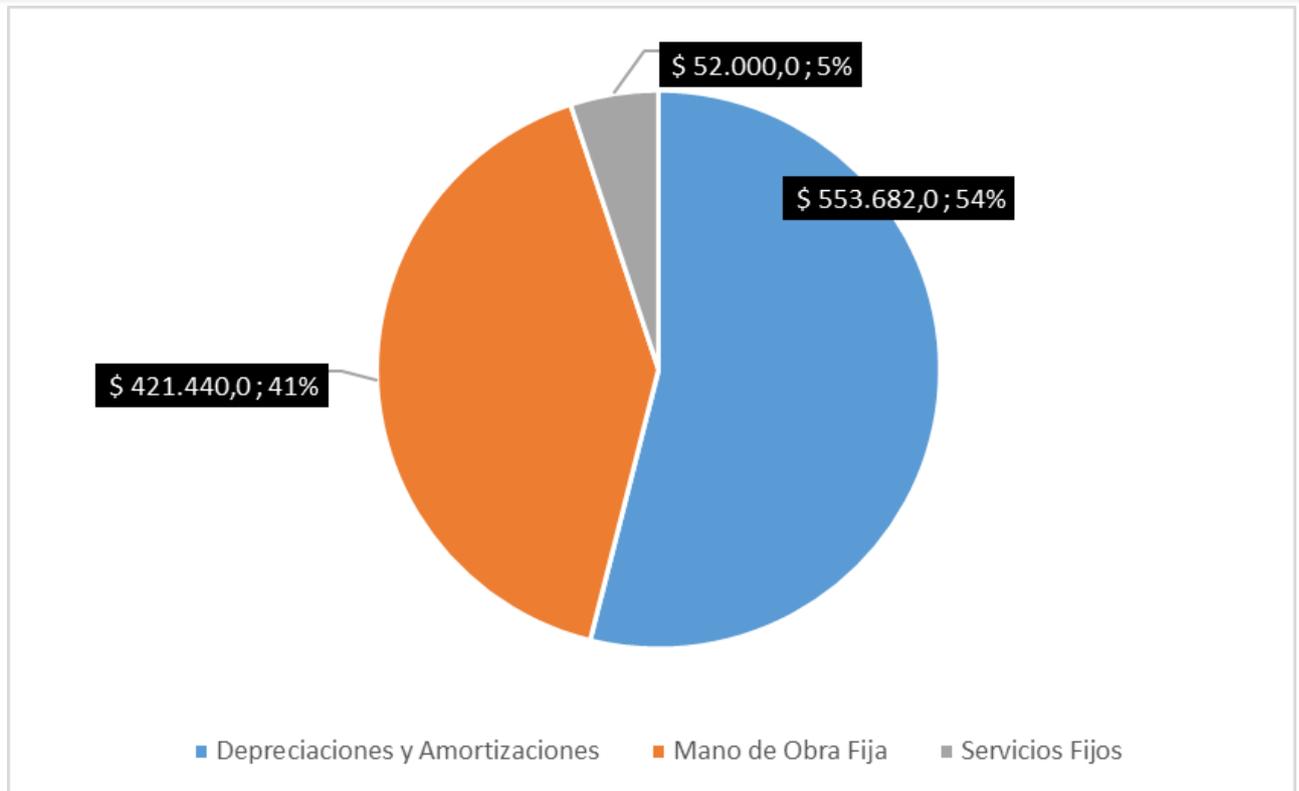
En este apartado se contemplan aquellos costos fijos que no han sido asignados a otras categorías anteriores, pero que son necesarios para el funcionamiento general de la planta. Se incluyen, por ejemplo, gastos de papelería y librería, servicios básicos como agua, internet, telefonía, y otros insumos administrativos menores.

<b>COSTOS FIJOS POR SERVICIOS</b>	
<b>Servicio</b>	<b>Costo (USD/año)</b>
Teléfonos e internet	\$3000
Seguridad	\$20000
Limpieza	\$10000
RRHH	\$8000
Atención médica	\$6000
Comedor	\$5000
<b>TOTAL</b>	<b>\$52000</b>

**Tabla 13.11 - Tabla de Costos Fijos por Servicios**  
Fuente: Elaboración Propia

#### 13.3.4.4 Resumen de Costos Fijos

A continuación, se evaluarán los resultados obtenidos de los Costos Fijos.



**Gráfico 13.1 - Distribución de Costos Fijos**  
Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la gráfica 13.1 dentro de los costos fijos anuales (USD 1.027.122), el componente dominante es el de depreciaciones y amortizaciones, con un valor de USD 553.682, lo que representa un 54 % del total. Esto refleja que una gran parte de los costos fijos está vinculada a la inversión de capital en bienes de uso como equipamiento, instalaciones, maquinaria, etc, y no tanto a gastos recurrentes operativos.

Los costos de mano de obra fija ascienden a USD 421.440 (41 %), lo que indica un gasto importante en personal permanente.

Finalmente, los servicios fijos tienen un peso prácticamente despreciable (USD 52.000; 5 %), ya que los servicios variables (energía, agua, gas) estarán contabilizados fuera de este grupo y responderán al volumen de producción.

### 13.3.5 Costos variables

Como su nombre lo indica, el costo variable hace referencia a los costos de producción que varían dependiendo del nivel de producción. Todo aquel costo que aumenta o disminuye según aumente o disminuya la producción, se conoce como costo variable.

La organización debe intentar que la mayor parte de sus costos sean variables, para disminuir el mínimo posible sus costos totales en casos en los cuales se deba reducir la producción.



### 13.3.5.1 Costos de materia prima

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los costos variables debidos a materias primas e insumos. Estos se calculan multiplicando el costo unitario de cada factor por las cantidades necesarias.

COSTOS DE MATERIAS PRIMAS			
Tipo	Cantidad (t/año)	Precio (USD/t)	Costo anual (USD/año)
Etilbenceno	74485	\$850	\$ 63312250
Catalizador	3,123	\$10000	\$31230
4-tert-butilcatecol (TBC)	0,6	\$10000	\$6000
TOTAL			<b>\$63349480</b>

**Tabla 13.12 - Tabla de Costos de Materias Primas**  
Fuente: Elaboración Propia

### 13.3.5.2 Costos de servicios

En este caso se procede de igual forma que en el caso de los costos fijos en este tipo de conceptos, incluyendo aquellos cuyo consumo depende de la cantidad de producto que se genere.

COSTOS DE SERVICIOS			
Tipo	Consumo	Precio	Costo anual
Energía eléctrica	20 x10 <sup>6</sup> kWh/año	0,092 USD/kWh	1840000 USD/año
Gás natural	21,2 x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /año	0,190 USD/m <sup>3</sup>	4028000 USD/año
Agua	178000 m <sup>3</sup> /año	0,7 USD/m <sup>3</sup>	122665 USD/año
TOTAL			<b>5990665 USD/año</b>

**Tabla 13.13 - Tabla de Costos de Servicios**  
Fuente: Elaboración Propia

### 13.3.5.3 Costo de Mano de Obra variable



Entran en esta clasificación todas aquellas funciones incluidas en el organigrama de la empresa y que no se hayan considerado anteriormente dentro de los costos fijos de mano de obra.

MANO DE OBRA VARIABLE						
Función	Categoría	Cantidad de Puestos	Sueldo Básico (U\$D)	Extras (Vacaciones, aguinaldo, etc)	Sueldo Bruto (U\$D)	Sueldo Total Anual USD
				0,6		
Laboratorista	A2	6	\$850	\$510	\$1360	\$97920
Operario de Planta	C	15	\$800	\$480	\$1280	\$230400
<b>TOTAL</b>						<b>\$328320</b>

Tabla 13.14 - Tabla de Costos de Mano de Obra Variable  
Fuente: Elaboración Propia

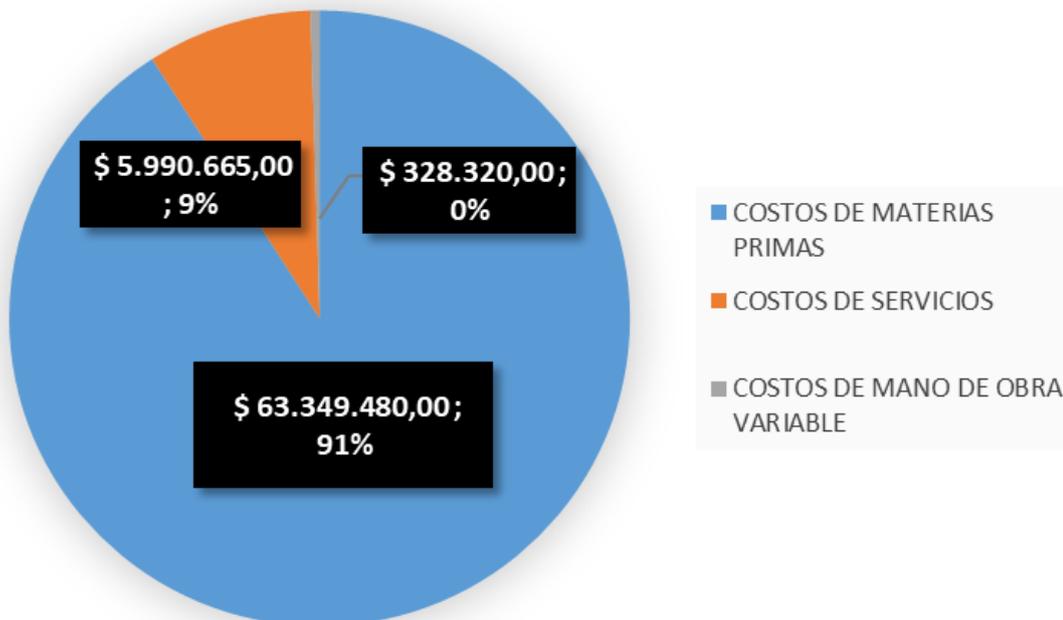
### 13.3.5.4 Costo variable unitario

El costo variable unitario es el resultado de la relación entre el total de costos variables en los que incurre la organización para llevar a cabo un determinado plan de producción y la cantidad de unidades que incluye dicho plan de producción.

$$CV_U = \frac{CVT}{Q} = \frac{\$ 69.668.465 \text{ USD/año}}{40.000 t_{\text{Estireno/año}}} = 1.742 \text{ USD}/t_{\text{Estireno}}$$

### 13.3.5.5 Resumen de costos Variables

En esta sección se evaluarán los resultados obtenidos sobre Costos Variables.



**Gráfico 13.2 - Distribución de Costos Variables**  
Fuente: Elaboración propia

Como se observa claramente los costos de materias primas tienen la mayor influencia sobre el costo variable del producto, en particular los costos de adquirir la materia prima etilbenceno. Es por ello que deben concentrarse los mayores esfuerzos en reducir estos costos, a través de convenios con los proveedores, por ejemplo.

### 3.3.6 Costos totales

El costo total de la empresa corresponde a la combinación de los costos fijos y los costos variables.

Resumen Costos Fijos(U\$D/Año)	
Mano de Obra Fija	\$421440
Servicios	\$52000
<b>Costos Erogables</b>	<b>\$473.440</b>
Depreciaciones y Amortizaciones	\$553.682
<b>No Erogables</b>	<b>\$553.682</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.027.122</b>

**Tabla 13.15 - Resumen Costos Fijos**



Fuente: Elaboración Propia

Resumen Costos Variables (U\$D/Año)	
Mano de Obra	\$328.320
Materia Prima	\$63.349.480
Servicios	\$5.990.665
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 69.668.465</b>

Tabla 13.16 - Resumen Costos Variables  
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el Costo Total del proyecto sería de 75.169.934 USD/año.

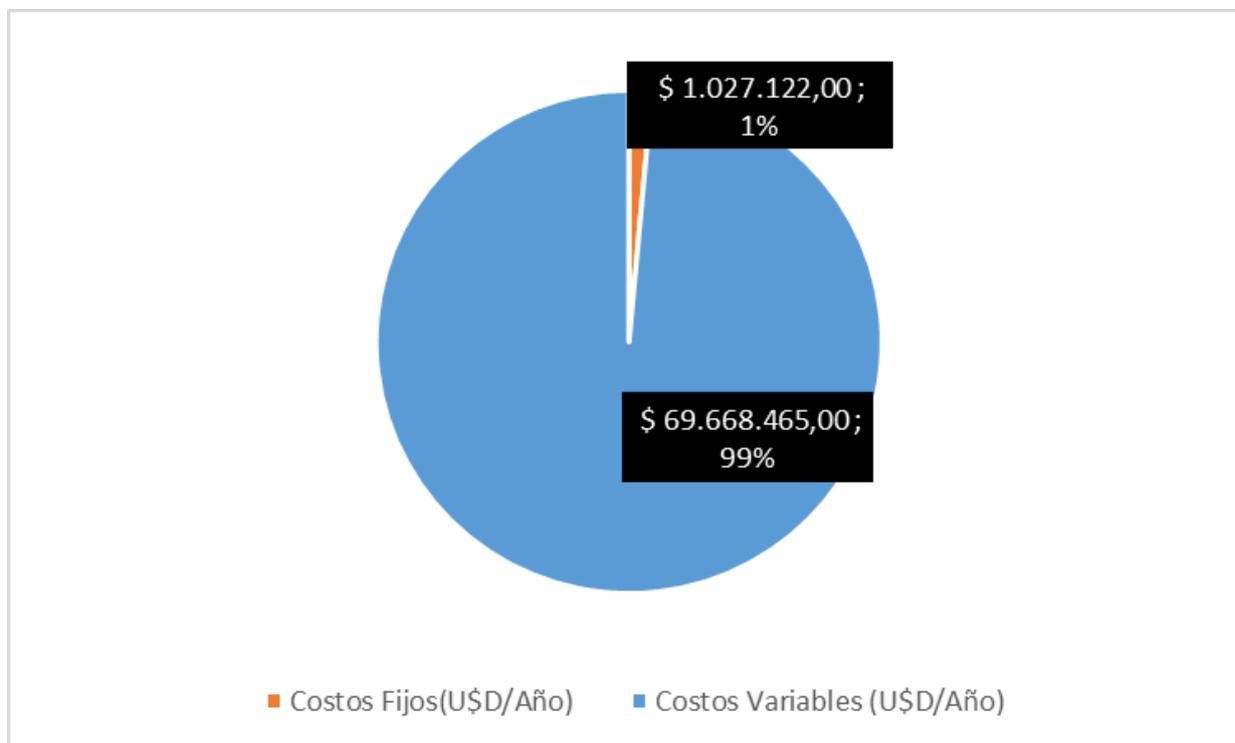
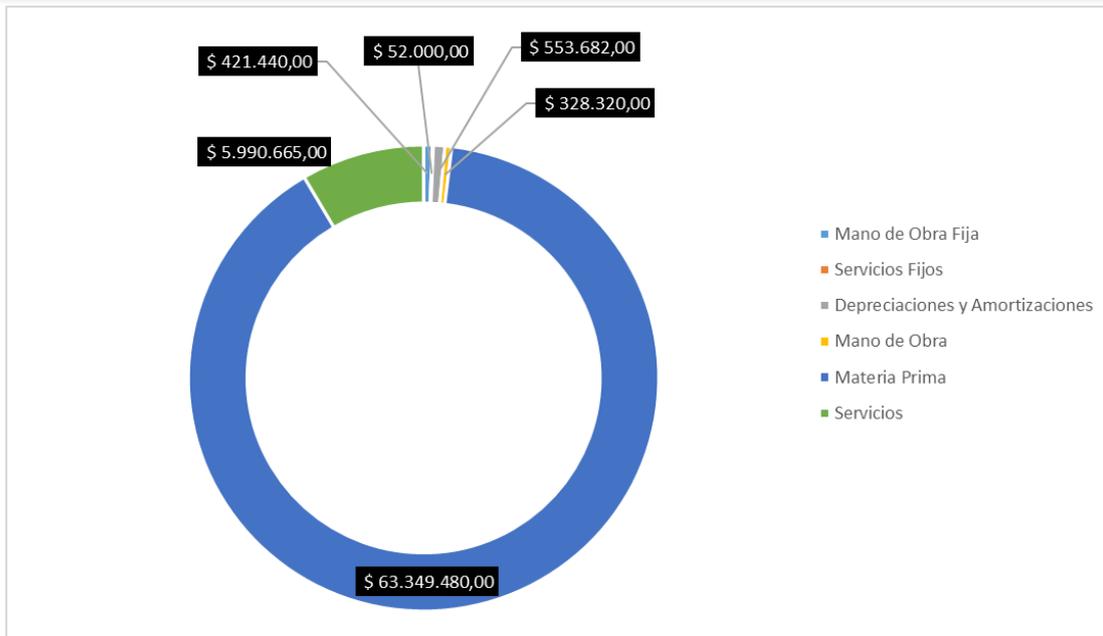


Gráfico 13.3 - Distribución de Costos Totales 1  
Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 13.4 - Distribución de Costos Totales 2**  
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 13-2 y 13-3 se puede observar una distribución con mayor influencia de los costos variables frente a los costos fijos. Esta proporción es favorable debido a que los costos fijos pueden ser absorbidos por la producción, y una merma en la cantidad de producción no afectaría considerablemente la estructura de costos.

Pueden obtenerse conclusiones similares a las que se han presentado anteriormente, lo que sirve para reforzar la idea de que la empresa debe enfocarse principalmente en disminuir los costos de producción, principalmente enfocándose en los costos de materia prima, y así aumentar los niveles de rentabilidad.

### 13.4 PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio, también conocido como punto muerto, es una herramienta esencial en la planificación estratégica de una empresa. Su importancia radica en que permite evaluar tanto la capacidad de la empresa para hacer frente a sus compromisos (solvencia) como su potencial de rentabilidad. En términos simples, este indicador señala el nivel mínimo de ventas necesario para cubrir todos los costos operativos. A partir de ese nivel de ventas, la empresa deja de registrar pérdidas y comienza a generar ganancias.

Por lo que se procede al cálculo del punto de equilibrio con el fin de establecer con precisión cuántas ventas se deben alcanzar como mínimo para evitar pérdidas.

<b>CF Totales</b>	<b>\$ 1.027.122</b>
<b>Precio de Venta (Pv)</b>	<b>1900 USD/tEstireno</b>



<b>Costo Variable Unitario (CVu)</b>	<b>1742 USD/tEstireno</b>
<b>Qe</b>	<b>6847,48 Tn Estireno</b>

Cantidad Producida (Tn)	Pv (U\$D/Tn)	Ingresos por Ventas (U\$D/Tn)	CFT	CVu	CV Total	CT	Resultado (U\$D)
0	\$ 1.900	0	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	\$ -	-\$ 1.027.122	-\$ 1.027.122
5000	\$ 1.900	\$ 9.500.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 8.750.000	-\$ 9.777.122	-\$ 277.122
<b>6847,48</b>	<b>\$ 1.900</b>	<b>\$ 13.010.212</b>	<b>-\$ 1.027.122</b>	<b>-\$ 1.750</b>	<b>-\$ 11.983.090</b>	<b>-\$ 13.010.212</b>	<b>\$ -</b>
10000	\$ 1.900	\$ 19.000.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 17.500.000	-\$ 18.527.122	\$ 472.878
15000	\$ 1.900	\$ 28.500.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 26.250.000	-\$ 27.277.122	\$ 1.222.878
20000	\$ 1.900	\$ 38.000.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 35.000.000	-\$ 36.027.122	\$ 1.972.878
25000	\$ 1.900	\$ 47.500.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 43.750.000	-\$ 44.777.122	\$ 2.722.878
30000	\$ 1.900	\$ 57.000.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 52.500.000	-\$ 53.527.122	\$ 3.472.878
35000	\$ 1.900	\$ 66.500.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 61.250.000	-\$ 62.277.122	\$ 4.222.878
40000	\$ 1.900	\$ 76.000.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 70.000.000	-\$ 71.027.122	\$ 4.972.878
45000	\$ 1.900	\$ 85.500.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 78.750.000	-\$ 79.777.122	\$ 5.722.878
50000	\$ 1.900	\$ 95.000.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 87.500.000	-\$ 88.527.122	\$ 6.472.878
55000	\$ 1.900	\$ 104.500.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 96.250.000	-\$ 97.277.122	\$ 7.222.878
60000	\$ 1.900	\$ 114.000.000	-\$ 1.027.122	-\$ 1.750	-\$ 105.000.000	-\$ 106.027.122	\$ 7.972.878

Tabla 13.17 - Punto de Equilibrio  
Fuente: Elaboración Propia

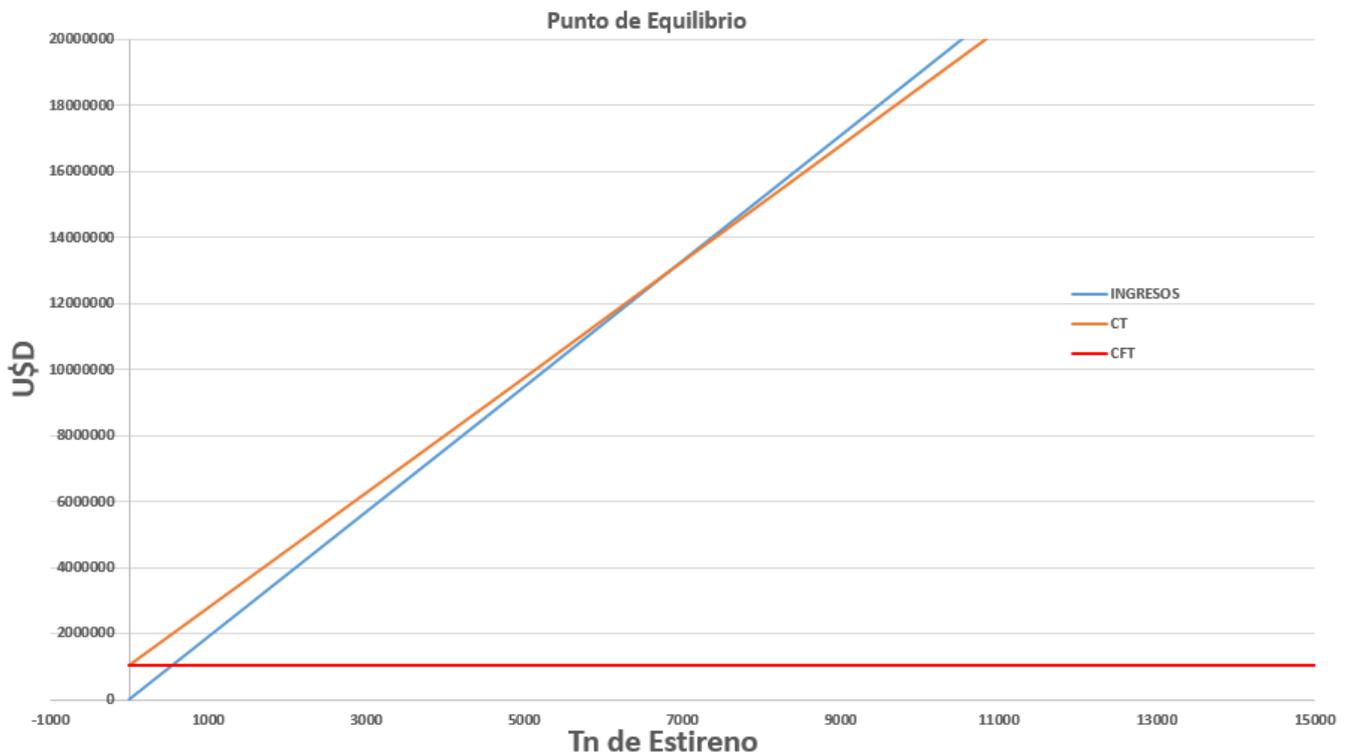


Gráfico 13.5 - Punto de Equilibrio  
Fuente: Elaboración propia



## 13.5 BENEFICIOS E INGRESOS DEL PROYECTO

### 13.5.1 Precio de venta

El precio de venta del estireno producido en la planta se definió en el “**Capítulo II – Estudio de Mercado**”, tomando como base tanto el comportamiento del mercado local como las referencias de precios internacionales. Luego del análisis realizado, se estableció un precio estimado de **1900 USD por tonelada**.

Este valor no fue determinado arbitrariamente, sino que responde a una estrategia de posicionamiento que busca equilibrar la competitividad con la viabilidad económica del proyecto. En Argentina, el único productor actual de estireno es Pampa Energía, cuyo precio de comercialización es inferior. Sin embargo, el precio propuesto para esta planta se justifica por una serie de factores diferenciales:

*Escala limitada y nicho de abastecimiento nacional:* Con una capacidad de producción anual de 40.000 toneladas, esta planta está orientada principalmente a satisfacer la demanda interna. La cercanía con los principales polos consumidores nacionales reduce significativamente los costos logísticos para los clientes locales, especialmente en comparación con el producto importado.

*Acceso inmediato al producto y contratos de suministro estables:* A diferencia de las importaciones, que implican tiempos de entrega más largos y variabilidad en los costos por fletes internacionales y tipo de cambio, la producción local permite ofrecer disponibilidad continua y acuerdos de suministro a largo plazo con precios preestablecidos. Esto representa un valor agregado para los compradores que priorizan la previsibilidad en costos y entregas.

*Calidad del producto y control sobre la cadena de producción:* La planta ha sido diseñada con tecnología moderna, lo que permite garantizar un producto con altos estándares de calidad y una mayor pureza. Esta diferenciación técnica, tiene impacto directo en procesos posteriores como la producción de plásticos o resinas, sectores donde la calidad del monómero es crítica.

*Tendencia de precios internacionales:* El precio de 1900 USD/Tn de Estireno, también encuentra respaldo en los valores promedios del estireno cotizado en mercados internacionales, como Europa y Asia. Si bien el producto de esta planta no apunta principalmente a la exportación, mantener un precio alineado con estas referencias permite eventualmente explorar mercados externos si se presentan oportunidades comerciales.

### 13.5.2 Ingresos totales

Los ingresos totales anuales van a ser el resultado del producto entre las toneladas de estireno vendidas y su precio de venta. En este caso no entran en consideración los costos de producción.



Año	Producción (Tn)	Precio (USD/Tn)	Ingresos por ventas
1	40000	\$1900	\$76.000.000
2	40000	\$1900	\$76.000.000
3	40000	\$1900	\$76.000.000
4	40000	\$1900	\$76.000.000
5	40000	\$1900	\$76.000.000
6	40000	\$1900	\$76.000.000
7	40000	\$1900	\$76.000.000
8	40000	\$1900	\$76.000.000
9	40000	\$1900	\$76.000.000
10	40000	\$1900	\$76.000.000

**Tabla 13.18 - Ingresos Totales**  
Fuente: Elaboración Propia

### 13.5.3 Contribución marginal

La contribución marginal representa la diferencia entre el precio de venta del producto y sus costos variables unitarios. Este indicador es fundamental para evaluar la rentabilidad del proyecto, ya que muestra cuánto contribuye cada unidad producida a cubrir los costos fijos y, eventualmente, generar ganancias. Su análisis permite tomar decisiones estratégicas.

CONTRIBUCIÓN MARGINAL	
Ingreso Total (USD/año)	\$ 76.000.000
Costo Variable (USD/año)	\$ 69.668.465
Contribución Marginal (USD/año)	<b>\$ 6.331.535</b>
Producción (t/año)	40.000
Contribución Marginal Unitaria (USD/t)	<b>\$ 158,3</b>
Costo Fijo Unitario (USD/t)	\$ 25,7
Utilidad (USD/t)	\$ 132,6

**Tabla 13.19 - Contribución marginal**  
Fuente: Elaboración Propia



### 13.5.4 Utilidad anual

La utilidad anual de la empresa está dada por la diferencia entre la contribución marginal y los costos fijos anuales. No se puede hablar de ganancias porque en este caso aún no se ha deducido el porcentaje que debe emplearse para el pago de los correspondientes impuestos. Este análisis se hará posteriormente cuando se plantee el flujo de caja de la empresa.

UTILIDAD ANUAL	
Contribución Marginal (USD/año)	\$ 6.331.535
Costos Fijos (USD/año)	\$ 1.027.122
Utilidad (USD/año)	<b>\$ 5.304.413</b>

**Tabla 13.20 - Utilidad**  
Fuente: Elaboración Propia

## 13.6 FLUJO DE CAJA Y RENTABILIDAD

### 13.6.1 Flujo de caja

El flujo de caja del proyecto permite analizar la rentabilidad económica y financiera de la planta, considerando todos los ingresos y egresos relevantes a lo largo del horizonte temporal de evaluación. Esta herramienta es fundamental para estimar indicadores como el VAN, TIR y el periodo de recupero, facilitando la toma de decisiones de inversión.

En este caso se presenta el flujo de caja analizado para los 10 años que representan el horizonte de evaluación del proyecto.



Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos por Ventas		\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00	\$ 76.000.000,00
Impuestos IB (4%)		-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00	-\$ 3.040.000,00
Ingresos Netos		\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00	\$ 72.960.000,00
Costos Fijos Erogables		-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00	-\$ 473.440,00
Costos Variables		-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00	-\$ 69.668.465,00
Amortizaciones y Depreciaciones		-\$ 553.682,00	-\$ 553.682,00	-\$ 553.682,00	-\$ 490.997,67	-\$ 490.997,67	-\$ 476.997,67	-\$ 476.997,67	-\$ 476.997,67	-\$ 476.997,67	-\$ 476.997,67
Utilidad antes de Impuestos		\$ 2.264.413,00	\$ 2.264.413,00	\$ 2.264.413,00	\$ 2.327.097,33	\$ 2.327.097,33	\$ 2.341.097,33	\$ 2.341.097,33	\$ 2.341.097,33	\$ 2.341.097,33	\$ 2.341.097,33
Impuesto a las Ganancias (35%)		-\$ 792.544,55	-\$ 792.544,55	-\$ 792.544,55	-\$ 814.484,07	-\$ 814.484,07	-\$ 819.384,07	-\$ 819.384,07	-\$ 819.384,07	-\$ 819.384,07	-\$ 819.384,07
Utilidad Neta		\$ 1.471.868,45	\$ 1.471.868,45	\$ 1.471.868,45	\$ 1.512.613,26	\$ 1.512.613,26	\$ 1.521.713,26	\$ 1.521.713,26	\$ 1.521.713,26	\$ 1.521.713,26	\$ 1.521.713,26
Amortizaciones y Depreciaciones		\$ 553.682,00	\$ 553.682,00	\$ 553.682,00	\$ 490.997,67	\$ 490.997,67	\$ 476.997,67	\$ 476.997,67	\$ 476.997,67	\$ 476.997,67	\$ 476.997,67
Inversión Inicial (I*)		-\$ 5.581.496,00									
Inversión en CT		-\$ 22.793.787,13									
Valor Residual											
FLUJO DE CAJA	-\$ 28.375.283,13	\$ 2.025.550,45	\$ 2.025.550,45	\$ 2.025.550,45	\$ 2.003.610,93	\$ 2.003.610,93	\$ 1.998.710,93	\$ 1.998.710,93	\$ 1.998.710,93	\$ 1.998.710,93	\$ 25.033.362,06



**Tabla 13.21 - Flujo de Caja del proyecto**  
**Fuente: Elaboración Propia**

### 13.6.2 Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es una herramienta fundamental en la evaluación financiera de proyectos de inversión, ya que permite estimar el valor creado (o destruido) por un proyecto a lo largo del tiempo, expresado en unidades monetarias actuales. Este indicador se basa en el principio de que el valor del dinero varía en el tiempo, por lo que los flujos de caja futuros deben ser actualizados utilizando una tasa de descuento apropiada que refleje el costo de oportunidad del capital invertido, el riesgo del proyecto y las condiciones del mercado.

El cálculo del VAN implica restarle al BNA el cual es el valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado la inversión inicial del proyecto.

$$VAN = Beneficio\ Neto\ Actualizado\ (BNA) - Inversión$$

En términos generales, un VAN positivo indica que el proyecto es rentable y genera valor agregado para los inversionistas, mientras que un VAN negativo señala que el proyecto no recupera la inversión realizada y, por ende, no resulta económicamente viable bajo las condiciones asumidas.

En el caso particular del proyecto de producción de estireno mediante deshidrogenación catalítica de etilbenceno, el VAN obtenido es de **-\$14.376.467,34**, lo cual indica que, bajo los supuestos de costos, ingresos y tasa de descuento utilizados, el proyecto no sería rentable.

### 13.6.3 Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es otro de los principales indicadores utilizados en la evaluación financiera de proyectos de inversión. Representa la tasa de descuento que iguala el valor actual de los flujos netos de caja esperados con la inversión inicial, es decir, aquella que hace que el Valor Actual Neto (VAN) sea igual a cero. En otras palabras, la TIR es la rentabilidad implícita del proyecto, considerando exclusivamente sus flujos de ingresos y egresos.

El criterio de decisión es claro: si la TIR es mayor que la tasa de descuento (o tasa mínima aceptable de rendimiento), el proyecto es considerado rentable; si es menor, no lo es. La comparación entre la TIR y la tasa de descuento permite evaluar si el proyecto supera el rendimiento esperado del mercado, considerando los riesgos asociados.

En el análisis realizado para la planta de producción de estireno, se utilizó una tasa de descuento del 17,227 %, calculada mediante el modelo CAPM, que refleja el costo de oportunidad del capital en el contexto argentino. Frente a esta tasa, el proyecto presenta una **TIR de 5,63 %**, lo que implica que la rentabilidad interna del proyecto se encuentra muy por debajo del umbral mínimo requerido. Este resultado confirma lo observado en el cálculo del VAN negativo, evidenciando que, bajo las condiciones actuales, el proyecto no resulta financieramente viable.



### 13.7 CONCLUSIÓN

A partir del análisis económico-financiero realizado, se concluye que el proyecto no presenta viabilidad económica bajo las condiciones actuales. El Valor Actual Neto (VAN) resulta ser negativo, con un valor de - \$14.376.467,34, lo que implica que los flujos de caja esperados no son suficientes para recuperar la inversión inicial más una rentabilidad acorde a la tasa de descuento utilizada (17,227 %). En línea con este resultado, la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es de 5,63 %, significativamente inferior al costo de oportunidad del capital, lo que reafirma lo dicho anteriormente.

Si bien el proyecto genera una utilidad anual estimada de \$5.304.413 y se identifica un punto de equilibrio en 6.847,48 toneladas, el contexto económico actual, los niveles de inversión requeridos y la rentabilidad proyectada indican que el emprendimiento no es conveniente financieramente en su configuración presente.

Además, se observa que el tamaño reducido de la planta impide alcanzar economías de escala que permitan mejorar los costos unitarios y competir eficientemente en el mercado. La falta de escala limita la capacidad del proyecto para reducir costos fijos por unidad producida, lo que termina afectando directamente su rentabilidad global. Por lo tanto, se reconoce que las limitaciones asociadas al tamaño de la planta restringen el aprovechamiento de economías de escala, lo que se traduce en costos unitarios más elevados y una menor competitividad frente a proyectos de mayor envergadura. Esta condición contribuye significativamente a los resultados negativos del análisis económico-financiero realizado.



## CAPÍTULO XIV

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

#### 14.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este capítulo es examinar diferentes escenarios económicos y evaluar cómo responde el proyecto de instalación de una planta industrial de producción de estireno ante variaciones en los principales parámetros que afectan su rentabilidad. En el CAPÍTULO XIII – “EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO”, se establece un escenario base, que representa condiciones técnicas y económicas consideradas como las más probables.

El análisis de sensibilidad permite identificar cuáles son las variables clave que tienen mayor impacto en la rentabilidad del proyecto y en qué medida podrían comprometer su viabilidad económica. Para ello, se utiliza el modelo unidimensional de sensibilización del Valor Actual Neto (VAN), el cual consiste en modificar de forma individual un único parámetro mientras se mantienen constantes las demás variables del flujo de fondos.

Este enfoque parte del supuesto de que el escenario base representa la situación más realista y probable. Las variaciones se aplican sobre este punto de partida, permitiendo observar la reacción del VAN ante incrementos o disminuciones en factores críticos como: el precio de venta del estireno, el costo del etilbenceno (materia prima principal), el volumen de producción, los costos operativos, y la tasa de descuento.

Cabe aclarar que el presente estudio se limita a sensibilizar variables de orden económico-financiero, debido a su relevancia directa sobre los resultados del proyecto. No se considerarán otras variables estructurales como localización geográfica o tamaño de planta, dado que su análisis excede el alcance y los objetivos de esta etapa de prefactibilidad, además de requerir herramientas y estudios complementarios más complejos.

#### 14.2 PARÁMETRO A SENSIBILIZAR

La selección de las variables a sensibilizar es un aspecto clave para garantizar la utilidad del análisis de sensibilidad. Se priorizan aquellos parámetros cuyo comportamiento tiene un impacto significativo sobre la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto, especialmente dentro de un rango razonable de variación.



De acuerdo con el estudio realizado sobre la estructura de costos de la planta de producción de estireno, se identifica como variable crítica al precio de venta del estireno. Esta elección se fundamenta en que, al compararse con los valores de mercado de empresas competidoras, así como con el costo del etilbenceno como materia prima principal, el precio proyectado en este estudio se ubica por debajo del valor óptimo estimado.

Este comportamiento convierte al precio de venta en un parámetro altamente sensible, cuya modificación puede alterar de forma directa y proporcional los ingresos proyectados, afectando de manera considerable el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto.

En lo que respecta a la cuantificación de la sensibilidad del proyecto vinculada al precio de venta del estireno, se plantean diferentes escenarios que contemplan incrementos respecto al valor adoptado en la evaluación económica base. El objetivo es analizar el comportamiento del Valor Actual Neto (VAN) frente a variaciones en este parámetro clave y determinar los límites de rentabilidad del proyecto.

Este enfoque permite no solo identificar el precio mínimo de venta necesario para que el proyecto sea económicamente viable, sino también estimar el margen de mejora en la rentabilidad si se logran condiciones comerciales más favorables. De esta manera, se obtiene una visión más completa y realista del impacto que tiene el precio de venta en la viabilidad financiera del emprendimiento.

Los resultados se presentan a continuación:

Aumento %	Pv (USD/t)	VAN	TIR
0%	\$ 1.900,00	-\$ 14.376.467,34	5,628%
5%	\$ 1.995,00	-\$ 3.420.576,91	14,497%
6%	\$ 2.014,00	-\$ 1.229.398,82	16,247%
6,5610675%	\$ 2.024,66	\$ -	17,227%
7%	\$ 2.033,00	\$ 961.779,26	17,992%
8%	\$ 2.052,00	\$ 3.152.957,35	19,731%
9%	\$ 2.071,00	\$ 5.344.135,43	21,464%

Tabla 14.1 - Comportamiento VAN y TIR frente a Precio de Venta  
Fuente: Elaboración Propia

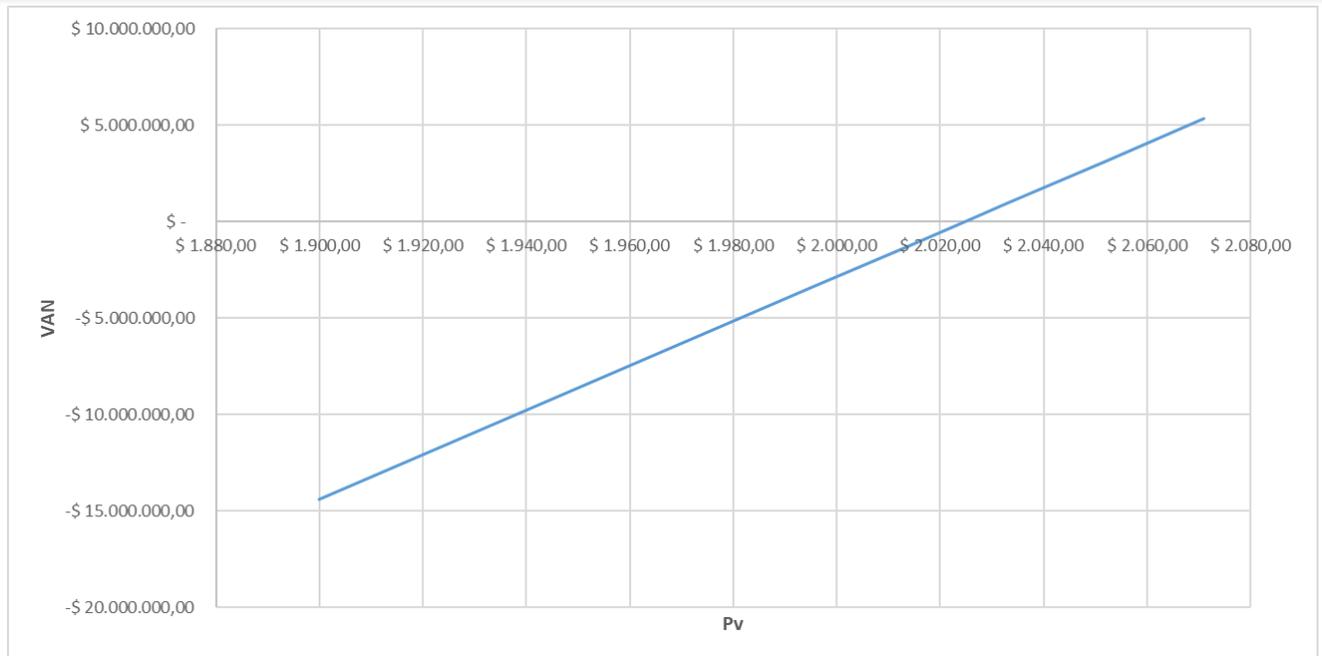


Gráfico 14.1 - Comportamiento del VAN frente al Precio de Venta  
Fuente: Elaboración propia

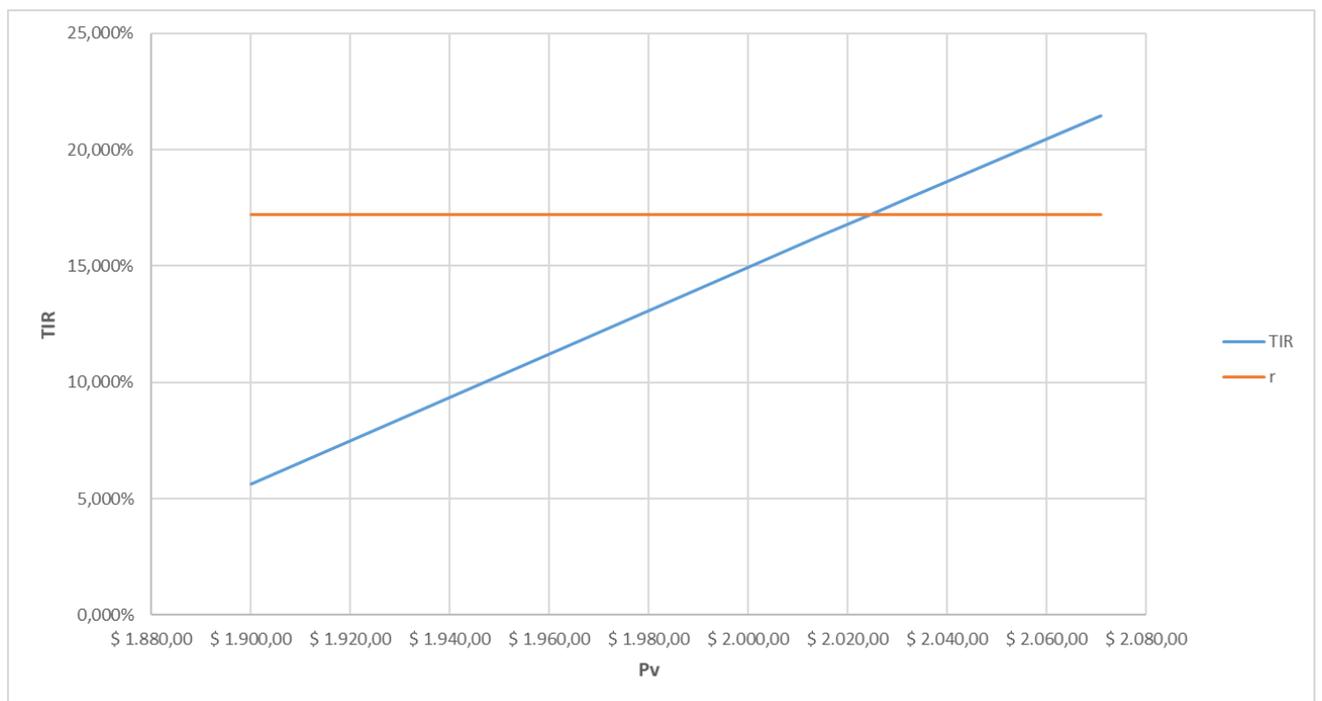


Gráfico 14.2 - Comportamiento de la TIR frente al Precio de Venta  
Fuente: Elaboración propia

El análisis de sensibilidad del proyecto frente al precio de venta del estireno evidencia una alta dependencia de la rentabilidad respecto de este parámetro. Tal como se observa en los resultados obtenidos, con un precio base de 1.900 USD/t el proyecto presenta un VAN negativo de -\$14.376.467,34 y una TIR de apenas 5,63%, muy por debajo de la tasa de descuento utilizada (17,227%), lo que lo hace económicamente inviable en esas condiciones.



Sin embargo, al incrementar el precio de venta en un 6,56% (hasta 2.024,66 USD/t), el proyecto alcanza su punto de equilibrio financiero, logrando un VAN igual a cero y una TIR equivalente a la tasa de descuento. A partir de ese umbral, los indicadores comienzan a mejorar significativamente: con un aumento del 9% en el precio, el VAN asciende a \$5.344.135,43 y la TIR se eleva al 21,46%.

Estos resultados reflejan que la viabilidad económica del proyecto es altamente sensible al precio de venta del producto, por lo que cualquier variación desfavorable en el mercado puede comprometer la rentabilidad. En consecuencia, resulta fundamental realizar un seguimiento constante del entorno comercial del estireno y considerar estrategias de cobertura o contratos a término para reducir la exposición al riesgo de precios.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estructura química de Etilbenceno .....	12
Figura 1.2 - Estructura química del Estireno.....	13
Figura 3.1 - Parque Industrial San Lorenzo hasta Pampa Energía en Puerto Gral. San Martín: 6,2 km .....	37
Figura 3.2 - Parque Industrial San Lorenzo hasta Pampa Energía en Zárate, Buenos Aires: 247 km .....	38
Figura 3.3 - Parque Industrial Alvear hasta Pampa Energía en Puerto Gral. San Martín: 54,5 km .....	38
Figura 3.4 - Parque Industrial Alvear hasta Pampa Energía en Zárate, Buenos Aires: 209 km.	39
Figura 3.5 - Parque Industrial Sauce Viejo hasta Pampa Energía en Zárate, Buenos Aires: 128 km .....	39
Figura 3.6 - Parque Industrial Sauce Viejo hasta Pampa Energía en Puerto Gral. San Martín: 376 km .....	40
Figura 3.7 - Distancia del Parque Industrial San Lorenzo a puntos de interés .....	44
Figura 3.8 - Mapa del Parque Industrial San Lorenzo.....	45
Figura 3.9 - Mapa de la ubicación del Parque Industrial San Lorenzo .....	45
Figura 4.1 - Reacción química de deshidrogenación de etilbenceno .....	51
Figura 5.1 - Diagrama de flujo de producción de estireno vía la deshidrogenación catalítica del etilbenceno.....	60
Figura 5.2 - Resultados de la torre Shortcut column.....	66
Figura 5.3 - Perfiles de composición de la fase líquida de la torre. ....	68
Figura 5.4 - Perfil de temperaturas de la torre. ....	68
Figura 5.5 - Perfil de flujos de la torre.....	69
Figura 5.6 - Gráfico de McCabe-Thiele.....	69
Figura 5.7 - Gráfico de densidades de L y V en la columna.....	70
Figura 5.8 - Valores de Kv para platos perforados en condiciones de inundación. ....	71
Figura 6.1 – Layout de la planta .....	82
Figura 7.1 - Organigrama de la empresa Estyrex S.A .....	90
Figura 8.1 - Ríos cercanos a San Lorenzo .....	108
Figura 8.2: Flora y Fauna de alrededores de San Lorenzo.....	111
Figura 8.3: Ruta Nacional 11 .....	114
Figura 8.4 - Vías Férreas de Santa Fe .....	115
Figura 8.5 - Mapa Económico de la provincia de Santa Fe.....	117



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Sectores consumidores de estireno.....	20
Gráfico 2.2 - Volumen de consumo de los sectores.....	21
Gráfico 2.3 - Consumo aparente de Poliestireno expandido.....	22
Gráfico 2.4 - Consumo de Poliestireno expandido para construcción.....	23
Gráfico 2.5 - Consumo aparente de Poliestireno Convencional y de Alto impacto.....	23
Gráfico 2.6 - Consumo aparente de Caucho SBR.....	24
Gráfico 4.1 - Consumo aparente de Estireno.....	47
Gráfico 4.2 - Producción de estireno de Pampa Energía.....	52
Gráfico 13.1 - Distribución de Costos Fijos.....	178
Gráfico 13.2 - Distribución de Costos Variables.....	181
Gráfico 13.3 - Distribución de Costos Totales 1.....	182
Gráfico 13.4 - Distribución de Costos Totales 2.....	183
Gráfico 13.5 - Punto de Equilibrio.....	184
Gráfico 14.1 - Comportamiento del VAN frente al Precio de Venta.....	193
Gráfico 14.2 - Comportamiento de la TIR frente al Precio de Venta.....	193



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 - Producción de Estireno .....	17
Tabla 3.1 - Parques Industriales Buenos Aires .....	29
Tabla 3.2 - Parques Industriales Santa Fe.....	30
Tabla 3.3 - Costos de Transporte .....	31
Tabla 3.4 Matriz de Ponderación para Macrolocalización.....	34
Tabla 3.5 - Matriz de Ponderación para Microlocalización.....	43
Tabla 5.1 - Flujos de entrada y salida de estireno de los equipos.....	61
Tabla 5.2 - Diseño de reactor .....	64
Tabla 5.3 - Composición de las corrientes de la columna ChemSep. ....	67
Tabla 5.4 - Balance de masa de los equipos .....	75
Tabla 6.1 - Infraestructura de la planta .....	81
Tabla 6.2 - Datos Técnicos del reactor .....	83
Tabla 6.3 - Datos Técnicos de la Columna de Destilación 2.....	83
Tabla 6.4 - Datos Técnicos del Tanque de Almacenamiento.....	83
Tabla 6.5 - Datos Técnicos del Intercambiador de Calor .....	83
Tabla 7.1 - Ficha de Función del Gerente General .....	91
Tabla 7.2 - Ficha de Función del Jefe de Planta.....	91
Tabla 7.3 - Ficha de Función del Gerente Administrativo .....	92
Tabla 7.4 - Ficha de Función del Contador.....	93
Tabla 7.5 - Ficha de Función de Asesor Legal .....	93
Tabla 7.6 - Ficha de Función de Responsable de Compras .....	94
Tabla 7.7 - Ficha de Función de Responsable de Recursos Humanos.....	94
Tabla 7.8 - Ficha de Función del Jefe de producción .....	95
Tabla 7.9 - Ficha de Función del Laboratorista.....	95
Tabla 7.10 - Ficha de Función del Jefe de Mantenimiento.....	96
Tabla 7.11 - Ficha de Función del Operario de Planta.....	97
Tabla 7.12 - Ficha de Función del Responsable de Ingeniería de Procesos.....	97
Tabla 7.13 - Ficha de Función de Mecánico .....	98
Tabla 7.14 - Ficha de Función de Electricista .....	98
Tabla 7.15 - Ficha de Función del Jefe de Seguridad e Higiene.....	99
Tabla 7.16 - Ficha de Función de Técnico de Seguridad e Higiene.....	100
Tabla 7.17 - Ficha de Función del Jefe de Medio Ambiente .....	100
Tabla 7.18 - Ficha de Función de Técnico Ambiental .....	101



Tabla 7.19 - Ficha de Función del Personal de Limpieza (externo) .....	101
Tabla 7.20 - Ficha de Función de Personal de Seguridad (externo) .....	102
Tabla 8.1 - Factores y Subfactores evaluados.....	121
Tabla 8.2 - Criterios de evaluación de los impactos ambientales.....	122
Tabla 8.3 - Matriz de identificación de impactos ambientales. ....	125
Tabla 8.4 - Matriz de valoración de los impactos ambientales.....	126
Tabla 8.5 - Medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales. ....	126
Tabla 13.1 - Costos del Terreno .....	165
Tabla 13.2 - Costos de Edificio e Instalaciones .....	166
Tabla 13.3 - Costos de Máquinas y Equipos .....	167
Tabla 13.4 - Costos de Rodados .....	167
Tabla 13.5 - Costos de muebles y útiles.....	168
Tabla 13.6 - Costos Diferidos .....	169
Tabla 13.7 - Cronograma de Inversiones .....	172
Tabla 13.8 - Costos erogables anuales .....	173
Tabla 13.9 - Tabla de Depreciaciones y Amortizaciones .....	175
Tabla 13.10 - Tabla de Mano de obra Fija.....	177
Tabla 13.11 - Tabla de Costos Fijos por Servicios.....	177
Tabla 13.12 - Tabla de Costos de Materias Primas .....	179
Tabla 13.13 - Tabla de Costos de Servicios .....	179
Tabla 13.14 - Tabla de Costos de Mano de Obra Variable .....	180
Tabla 13.15 - Resumen Costos Fijos.....	181
Tabla 13.16 - Resumen Costos Variables .....	182
Tabla 13.17 - Punto de Equilibrio .....	184
Tabla 13.18 - Ingresos Totales .....	186
Tabla 13.19 - Contribución marginal.....	186
Tabla 13.20 - Utilidad .....	187
Tabla 13.21 - Flujo de Caja del proyecto .....	189
Tabla 14.1 - Comportamiento VAN y TIR frente a Precio de Venta .....	192



## BIBLIOGRAFÍA

- <https://www.plastico.com/es/noticias/abc-del-poliestireno-que-es-usos-y-aplicaciones>
- <https://www.pt-mexico.com/articulos/que-es-el-poliestireno-ps-tipos-y-aplicaciones>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Estireno>
- <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/styrene-copolymers-abs-and-san-market>
- [https://training.itcilo.org/actrav\\_cdrom2/es/osh/ic/100425.htm](https://training.itcilo.org/actrav_cdrom2/es/osh/ic/100425.htm)
- Anuario IPA 2024
- [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs53.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs53.html)
- <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1748sp.pdf>
- Seymour, R.B., & Carraher, C.E. (1992). Polymeric Materials Encyclopedia.
- <https://ri.pampa.com/nuestros-activos/petroleo-y-gas/petroquimica/>
- <https://www.bnamericas.com/es/noticias/petroquimicos/productor-de-estireno-innova-esta-a-la-venta-por-us400mn>
- <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/equivale-a-12-estadios-de-futbol-cual-es-la-cifra-de-residuos-plasticos-que-se-reciclan-en-el-pais-nid01092023/>
- [https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/economia/epi\\_12\\_23.pdf](https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/economia/epi_12_23.pdf)
- [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parques\\_industriales\\_inscriptos\\_en\\_el\\_renpi\\_par\\_a\\_web\\_-\\_abril\\_2019.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parques_industriales_inscriptos_en_el_renpi_par_a_web_-_abril_2019.pdf)
- [https://www.cedac.com.ar/indices/indices.pdf?utm\\_source](https://www.cedac.com.ar/indices/indices.pdf?utm_source)
- <https://www.lanacion.com.ar/propiedades/inmuebles-comerciales/donde-estan-los-mejores-terrenos-para-uso-comercial-en-el-amba-y-cuanto-cuesta-cada-metro-cuadrado-nid04042022/>
- <https://www.propia.com.ar/propiedad/terreno-en-alvear-precio-por-mts2>
- <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/215564/1118847/file/Listado%20de%20Direcciones.pdf>
- [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parques\\_industriales\\_inscriptos\\_en\\_el\\_renpi\\_par\\_a\\_web\\_-\\_abril\\_2019.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parques_industriales_inscriptos_en_el_renpi_par_a_web_-_abril_2019.pdf)
- <https://propia.com.ar/propiedad/parque-industrial-san-lorenzo-terreno-2500-m2>
- <https://www.zonaprop.com.ar/propiedades/clasificado/vecltrin-venta-terreno-parque-industrial-alvear-santa-fe-52204441.html>
- <https://inmuebles.adinco.net/terreno-en-venta-en-sauce-viejo--15262407>
- <https://pisanlorenzo.com/>
- <https://listado.mercadolibre.com.ar/terreno-300-m2-en-zona-industrial-exclusiva-de-roldan>
- <https://es.scribd.com/document/513063255/Perez-et-al-2017>
- <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00817027>
- <https://es.scribd.com/document/148883775/quimica-organica-3-pdf>
- Handbook of Chemical Engineering Calculations, Fourth Edition
- Design\_of\_Adiabatic\_Packed\_Bed\_Reactor\_for\_Styrene\_Production
- Operaciones Unitarias en Ingeniería Química séptima edición, McCabe Smith
- <https://www.santafe.gov.ar/normativa/>
- <https://www.infoleg.gov.ar/>
- <https://www.argentina.gob.ar/normativa>
- <https://es.weatherspark.com/y/28757/Clima-promedio-en-San-Lorenzo-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [https://www.meteored.com.ar/tiempo-en\\_San%2BLorenzo-America%2BSur-Argentina-Santa%2BFe--1-16917.html](https://www.meteored.com.ar/tiempo-en_San%2BLorenzo-America%2BSur-Argentina-Santa%2BFe--1-16917.html)
- <https://www.todowebssalta.com.ar/tiempoensanlorenzo/>
- <https://landing.pisanlorenzo.com/>
- <https://www.santafe.gov.ar/index.php/content/view/full/227208/>
- <https://www.argentina.gob.ar/inta>
- <https://mapoteca.educ.ar/.files/index.html.1.html>



- [https://es.wikipedia.org/wiki/San\\_Lorenzo\\_\(Santa\\_Fe\)](https://es.wikipedia.org/wiki/San_Lorenzo_(Santa_Fe))
- <https://ecomrosario.gob.ar/localidad/27>
- <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/113809/491abb4787744ab1a69ffa5f310dc246/ASTM-D4590-22.pdf>
- <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/102776/60664ede194045258f7c98ed51c06c76/ASTM-D1209-05-2019-.pdf>
- <https://tradingeconomics.com/united-states/government-bond-yield>
- <https://www.ambito.com/contenidos/riesgo-pais.html>
- [https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/totalbeta.html?utm\\_source](https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/totalbeta.html?utm_source)
- <https://arpini.com.ar/site/properties/183676/parque-ind-san-lorenzo-lotes-desde-1400-m2>
- [https://es.made-in-china.com/amp/co\\_shandongsayhimachine/product\\_Hotmelt-Glue-Production-Reaction-Tank-3000L-Continuous-Stirred-Reactor-Designed-with-External-Coil\\_uoniyiggy.html](https://es.made-in-china.com/amp/co_shandongsayhimachine/product_Hotmelt-Glue-Production-Reaction-Tank-3000L-Continuous-Stirred-Reactor-Designed-with-External-Coil_uoniyiggy.html)
- [https://es.made-in-china.com/co\\_gdfengdaki/product\\_Fengda-Vertical-Horizontal-Storage-Tank-Stainless-Steel-304-316-Chemical-Storage-Tank\\_yuushnoigg.html?header\\_search\\_page=lv](https://es.made-in-china.com/co_gdfengdaki/product_Fengda-Vertical-Horizontal-Storage-Tank-Stainless-Steel-304-316-Chemical-Storage-Tank_yuushnoigg.html?header_search_page=lv)
- Intercambiador de calor de tubos y carcasa de acero inoxidable personalizado - China El tubo de Shell Shell de tubo de intercambiador de calor, intercambiador de calor
- [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Styrene\\_SAFE\\_HANDLING\\_GUIDE\\_2024\\_FINAL\\_24102024\\_v2.pdf?utm](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Styrene_SAFE_HANDLING_GUIDE_2024_FINAL_24102024_v2.pdf?utm)
- [https://iomosaic.com/docs/default-source/papers/polymerization-reactions-inhibitor-modeling---styrene-and-butyl-acrylate-incidents-case-studies.pdf?sfvrsn=993dc4d4\\_25&utm](https://iomosaic.com/docs/default-source/papers/polymerization-reactions-inhibitor-modeling---styrene-and-butyl-acrylate-incidents-case-studies.pdf?sfvrsn=993dc4d4_25&utm)
- [https://www.researchgate.net/publication/324609551\\_Energy\\_efficiency\\_analysis\\_of\\_styrene\\_production\\_by\\_adiabatic\\_ethylbenzene\\_dehydrogenation\\_using\\_exergy\\_analysis\\_and\\_heat\\_integration](https://www.researchgate.net/publication/324609551_Energy_efficiency_analysis_of_styrene_production_by_adiabatic_ethylbenzene_dehydrogenation_using_exergy_analysis_and_heat_integration)
- [https://www.globalpetrolprices.com/Argentina/electricity\\_prices/?utm](https://www.globalpetrolprices.com/Argentina/electricity_prices/?utm)
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2014). Fundamentals of Engineering Thermodynamics (8th ed.). Wiley.
- Dean, J. A. (1999). Lange's Handbook of Chemistry (15.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Cao, Eduardo. Transferencia de calor en ingeniería de procesos. 5.<sup>a</sup> edición, Buenos Aires, SVS Consultores, 2024.
- Normas ISO