

# Universidad Tecnológica Nacional



## Facultad Regional Villa María

---

Proyecto final de grado de Ingeniería Química

*Obtención de p-xileno a partir de la  
desproporción selectiva de tolueno*

**Autores:**

**Bragas Agostina Belén**

**Broggi Lloret Guadalupe Amalia**

**Cabrera Sofia Fátima**

**Perticarolli Gonzalo**

**Villa María**

**2019**

Firma de alumnos

Bragas, Agostina Belen .....

Broggi Lloret, Guadalupe Amalia .....

Cabrera, Sofia Fatima .....

Perticarolli, Gonzalo . .....

Aceptado por UTN - Facultad Regional Villa María.....

Aprobada por su contenido y estilo

Presidente del Tribunal: .....

Primer Miembro Vocal: .....

Segundo Miembro Vocal: .....

## *Agradecimientos*

En esta oportunidad, queremos agradecer principalmente a nuestra prestigiosa Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María por acogernos como estudiantes, por hacernos sentir como en casa, por brindarnos el apoyo e instrumentos indispensables para poder llegar a cumplir esta meta, con gran satisfacción.

A nuestros profesores que dedican su tiempo enseñando y acompañando en cada etapa transcurrida, y que nos transmiten no sólo conocimientos académicos sino también valores éticos para llevar una excelente vida profesional.

A nuestros compañeros y amigos que fuimos conociendo en el ámbito estudiantil, gracias por las todas vivencias compartidas, el compañerismo y apoyo de todos los días.

Y, por supuesto, a nuestra querida familia que nos sostiene desde siempre, ayudándonos a superar los desafíos que se nos presentan en el camino.

Muchísimas gracias a todos, por creer en nosotros y ayudarnos a lograrlo. Nuestros más sinceros sentimientos a ustedes.

Agostina, Guadalupe, Sofia y Gonzalo.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO	
1.1	Introducción .....8
1.2	Objetivos generales.....9
1.3	Objetivos específicos del proyecto.....9
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA, PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	
2.1	Introducción ..... 11
2.2	Materias primas .....12
2.2.1	Tolueno .....12
2.2.2	Hidrógeno .....13
2.3	Productos.....14
2.3.1	p-Xileno.....15
2.3.2	Benceno.....15
2.3.3	o-Xileno.....15
2.3.4	Mezcla de xilenos .....16
2.4	Catalizador.....17
CAPÍTULO III: ESTUDIO DE MERCADO	
3.1	Introducción .....20
3.2	Análisis del producto .....21
3.2.1	Mercado mundial de p-xileno (PX) y ácido tereftálico (TPA).....21
3.2.2	Situación actual de la producción de PX en América del Sur .....23
3.2.3	Mercado nacional de PX y TPA .....24
3.3	Análisis de subproductos .....26
3.3.1	Benceno.....26
3.3.2	o-Xileno.....26
3.3.3	Mezcla de xilenos .....27
3.4	Análisis de materias primas .....28
3.4.1	Estudio de mercado del tolueno.....28
3.5	Análisis FODA .....31
CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL	
4.1	Introducción .....34
4.2	Macro localización .....35
4.2.1	Disponibilidad de materia prima.....35
4.2.2	Disponibilidad de zonas de consumo .....35
4.2.3	Disponibilidad de transporte.....37
4.2.4	Disponibilidad de parques industriales .....39
4.3	Micro localización .....41
4.3.1	Condiciones climatológicas: Ensenada .....44
4.3.2	Ubicación definitiva de la planta.....45
4.3.3	Infraestructura y servicios comunes .....48
CAPÍTULO V: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA	
5.1	Introducción .....50
5.2	Proyección de la producción óptima de la planta .....50
5.3	Conclusión .....52

<b>CAPITULO VI: DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO</b>	
6.1	Introducción .....54
6.1.1	Obtención de p-xileno a partir del Reformado de Naftas – Boletín Informativo IPA N° 83 .....54
6.1.2	Obtención de p-xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno (MTDP) .....57
6.1.3	Obtención de p-xileno a partir de la metilación de tolueno - Desarrollado por J. P. Breen.....58
6.2	Selección del proceso .....60
6.3	Descripción del proceso .....61
6.3.1	Almacenamiento.....61
6.3.2	Preparación de materias primas .....61
<b>CAPÍTULO VII: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA</b>	
7.1	Introducción .....64
7.2	Balances de masa y energía.....64
7.2.1	Diagrama de flujo .....64
7.3	SECCIÓN 100: Descripción de los equipos
7.3.1	Reactor R-101 .....69
7.3.2	Intercambiador de calor E-102.....71
7.3.3	Flash C-103 .....73
7.3.4	Flash C-104 .....75
7.3.5	Compresor multietapas K-105 .....76
7.4	SECCION 200: Descripción de los equipos
7.4.1	Columna de destilación C-201 .....77
7.4.2	Intercambiador de calor E-207 .....79
7.4.3	Intercambiador de calor E-208.....81
7.4.4	Columna de destilación C-202 .....82
7.4.5	Intercambiador de calor E-209.....84
7.4.6	Intercambiador de calor E-210.....85
7.4.7	Columna de destilación C-203 .....87
7.4.8	Intercambiador de calor E-211.....89
7.4.9	Intercambiador de calor E-212.....90
7.4.10	Intercambiador de calor E-206.....92
7.5	SECCION 300: Descripción de los equipos
7.5.1	Intercambiador de calor E-301 .....93
7.5.2	Intercambiador de calor E-302.....96
7.5.3	Intercambiador de calor E-303.....97
7.5.4	Tanque agitado formador de cristales MA-304.....99
7.5.6	Centrífuga S-305 ..... 102
7.5.5	Tanque fundidor de cristales E-306 ..... 104
<b>CAPÍTULO VIII: DISEÑO y ADOPCIÓN DE EQUIPOS</b>	
8.1	Introducción ..... 107
8.2	SECCIÓN 100: Descripción de los equipos
8.2.2	Reactor R-101 ..... 109
8.2.3	Intercambiador de calor E-102..... 123
8.2.4	Flash C-103 ..... 125

8.2.5 Flash C-104 .....	125
8.2.6 Compresor K-105 .....	126
8.2.7 Tanque de almacenamiento de tolueno T-106 .....	128
8.2.8 Tanque de almacenamiento stock de hidrogeno T-107/108/109 ...	128
8.3 SECCIÓN 200: Descripción de los equipos	
8.3.1 Columna de destilación C-201 .....	132
8.3.2 Intercambiador de calor E-207 .....	134
8.3.3 Intercambiador de calor E-208 .....	135
8.3.4 Columna de destilación C-202 .....	135
8.3.5 Intercambiador de calor E-209 .....	136
8.3.6 Intercambiador de calor E-210 .....	137
8.3.7 Columna de destilación C-203 .....	138
8.3.8 Intercambiador de calor E-211 .....	140
8.3.9 Intercambiador de calor E-212 .....	141
8.3.10 Intercambiador de calor E-206 .....	141
8.3.11 Tanque de almacenamiento T-204 .....	142
8.3.12 Tanque de almacenamiento T-205 .....	143
8.4 SECCIÓN 300: Descripción de los equipos	
8.4.1 Intercambiador de calor E-301 .....	143
8.4.2 Intercambiador de calor E-302 y Intercambiador de calor E-303....	144
8.4.3 Tanque agitado formado de cristales MA-304 .....	146
8.4.4 Centrifuga S-305 .....	151
8.4.5 Tanque de fundidor E-306 .....	153
8.4.6 Tanque de almacenamiento de p-xileno T-307 .....	154
8.4.7 Tanque de almacenamiento de mezcla de xilenos T-308 .....	155
8.5 Adopción de bombas de proceso	
8.5.1 Procedimiento de cálculos para la adopción de bombas .....	156
8.5.2 Características de las diferentes líneas de bombeo .....	157
8.5.3 Resumen de cálculos de bombas de proceso productivo .....	158
8.5.4 Descripción de bombas seleccionadas .....	161
8.6 Adopción de sopladores de proceso	
8.6.1 Soplador SP-114 .....	162
8.6.2 Soplador SP-115 .....	163
8.6.3 Soplador SP-116 .....	163
8.6.4 Soplador SP-117 .....	164
<b>CAPITULO IX: SERVICIOS AUXILIARES</b>	
9.1 Introducción .....	166
9.2 Agua de Enfriamiento .....	166
9.2.1 Adopción de la torre de enfriamiento .....	166
9.2.2 Diagrama de abastecimiento del agua de enfriamiento .....	167
9.2.3 Bombas para el transporte del agua fría .....	168
9.2.4 Características de las bombas .....	168
9.2.5 Bombas Adoptadas .....	170
9.3 Agua .....	170
9.3.1 Adopción de tanques de almacenamiento para el agua .....	171
9.4 Vapor .....	172

9.4.1 Adopción de la caldera de vapor.....	172
9.4.2 Diagrama de abastecimiento de vapor .....	174
9.4.3 Dimensiones de tuberías de distribución de vapor.....	174
9.4.4 Pérdida de calor en la red .....	175
9.4.5 Retorno de condensados .....	175
9.4.6 Sistema de distribución .....	175
9.4.7 Trampas de vapor .....	176
9.4.8 Sistema de bombeo de la caldera.....	177
9.4.9 Ablandador automático de agua Twin .....	178
9.5 Gas .....	179
9.6 Refrigeración con amoníaco .....	179
9.6.1 Diagrama de refrigeración.....	182
9.6.2 Sistema Adoptado .....	182
<b>CAPÍTULO X: CONTROL DE CALIDAD</b>	
10.1 Introducción .....	186
10.2 Características de un sistema de gestión de calidad .....	186
10.3 Control de calidad de materias primas .....	188
10.4 Control de calidad del proceso productivo.....	189
10.5 Control de calidad del producto final.....	196
10.6 Registros.....	196
10.7 Técnicas .....	198
<b>CAPÍTULO XI: OBRAS CIVILES</b>	
11.1 Introducción .....	203
11.2 Descripción general de la planta.....	203
11.3 Distribución física de la planta .....	204
<b>CAPÍTULO XII: INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>	
12.1 Introducción .....	210
12.2 Descripción de una instalación eléctrica.....	210
12.3 Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso .....	215
12.4 Sistema de Iluminación .....	216
12.5 Determinación del nivel de iluminación requerido para cada ambiente.....	216
12.6 Determinación de cantidad de luminarias requeridas .....	216
12.7 Consumo global de energía eléctrica de la planta .....	222
<b>CAPÍTULO XIII: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS</b>	
13.1 Introducción .....	224
13.2 Control automático .....	224
13.2.1 Sección 200 – Destilación.....	224
13.2.4 Hojas de especificación de los instrumentos.....	228
<b>CAPÍTULO XIV: SEGURIDAD INDUSTRIAL</b>	
14.1 Introducción .....	234
14.2 Marco legal .....	234
14.3 Sustancias de proceso .....	239
14.4 Protección individual .....	268
<b>CAPÍTULO XV: ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA</b>	
15.1 Introducción .....	290
15.2 Tipo de sociedad .....	290

15.3 Organigrama, diseño de cargos y funciones del personal .....	290
15.4 Puestos de trabajo de cada área .....	292
15.5 Diagrama de turnos .....	297
CAPÍTULO XVI: ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO	
16.1 Introducción .....	300
16.2 Inversión .....	300
16.2.1 Activos fijos .....	301
16.2.2 Activos nominales .....	306
16.2.3 Capital de trabajo .....	307
16.2.4 Inversión total del proyecto .....	308
16.3 Costos totales de producción .....	309
16.3.1 Costos directos de producción .....	309
16.3.2 Costos indirectos de producción .....	312
16.3.3 Costos fijos indirectos .....	314
16.3.4 Costos generales .....	316
16.4 Costos de producción unitaria .....	317
16.5 Ingreso por ventas .....	318
16.6 Financiación del proyecto .....	318
16.7 Evaluación económica .....	319
16.7.1 Estado de los resultados .....	319
16.7.2 Indicadores .....	321
16.7.3 Análisis de sensibilidad .....	323
16.8 Conclusiones del estudio económico financiero .....	325
17 Conclusiones .....	326
18 Bibliografía .....	328
19 Anexo A .....	333



# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTACIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO**

## CAPÍTULO I: FUNDAMENTACIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO.

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El p-xileno es un hidrocarburo aromático inflamable e incoloro que existe como un líquido a presión y temperatura ambiente. Los xilenos son orto, meta y para isómeros del dimetilbenceno donde los prefijos orto, meta y para se refieren a qué carbono, en el anillo de benceno, se unen los dos grupos metilo.

El mercado actual del p-xileno es predominantemente dirigido hacia la producción de una variedad de fibras, films y resinas. Es un intermediario clave en la síntesis de ácido tereftálico purificado (PTA) y tereftalato de dimetilo (DMT), ambos se usan en la producción de plásticos industriales y poliésteres. Específicamente, el PTA se utiliza en la producción de resinas de botellas de tereftalato de polietileno (PET).

El PET, una resina de polímero utilizada en plásticos sintéticos, se valora industrialmente como un plástico flexible. La naturaleza flexible de la mayoría de los polímeros plásticos requiere una larga composición monomérica mínimamente ramificada de alto volumen.

En el caso de monómeros aromáticos, la para-sustitución casi siempre resulta en un compuesto que ocupa el mayor espacio, porque los dos grupos funcionales se encuentran lo más lejos posible en el anillo de benceno. Para el PET, la región química de tereftalato de etilo parafinada produce tanto un monómero de volumen largo como alto y, por lo tanto, un polímero altamente flexible.

El PET se forma a partir del ácido tereftálico, de la oxidación de p-xileno. El p-xileno es seleccionado preferentemente sobre meta y orto porque la para-configuración se propagará hacia adelante para producir un monómero de PET de alto volumen. El PET es la materia prima base para producir envases de productos alimenticios (reemplaza al vidrio); de todas maneras, la mayor demanda proviene de la fabricación de fibras poliéster (98%), por medio del PTA. Una muy pequeña cantidad de p-xileno, también se utiliza como solvente y para producir di-p-xileno y herbicidas.

La capacidad productiva a nivel regional se encuentra en el norte de Latinoamérica – México por medio de *Pemex Petroquímica* con una capacidad instalada de 280.000 t/año, aunque sin producción actual; *Braskem* en Brasil con una capacidad de 203.000 t/año y una producción de casi 185.000 t/año y *YPF* en Argentina con una capacidad productiva de 40.000 t/año sin producción. Así entonces Latinoamérica muestra un balance negativo en su balanza comercial y productiva de dicho producto. La demanda mundial de p-xileno, como insumo difundido en las materias primas, seguirá creciendo a tasas promedios que rondarán el 6% anual, liderado por el consumo para fibras poliéster, especialmente en las zonas de Asia (China) y Oriente Medio. (*Valverde R.G. IPA n° 83. 2016*)

Ante este entorno, el análisis técnico-económico de la instalación de una planta de p-xileno en Argentina para la producción de PTA (ácido tereftálico) toma sentido en la región considerando en un horizonte de 10 años.

## 1.2 Objetivos generales

- Determinar la viabilidad técnico-económica de un proyecto de inversión para la instalación de una planta de obtención de p-xileno en Argentina.
- Aplicar los conocimientos y habilidades profesionales del ingeniero químico adquiridos a lo largo la carrera universitaria para poder llevar a cabo este proyecto final.

## 1.3 Objetivos específicos del proyecto

Entre los objetivos específicos que se han propuesto, se encuentran:

- Reconocer y definir el mercado nacional e internacional del p-xileno, analizando la materia prima de partida, proveedores y consumidores, a través de un estudio de mercado que contribuya a tomar decisiones acertadas; teniendo en cuenta su evolución a lo largo del tiempo, considerando la competencia existente, y sin perder de vista su vinculación con la producción de ácido tereftálico en Argentina.
- Analizar los diferentes procesos de producción de p-xileno a fin de seleccionar el método más conveniente.
- Establecer la óptima capacidad de producción analizando la demanda y las limitaciones de la planta.
- Evaluar la ubicación óptima de la planta de producción teniendo en cuenta la proximidad a proveedores y clientes.
- Diseñar los equipos e instalaciones involucrados en el proceso de obtención de p-xileno, haciendo uso de la ingeniería.
- Efectuar los balances de masa y energía correspondiente del proceso, incluyendo los servicios auxiliares.
- Realizar la automatización del proceso, que garantice la seguridad y calidad del producto.
- Desarrollar un análisis económico-financiero estableciendo la inversión inicial necesaria, la TIR y el VAN del proyecto.

# **CAPÍTULO II**

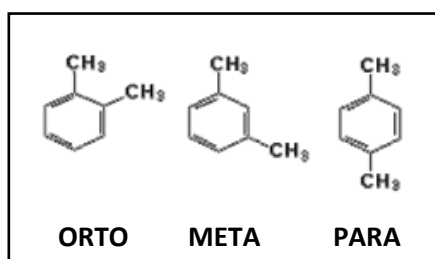
## **DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA, PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS**

## CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA, PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS.

### 2.1 Introducción

El xileno o dimetilbenceno es un hidrocarburo formado por un anillo aromático y dos grupos metilo, su fórmula molecular es  $C_8H_{10}$ .

Existen tres xilenos isómeros: o-xileno, m-xileno y p-xileno. Estos difieren en las posiciones de los dos grupos metilo en el anillo de benceno. La estructura molecular de cada uno de los isómeros se muestra en la figura.



**Figura 2-1:** Estructura molecular de los isómeros del xileno.

*Fuente: Boletín Informativo IPA nº 83. 2016.*

Las propiedades físicas de estos tres isómeros son muy parecidas: son líquidos volátiles en condiciones atmosféricas, incoloros y su olor es semejante al del benceno.

Propiedad	o-xileno	m-xileno	p-xileno
Punto de fusión (°C)	- 25,2	- 47,9	13,3
Punto de ebullición (°C)	144,4	139,1	136,2
Punto de inflamación (°C)	34,4	30,6	30,0
Densidad a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	880,2	864,2	861,0
Viscosidad a 20°C (kg/m*s)	8,09x*10 <sup>-5</sup>	6,17x*10 <sup>-5</sup>	6,44x*10 <sup>-5</sup>

*Fuente: Quijano, Ana Lara. Trabajo fin de grado Ingeniería Química. 2018. Pág. 15.*

Una característica importante a destacar es la similitud en los puntos de ebullición de los tres compuestos. Esto es importante porque implica que llevar a cabo el proceso de separación del p-xileno es una tarea bastante complicada, ya que la separación por destilación requiere muchas etapas.

Existen varios métodos de producción de xileno, algunos consisten en la extracción del xileno de componentes en los que se encuentran, es decir, se llevan a cabo sólo por separación, sin necesidad de realizar transformaciones químicas. Por otro lado, hay otros métodos de producción de xileno que consisten en hacer reaccionar tolueno con otros compuestos orgánicos.

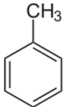
Las principales fuentes de xileno son: el aceite ligero y la nafta del petróleo obtenida del destilado del reformado catalítico.

En el siguiente capítulo se va a desarrollar una descripción de todas las materias primas, productos y subproductos obtenidos a partir del proceso elegido.

## 2.2 Materias primas

### 2.2.1 Tolueno

#### 2.2.1.1 Identidad de la sustancia química

- Fórmula molecular: 
- Estructura molecular:  $C_6H_5CH_3 - C_7H_8$
- N° CAS: 108-88-3
- Sinónimos: metilbenceno, fenilmetano.

#### 2.2.1.2 Descripción

A temperatura y presión ambiente el tolueno es un líquido transparente, volátil e inflamable que forma mezclas explosivas con el aire. Es un hidrocarburo de la serie aromática. Posee olor dulce e irritante característico en compuestos con anillos bencénicos. Está presente en el petróleo crudo, siendo la fuente principal de donde se obtiene. El tolueno es clasificado como un compuesto orgánico volátil (VOC). Sus vapores son peligrosos para la salud humana y sus propiedades de inflamabilidad a temperaturas mayores de 5°C representan un alto peligro para la generación de fuego en condiciones atmosféricas de presión y temperatura. Es solvente de muchos productos aromáticos, pero es muy poco soluble en agua, de donde se separa y asciende por su menor densidad. Es soluble en alcohol, benceno y éter. Es un químico muy usado en la fabricación de una gran diversidad de productos como el Trinitrotolueno, el Ácido Benzoico, colorantes y muchos otros. (Suárez Orozco et al., 2003).

#### 2.2.1.3 Propiedades físicas

Propiedad	Valor
Peso Molecular (g/mol)	92,13
Estado físico	líquido
Punto de Ebullición (°C)	110,6
Punto de Fusión (°C)	-95
Presión de Vapor (mmHg a 20°C)	22
Gravedad Específica (Agua = 1)	0,87
Densidad del Vapor (Aire = 1)	3,14
Solubilidad en agua a 23 °C	0,07%

Fuente: Suárez Orozco et al., 2003

#### 2.2.1.4 Propiedades químicas

El tolueno no reacciona con ácidos o bases diluidos. No es una sustancia corrosiva. En la atmósfera reacciona rápidamente con radicales Hidroxilo y forma una gran variedad de productos de oxidación (Suárez Orozco et al., 2003).

### 2.2.2 Hidrógeno

#### 2.2.2.1 Identidad de la sustancia química

- Fórmula molecular: H<sub>2</sub>
- Estructura molecular:  $\text{H}-\text{H}$
- N° CAS: 1333-74-0

#### 2.2.2.2 Descripción

El hidrógeno es el elemento químico de número atómico 1, representado por el símbolo H. Es el más ligero de la tabla periódica de los elementos. Por lo general, se presenta en su forma molecular, formando el gas diatómico H<sub>2</sub> en condiciones normales. Este gas es inflamable, incoloro, inodoro, no metálico e insoluble en agua.

Es elemento químico más abundante, al constituir aproximadamente el 75 % de la materia visible del universo. Y forma compuestos con la mayoría de los elementos estando presente en el agua y en la mayoría de los compuestos orgánicos. Tiene un papel particularmente importante en la química ácido-base, en la que muchas reacciones implican el intercambio de protones (iones hidrógeno, H<sup>+</sup>) entre moléculas solubles.

El dihidrógeno es un gas extremadamente inflamable. Es peligrosa su despresurización rápida, ya que a diferencia del resto de gases, al expandirse por encima de -40 °C se calienta, pudiendo inflamarse.

### 2.2.3 Propiedades físicas

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Peso Molecular (g/mol)	2,01588
Punto de Ebullición (°C)	- 253
Punto de Fusión (°C)	- 259,2
Densidad del Vapor (Aire = 1)	0,068
Solubilidad en agua (mg/l)	1,62
Densidad relativa en agua (kg/m <sup>3</sup> )	0,0899

*Fuente: IPCS y CE, 2005, HIDRÓGENO.*

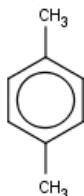
## 2.3 Productos

### 2.3.1 p-Xileno

#### 2.3.1.1 Identidad de la sustancia química

- Formula molecular:  $C_6H_4(CH_3)_2$  /  $C_8H_{10}$

- Estructura molecular:



- N° CAS: 106-42-3

#### 2.3.1.2 Descripción

El p-xileno es un hidrocarburo aromático inflamable volátil e incoloro que existe como un líquido en presión y temperatura ambiente, los xilenos son orto, meta y para isómeros de dimetilbenceno, donde los prefijos orto, meta y para se refieren a qué átomos de carbono en el anillo de benceno se unen los dos grupos metilo. Es el isómero más importante de la fracción C8 de alquilaromáticos, ya que a través de un proceso de oxidación conduce a la formación de ácido tereftálico destinado a la obtención de polietileno tereftalato (PET). (CE y IPCS, 2005).

#### 2.3.1.3 Propiedades físicas

**Tabla 2-4:** Propiedades físicas del p-xileno.

Propiedad	Valor
Peso Molecular (g/mol)	106,2
Punto de Ebullición (°C)	138
Punto de Fusión (°C)	13
Presión de Vapor (kPa a 20°C)	0,9
Densidad del Vapor (Aire = 1)	3,7
Solubilidad en agua	ninguna
Densidad relativa en agua	0,86

Fuente: IPCS y CE, 2005, p-XILENO.

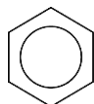


## 2.3.2 Benceno

### 2.3.2.1 Identidad de la sustancia química

- Formula molecular:  $C_6H_6$

- Estructura molecular:



- N° CAS: 71-43-2
- Sinónimos: Ciclohexatrieno. Benzol. Fenilhidruro.

### 2.3.2.2 Descripción

El benceno es un líquido incoloro, volátil, con olor dulce a esencias. Es soluble en éter, nafta y acetona. También se disuelve en alcohol y en la mayoría de los solventes orgánicos. La gran mayoría del benceno producido en el mundo se deriva de las industrias petroquímicas y de refinación de petróleo.

### 2.3.2.3 Propiedades físicas

Propiedad	Valor
Peso Molecular (g/mol)	78,11
Punto de Ebullición (°C)	80,1
Punto de Fusión (°C)	5
Presión de Vapor (mmHg a 20° C)	75
Densidad del Vapor (Aire = 1)	2,7
Solubilidad en agua	insoluble
Viscosidad(mPa·s a 20 °C)	0,652

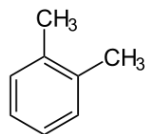
*Fuente: IPCS y CE, 2005, BENCENO.*

## 2.3.3 o-Xileno

### 2.3.3.1 Identidad de la sustancia química

- Formula molecular:  $(C_6H_4)(CH_3)_2$

- Estructura molecular:



- N° CAS: 95-47-6
- Sinónimos: 1,4-dimetilbenceno; o-Metiltolueno; 1,2-Xileno; o-Xilol.

### 2.3.3.2 Descripción

Como sus otros isómeros, su estructura molecular está conformada por un anillo bencénico alquilado con dos grupos metílicos. Tiene un uso extenso para producir anhídrido ftálico, el cual a su vez es un plastificante empleado en la fabricación de PVC. Se emplea como intermediario químico para producir diferentes tipos de resinas, se utiliza como solvente en la industria de las pinturas y como vehículo en los insecticidas. Por lo tanto, las aplicaciones más comunes son la síntesis de anhídrido ftálico, de colorantes, plastificantes del PVC, en la elaboración de resinas poliéster y alquídicas (pinturas y barnices), insecticidas, carburantes para motores, y otros.

### 2.3.3.3 Propiedades físicas

**Tabla 2-6:** Propiedades físicas de o-xileno.

Propiedad	Valor
Peso Molecular (g/mol)	106,16
Punto de Ebullición (°C)	144,41
Punto de Fusión (°C)	-25
Presión de vapor ( mmHg a 25°C)	6,8
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1
Solubilidad en agua	Miscible en alcohol, éter y acetona.

Fuente: YPF FDS, o-Xileno.

### 2.3.4 Mezcla de xilenos

#### 2.3.4.1 Identidad de la sustancia química

- Nombre químico: Xileno
- Nombre comercial: Xileno mezcla

**Tabla 2-7:** Composición/Información sobre los componentes

Composición general: Xileno, mezcla isómeros.	
Principales componentes	Rango
Xileno, mezcla de isómeros. CAS N°: 1330-20-7	75 -85 %
Etilbenceno. CAS N°: 100-41-4	10- 15%
Tolueno CAS N°: 108-88-3	1 - 5%

Fuente: YPF FDS, Mezcla de xilenos.

#### 2.3.4.2 Descripción

Denominado también Xilol, es una mezcla de isómeros del xileno (m-, p- y o-xileno), y etilbenceno. Son hidrocarburos aromáticos de C8, principalmente m-xileno, etilbenceno, y p-xileno, ya que o-xileno ha sido en mayor proporción separado en el proceso. Es utilizado en formulaciones de gasolinas para aviación, de thinners, para elaboración de revestimientos protectores, agroquímicos, y otros. Y constituye un buen disolvente para resinas alquídicas, lacas, esmaltes, cementos de caucho.

### 2.3.4.3 Propiedades físicas

Propiedad	Valor
Peso Molecular (g/mol)	106.18
Punto de Ebullición (°C)	138,5
Punto de Fusión (°C)	-47,87
Presión de vapor (mmHg a 21°C)	6,72
Densidad (g/ cm <sup>3</sup> a 20°C)	0,864
Solubilidad en agua	Miscible en alcohol, éter y acetona.

Fuente: YPF FDS, Mezcla de Xilenos.

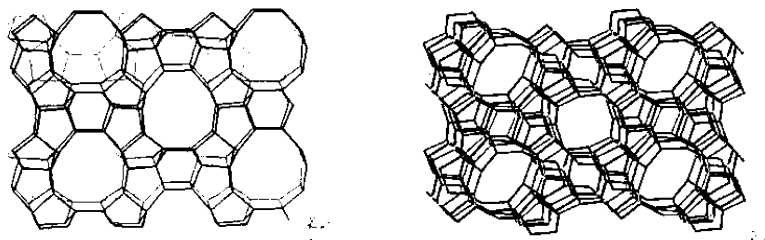
## 2.4 Catalizador

### 2.4.1 Zeolitas

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos microporosos cuya estructura tridimensional está construida de unidades tetraédricas de (Si<sup>+4</sup>O<sub>4</sub><sup>-2</sup>) y (Al<sup>+3</sup>O<sub>4</sub><sup>-2</sup>). Cada tetraedro se une a través de sus átomos de oxígeno compartiéndolos con el siguiente tetraedro formando redes tridimensionales, en las que iones y moléculas pequeñas pueden entrar y salir a través de la red de la zeolita, de esta manera puede ser separado de acuerdo a su tamaño, por lo cual estos materiales son conocidos como mallas moleculares. Al deshidratar las zeolitas queda una estructura porosa uniforme con canales cuyos diámetros varían de 3 a 10 Å. La forma y tamaño de los poros dependen principalmente del tipo particular de zeolita, del tipo de catión presente y del tratamiento térmico al que se les somete. Las zeolitas son objeto de interés desde hace tres décadas por su alta actividad y selectividad en una gran variedad de reacciones. En muchos casos la selectividad está asociada con la estructura del poro, lo cual permite que solamente ciertas moléculas penetren en el interior del catalizador o que solamente ciertos productos puedan escapar de su interior. Teniendo en cuenta la relación superficial y difusión a través de los poros, se llegó a la conclusión de que la estructura porosa afecta a la energía de activación. El efecto de la estructura porosa se relaciona con los catalizadores que actúan selectivamente en función de la geometría de su estructura y las dimensiones de las moléculas del reactante. (Obregón Guerra et al. 2004)

#### 2.4.1.2 Zeolita ZSM-5

La zeolita sintética ZSM-5 tiene un sistema de canales con abertura elíptica de 0.51 x 0.57 nm interconectados en zigzag por canales con sección transversal circular de aproximadamente 0.54 nm de diámetro. El tamaño del poro abierto de la zeolita ZSM-5 es comparable al tamaño de las pequeñas moléculas orgánicas, el p-xileno puede adsorberse o formarse adentro de los poros abiertos. En la figura 2-2 se representa la zeolita sintética ZSM-5. (Obregón Guerra et al., 2004).



**Figura 2-2:** Estructura de zeolita sintética ZSM-5.  
*Fuente: Obregón Guerra et al., 2004.*

La selectividad de la reacción sobre ZSM-5 se debe a la diferencia en la velocidad de difusión de los distintos isómeros a través de los canales. Esto se confirma por la observación de que la selectividad aumenta con la temperatura, lo que indica la importancia creciente de la limitación de difusión. La velocidad de difusión del p-xileno es aproximadamente 1000 veces mayor que la de los otros dos isómeros. El m-xileno y o-xileno no caben fácilmente en los poros y por lo tanto no se pueden difundir a lo largo de ellos. Los xilenos se isomerizan dentro de los poros, y así el p-xileno se difunde hacia fuera mientras los isómeros o- y m- quedan atrapados y tienen más tiempo para convertirse. Se ha obtenido una conversión selectiva a p-xileno de hasta 97% con un tratamiento adecuado del catalizador. (*Vizcaino, 1998*).

Esta importante característica constituye un factor clave en la decisión del proceso adecuado a analizar, con el fin de la realización de este proyecto.

# **CAPÍTULO III**

## **ESTUDIO DE MERCADO**

## CAPÍTULO III: ESTUDIO DE MERCADO

### 3.1 Introducción

En el presente capítulo se lleva a cabo el estudio de mercado completo de la producción de p-xileno en Argentina, el cual se utilizará en su totalidad para la producción de ácido tereftálico. Para que el análisis de mercado de p-xileno sea económicamente viable, es relevante la integración de toda la cadena productiva, desde los aromáticos hasta el PET. De aquí, la necesidad de la vinculación con una planta de producción de ácido tereftálico, la cual no existe en Argentina, pero se deja el espacio para un entrelazamiento a futuro.

Por lo tanto, se analizarán la demanda y oferta de materias primas y productos del p-xileno a través de la desproporción selectiva de tolueno. Los objetivos a desarrollar, se enumeran a continuación:

1. Ratificar la existencia de una necesidad insatisfecha en el mercado, o la posibilidad de brindar un mejor servicio que el que ofrecen los productos existentes.
2. Determinar la cantidad de bienes o servicios provenientes de una nueva unidad de producción, que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a determinados precios.
3. Dar una idea al inversionista del riesgo que su producto corre de ser o no aceptado en el mercado. Una demanda insatisfecha clara y grande no siempre indica que pueda acceder con facilidad en ese mercado. Un mercado en apariencia saturado, indicará que no es posible vender una cantidad adicional a la que normalmente se consume. (*Urbina, 2013*)

Con este fin, el estudio de mercado se divide en tres partes:

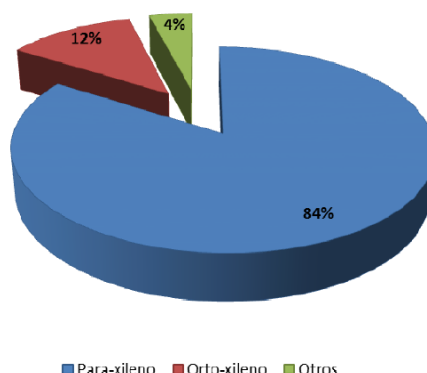
1. En la primera parte: se estudia el mercado de p-xileno y de ácido tereftálico a nivel nacional e internacional y se determina la demanda. Al mismo tiempo, se realiza un breve análisis de los subproductos obtenidos en el proceso de desproporción de tolueno.
2. En la segunda parte: se analizan las materias primas principales que se utilizan a nivel mundial para la elaboración de p-xileno (usando en todos los casos fuentes de información secundaria).
3. En la tercer y última parte: se realiza un estudio FODA como método para resumir las fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas del proyecto.

### 3.2 Análisis del producto

#### 3.2.1 Mercado mundial de p-xileno (PX) y ácido tereftálico (TPA).

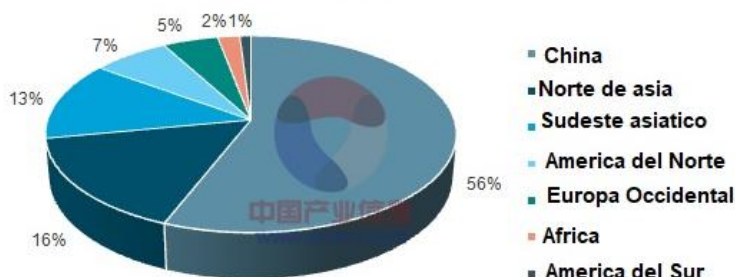
El PX es una sustancia química esencial para el proceso de fabricación de botellas de plástico de PET y fibra de poliéster. En general, el p-xileno se utiliza como materia prima para la fabricación de otros productos químicos industriales, en particular ácido tereftálico (TPA), ácido tereftálico purificado (PTA) y dimetil tereftalato (DMT). Los cuales se usan para la fabricación de poliésteres de tereftalato de polietileno (PET). Las botellas fabricadas de plástico PET son comúnmente utilizadas como recipientes para agua, gaseosas y otras bebidas por ser liviano, fuerte y resistente a los golpes. Además, ayuda a mantener la efervescencia en las bebidas carbonatadas, por poseer propiedades de barrera de dióxido de carbono. Otros usos del PET incluyen: recipientes para artículos de tocador, cosméticos y otros productos de consumo; telas para cortinas, tapicería y ropa, películas para radiografías, cintas magnéticas, películas fotográficas y de aislamiento eléctrico, envases de bolsas para hervir, para carnes procesadas, películas retráctiles y envases blíster. (*ChemicalSafetyFacts.org*).

El PX se considera el isómero más importante de la fracción C8 alquilaromáticos. La demanda porcentual del PX entre los otros isómeros del xileno, se muestra en la gráfico 3.1, a continuación:



**Gráfico 3.1:** La información corresponde al promedio de la demanda mundial de isómeros de xileno. Fuente: *Boletín Informativo IPA nº 83. 2016.*

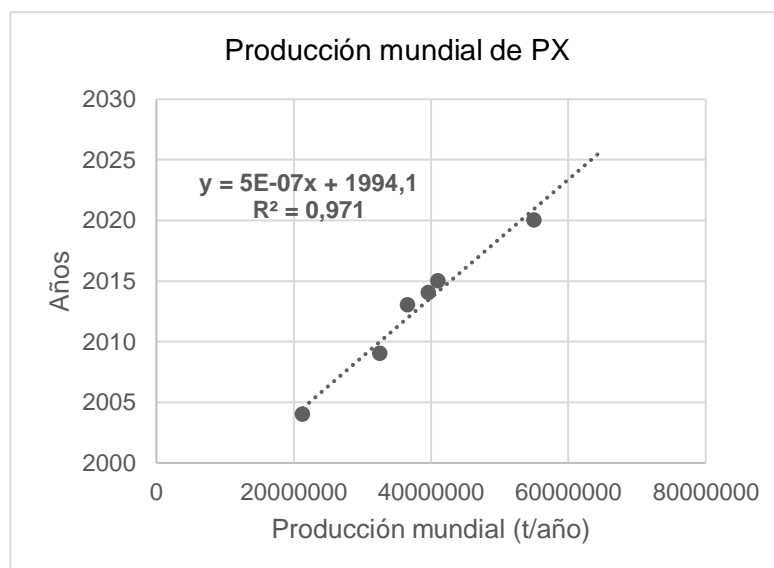
La demanda estable de los fabricantes de poliéster es el impulsor principal de la demanda de PX. En el gráfico 3.2 se observa la estadística en porcentajes de los mayores consumidores del PX. Nótese que China representa más de 55% de la demanda total mundial de este producto.



**Gráfico 3.2:** Demanda mundial de PX. Fuente: *Análisis de tendencias de desarrollo de la industria p-xileno de China. 2017.*

En el gráfico 3.3 se muestra la producción mundial de PX y posterior regresión a 10 años tomado 2018 como año de partida obteniendo un ajuste del 97,1 %.

Se observa una clara tendencia lineal creciente, lo que demuestra que la producción mundial de PX registrará un crecimiento notable.  
De acuerdo a diferentes consultoras internacionales, la demanda global crecerá a una tasa compuesta anual, que variará del 5,8 al 6,8% durante el período 2015-2020. (Boletín Informativo IPA nº 83 - 2016)



**Gráfico 3.3:** Producción mundial de PX.  
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.1a:** Recolección de datos de producción de PX a nivel mundial.

Año	Producción mundial (t/año)
2004	21306000
2009	32550000
2013	36560000
2014	39620000
2015	41000000
2020	55000000

**Tabla 3.1b:** Proyección a 10 años de la producción de PX mundial.

Año	Producción mundial (t/año)
2018	47800000
2019	49800000
2020	51800000
2021	53800000
2022	55800000
2023	57800000
2024	59800000
2025	61800000
2026	63800000
2027	65800000
2028	67800000

*Fuente: Elaboración propia*

Tal como se ha indicado previamente, la demanda de PX como insumo difundido en las materias primas, seguirá creciendo a altas tasas. La explicación está dada por la creciente demanda de fibras poliéster en los países asiáticos.

Asia es el gran motor del crecimiento en fibra poliéster, el 85% de la demanda mundial se concentra en este continente.

Por otro lado, en América del Norte y Europa, la producción de fibra de poliéster se ha estancado e incluso disminuido ya que parte de esta ha emigrado a Asia. Sin embargo,



esta disminución de consumo de PX para la producción de fibras poliésteres ha sido compensada por el fuerte crecimiento del mercado de PET para envases, que ahora representa más del 30% de la demanda global de poliéster debido a la sustitución de envases de vidrio por envases de plástico.

Si bien el lado oriente del mundo es el tractor mundial de consumo, el resto de las regiones presenta reducidas tasas de crecimiento.

La producción de p-xileno encuentra su mayor destino en la producción de ácido tereftálico. En América, la industria del TPA se concentra en unos pocos participantes, pero a nivel mundial es más diversificado con 43 productores y más de 99 instalaciones de producción, de las cuales aproximadamente 79% se encuentran en Asia.

Dentro de los principales productores a nivel mundial por orden de mayor capacidad instalada se encuentran Yisheng en China, BP en Reino Unido, Hengli en China, Reliance en India, FCFC en Taiwán, Sinopec en China, Mitsubishi en Japón y Alpek en México.

<b>Tabla 3.2: Principales jugadores mundiales de PTA (2015)</b>	
<b>Compañía</b>	<b>Capacidad instalada (miles de toneladas por año)</b>
Yinsheng (China)	13220
BP (RU)	7520
Hengli (China)	6450
Reliance (India)	4325
FCFC (Taiwán)	3425
Yuandong (China)*	3200
Sinopec(China)	2955
Mitsubishi (Japón)	2800
Alpek (México)**	2260
Indorama (Tailandia)	2213
Samsung (Corea)	2035
Lotte (Japón)	1150
*Cerró operaciones por banca rota en marzo 2015.	
** Alpek tiene una capacidad instalada real de 2250 mil toneladas, lo cual difiere de la cifra calculada por PCI.	

*Fuente: Opportimes. 2015.*

### 3.2.2 Situación actual de la producción de PX en América del Sur

La capacidad productiva de PX a nivel regional, se encuentra en el norte de Latinoamérica, México por medio de Pemex Petroquímica con una capacidad instalada de 280.000 t/año, aunque sin producción actual, Braskem en Brasil con una capacidad de 203.000 t/año y una producción de casi 185.000 t/año y YPF en Argentina con una capacidad productiva de 40.000 t/año sin producción. Así entonces Latinoamérica muestra un balance negativo en su balanza comercial y productiva de dicho producto. (*Boletín Informativo IPA n° 83 - 2016*).

### 3.2.3 Mercado nacional de PX y TPA.

Según la Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina de IPA en el año 2016, los datos recolectados en las tablas 3.3 y 3.4 muestran la situación actual de producción de PX en Argentina, observándose producción nula de PX y la total importación de TPA como materia prima para la producción de PET.

<b>Tabla 3.3:</b> Situación actual de p-xileno.					
<b>P-XILENO</b>					
<b>Año</b>	<b>Producción(t)</b>	<b>Importación(t)</b>	<b>Exportación(t)</b>	<b>Consumo aparente (t)</b>	<b>Valor comercio exterior (U\$/t) FOB</b>
2006	37482	-	36254	1228	1101
2007	32467	-	34670	(2203)	1058
2008	2172	-	3995	(1823)	1041
2009	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-
<b>Productor</b>	<b>Localización</b>	<b>Capacidad instalada (t/año en 2015)</b>		<b>Proceso</b>	<b>Materias primas</b>
YPF SA	Ensenada (Bs As)	40000 (planta actualmente inactiva)		Arco	Nafta cruda
<b>Estructura del mercado local en 2015 (%)</b>					
No hay consumo					

<b>Tabla 3.4:</b> Situación actual de ácido tereftálico.					
<b>ÁCIDO TEREFTÁLICO</b>					
<b>Año</b>	<b>Producción(t)</b>	<b>Importación(t)</b>	<b>Exportación(t)</b>	<b>Consumo aparente (t)</b>	<b>Valor comercio exterior (U\$/t) FOB</b>
2006	-	172839,00	-	172839,00	-
2007	-	172900,00	-	172900,00	-
2008	-	173050,00	-	173050,00	-
2009	-	173200,00	-	173200,00	-
2010	-	174400,00	-	174400,00	-
2011	-	175328,00	-	175328,00	-
2012	-	177500,00	-	177500,00	-
2013	-	179000,00	-	179000,00	-
2014	-	179494,00	-	179494,00	-
2015	-	180100,00	-	180100,00	-
2016	-	179800,00	-	179800,00	-
<b>Productor</b>	<b>Localización</b>	<b>Capacidad instalada (t/año en 2015)</b>		<b>Proceso</b>	<b>Materias primas</b>
No hay					
<b>Estructura del mercado local en 2015 (%)</b>					
Politereftalato de etileno			100		

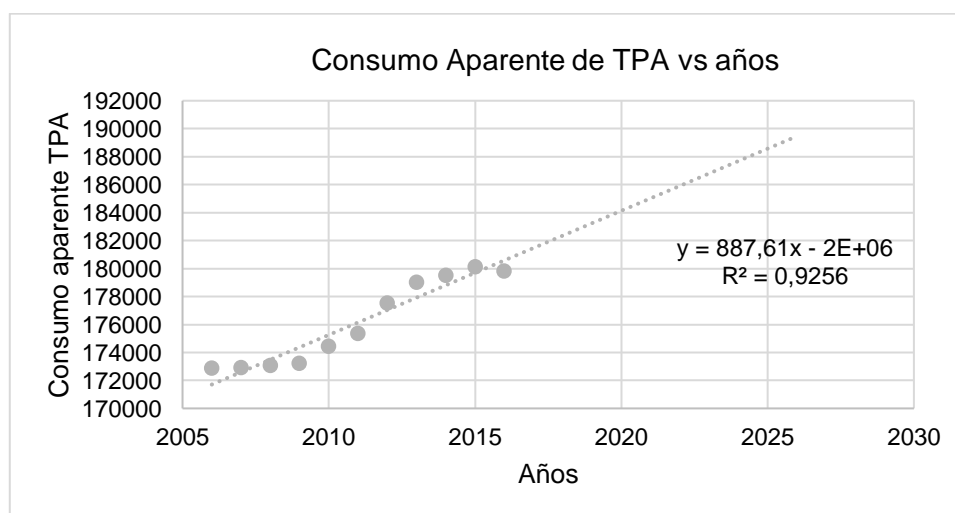
Fuente: IPA 2016

El ácido tereftálico es la materia prima fundamental en la producción de PET. Actualmente, en nuestro país, el 100% de éste es importado. Y la producción nacional de PET se encuentra en una demanda crecientemente exponencial.

El objetivo del Plan Estratégico Industrial 2020 (PEI 2020) es promover un crecimiento promedio anual del 5% de la economía desde 2010 hasta 2020, hoy las expectativas de crecimiento es de 3% anual, de este modo el análisis se extiende hasta el año 2025. (IPA 2025). Durante este análisis se tienen en cuenta diversos sectores productivos, entre ellos el químico y petroquímico. En ellos las premisas son producir insumos intermediarios para el sector industrial, y el aprovechamiento de los recursos naturales agregándoles valor (gas y petróleo). Los nuevos productos que se incorporarían a la producción nacional serían ácido tereftálico (PTA), p-xileno (PX), aminas, etilenglicol (EG) y óxido de etileno (OE), y se ampliarían las capacidades productivas existentes de productos como polietilenos, polipropileno (PP) y politereftalato de etilo (PET), entre otros.

En particular se espera sustituir las más de 180.000 t/año de PTA que hoy se importan, a través de la creación de plantas industriales que se abastecerán de productos elaborados localmente, entre ellos el p-xileno (PX) y etilenglicol (EG).

El gráfico 3.4 muestra la proyección de importaciones de TPA en Argentina desde 2015 a 2028. Los datos desde los años 2006 a 2015 son obtenidos de IPA 2016. Y la proyección se realiza a 10 años, hasta el año 2028.



**Gráfico 3.4:** Proyección a 10 años de importaciones de TPA en Argentina.  
*Fuente: Elaboración propia.*

Estas proyecciones tienen una relación directa con la producción de p-xileno. **Nuestro proyecto se origina en el pensamiento de proporcionar la materia prima fundamental para lograr el ácido tereftálico.**

Conocer que la proyección de importaciones de ácido tereftálico es, claramente, creciente; indica que es suficiente justificación para la creación de tales plantas productivas en Argentina. Tal como lo propone el Plan Estratégico Industrial 2020.

Con respecto a PX, en Argentina, sólo en 2007, YPF tuvo una capacidad productiva de 40000 t/año, pero esto no fue suficiente para competir a nivel internacional.

### 3.3 Análisis de subproductos

En el proceso de desproporción selectiva de tolueno para producir p-xileno, se generan subproductos como el benceno, o-xileno y mezcla de xilenos debido a la etapa de separación. En esta sección realizamos un breve análisis de subproductos.

#### 3.3.1 Benceno

El benceno es un líquido claro, incoloro, y volátil, con un olor aromático característico. Industrialmente, se lo obtiene del reformado. (YPF)

La tabla 3.5 indica las características fundamentales de un producto óptimo para comercializar.

Análisis	Especificaciones
Aspecto	Líquido claro, libre de sedimentos
Pureza mínima (% en peso)	99,8

Fuente: YPF

Se lo utiliza en la química básica, generalmente como materia prima para la elaboración de diversos productos: fenol, ciclohexano, estireno, detergentes sintéticos, derivados clorados, anhídrido maleico y colorantes. También, en la elaboración de adhesivos, laminados y caucho sintético. Es importante aclarar su alto riesgo para la salud y el medio ambiente. (YPF)

En la tabla 3.6 se muestra la estructura del mercado local según el reporte de Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina de IPA 2016.

Etilbenceno	77
Ciclohexano	7
LAB	16

Fuente: IPA 2016

Y en conjunto con lo anterior, la tabla 3.7 muestra un panorama general de empresas potencialmente consumidoras de benceno por ser materia prima de sus productos principales.

Empresa	Localización	Principal producto
Petrobras Argentina S.A.	Pto. Gral. San Martín (Santa Fe)	Etilbenceno
CHAITAS	San Martín (Buenos Aires)	Cauchos

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.2 o-Xileno

Como sus otros isómeros, su estructura molecular está conformada por un anillo bencénico alquilado con dos grupos metílicos. Es un líquido claro e incoloro que ha sido separado por su punto de ebullición del m- y p-xileno en el proceso de destilación. Las características fundamentales para su comercialización se ven en la tabla 3.8:

Análisis	Especificaciones
Aspecto	Líquido claro, libre de sedimentos
Pureza mínima (% en peso)	98

o-Xileno se utiliza en la síntesis de anhídrido ftálico, de colorantes, plastificantes del PVC, en la elaboración de resinas poliéster y alquídicas (pinturas y barnices), insecticidas, carburantes para motores, etc. (YPF)

A continuación se muestra la estructura local de o-xileno y las potenciales empresas consumidoras de éste, debido a ser materia prima de sus productos principales.

<b>Tabla 3.9:</b> Estructura del mercado local en 2015 (%)	
Anhídrido Ftálico	100%

Fuente: IPA 2016

<b>Tabla 3.10:</b> Empresas potencialmente consumidoras de o-xileno.		
<b>Empresa</b>	<b>Localización</b>	<b>Principal producto</b>
BARTECO QUIMICA PUNTANA S.A.	San Lorenzo (Santa Fe)	Anhídrido Ftálico

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Mezcla de xilenos

Denominado también Xilol, es una mezcla de isómeros del xileno (m-, p- y o-xileno), y etilbenceno. Son hidrocarburos aromáticos de C8, principalmente m-xileno, etilbenceno, y p-xileno, ya que o-xileno ha sido separado en el proceso. (YPF)

La tabla 3.5 indica las características fundamentales de un producto óptimo para comercializar.

<b>Tabla 3.11:</b> Especificaciones de mezcla de xilenos.	
<b>Análisis</b>	<b>Especificaciones</b>
Aspecto	Líquido claro, libre de sedimentos
Rango de composición (%)	
Xileno, mezcla de isómeros	75-85
Etilbenceno	10-15
Tolueno	1-5

Fuente: YPF

La mezcla de xilenos es utilizada en formulaciones de gasolinas para aviación, de thinners, para elaboración de revestimientos protectores, agroquímicos. Constituye un buen disolvente para resinas alquídicas, lacas, esmaltes, cementos de caucho y otros.

La tabla 3.12 muestra la estructura de mercado local y la tabla 3.13 muestra las empresas potencialmente comprados de esta materia prima.

<b>Tabla 3.12:</b> Estructura del mercado local en 2015 (%)	
Solventes/Combustibles	100%

Fuente: IPA 2016

<b>Tabla 3.13:</b> Empresas potencialmente consumidoras de o-xileno.		
<b>Empresa</b>	<b>Localización</b>	<b>Principal producto</b>
INDUR	Boulogne (Buenos Aires)	Resinas sintéticas

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Análisis de materias primas

Para la producción de p-xileno es necesario y fundamental como materia prima el tolueno.

#### 3.4.1 Estudio de mercado del tolueno

El tolueno es un líquido transparente, con olor aromático característico. Generalmente se produce junto con el benceno, los xilenos y los aromáticos de C9, por reformado catalítico de la nafta, separándose luego por fraccionamiento. Es el solvente hidrocarbonado con más fuerte poder disolvente. Representa uno de los productos básicos de la industria petroquímica. El principal uso del tolueno es en la producción de otros aromáticos como benceno y xilenos. Otras aplicaciones son como solvente o en la preparación de solventes y en la formulación de gasolinas de alto octanaje. Uno de sus derivados de gran importancia económica es el TDI (disocianato de tolueno) cuyo uso radica en la fabricación de espumas flexibles de aplicación para colchones y muebles.

El abordaje de la industria mundial de producción de tolueno se muestra en la tabla 3.14, a continuación:

<b>Tabla 3.14:</b> Abordaje de la industria mundial de producción de tolueno.	
<b>Compañía</b>	<b>Capacidad (miles de toneladas métricas)</b>
Dow	405
Exxon Mobile Corp.	2129
SABIC	216
Royal Dutch/Shell	1281
Lyondell	579
SINOPEC	1522

Fuente: Anexo 5 Abordaje de la Industria Mundial; Producción máxima global año 2006 – Industria Petroquímica Básica

En Argentina, el consumo aparente es, en mayor medida, de los productos etileno y amoniaco. Le siguen tolueno, benceno y metanol. En el año 2010 el consumo de los productos amoniaco, l-buteno, metanol, sulfuro de carbono, tolueno, o-xileno y xilenos mezcla, fueron abastecidos en un 100% por la producción nacional. De esta manera, se puede notar que en la mayoría de los casos (exceptuando benceno, butadieno y p-xileno) la producción nacional alcanza a cubrir la demanda del país. Todos los productos básicos de la industria petroquímica son usados para manufacturar productos finales. (*Industria Petroquímica Básica. 2013*)

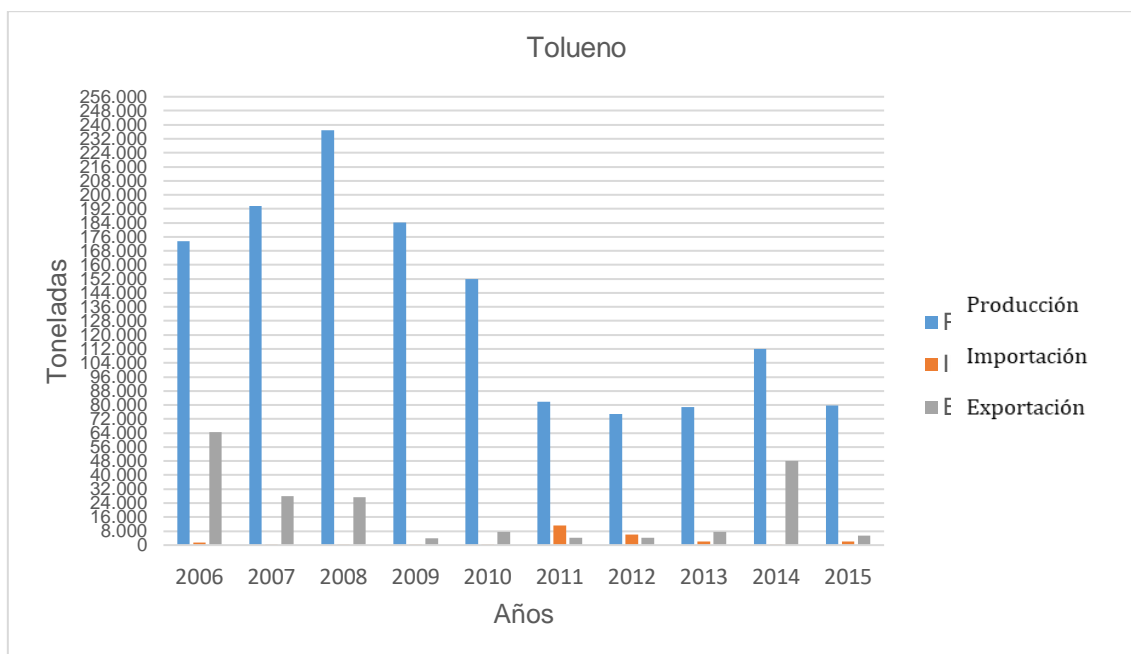
Se muestran según la Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina de IPA en el año 2016, los datos recolectados en la tabla 3.15.

<b>Tabla 3.15:</b> Situación actual de tolueno.				
<b>TOLUENO</b>				
<b>Año</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Importación (t)</b>	<b>Exportación (t)</b>	<b>Consumo aparente (t)</b>
2006	173390	1492	64652	110230
2007	193749	2	27883	165868
2008	236873	2	27385	209490
2009	184067	3	3951	180119
2010	152037	1	7606	144432

2011	81857	11107	4318	88646
2012	74985	5949	4098	76836
2013	78670	2199	4673	73196
2014	111908	3	48149	63762
2015	79638	2101	5513	76226

Fuente: IPA 2016

El gráfico 3.5 permite ver de forma más clara la comparación entre la producción, importación y exportación de metanol en la Argentina.



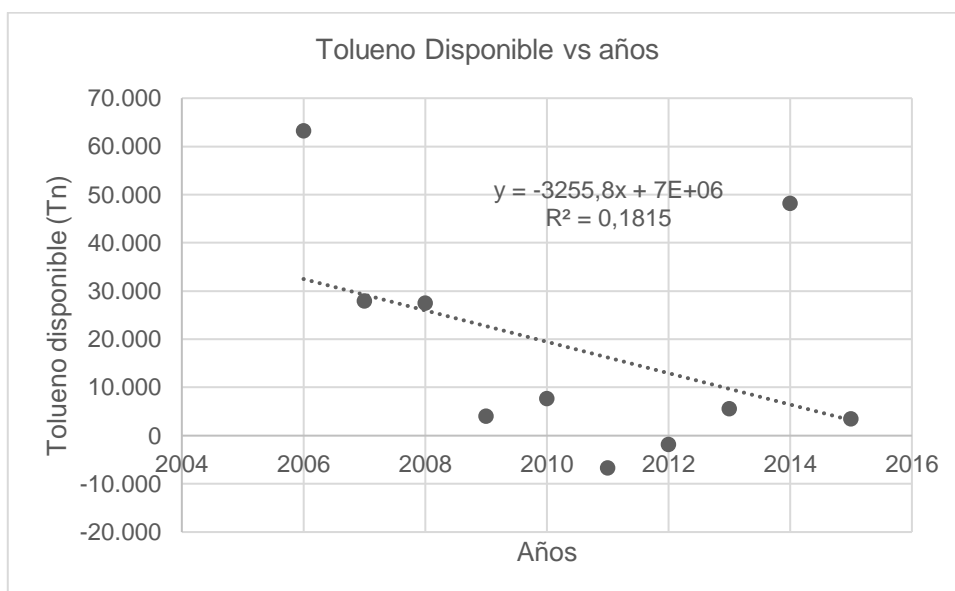
**Gráfico 3.5:** Producción, importación, exportación de metanol.  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, para calcular la disponibilidad de tolueno en el mercado local, se resta a la producción nacional con el consumo nacional aparente calculado. Tal como se realiza para el metanol.

$$\text{Disponibilidad Tolueno (DT)} = \text{Producción} - \text{Consumo}$$

Año	DT (t)
2006	63.160
2007	27.881
2008	27.383
2009	3.948
2010	7.605
2011	-6.789
2012	-1.851
2013	5.474
2014	48.146
2015	3.412

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 3.6:** Regresión de disponibilidad de tolueno.  
Fuente: Elaboración propia.

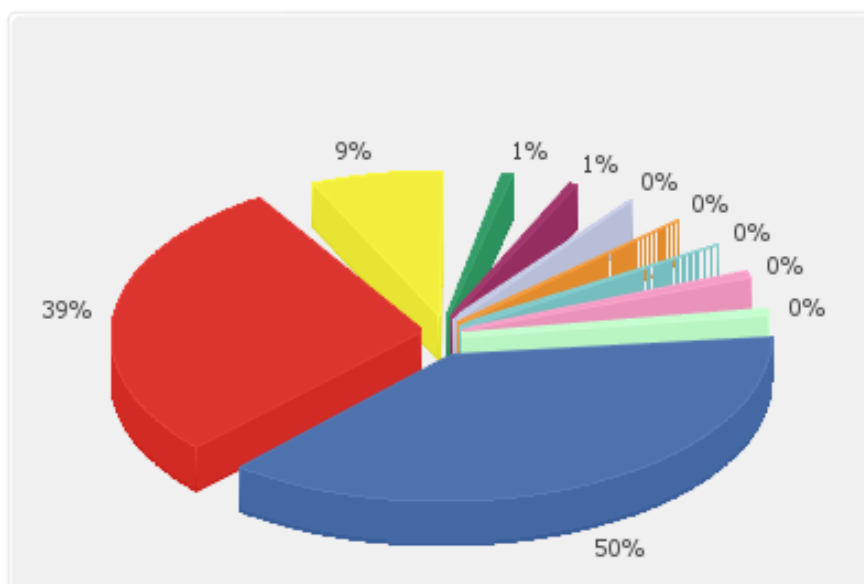
Como se distingue en la regresión del gráfico 3.6, la producción de tolueno no será satisfactoria para la realización de nuestro proyecto. Esto significa que será necesario importar.

En la tabla 3.17 se observa los lugares de procedencia del tolueno para importaciones a Argentina y su valor FOB.

Lugar de procedencia	Cantidad (kg)	Valor FOB (USD)
Alemania	8.149,03	99.424,96
Estados Unidos	9.778,96	77.016,58
México	4.598,56	18.037,59
Bélgica	105,42	1.685,58
Italia	196,00	1.041,13
Francia	107,00	606,33
Brasil	176,66	399,84
Suiza	12,01	174,77
España	13,92	95,25
Reino Unido	30,00	86,79

Fuente: Scavage.





**Gráfico 3.7:** Lugar de procedencia del tolueno.  
*Fuente: Scavage.*

Se concluye que la opción de lugar de procedencia más acertada, según las condiciones de nuestro proyecto, sería importar tolueno desde México, por ser el tercer mayor exportador de este compuesto luego de Alemania y Estados Unidos, y sin perder de vista la importancia de su ubicación formando parte de Latinoamérica.

### 3.5 Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual del objeto de estudio permitiendo obtener un diagnóstico preciso. En función de este diagnóstico, se tomarán decisiones acordes con los objetivos formulados.

A continuación, se presenta el análisis:

#### 3.5.1 Fortalezas

- Proceso productivo innovador.
- Existencia nula de producción de p-xileno y ácido tereftálico en Argentina.
- La tecnología y el Know-How tiene buenas posibilidades de acceso.
- Alto potencial en recursos humanos.
- Cercanía de materias primas tanto nacional como en Latinoamérica.

#### 3.5.2 Oportunidades

- Posibilidad de asociación con proveedores de materia prima.
- Posibilidad de asociación con empresas que tomen como materia prima nuestro producto.
- Única planta de producción del tipo en el país.
- Nuestro país y países importadores de p-xileno (mayormente Asia) presentan un marcado crecimiento en consumo de este producto.

#### 3.5.3. Debilidades

- Proceso productivo con deficiente investigación sobre el mismo.
- Aumentar el mercado interno.
- Utilización de la matriz energética argentina.
- Gran inversión inicial.

#### 3.5.4 Amenazas

- Situación económicamente inestable del país.
- Producción nacional a gran escala.
- Competencia de industrias extranjeras de excelente posición en el mercado.

# **CAPÍTULO IV**

## **LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL**

## CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL

### 4.1 Introducción

La localización adecuada de la planta industrial es un factor determinante para el éxito o fracaso del proyecto, por ello, la toma de decisiones obedece a criterios económicos y estratégicos con el fin de hallar la localización que maximice la rentabilidad del proyecto. Es necesario tener en cuenta dentro del futuro previsible, la continuidad en la suficiencia y la disponibilidad de los suministros necesarios, al mismo tiempo que su costo probable.

Para realizar el presente análisis se atiende a un primer paso seleccionador necesario, con el objeto de que las comparaciones finales minuciosas, se hagan entre un número pequeño de los sitios más prometedores, entre todos los posibles.

Un método útil para acortar el número de lugares posibles de ubicación de la planta, sobre los cuales hay que hacer un estudio final intenso, es el llamado procedimiento de cribado. Con este método pueden seleccionarse ya las regiones sobre las que se aplica un segundo método lógicamente semejante, pero algo distinto, para evaluar comparativamente los diferentes sitios y determinar las zonas sobre las que se intensificará el estudio. Este es el llamado método de puntuaciones ponderadas.

La producción de p-xileno como materia prima para la producción de ácido tereftálico (TPA) supone una planta industrial del orden de petroquímica, por lo tanto, su ubicación se acota bastante dentro del territorio de la Argentina. Los métodos de selección no son llevados a cabo en detalle debido a lo expuesto en estas palabras.

Este tipo de plantas industriales se encuentran dentro de la clasificación de industrias secundarias, las cuales utilizan materiales ya tratados para someterlos a un proceso adicional y se establecen en zonas industriales bien desarrolladas que ofrecen buenas posibilidades para obtener todos los insumos necesarios y una buena distribución de sus productos.

## 4.2 Macro localización

Es el estudio de localización que tiene como propósito, encontrar la región más ventajosa para el proyecto. Determinando sus características físicas e indicadores socioeconómicos más relevantes, es decir, cubriendo las exigencias o requerimiento del proyecto, destacando ventajas y desventajas de las distintas regiones.

Entre los factores a considerar, para la localización óptima de la planta productora se encuentran:

1. Disponibilidad de materia prima.
2. Disponibilidad de zonas de consumo.
3. Disponibilidad de medios de transporte.
4. Disponibilidad de parques industriales.

### 4.2.1 Disponibilidad de materia prima

Tomando como materia prima esencial al tolueno se puede observar en la Tabla 4-1 la localización de las plantas elaboradoras. Se verifican las ubicaciones en el centro del país, entre las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. (*Anuario Petroquímico Latinoamericano*)

<b>Tabla 4-1: Localización de plantas industriales elaboradoras de tolueno</b>		
<b>TOLUENO</b>		
<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad (t/año)</b>
Petrobras	Santa Fe	150000
YPF	Bs As	175000

*Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano. 2013-2014.*

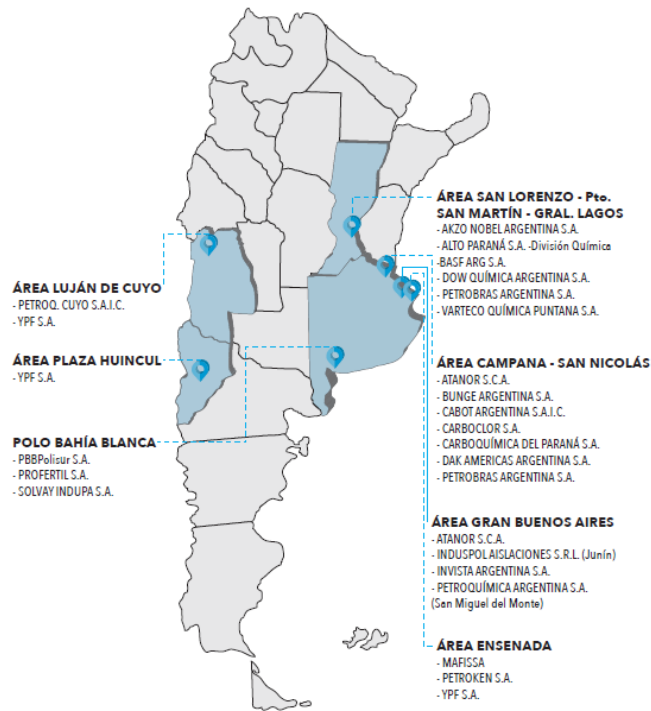
### 4.2.2 Disponibilidad de zonas de consumo

Siendo el p-xileno la materia prima del ácido tereftálico (TPA) y por lo tanto, del politereftalato de etilenglicol (PET), las mismas serán las zonas mayoritarias de consumo. Debido a que actualmente no hay producción nacional de ácido tereftálico, los datos obtenidos se refieren a las plantas productoras de PET en Argentina. (*Anuario Petroquímico Latinoamericano*)

<b>Tabla 4-2: Localización de planta elaboradora de PET</b>		
<b>PET</b>		
<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad(t/año)</b>
DAK Américas	Bs As	185000
MAFISSA producción textil	Bs As	67525

*Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano. 2013-2014.*

Las figuras a continuación muestran la ubicación de plantas elaboradas de p-xileno, TPA y PET. Además de los polos petroquímicos más importantes. Nuestra especial atención se concentra en el polo petroquímico n° 2: Ensenada, Buenos Aires.



**Figura 4-1:** Mapa de áreas y plantas petroquímicas.  
*Fuente: La Industria Petroquímica Argentina. 2025.*



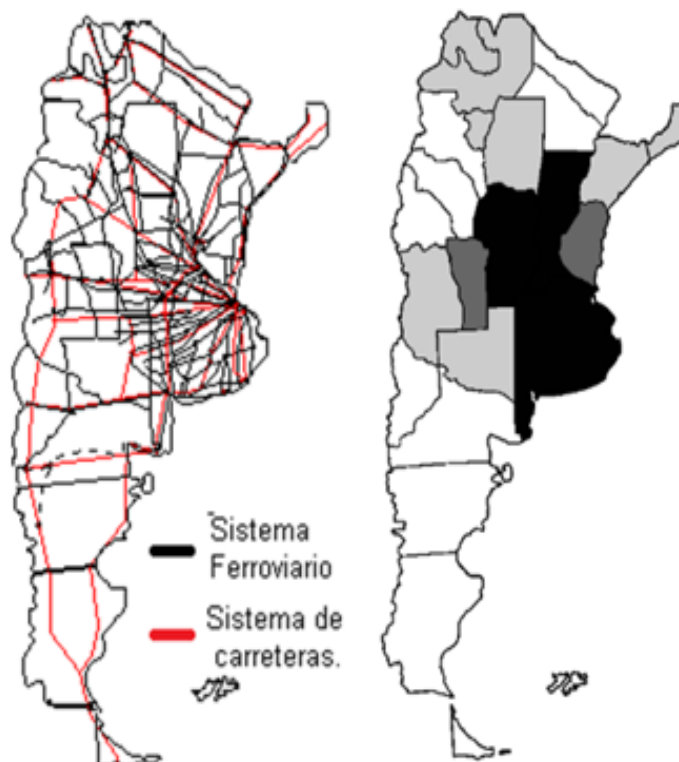
**Figura 4-2:** Mapa de polos petroquímicos.  
*Fuente: Conicet. Revista Petroquímica. 2016.*

#### 4.2.3 Disponibilidad de transporte

La mayor disponibilidad considerando las diversas alternativas, frecuencia, velocidad y capacidad de transporte se da en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, respectivamente, debido a la mayor concentración de las principales industrias del país quienes tienen la necesidad de un transporte eficiente.

Provincia	Nivel de transporte
Córdoba	Elevado
Santa Fe	Elevado
Buenos Aires	Elevado
Entre Ríos	Moderado
San Luis	Moderado
Tucumán	Moderado
La Pampa	Bajo
Jujuy	Bajo
Salta	Bajo
Mendoza	Bajo
Formosa	Bajo
Misiones	Bajo

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4-3:** Sistemas y zonas de disponibilidad de transporte.

Fuente: Ministerio de transporte.

Teniendo en cuenta los costos de transporte, es importante analizar las distancias necesarias para llevar la materia prima a la localización de la planta y las distancias para llevar el producto terminado a la zona de consumo.

**Tabla 4-4:** Distancias entre la zona a seleccionar con los centros de producción de materia prima y consumidores del producto terminado.

Provincia	Distancia a los abastecimientos de materia prima	Distancia al consumidor inmediato del producto terminado
Córdoba	Baja	Moderada – Baja
Santa Fe	Moderada	Baja
Buenos Aires	Elevada	Moderada
Entre Ríos	Moderada	Moderada
San Luis	Moderada	Elevada
Tucumán	Baja	Elevada

*Fuente: Elaboración propia.*

Es muy importante nombrar la zona costera nacional, donde se encuentran posicionados los puertos para transporte de importaciones y exportaciones.

Tipos de puertos:

- Puertos provinciales
- Puertos privados
- Puertos recreativos
- Puertos públicos
  - Puerto de Bahía Blanca
  - Puerto de Quequen
  - Puerto de Mar del Plata
  - Puerto de La Plata – Ubicación: Ensenada, Buenos Aires.
  - Puerto de San Pedro

El puerto La Plata se encuentra emplazado sobre la margen sud del estuario del Río de la Plata, a 10 km de la ciudad de La Plata y a 60 km ciudad de Buenos Aires. Está ubicado en la calle Gilberto Gaggino esquina Italia y Ortiz de Rosas, Ensenada. Las coordenadas de ubicación geográfica de este puerto, conforme al sistema de coordenadas WGS 84, son: 34° 52,00210' de Latitud Sud y 57° 53,99408' de Longitud Oeste.





**Figura 4-4:** Sistema Portuario Argentino.  
 Fuente: Cámara de puertos privados comerciales. (s.f.). Mapas.

#### 4.2.4 Disponibilidad de parques industriales

Los parques industriales son predios especialmente diseñados o adaptados para la radicación de industrias y servicios para la industria, respetando las particularidades regionales y los planes de desarrollo urbanos locales. Disponen de infraestructura y servicios comunes, favoreciendo el desarrollo de pequeñas y medianas empresas en el territorio nacional, así como la generación de empleo genuino (Débora Giorgi, Ministra de Industria, 2015).

En la actualidad, Argentina consta con 371 parques industriales a lo largo de su extenso territorio; donde la mayor concentración es en la zona central del país, principalmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba respectivamente.

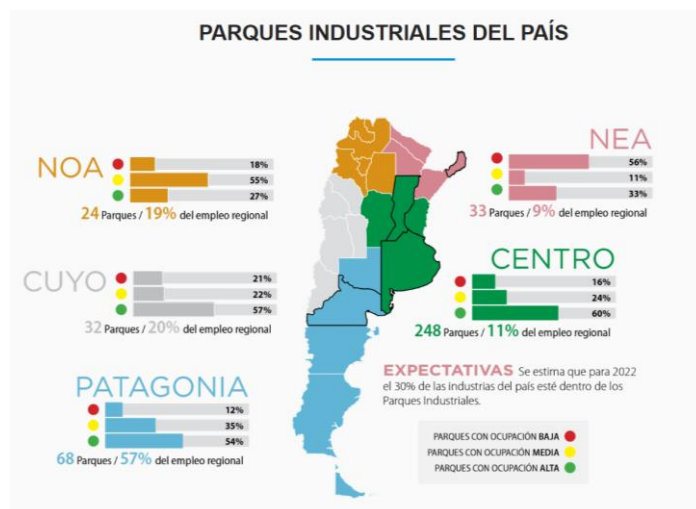
Estos parques industriales otorgan ciertas ventajas para localizar la planta, es decir las empresas se benefician de las ventajas propias de los agrupamientos industriales, como la infraestructura, la complementariedad productiva, la posibilidad de desarrollar economías de red que promuevan una mayor capacidad de innovación, absorción y difusión de nuevas tecnologías, al mismo tiempo, generan economías de escala que

facilitan la creación y acceso a políticas públicas, desarrollan mercados intermedios de producción y servicios y cuentan con mejores condiciones de seguridad.

**Tabla 4-5: Concentración de parques industriales en Argentina.**

Provincia	Nº de parques industriales
Buenos Aires	Alto
Santa Fe	Alto
Córdoba	Medio-Alto
Entre Ríos	Medio-Alto
Mendoza	Medio
Misiones	Medio
La Pampa	Bajo
Salta	Bajo
Chaco	Bajo
Tucumán	Bajo
San Juan	Bajo

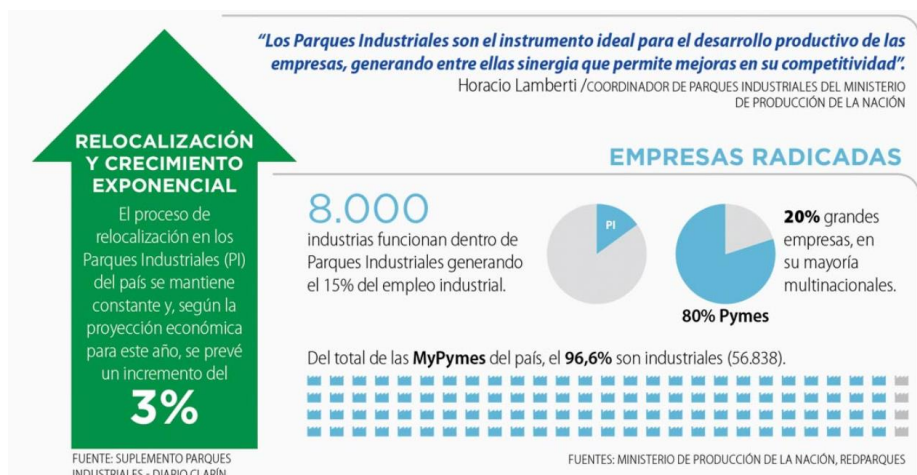
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4-5: Parques industriales en Argentina.**  
Fuente: Red parques, Desarrollo industrial argentino



**Figura 4-6: Parques industriales en Argentina.**  
Fuente: Red parques, Desarrollo industrial argentino



**Figura 4-7:** Parques industriales en Argentina.  
Fuente: Red parques, Desarrollo industrial argentino

### 4.3 Micro localización

Consiste en la selección específica del sitio o terreno que se encuentra en la región que ha sido evaluada como la más conveniente.

Para la toma de decisión de la localización de la planta de producción de p-xileno se tiene en cuenta factores económicos, factores geográficos, factores sociales y ambientales.

En una preselección de la localización se valora las zonas con petroquímica en Argentina. Estas están distribuidas principalmente en dos provincias: Buenos Aires y Santa Fe.

En estas provincias están radicadas varias empresas petroquímicas que se pueden observar en la tabla 4-6.

**Tabla 4-6:** Empresas petroquímicas distribuidas por zona en Argentina.

Provincia	Área	Empresa
Buenos Aires	Campana San Nicolás	ATANOR S.A
		Carbochlor S.A
		Cabot Argentina S.A.I.C
		Carboquímica del Paraná S.A
		Petrobras Energía S.A
		Voridian Argentina S.R.L
	Gran Buenos Aires	ATANOR S.A
		Induspol aislaciones S.R.L
		BASF Poliuretanos S.A
		Industrias Químicas CARBINOL SACIFIA
		Invista Argentina S.R.L
		PLAST SAICIF
	Ensenada	Petroquímica Argentina S.A
		MAFISSA
		Petroken S.A.
		YPF S.A
Polo Bahía Blanca	SNIAFA SAICF	
	PROFERTIL S.A.	

		SOLVAY INDUPA S.A.
Santa Fe	San Lorenzo – Pto. San Martin- GRAL. LAGOS.	ICI Argentina S.A.I.C
		BASF Argentina S.A.
		DOW QUÍMICA ARGENTINA S.A.
		LD Manufacturing S.A
		Petrobras energía S.A
Córdoba	Río Tercero	ATANOR S.A
		Fábrica militar Río III
		Petroquímica Río III S.A
Mendoza	Luján de Cuyo	Aislantes de Cuyo S.A
		Petroquímica Cuyo S.A.I.C
		YPF S.A
Neuquén	Plaza Huincul	NEUFORM S.A
		YPF S.A
San Luis	San Luis	RESIGNUM San Luis S.A

Fuente: Industria petroquímica en Argentina. ECYT- AR. (2015)

En primera medida se toma en cuenta las cercanías con refinerías y puertos debido al costo de transporte de la materia prima. Se valora cada una de estas áreas teniendo en cuenta la infraestructura disponible, energía, transporte, agua, desagüe, tratamiento de afluentes y efluentes, disponibilidad zonal de mano de obra, disponibilidad de materias primas y materiales, fuentes de combustibles y zona de despacho (puerto, trenes y carreteras).

Estos factores se dividirán en 11 principales y se ponderan en la siguiente tabla.

<b>Tabla 4-7:</b> Ponderación de factores relevantes para la localización de la planta.						
<b>Provincias</b>		Campana-San Nicolás	Gran Buenos Aires	Ensenada	Polo Bahía Blanca	San Lorenzo
<b>Factores</b>		<b>Ponderaciones</b>				
Materia Prima (9)*	Fuente de la MP	5	5	7	5	3
	Disponibilidad	8	8	9	8	5
	Importación	8	8	8	8	7
<b>Subtotal</b>		<b>189</b>	<b>189</b>	<b>216</b>	<b>189</b>	<b>135</b>
Mercado (5)	Cercanía de la demanda	8	7	6	6	10
	Costo de transporte	8	8	8	7	9
<b>Subtotal</b>		<b>80</b>	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>65</b>	<b>95</b>
Control Ambiental (8)	Legislación	8	8	8	6	9
	Afluentes	8	8	8	8	7
	Disección de Efluentes	9	9	9	9	7
	Disección de desperdicios	9	9	9	9	7
<b>Subtotal</b>		<b>328</b>	<b>312</b>	<b>328</b>	<b>328</b>	<b>312</b>
Energía eléctrica y combustible (8)	Disponibilidad	9	9	9	9	5
	Fuentes de energía	9	9	9	7	7
	Costo de energía	9	9	9	9	8
<b>Subtotal</b>		<b>216</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>200</b>	<b>168</b>

Factores de la comunidad (4)	Aspecto cultural	8	8	8	7	7
	Educación	9	9	9	9	9
<b>Subtotal</b>		<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>64</b>	<b>64</b>
Agua (8)	Disponibilidad	9	9	9	9	9
	Costo del suministro	9	9	9	8	7
<b>Subtotal</b>		<b>144</b>	<b>144</b>	<b>144</b>	<b>68</b>	<b>128</b>
Desarrollo del lugar y disponibilidad del terreno (7)	Características del terreno	8	8	8	8	9
	Disposición de espacio	8	6	7	8	10
	Costo del suelo	8	8	8	7	9
	Acceso a servicios	10	10	10	10	5
<b>Subtotal</b>		<b>238</b>	<b>224</b>	<b>231</b>	<b>231</b>	<b>231</b>
Condiciones climáticas (5)	Presión atmosférica	9	9	9	9	9
	Temperatura	9	9	9	7	9
	Altura	9	9	9	9	9
	Humedad	7	7	7	9	9
<b>Subtotal</b>		<b>170</b>	<b>170</b>	<b>170</b>	<b>170</b>	<b>180</b>
Comunicaciones (5)	Disponibilidad	9	9	9	9	7
<b>Subtotal</b>		<b>45</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>35</b>
Medio de transporte (8)	Hacia las fuentes de materias primas	9	9	9	9	8
	Hacia el mercado	8	8	8	7	10
<b>Subtotal</b>		<b>136</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>128</b>	<b>144</b>
Mano de obra (9)	Disponibilidad	10	10	10	9	7
	Calidad	10	10	10	10	10
	Costo	7	7	8	9	10
<b>Subtotal</b>		<b>306</b>	<b>306</b>	<b>315</b>	<b>315</b>	<b>324</b>
<b>Total</b>		<b>1920</b>	<b>1885</b>	<b>1939</b>	<b>1803</b>	<b>1816</b>

\*Los valores entre paréntesis corresponden al grado de importancia del factor según los integrantes.

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo a los aspectos mencionados y por el resultado obtenido a través de la ponderación de factores, la zona elegida para la localización de la planta de producción de p-xileno, es: **Ensenada, Buenos Aires.**

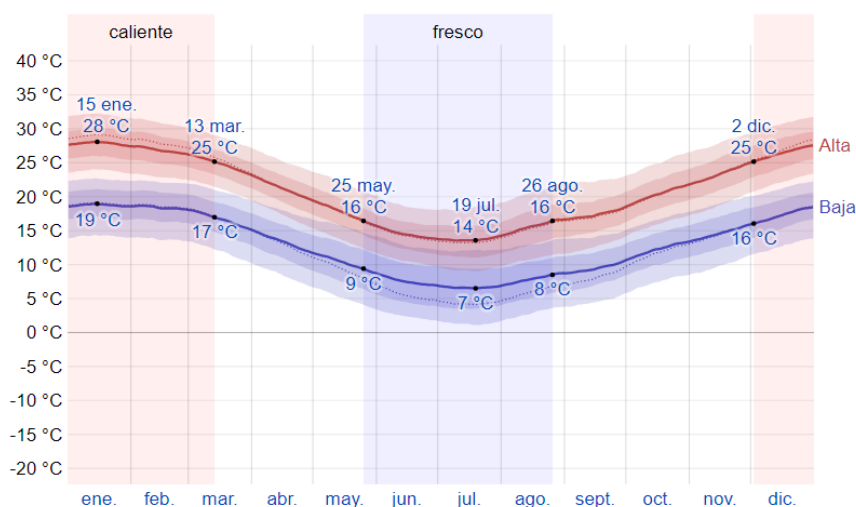
Siendo esta ciudad el segundo polo petroquímico más importante de Argentina, presenta disponibilidad de transporte elevado, distancia a los abastecimientos de materias primas cortas y muy favorables. Dentro de la ciudad se encuentra el puerto de La Plata, lo que constituye uno de los factores más importantes en la elección.

#### 4.3.1 Condiciones climatológicas: Ensenada.

Se presentan a continuación aspectos considerables con respecto a las condiciones climatológicas de la zona seleccionada.

- Temperatura

La temporada templada dura 3 a 4 meses siendo la temperatura máxima promedio diaria 25°C. La temporada fresca dura 3 meses y la temperatura máxima promedio diaria de 16°C.



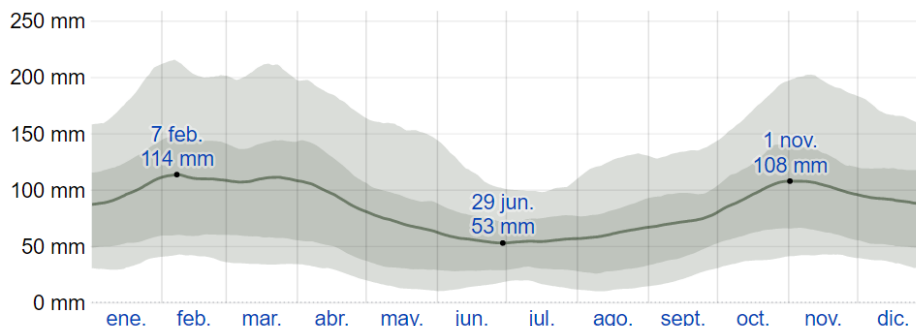
**Figura 4-8:** Temperatura máxima y mínima promedio. Ensenada, Buenos Aires.  
Fuente: Weather Spark. (s.f.). El clima promedio en Ensenada, Argentina.

- Lluvia

La figura siguiente muestra la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año.

Ensenada, tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación. La mayor cantidad de lluvia cae durante los 31 días alrededor del 7 de febrero, con una acumulación total promedio de 114 milímetros.

La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 29 de junio, con una acumulación total promedio de 53 milímetros.

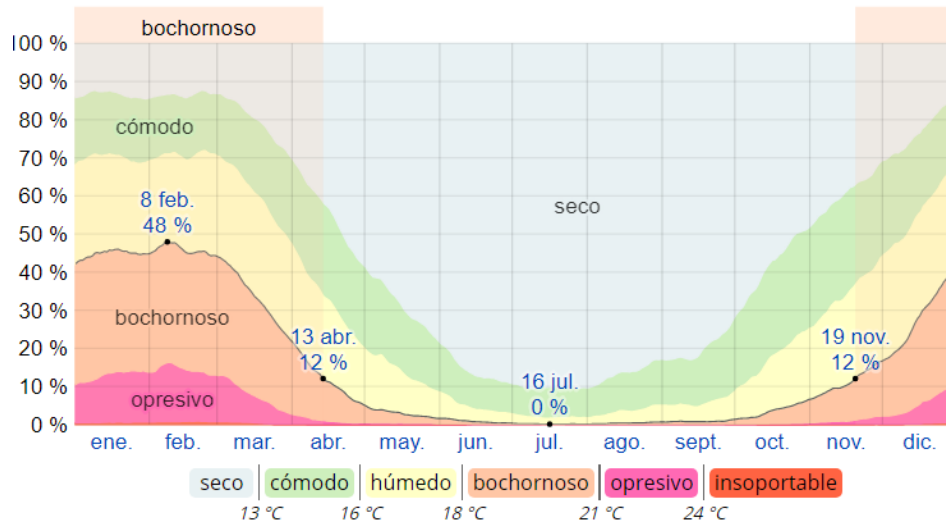


**Figura 4-9:** Precipitación de lluvia mensual promedio  
Fuente: Weather Spark. (s.f.). El clima promedio en Ensenada, Argentina.

- Humedad

El nivel de humedad se basa en el punto de rocío. Cuando los puntos de rocío son más bajos la sensación es fresca y cuando los puntos de rocío son altos la sensación es

húmeda. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente. En Ensenada, la humedad percibida varía considerablemente. El período más húmedo del año dura 4 a 8 meses.



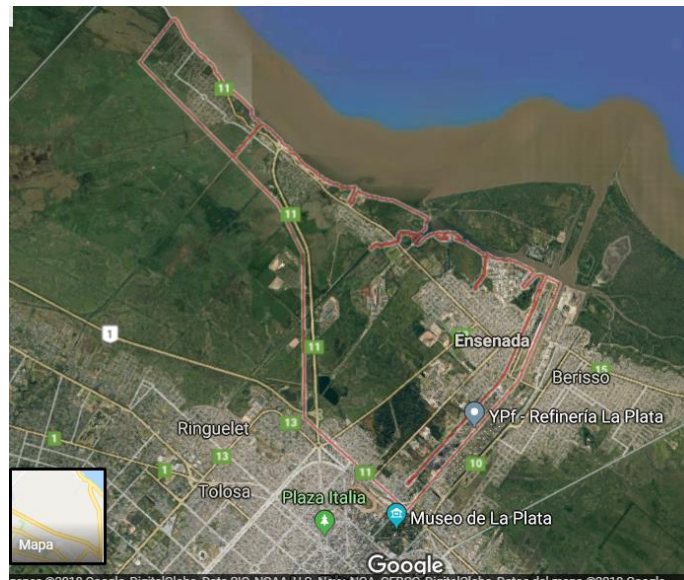
**Figura 4-10:** Niveles de humedad en Ensenada, Buenos Aires.  
Fuente: Weather Spark. (s.f.). El clima promedio en Ensenada, Argentina.

#### 4.3.2 Ubicación definitiva de la planta

En las figuras a continuación se pueden observar vistas satelitales de la ciudad de Ensenada, el consorcio industrial disponible, las hectáreas dentro de parques industriales para construcción, distancia entre parque industrial y puerto La Plata, dentro de la ciudad de Ensenada y algunas imágenes informativas del terreno elegido.



**Figura 4-11:** Vista satelital mapa de Ensenada  
Fuente: Google Maps.

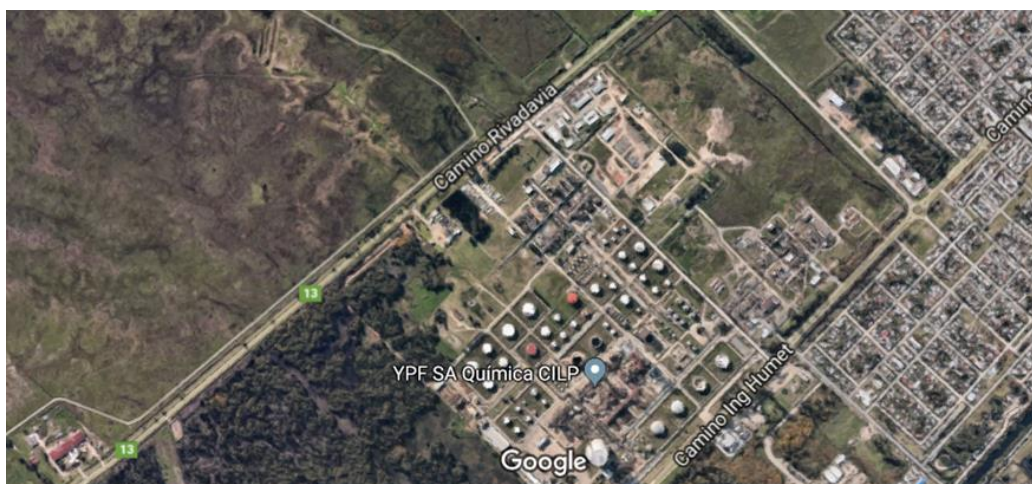


**Figura 4-12:** Vista satelital territorial de Ensenada, Buenos Aires.  
*Fuente: Google Maps.*



**Figura 4-13:** Mapa de la ciudad de Ensenada. Indicaciones del consorcio industrial.  
*Fuente: Google Maps.*



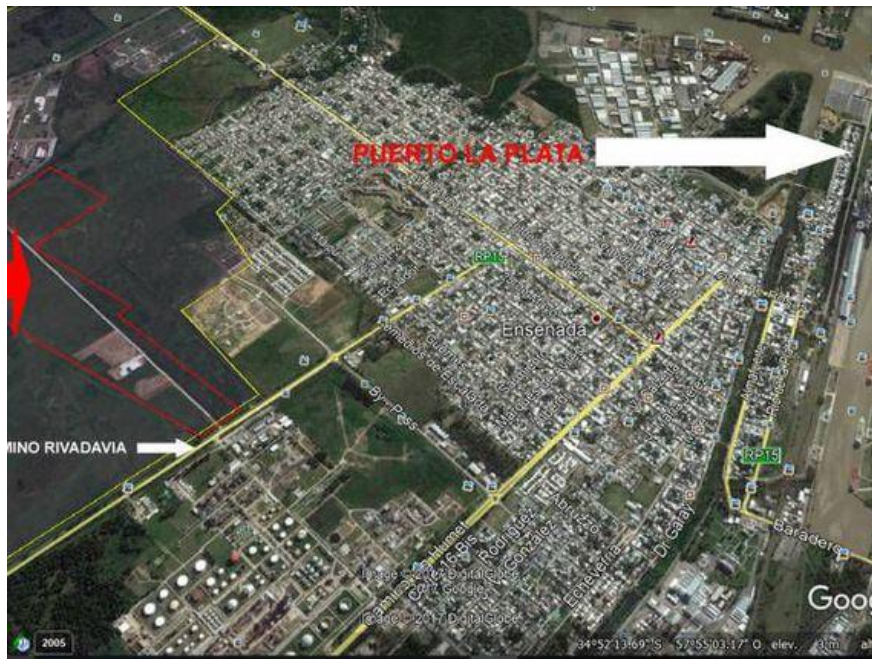


**Figura 4-14:** Mapa territorial de la ciudad de Ensenada.  
*Fuente: Google Maps.*



**Figura 4-15:** Hectáreas disponibles dentro de parque industrial para compra y construcción.  
*Fuente: Google Maps.*

Sobre la figura 4-13, se observa en rojo, el terreno elegido dentro del parque industrial para la localización de planta industrial productora de p-xileno. El predio total cuenta con 65 hectáreas cuyas medidas se encuentran entre 4.000 m<sup>2</sup> hasta 25.000 m<sup>2</sup>. El terreno elegido es de 10.000 m<sup>2</sup>. Su ubicación exacta es por entrada Camino Rivadavia (acceso principal a la ciudad de Ensenada) exactamente enfrente a la refinería de YPF (Polo industrial petroquímico), a solo 1.5 km de Ensenada, cercano a la zona franca y a La Plata. El acceso desde la autopista AU1, compartida con SIDERAR SA, es una entrada alternativa.



**Figura 4-16:** Distancia entre parque industrial y puerto La Plata dentro de la ciudad de Ensenada  
*Fuente: Google Maps.*

Las siguientes imágenes muestran el terreno disponible elegido.



**Figura 4-18:** foto real del terreno disponible elegido.  
*Fuente: Google Maps.*

#### 4.3.3 Infraestructura y servicios comunes

Todos los aspectos expuestos están verificados dentro del territorio elegido para la localización de la planta industrial. Estos son: energía eléctrica, agua, gas natural, acceso y red vial interna, comunicaciones, servicio de control y seguridad, red colectora de efluentes industriales y cloacales, desagües pluviales, pavimento.

Costo del territorio: Precio por m<sup>2</sup> U\$S 50. (Actualizado octubre 2018).

# **CAPÍTULO V**

## **CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA**

## CAPÍTULO V: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA

### 5.1 Introducción

A partir del estudio de mercado y de la localización de la planta elaboradora de p-Xileno del de este Proyecto Final de Grado, se pudo llegar a la conclusión de que existe un mercado propicio y atractivo y se realizó la proyección a futuro de este.

Esto sirve de referencia para la determinación del tamaño del proyecto ya que generalmente se toma la dimensión del mercado como variable más importante.

Cabe destacar las consideraciones llevadas a cabo para la realización de este. Debido a que el tamaño no debe responder a una situación de corto plazo, sino que debe adecuarse a las expectativas del crecimiento de la demanda, antes de continuar con el análisis de las posibilidades de cubrir el consumo, se establece el nicho de mercado que va a ocupar la planta productora de p-Xileno. Se dictamina, sentando en la base del capítulo de Localización, que el mejor nicho de mercado a satisfacer o intentar suplir con las necesidades, es el ubicado dentro de la provincia de Buenos Aires.

A continuación, se analiza la posibilidad de cubrir el consumo del mercado de interés proyectando a futuro.

### 5.2 Proyección de la producción óptima de la planta

Este proyecto se propone interrelacionado con una futura planta de producción de ácido tereftálico; tal como se nombra en la introducción del capítulo de estudio de mercado.

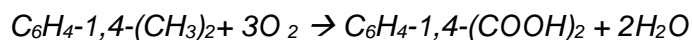
Ahora bien, se considera la proyección de consumo como una situación dinámica en el tiempo. Como se puede observar en los análisis del estudio de mercado, la demanda crece año tras año, y por lo tanto la producción deberá hacerlo al mismo ritmo. Al presentarse tal comportamiento de crecimiento no existe un tamaño óptimo de planta, sino una estrategia óptima de ampliación que puede definirse con anticipación.

El producto, p-Xileno, es materia prima fundamental para la producción de ácido tereftálico.

Recordando el análisis propuesto en el Estudio de mercado, el ácido tereftálico es importado en su totalidad en Argentina.

Se logra analizar a partir de los datos obtenidos de la Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina de IPA en el año 2016 la proyección a 10 años del consumo aparente de ácido tereftálico. Se decide 10 años de duración del proyecto a convención entre los integrantes y docentes tutores. Este intervalo de tiempo se estima bien considerado para el análisis técnico-económico de esta planta elaboradora.

La reacción química que causa la transformación de p-Xileno a ácido tereftálico es:



Teniendo en cuenta la relación estequiométrica molar entre los compuestos y los pesos moleculares de los mismos, se realizan los cálculos necesarios para encontrar la relación de consumo aparente de ácido tereftálico y p-Xileno necesario para cubrir la demanda.

Es relevante aclarar que el rendimiento de la reacción química es del 95%.

**Tabla 5-1:** Relación entre el consumo aparente de TPA (t) y p-Xileno necesario estequiométricamente para abastecer la demanda.

Año	Consumo aparente (t/año)	p-Xileno necesario (t/año)
2006	172839,00	110447,17
2007	172900,00	110486,15
2008	173050,00	110582,00
2009	173200,00	110677,85
2010	174400,00	111444,68
2011	175328,00	112037,68
2012	177500,00	113425,63
2013	179000,00	114384,16
2014	179494,00	114699,83
2015	180100,00	115087,08
2016	179800,00	114895,37
2017	181467,35	115960,84
2018	182354,96	116528,04
2019	183242,57	117095,23
2020	184130,18	117662,43
2021	185017,79	118229,63
2022	185905,40	118796,83
2023	186793,01	119364,03
2024	187680,62	119931,22
2025	188568,23	120498,42
2026	189455,83	121065,62
2027	190343,44	121632,82
2028	191231,05	122200,01

Fuente: IPA 2016 y elaboración propia.

Hasta el año 2017 los datos son proporcionados por IPA, a partir de 2018 se realiza la proyección a 10 años, es decir, hasta 2028.

Con la relación de pesos moleculares se calcula la columna de p-Xileno necesario para abastecer la demanda de ácido tereftálico.

A continuación, las regresiones en las siguientes gráficas.

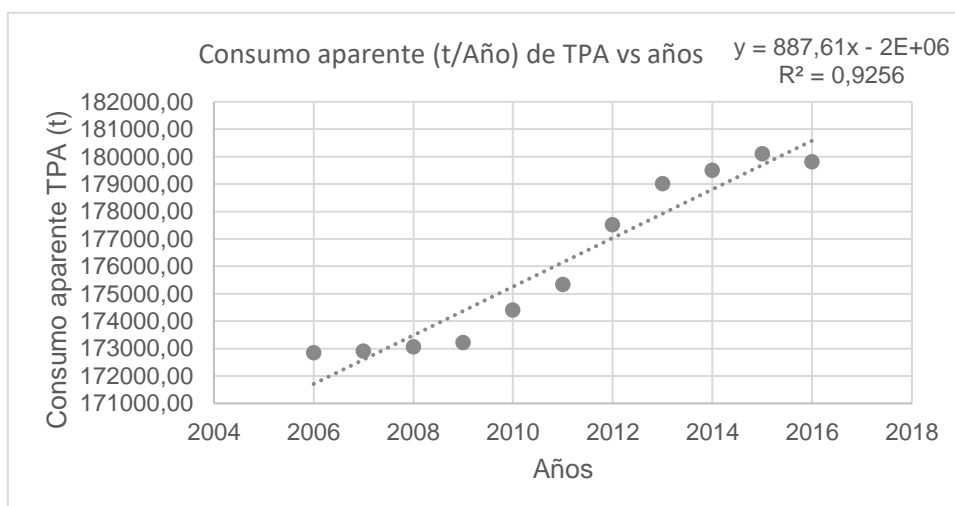


Gráfico 5.1: Consumo aparente (t/año) TPA vs años. Fuente: IPA 2016.

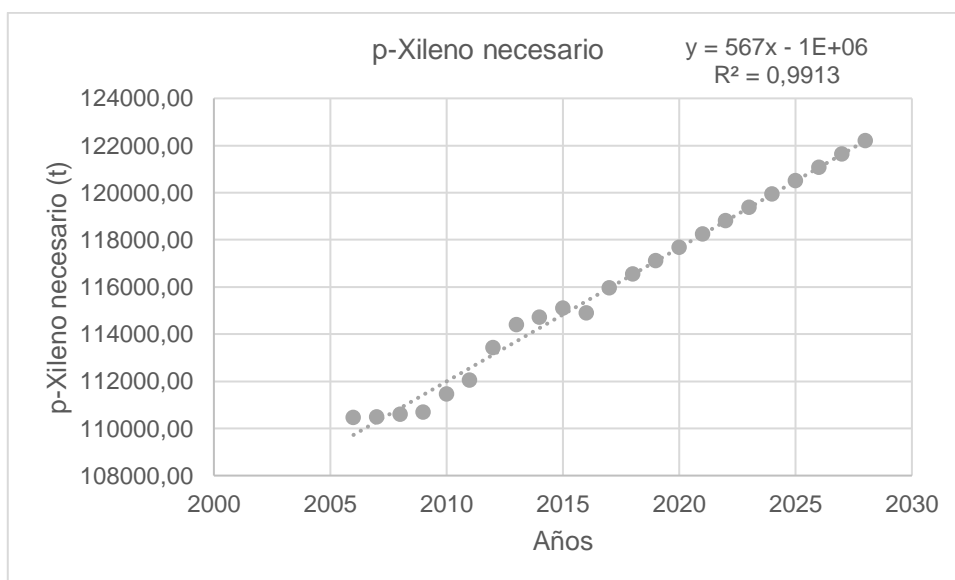


Gráfico 5-1: Regresión de p-Xileno necesario (t/año).  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Conclusión

Suponiendo que la planta de producción de ácido tereftálico, considerada como el nexo para que este proyecto avance económicamente, tendría una capacidad de 190000 t/año. Considerando que el rendimiento de la reacción es 95%, se calcula la capacidad de la producción de p-Xileno necesario, de la cual se abastecerá un 30%.

Se concluye, por lo tanto, que la capacidad máxima de la planta elaboradora de p-Xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno será de 128000 t/año del cual, como se nombra, se cubrirá el 30 % que corresponde a 38400 t/año.

# **CAPÍTULO VI**

## **DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO**

## CAPITULO VI: DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO

### 6.1 Introducción

En el presente capítulo se determina el proceso adoptado para la producción de p-xileno.

Para ello, se realiza una revisión de la bibliografía existente y se detallan todas las vías posibles para obtener este producto; se analizan las más factibles y se elige aquella que se considere más óptima. Luego se confecciona el diagrama de flujo del proceso completo.

#### 6.1.1 Obtención de p-xileno a partir del Reformado de Naftas – Boletín Informativo IPA N° 83.

En la cadena productiva, la producción del tereftálato de polietileno (PET) tiene su inicio en el isómero “para”, uno de los tres isómeros del xileno. Estos se pueden obtener a partir de diferentes materias primas, sin embargo, la fuente principal es el petróleo.

Materia Prima	Producto	Uso
Reformado de petróleo (7,7%) (95,4%)	Mezcla de Xilenos	o-xileno Anhidrido Ftálico
Pirolisis de nafta (4%)		p-xileno MDT/TPA (45,8%)
Carbón(0,2%)		m-xileno Acido isoftalico (2%)
Desproporción de tolueno (0,4%)		Solvente (5,2%)
		Mezcla en gasolinas y otros usos (39,3%)

**Figura 6-1:** Diferentes materias primas para la producción de PET.

*Fuente: Boletín Informativo IPA n° 83.*

A partir de la destilación fraccionada primaria del petróleo se obtiene una mezcla de compuestos de diferentes puntos de ebullición y composiciones.

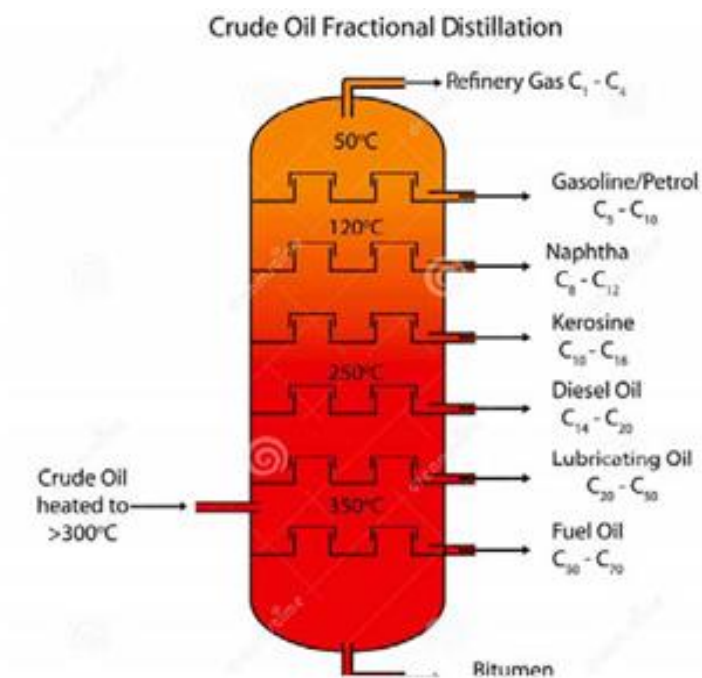
Los componentes con los puntos de ebullición menores salen por la parte superior de la torre, mientras que los que tienen mayor punto de ebullición permanecen en la base de la misma. Estos productos se conocen como productos de destilación directa.

Para la producción del xileno, el compuesto que interesa es la llamada nafta liviana cuyo punto de ebullición se encuentra entre 120 y 230°C.



Esta nafta se carga a un reformer en dónde la gran parte de la nafta parafínica se convierte en compuestos aromáticos formados por benceno, tolueno y mezcla de isómeros del xileno.

La gasolina reformada se procesa directamente para la separación de aromáticos.



**Figura 6-2:** Destilación fraccionada primaria del petróleo  
 Fuente: Boletín Informativo IPA nº 83.

El primer paso de la separación es normalmente una destilación para separar la fracción en el intervalo de 80 – 145°C que se va a fraccionar, teniendo en cuenta las temperaturas de ebullición de los BTX y eliminando los extremos ligeros y pesados.

<b>Tabla 6-1: Temperaturas de ebullición de los BTX</b>	
<b>PRODUCTO</b>	<b>TEMPERATURA DE EBULLICIÓN (°C)</b>
Benceno	80
Tolueno	110
Etilbenceno	136
Para- xileno	138
Meta- xileno	139
Orto- xileno	145

Fuente: Boletín Informativo IPA nº 83.

Debido a la formación de mezclas azeotrópicas entre algunos aromáticos, nafténicos y parafínicos dentro de este intervalo, el paso siguiente es la separación de los aromáticos de los no aromáticos con el empleo de disolventes por destilación azeotrópica extractiva, o mediante extracción líquido-líquido.

En la destilación azeotrópica, la adición de un disolvente polar como acetona o metanol aumenta la volatilidad de los no aromáticos, que salen por cabeza, permaneciendo como colas los aromáticos; esta técnica resulta económica cuando el contenido de aromáticos es alto (>90%) y por tanto la cantidad de no aromáticos a separar es baja, como por ejemplo en la gasolina de pirolisis o en el benceno bruto obtenido en la coquización del carbón.

En la destilación extractiva se emplea un disolvente selectivo de aromáticos (N-metilpirrolidona, sulfolano, dimetilformamida) que disminuye la volatilidad relativa de éstos, separándose los no aromáticos por cabeza y como colas el disolvente y los aromáticos. Este tipo de destilación se emplea principalmente cuando el contenido de aromáticos es del orden del 65-90%.

La extracción líquido-líquido es la técnica más extendida y la primera que se utilizó industrialmente, pudiéndose extraer simultáneamente los aromáticos de una mezcla en concentraciones muy diferentes. Los disolventes empleados son prácticamente los mismos que en la destilación extractiva, pero debe evitarse la miscibilidad de las dos corrientes. Si bien la extracción líquido-líquido ha sido reemplazada en algunas aplicaciones por la destilación extractiva, obteniéndose un ahorro de energía y de inversión, aún continúa siendo la técnica más utilizada para la separación de aromáticos de las gasolinas reformadas.

La separación de los isómeros orto, meta y para es complicada por la semejanza de sus propiedades físicas. La proximidad de los puntos de ebullición de m-xileno y p-xileno (138 - 139°C) hace impensable la utilización de la destilación fraccionada como técnica de separación de xilenos.

Hasta 1970 el p-xileno se obtenía por cristalización fraccionada a baja temperatura. Dentro de los procesos utilizados industrialmente destaca el proceso Chevron que proporcionaba p-xileno de pureza superior al 99% (Flansley, 1984).

Actualmente las técnicas de adsorción continua de p-xileno en fase líquida son las más empleadas debido a que se consigue una recuperación del mismo de 90 - 95% en cada etapa, frente al 60 - 70% obtenido por cristalización fraccionada, lo que ha permitido reducir el tamaño de los diferentes equipos, especialmente el correspondiente a la unidad de isomerización.

Entre los diversos procesos desarrollados destaca el proceso Parex que utiliza un lecho fijo de zeolita de elevada selectividad, intercambiada con Ba o K, que sólo permite la entrada en sus poros del p-xileno, que queda adsorbido en el interior de la partícula de adsorbente (Broughton, 1977; Hydrocarbon Processing, 1979). El p-xileno se desorbe posteriormente mediante tolueno o p-dietilbenceno, fácilmente separables de aquél por destilación.

#### 6.1.1.1 Procesos de isomerización de xilenos

El objetivo de la isomerización industrial de xilenos es la conversión de la corriente C<sub>8</sub> aromática procedente de la unidad de purificación de p-xileno, empobrecida en este compuesto, en otra corriente en la que la proporción de los isómeros corresponda a la del equilibrio termodinámico (24% para, 54% meta y 22% orto).

Cronológicamente se han desarrollado dos tipos de procesos industriales que se diferencian en el tipo de catalizador utilizado.

a) Procesos basados en catalizadores de sílice-alúmina

Este proceso, prácticamente en desuso, tiene como ventajas más sobresalientes su simplicidad y el bajo coste del catalizador utilizado y como principales inconvenientes la elevada desactivación del catalizador y la importancia de las reacciones secundarias, como la desproporción de xilenos, que afecta al 10% del total de xilenos alimentados al reactor.

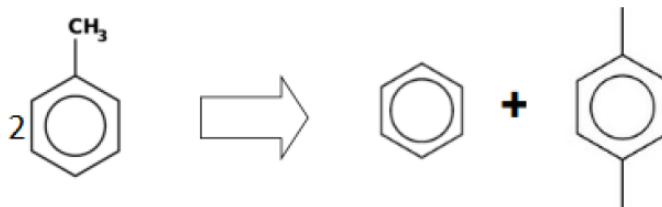
b) Procesos basados en catalizadores de zeolita ZSM-5

Con el desarrollo por la compañía Mobil Oil de diversas aplicaciones de la zeolita ZSM-5, aparecieron dos procesos de isomerización de xilenos: proceso MVPI, de isomerización en fase vapor, y proceso MLPI, de isomerización a baja presión (Ransley, 1984).

Los catalizadores de zeolita ZSM-5 han desplazado a los basados en sílice-alúmina por sus mejores rendimientos: elevadas selectividad y actividad catalítica, y gran estabilidad térmica. La elevada selectividad de estos catalizadores inhibe reacciones secundarias de desaparición de xilenos, y favorece, por el contrario, la reacción de desproporción de etilbenceno evitándose de este modo su acumulación en las corrientes de reciclo (Chen y Degnan, 1988). La ausencia de etilbenceno es una ventaja ya que hace más fácil la separación de los isómeros y reduce significativamente el costo de la recuperación del p- y o-xileno.

**6.1.2 Obtención de p-xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno (MTDP)**

Este proceso tiene como objetivo convertir el tolueno (poco demandado en el mercado) en p-xileno y benceno (muy demandados). Para ello, se da la reacción mostrada en la Figura 6-3. En esta reacción se puede producir cualquiera de los tres isómeros del xileno. Por tanto, es necesario introducir un catalizador de zeolita ZSM-5 con estructura molecular de microporos, que provoca una mayor selectividad hacia el p-xileno.



**Figura 6-3:** Reacción de desproporción del tolueno.

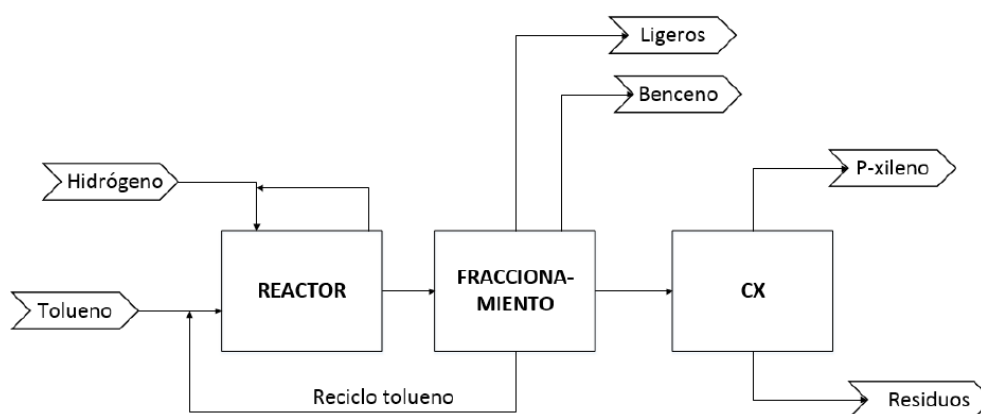
*Fuente: Ingeniería básica de una planta de producción de p-xileno por metilación de tolueno. Sevilla, 2018.*

Posteriormente, se separan el p-xileno y el benceno por fraccionamiento. Con esto se obtiene una pureza de p-xileno del 80%, bastante inferior a la demandada en el mercado (99,5%). Para solucionar este problema es necesario instalar una planta de cristalización, en la que es posible conseguir la pureza requerida gracias a que los puntos de cristalización de los distintos isómeros son más dispares que los de ebullición.

Como se muestra en la Tabla 6-1, el p-xileno tiene un punto de congelación más alto que el resto de los isómeros. Por tanto, al enfriar una mezcla que contiene los tres isómeros cristaliza una fase sólida pura de p-xileno, esto ocurre a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Si se continúa enfriando la mezcla hasta  $-68^{\circ}\text{C}$ , el m-xileno también comienza a cristalizar, a esto se le denomina punto eutéctico.

En la práctica comercial, la cristalización se lleva a cabo a una temperatura justo por encima del punto eutéctico, donde el p-xileno aún es soluble en el resto de aromáticos C8 de la solución líquida. Posteriormente, es necesario separar los cristales de p-xileno de esta solución, esto se realiza mediante operaciones de filtración o centrifugación. Una buena separación sólido-líquido es muy importante para obtener una elevada pureza.

En la siguiente figura se muestra de manera simplificada el proceso:



**Figura 6-4:** Diagrama del proceso MTDP.

*Fuente: Ingeniería básica de una planta de producción de p-xileno por metilación de tolueno. Sevilla, 2018.*

El proceso opera con una conversión de 48% en peso de tolueno por pase con una selectividad de PX casi equivalente al 24% en el producto de xilenos. Las condiciones de operación típicas son temperatura de entrada de  $390-495^{\circ}\text{C}$ , 30 atm.

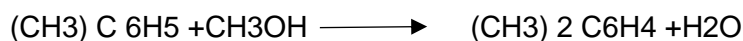
### 6.1.3 Obtención de p-xileno a partir de la metilación de tolueno - Desarrollado por J. P. Breen.

Un método revolucionario para la producción continua de p-xileno surge a partir de tolueno, el cual utiliza un proceso con bajo tiempo de contacto y condiciones favorables que limitan la formación de coque. Bajo estas condiciones de operación, la conversión de metanol es 100% con una correspondiente selectividad de p-xileno de 99%. A diferencia de los procesos de producción de p-xileno existentes, tiene ventaja respecto del nivel de selectividad (particularmente alto) y la alta conversión de tolueno que se alcanza simultáneamente. Logrando una temperatura de operación promedio más baja comparado con otros procesos, proporcionando importantes ahorros de energía. (Breen et al, s. f).

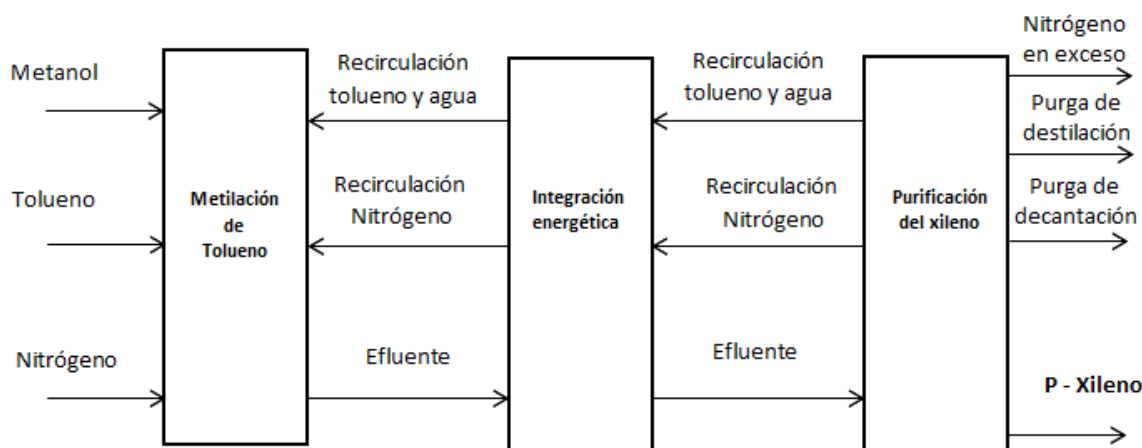
Vista general del proceso:

En la figura 6-5 se muestra un diagrama de bloques simplificado del proceso para resaltar las importantes características. Para simplificar, el proceso se divide en tres secciones:

1. Sección 100: Reacción de metilación, reactor catalítico.



2. Sección 200: Integración energética.
3. Sección 300: Separación y purificación, columna de destilación.



**Figura 6-5:** Diagrama de flujo del proceso de p-xileno a partir de la metilación de tolueno con metanol.

*Fuente: Toluene Methylation to para-Xylene.*

En la sección 100 se pasa una alimentación de reactivo que consiste en tolueno, metanol, nitrógeno y agua sobre un lecho caliente de zeolita ZSM-5 modificada con óxido de boro. El reactor funciona a una temperatura promedio de 435°C con un tiempo de contacto del catalizador excepcionalmente bajo para suprimir las reacciones de isomerización de p-xileno. La isomerización de PX es limitada como resultado del bajo tiempo de contacto con el catalizador. Los tiempos de contacto cortos se logran utilizando altas velocidades de alimentación de reactivo, pequeños tamaños de lecho de catalizador y/o agregando un diluyente a las corrientes de reactivo, como nitrógeno y agua.

Se sugiere que se puede usar tanto H<sub>2</sub> como N<sub>2</sub> como diluyente, se elegiría N<sub>2</sub> debido a que existe un riesgo menor de explosión a altas temperaturas. Además de controlar el tiempo de contacto, el nitrógeno y el agua agregados también actúan como un disipador de calor en el reactor, absorbiendo parte del calor generado por la reacción. Aunque el

nitrógeno sirve como diluyente primario para controlar el tiempo de contacto, el agua agregada tiene un doble propósito: suprimir las reacciones secundarias que conducen a la deshidratación del metanol y permitir el funcionamiento del reactor en condiciones que limitan la formación de coque.

El calor generado por esta reacción altamente exotérmica se utiliza para precalentar las corrientes entrantes de tolueno y metanol, así como las corrientes de reciclaje de nitrógeno y agua/tolueno. Como tal, el efluente del reactor se enfría en una red de intercambiadores de calor a una temperatura de aproximadamente 40°C. Esto constituye a la Sección 200 del proceso productivo.

El efluente del reactor forma tres fases casi inmiscibles a esta temperatura: una fase gaseosa (nitrógeno), una fase acuosa (agua) y una fase orgánica (tolueno y xilenos).

El efluente del reactor se envía a un decantador para permitir una separación de fase casi completa. El nitrógeno y la fase acuosa del decantador son precalentados parcialmente por el efluente del reactor antes de ser reciclados nuevamente al reactor.

En la Sección 300 la fase orgánica del decantador se envía a una columna de destilación para una separación adicional. La columna de destilación se opera de manera tal que haya una división aceptable de tolueno/p-xileno. La corriente inferior de la columna de destilación es la corriente del producto que contiene aproximadamente 99.9% de p-xileno puro, y cantidades menores de tolueno, meta y orto-xileno. La corriente superior de la columna de destilación contiene principalmente nitrógeno soluble, tolueno y agua. La corriente superior se envía a un acumulador de reflujo que realiza la función de un decantador, separando las fases orgánica y acuosa. La fase acuosa se envía al tratamiento con agua y se desecha del proceso, mientras que la fase orgánica se precalienta antes de reciclarla al reactor.

## 6.2 Selección del proceso

<b>Tabla 6-2: Comparación de los procesos productivos</b>			
<b>Característica</b>	<b>Desproporción selectiva de tolueno</b>	<b>Reformado de naftas</b>	<b>Metilación de tolueno</b>
Pureza del p-xileno	99,8%	90 - 95%	99,9%
Inversión inicial	Media	Alta	Alta
Materias primas	Tolueno, Hidrógeno	Petróleo, carbón, nafta	Metanol, Tolueno, Nitrógeno
Uso de catalizador	Si	Si	Si
Complejidad del proceso	Baja	Alto	Media
Temperaturas del proceso	Altas	Altas	Medias
Integración energética	Si	No	Si
Tiempos de contacto	Bajo	Alto	Bajo

*Fuente: Elaboración propia.*

Para seleccionar el proceso de obtención de p-xileno se tiene en cuenta aquel que permite obtener un muy buen grado de pureza, menor complejidad en equipos, integración energética, menos materias primas y por ende, menor costo.

Adoptando estos criterios, se toma la elección de usar como base el proceso de la desproporción selectiva de tolueno (MTDP).

Los procesos de producción actuales producen una mezcla de equilibrio insatisfactoria de isómeros de xileno con una pureza del 23% en p-xileno. Este bajo rendimiento requiere el uso de procesos de separación costosos.

A modo de comparación, el proceso, hace uso de un catalizador ZSM-5 modificado y cortos tiempos de contacto del mismo para lograr un p-xileno con una pureza del 99,8%. Además, se pone en práctica la integración energética, provocando importantes ahorros energéticos, obteniendo un producto con mayor pureza y a un menor costo.

### **6.3 Descripción del proceso**

A continuación, se presenta una breve descripción del proceso elegido, desde el almacenamiento de materias primas hasta la obtención del producto final y se dan algunas condiciones de temperatura y presión estándares.

#### **6.3.1 Almacenamiento**

Las materias primas se almacenan antes de usarse para el proceso de producción. El tolueno como materia prima se almacena en un tanque de forma líquida a condiciones de temperatura y presión normales. El gas hidrógeno se encuentra presurizado.

#### **6.3.2 Preparación de materias primas**

Esta etapa está destinada a preparar el tolueno y H<sub>2</sub> antes de alimentar al reactor. De acuerdo con las condiciones de operación determinadas. Esta etapa incluye:

- a) Cambio de fases y aumento de la presión y temperatura del tolueno.

Se bombea tolueno fresco con una pureza del 99,9% en peso y se mezcla con reciclado de tolueno derivado de la corriente superior de la segunda columna de destilación. La temperatura de la tercera corriente alcanza 85 °C. La mezcla se bombea a un intercambiador de calor el cual llega a una temperatura de 325 °C luego la presión se incrementa de 1 atm a 30 atm con un compresor centrífugo. El tolueno se mezcla con el H<sub>2</sub> (H<sub>2</sub> y reciclaje H<sub>2</sub> del separador gas-líquido). La mezcla se comprime hasta 30 atm y su temperatura alcanza 450 °C. El tolueno listo es alimentado al reactor.

- b) Aumento de la presión del hidrógeno

El gas hidrógeno fluye por una tubería a una presión de 1 atm y luego comprimido a 30 atm por un compresor. El gas de reposición H<sub>2</sub> se mezcla con gas reciclado H<sub>2</sub> la corriente proviene del separador gas-líquido.

#### **6.3.3 Sección 100: REACCIÓN**

La reacción de desproporción selectiva de tolueno se produce en un reactor obteniendo p-xileno como producto principal, benceno, y mezcla de xilenos como subproductos. La materia prima principal es tolueno, hidrógeno y un catalizador sólido, zeolita ZSM-5. El reactor utilizado es un reactor de lecho fijo multitubular, para realizar reacciones gas-sólido. En el cual, la fase gaseosa es tolueno e hidrógeno, mientras que la fase sólida es el catalizador de zeolita ZSM-5. El proceso es adiabático y no isotérmico.

La temperatura de reacción varía entre 450 - 446 °C y a una presión de 30 atm. La reacción es endotérmica.

La corriente que sale del reactor en forma gaseosa tiene una temperatura de 450°C y una presión de 30 atm.

#### **6.3.4 Sección 200: DESTILACIÓN**

Para la separación entre la fracción de gas hidrógeno con la fracción líquida BTX (benceno, tolueno, xileno), la corriente se alimenta a un separador gas-líquido. El H<sub>2</sub> como fracción no condensable fluye hacia la parte superior del separador a medida que se recicla, mientras que BTX como fracción condensable fluye hacia abajo y pasa a través de una columna de destilación para separar el benceno de la mezcla, se obtiene benceno como destilado a una temperatura de 80°C y 1 atm de presión. En la corriente de fondo (xileno y tolueno) sale a una temperatura de 131 °C y una presión de 1,5 atm, luego se alimenta a una segunda columna de destilación para separar el tolueno de la mezcla de xilenos. La corriente superior es tolueno a una temperatura de 125 °C y presión de 1,5 atm, el cual es reciclado y luego mezclado con el tolueno de alimentación fresco. La corriente inferior de la columna de destilación obtiene mezcla de xilenos a una temperatura de 166 °C y una presión de 2 atm. En la tercer columna se separa el o- xileno por el fondo a T=80°C y P= 1 atm, el cual es almacenado en un tanque, y por la cabeza de la columna la mezcla de xilenos sale a T=166°C y P= 2 atm. El xileno se enfría gradualmente con un tren de intercambiadores de calor por debajo de la temperatura de cristalización de p-xileno y luego se alimenta al cristalizador.

#### **6.3.5 Sección 300: CRISTALIZACIÓN**

El cristalizador se usa para separar el p-xileno de la mezcla de xileno en función de las diferencias en el punto de congelación. El punto de congelación del p-xileno es de 13,26 °C, mientras que el punto de congelación del orto y m-xileno es por debajo de -25 °C, por lo tanto, el cristalizador utiliza salmuera como refrigerante. A la salida del cristalizador se obtiene una mezcla de cristales de p-xileno y líquido de meta y o-xileno. Los cristales de p-xileno se separan luego en una centrífuga. El filtrado contiene mezcla de xilenos.

Los cristales de p-xileno se funden a una temperatura de 25 °C en el tanque fundidor. El p-xileno se almacena en fase líquida con una pureza del 99,8% en peso.

#### **6.3.6 Producto y subproductos, almacenamiento**

El benceno obtenido como corriente superior se bombea al tanque de almacenamiento en condiciones de normales de presión y temperatura. La mezcla de xilenos saliente de la centrifuga se bombea a un tanque de almacenamiento a condiciones normales de presión y temperatura. El p-xileno en fase líquida se bombea al tanque de almacenamiento en condiciones normales de presión y temperatura. Estos productos están listos para comercializar.

A modo recordatorio, es relevante la aclaración de que este proceso será usado como base, lo cual, a lo largo de balances de masa y energías, diseño de equipos, distribución de la planta, y otras consideraciones irá tomando una estructura nueva, pensado desde las necesidades de este proyecto.



# **CAPÍTULO VII**

## **BALANCE DE MASA Y ENERGÍA**

## CAPÍTULO VII: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

### 7.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los balances de masa y energía correspondientes al proceso de producción de p-xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno, global y para cada una de las etapas involucradas. Se analizan las corrientes másicas entrantes y salientes, sus composiciones y los requerimientos energéticos de cada una de ellas.

Para el cálculo de la masa de p-xileno que debe obtenerse por hora, es necesario definir los días de actividad de la planta al año que se fija en 340 días, considerando 15 días para paradas destinadas a mantenimiento y 10 días de detenciones imprevistas. Para 38400 t/año de p-xileno y 340 días definidos, a este valor, se lo divide, a su vez, por las 24 h/día en las que se produce, por tratarse de un proceso continuo.

$$38400 \frac{t}{\text{Año}} * \frac{1000kg}{1t} * \frac{1\text{Año}}{340 \text{ dias}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}} = 4705.88 \frac{kg}{\text{hora}}$$

El objetivo de este balance es sentar las bases necesarias para la realización del diseño y adopción de equipos, logrando obtener los caudales másicos de todas las corrientes del proceso. Teniendo en cuenta una pérdida global del proceso de 2%, **se producirán 4800 kg/h de p-xileno.**

### 7.2 Balances de masa y energía

En este apartado se exponen los balances de masa y de energía correspondientes a cada uno de los equipos involucrados en el proceso de producción en kg/h y kcal/h. A continuación, se presentan los equipos y la nomenclatura empleada en el cálculo para definir las corrientes másicas y sus componentes.

Para la realización de los balances de masa se tuvieron en cuenta una serie de consideraciones:

- Se parte de la premisa que se opera en estado estacionario, no hay acumulación en el sistema.
- Cada etapa conlleva un rendimiento asignado comparable con la misma etapa en procesos análogos.
- Pérdida global del proceso de 2%

#### 7.2.1 Diagrama de flujo

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de todo el proceso que involucra la transformación de tolueno en p-xileno.

Para su mejor comprensión se dividirá el proceso en tres secciones:

1. Sección 100: Reacción
2. Sección 200: Destilación
3. Sección 300: Cristalización

- Sección 100: Reacción

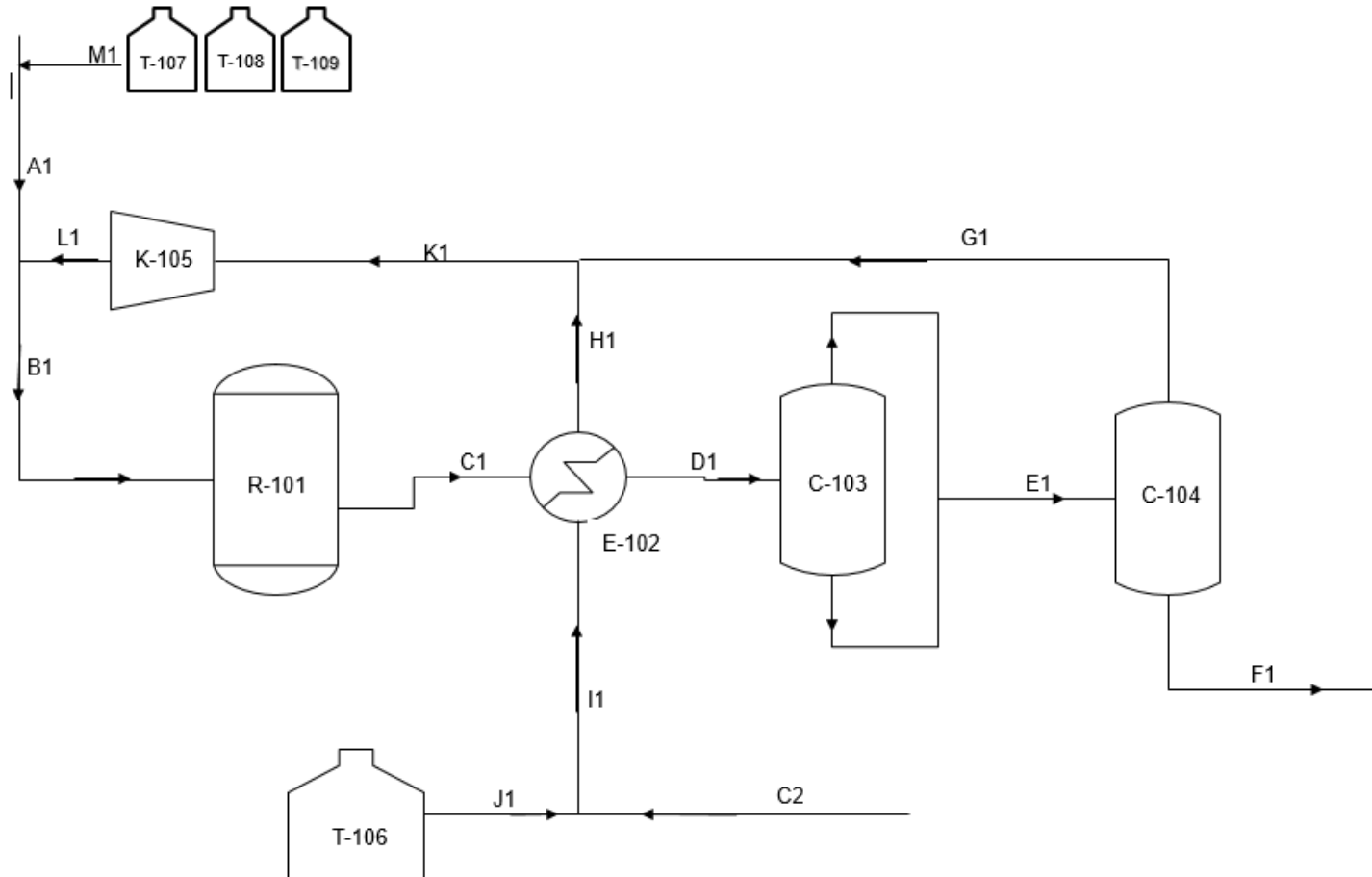


Figura 7-1: Diagrama de Flujo Sección 100.  
Fuente: Elaboración propia

- Sección 200: Destilación

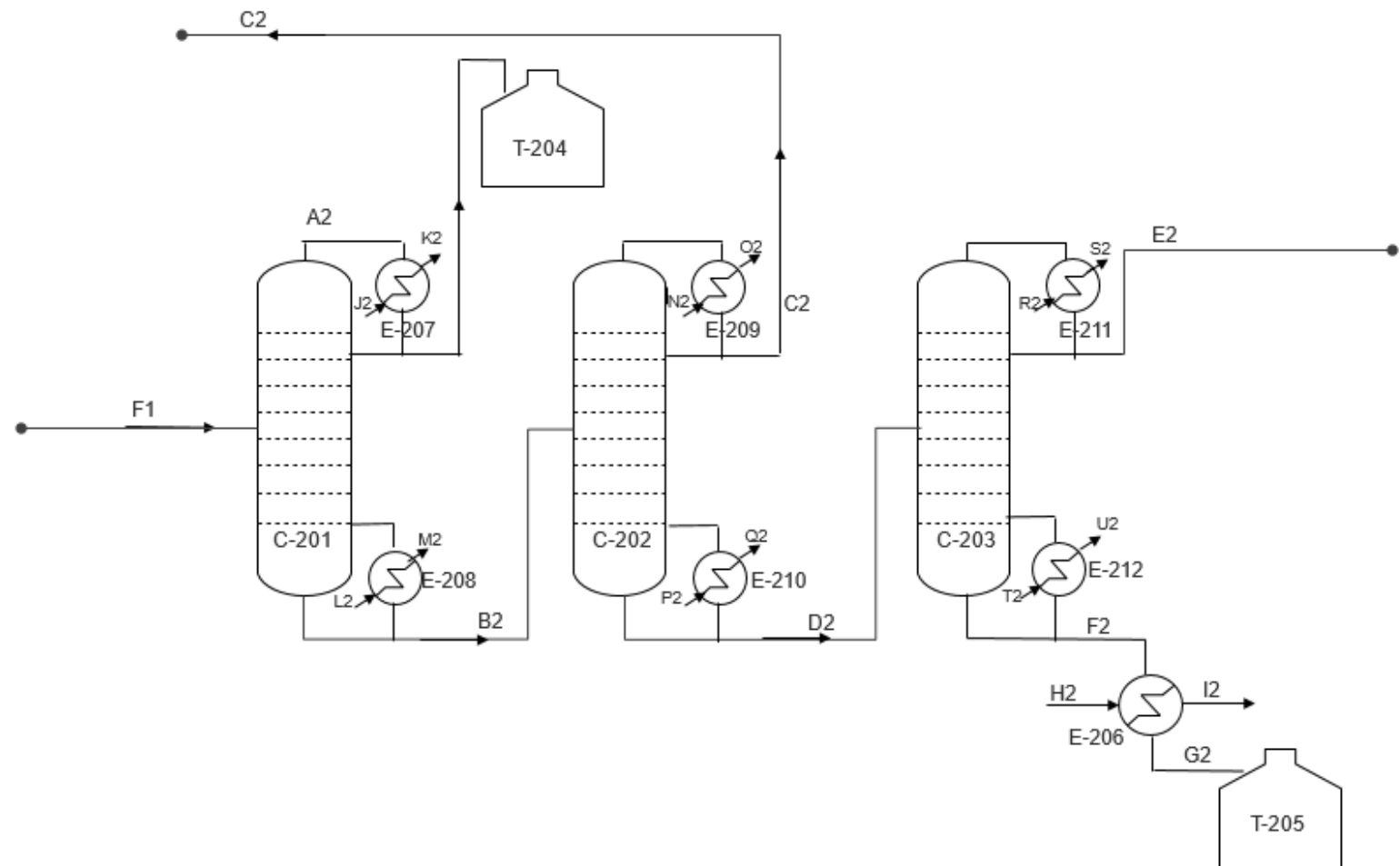
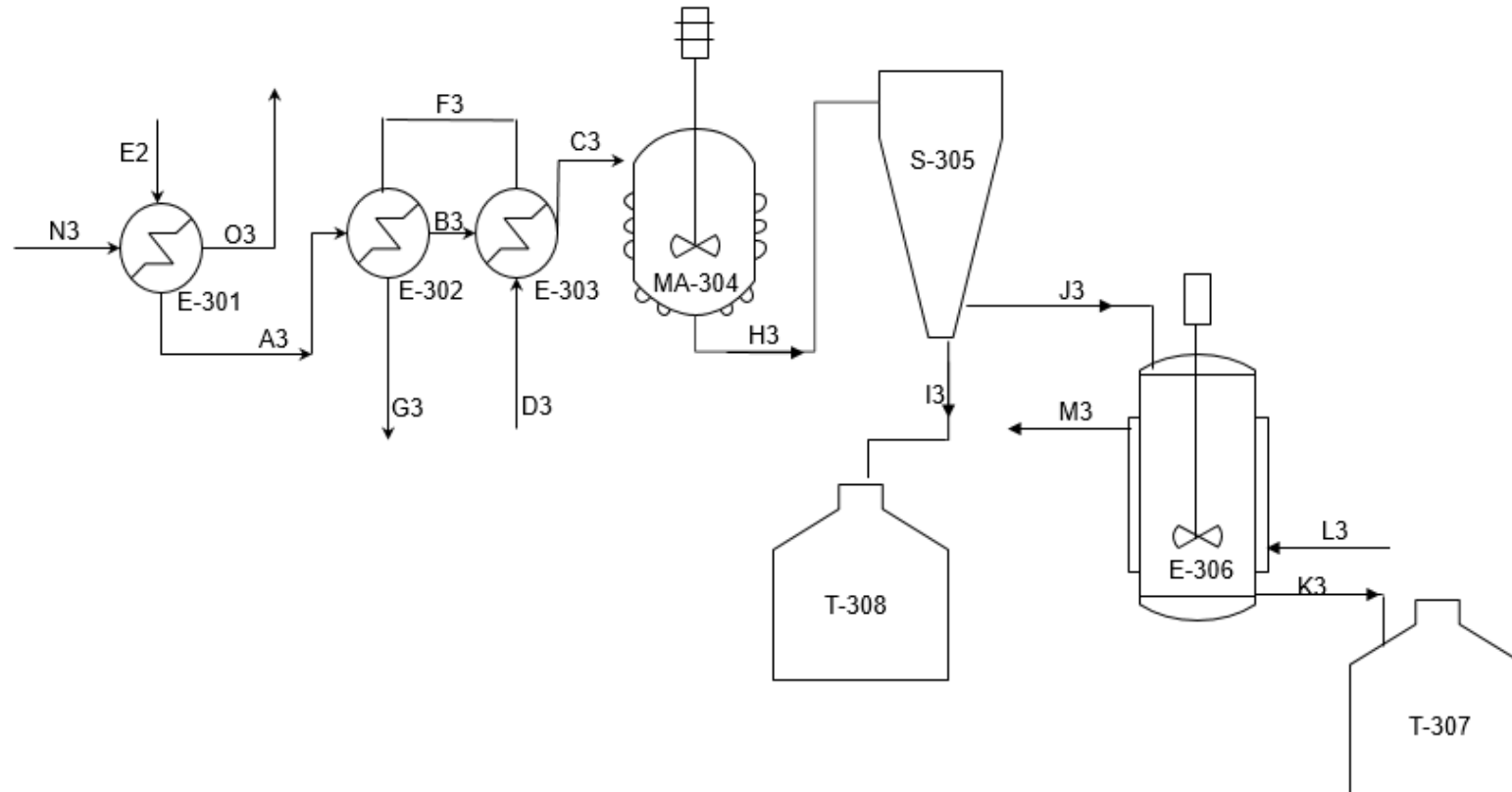


Figura 7-2: Diagrama de Flujo Sección 200.  
Fuente: Elaboración propia

- Sección 300: Cristalización



**Figura 7-3:** Diagrama de Flujo Sección 300.  
*Fuente: Elaboración propia*

A continuación se expone en la tabla 7-1 la codificación y función de cada uno de los equipos que integran el proceso productivo.

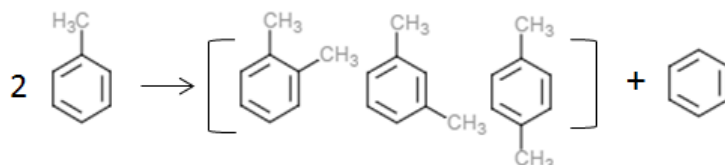
<b>Tabla 7-1: DENOMINACIÓN DE EQUIPOS</b>		
<b>Codificación</b>	<b>Equipo</b>	<b>Función</b>
<b>Sección 100</b>		
T-106	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de tolueno.
E-102	Intercambiador de calor	Enfriar la corriente que sale del reactor con tolueno.
K-105	Compresor	Comprimir la mezcla tolueno e H <sub>2</sub> recuperado a 30 atm.
R-101	Reactor	Tiene lugar la reacción de desproporción de tolueno.
C-103	Flash	Descomprime la corriente fría de tolueno no reaccionante, benceno, hidrogeno y mezcla de xilenos.
C-104	Flash	Separa el H <sub>2</sub> de la corriente líquida tolueno recuperado, benceno y mezcla de xilenos.
T-107	Tanque almacenamiento stock H <sub>2</sub>	Almacenamiento stock de H <sub>2</sub>
T-108	Tanque almacenamiento stock H <sub>2</sub>	Almacenamiento stock de H <sub>2</sub>
T-109	Tanque almacenamiento stock H <sub>2</sub>	Almacenamiento stock de H <sub>2</sub>
<b>Sección 200</b>		
C-201	Columna de destilación	Separar el benceno.
C-202	Columna de destilación	Separar el tolueno.
C-203	Columna de destilación	Separar el o-xileno.
T-204	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de benceno.
E-206	Intercambiador de calor	Enfriar el o-xileno.
E-207	Intercambiador de calor	Condensador C-201
E-208	Intercambiador de calor	Rehervidor C-201.
E-209	Intercambiador de calor	Condensador C-202
E-210	Intercambiador de calor	Rehervidor C-202
E-211	Intercambiador de calor	Condensador C-203
E-212	Intercambiador de calor	Rehervidor C-203
T-205	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de o-xileno.
<b>Sección 300</b>		
E-301	Intercambiador de calor	Enfriar la corriente de mezcla de xilenos a 100°C.
E-302	Intercambiador de calor	Enfriar la corriente de mezcla de xilenos a 50°C.
E-303	Intercambiador de calor	Enfriar la corriente de mezcla de xilenos a 5°C.
MA-304	Tanque agitado formador de cristales	Formación de cristales de p-Xileno por baja temperatura.
S-305	Centrifuga	Separar los cristales p-xileno de líquido madre (m-xileno, etilbenceno y trazas)
T-308	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de mezcla de xilenos (m-xileno, etilbenceno y trazas).
E-306	Tanque agitado con serpentín	Tanque agitado con serpentín para fundición de cristales de p-xileno.
T-307	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de producto final: p-xileno.

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.3 SECCIÓN 100: Descripción de los equipos

#### 7.3.1 Reactor R-101

La reacción selectiva de desproporción de tolueno ocurre en el reactor donde se forma p-xileno como producto principal y benceno, o-xileno y mezcla de xilenos como subproductos. Las materias primas fundamentales para que suceda esta reacción son: tolueno, hidrógeno y zeolita catalizadora sólida ZSM-5. (*Delta M, 2017*).



**Figura 7-4:** Reacción química de desproporción de tolueno.

Fuente: (*King J.C., 1980*).

El reactor utilizado es un reactor multitubular de lecho fijo y la reacción sucede en fase gaseosa a una temperatura de 450°C y 30 atm de presión. A través de la purificación de p-xileno a partir de las etapas de separación de destilación y cristalización se obtiene un producto final con 99.9% de pureza.

La fase gaseosa comprende tolueno e hidrógeno mientras que la fase sólida es la zeolita catalizadora ZSM-5. (*Delta M, 2017*). Este catalizador debe protegerse de la desactivación mediante una atmósfera de hidrógeno, y teniendo en cuenta el costo elevado del mismo, se recupera en un separador vapor-líquido (C-104) para su recirculación. (*King J.C., 1980*). Por lo tanto, se puede observar que el único factor determinante en la reacción es el tolueno.

En esta reacción de equilibrio, la conversión teórica máxima de tolueno es solo del 59%, aunque en la práctica, la conversión de tolueno se establece en aproximadamente el 40% para evitar reacciones secundarias con una selectividad de PX equivalente al 24% en el producto de xilenos. (*King J.C., 1980*).

Hay tres procesos productivos selectivos de p-xileno: Mobil's Selective Toluene Disproportionation Process (MSTDP), Mobil's Toluene to para-Xylene (MTPX) Process and PX-Plus Process. Los últimos dos se conocen en menor detalle. En cuanto al primero, MSTDP, la zeolita ZSM-5 utilizada es sometida a tratamiento térmico y químico con sílice. Como resultado de selectividad, se obtienen mezclas de xilenos con concentraciones de p-xileno muchos mayores a las de su valor de equilibrio termodinámico. Estos avances han creado un impacto significativo en el esquema típico de producción de p-xileno. (*Tsai T, 1980*)

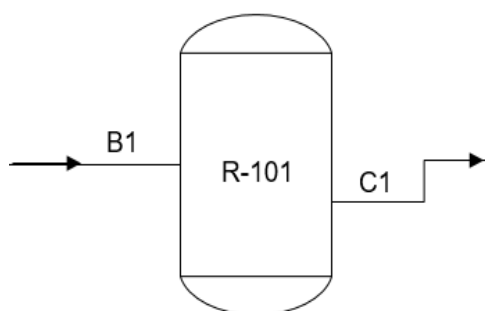
Como se indica anteriormente, el proceso de desproporción de tolueno implica el uso de ZSM-5 modificado con sílice y pre cocinada que mejora la selectividad hacia p-xileno. La primera demostración comercial de esta tecnología fue en 1990 y mostró una alta selectividad hacia p-xileno (entre 85 y 95%). El factor clave en esta tecnología es el nuevo catalizador que ofrece rendimientos mejorados, excelente estabilidad y facilidad de operación. En comparación con los demás procesos existentes en el mercado, este proceso produce una mezcla de xileno con selectividad hacia p-xileno que es mayor que el valor de equilibrio termodinámico. La tabla 7-12 presenta los detalles disponibles en la bibliografía. (*Albahar M, 2018*)

<b>Tabla 7-2:</b> Características generales del proceso de Desproporción de tolueno.	
Catalizador	ZSM-5 modificada y precocinada.
Condiciones de reacción	
Tipo de reactor	Multitubular de lecho fijo
Temperatura (°C)	450-470
Presión (bar)	20-40
H <sub>2</sub> /C (mol)	2-4
Conversión	30-40
Selectividad de productos (%)	
Benceno	44.9
Xilenos	43.5
Etilbenceno	2.5
p-selectividad (%)	82

Fuente: (Albahar M, 2018)

Consideraciones:

- La zeolita catalizadora sólida ZSM-5 tiene un alto contenido de SiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y se destaca por su estabilidad térmica.
- La temperatura de reacción es 450 °C y la presión es 30 atm.
- La reacción es endotérmica e irreversible.
- La relación molar tolueno/hidrógeno es 1-3.
- El  $\Delta H_r$  es igual a 0.8 kJ/mol de tolueno (a 800 K)
- La conversión de la alimentación de tolueno es de 40%.
- La k de la reacción viene dada por la ecuación de velocidad de reacción:  
 $-r_A = k P_A^2$ . Según ley de Arrhenius, se conoce que:  $k = 819.49 * e^{(-6500/R.T)}$
- En la reacción general no se presenta el etilbenceno aunque constituye un subproducto que se genera por las condiciones dadas, el porcentaje que se atribuye de una alimentación de 2 moles de tolueno es de un 5%.



**Figura 7-5:** Diagrama reactor R-101

Fuente: Elaboración propia.



<b>Tabla 7-3:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $B1 = C1$	
Balance parcial tolueno (T)	$B1 \cdot X_{B1-T} = C1 \cdot X_{C1-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$B1 \cdot X_{B1-H} = C1 \cdot X_{C1-H}$
Balance parcial benceno (B)	$B1 \cdot X_{B1-B} = C1 \cdot X_{C1-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$B1 \cdot X_{B1-PX} = C1 \cdot X_{C1-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$B1 \cdot X_{B1-OX} = C1 \cdot X_{C1-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$B1 \cdot X_{B1-MX} = C1 \cdot X_{C1-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$B1 \cdot X_{B1-EB} = C1 \cdot X_{C1-EB}$

<b>Tabla 7-4:</b> Balance de masa y energía del reactor R-101							
<b>Equipo: R-101</b>							
Descripción del equipo: Reactor							
<b>Balance de masa</b>							
Corriente	Tipo de corriente	Denominación	Componentes	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)
B1	Entrada	Alimentación al reactor	H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>B1-H</sub>	0.070	35468.44
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	33300	X <sub>B1-T</sub>	0.930	
C1	Salida	Producto de Reacción	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>C1-T</sub>	0.563	35468.44
			H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>C1-H</sub>	0.061	
			PX	6021.97	X <sub>C1-PX</sub>	0.169	
			MX	1106.23	X <sub>C1-MX</sub>	0.031	
			OX	197.8	X <sub>C1-OX</sub>	0.005	
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>C1-B</sub>	0.150	
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>C1-EB</sub>	0.018	
Corriente				Temperatura (°C)		Cp (kcal/kg °C)	
B1				450		0.75	
C1				450		0.7	
Calor de reacción (kcal/kmol)			69101.34				
Presión (atm)			30				
<b>Fracción vaporizada</b>							
Corriente			Fracción vaporizada				
B1			1				
C1			1				

Fuente: Elaboración propia

### 7.3.2 Intercambiador de calor E-102

El intercambiador de calor E-102 tiene como principal función disminuir la temperatura del tolueno de la corriente de salida del reactor desde 450°C a 180°C para continuar hacia el proceso, en contracorriente, con I1 que contiene la cantidad total de tolueno necesaria para la reacción y es calentado desde 85°C a 325°C.

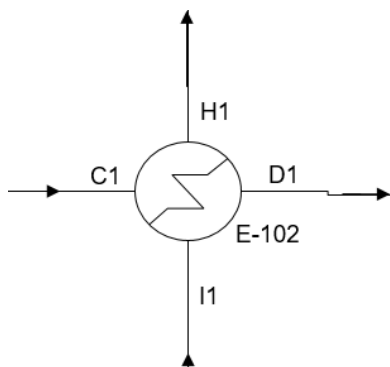


Figura 7-6: Diagrama del intercambiador E-102  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-5: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $C1 + I1 = H1 + D1$	
Balance parcial tolueno (T)	$C1 \cdot X_{C1-T} + I1 \cdot X_{I1-T} = H1 \cdot X_{H1-T} + D1 \cdot X_{D1-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$C1 \cdot X_{C1-H} + I1 \cdot X_{I1-H} = H1 \cdot X_{H1-H} + D1 \cdot X_{D1-H}$
Balance parcial benceno (B)	$C1 \cdot X_{C1-B} + I1 \cdot X_{I1-B} = H1 \cdot X_{H1-B} + D1 \cdot X_{D1-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$C1 \cdot X_{C1-PX} + I1 \cdot X_{I1-PX} = H1 \cdot X_{H1-PX} + D1 \cdot X_{D1-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$C1 \cdot X_{C1-OX} + I1 \cdot X_{I1-OX} = H1 \cdot X_{H1-OX} + D1 \cdot X_{D1-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$C1 \cdot X_{C1-MX} + I1 \cdot X_{I1-MX} = H1 \cdot X_{H1-MX} + D1 \cdot X_{D1-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$C1 \cdot X_{C1-EB} + I1 \cdot X_{I1-EB} = H1 \cdot X_{H1-EB} + D1 \cdot X_{D1-EB}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-6: Balance de masa y energía intercambiador E-102								
Equipo: E-102								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denominación	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
C1	Entrada	Producto de reacción	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>C1-T</sub>	0.563	35468.44	30
			H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>C1-H</sub>	0.061		
			PX	6021.97	X <sub>C1-PX</sub>	0.169		
			MX	1106.23	X <sub>C1-MX</sub>	0.031		
			OX	197.8	X <sub>C1-OX</sub>	0.005		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>C1-B</sub>	0.150		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>C1-EB</sub>	0.018		
I1	Entrada	Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	33300	X <sub>I1-T</sub>	1	33300	1
D1	Salida		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>D1-T</sub>	0.563	35468.44	30

		Producto de reacción enfriado	H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>C1-H</sub>	0.061		
			PX	6021.97	X <sub>D1-PX</sub>	0.169		
			MX	1106.23	X <sub>D1-MX</sub>	0.031		
			OX	197.8	X <sub>D1-OX</sub>	0.005		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>D1-B</sub>	0.150		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>D1-EB</sub>	0.018		
H1	Salida		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	33300	X <sub>H1-T</sub>	1	33300	1
<b>Balance de energía</b>								
Calor Intercambiado (kcal/h)		7.23 10 <sup>6</sup>						
Corriente		Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)			
C1		450			0.7			
I1		85			0.45			
D1		180			0.7			
H1		325			0.51			
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corriente								
C1		1						
I1		0						
D1		1						
E1		1						

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.3 Flash C-103

En el C-103 la corriente entrante se encuentra a 180°C y disminuye su presión desde 30 atm a 1 atm. En el cambio de presión se produce una disminución de temperatura correspondiente que logra el cambio de fase de todos los componentes gaseosos a líquido, excepto el H<sub>2</sub> que a continuación es separado de la corriente líquida.

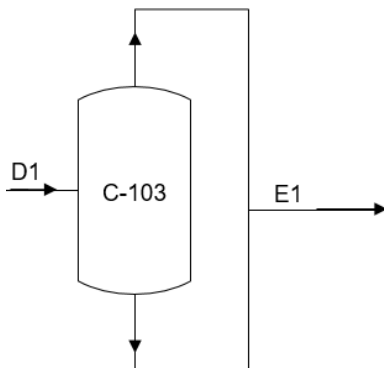


Figura 7-7: Diagrama de flash C-103

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-7:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $D1 = E1$	
Balance parcial tolueno (T)	$D1 \cdot X_{D1-T} = E1 \cdot X_{E1-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$D1 \cdot X_{D1-H} = E1 \cdot X_{E1-H}$
Balance parcial benceno (B)	$D1 \cdot X_{D1-B} = E1 \cdot X_{E1-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$D1 \cdot X_{D1-PX} = E1 \cdot X_{E1-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$D1 \cdot X_{D1-OX} = E1 \cdot X_{E1-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$D1 \cdot X_{D1-MX} = E1 \cdot X_{E1-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$D1 \cdot X_{D1-EB} = E1 \cdot X_{E1-EB}$

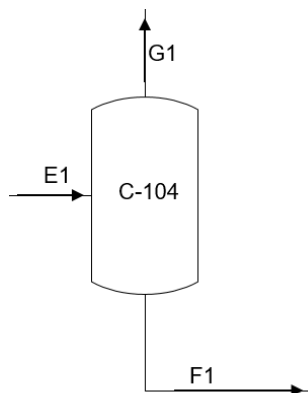
Fuente: Elaboración propia.

<b>Tabla 7-8:</b> Balance de masa y energía de la torre de destilación C-103								
<b>Equipo: C-103</b>								
Descripción del equipo: Flash								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
D1	Entrada	Producto de reacción enfriado	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>D1-T</sub>	0.563	35468.44	30
			H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>C1-H</sub>	0.061		
			PX	6021.97	X <sub>D1-PX</sub>	0.169		
			MX	1106.23	X <sub>D1-MX</sub>	0.031		
			OX	197.8	X <sub>D1-OX</sub>	0.005		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>D1-B</sub>	0.150		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>D1-EB</sub>	0.018		
E1	Salida	Producto de reacción enfriado despresurizado	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>E1-T</sub>	0.563	35468.44	1
			H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>E1-H</sub>	0.061		
			PX	6021.97	X <sub>E1-PX</sub>	0.169		
			MX	1106.23	X <sub>E1-MX</sub>	0.031		
			OX	197.8	X <sub>E1-OX</sub>	0.005		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>E1-B</sub>	0.150		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>E1-EB</sub>	0.018		
<b>Balance de energía</b>								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
D1			180			0.70		
E1			60			0.59		
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corriente								
D1			1					
E1			0.8					

Fuente: Elaboración propia

### 7.3.4 Flash C-104

En el flash C-104 la corriente despresurizada y fría que viene del equipo C-103 es separada para recuperar el H<sub>2</sub> gaseoso presente y crear el reciclo al ingreso del reactor nuevamente. La recuperación de este compuesto es importante debido al costo elevado que representa el H<sub>2</sub> presurizado y el gran caudal horario que se requiere para que la reacción pueda existir. Además, es indispensable como medio para el catalizador utilizado.



**Figura 7-8:** Diagrama de flash C-104  
*Fuente: Elaboración propia*

Consideraciones:

- Se considera una pérdida en el total de la corriente de reciclo de H<sub>2</sub> (G1) de 0.5%. Se toma en cuenta la aplicación de un quemador de antorcha para evitar la contaminación del medio ambiente, y el caudal perdido se sustituye por la distribución directa en tubería desde YPF, cuya localización es clave con respecto a la ubicación de nuestra planta productora de p-xileno.

<b>Tabla 7-9:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $E1 = G1 + F1$	
Balance parcial tolueno (T)	$E1 \cdot X_{E1-T} = G1 \cdot X_{G1-T} + F1 \cdot X_{F1-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$E1 \cdot X_{E1-H} = G1 \cdot X_{G1-H} + F1 \cdot X_{F1-H}$
Balance parcial benceno (B)	$E1 \cdot X_{E1-B} = G1 \cdot X_{G1-B} + F1 \cdot X_{F1-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$E1 \cdot X_{E1-PX} = G1 \cdot X_{G1-PX} + F1 \cdot X_{F1-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$E1 \cdot X_{E1-OX} = G1 \cdot X_{G1-OX} + F1 \cdot X_{F1-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$E1 \cdot X_{E1-MX} = G1 \cdot X_{G1-MX} + F1 \cdot X_{F1-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$E1 \cdot X_{E1-EB} = G1 \cdot X_{G1-EB} + F1 \cdot X_{F1-EB}$

<b>Tabla 7-10:</b> Balance de masa y energía del flash C-104								
<b>Equipo: C-104</b>								
Descripción del equipo: Flash								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
E1	Entrada	Producto de reacción enfriado	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>E1-T</sub>	0.563	35468.44	1
			H <sub>2</sub>	2168.44	X <sub>E1-H</sub>	0.061		
			PX	6021.97	X <sub>E1-PX</sub>	0.169		

		despresurizado	MX	1106.23	$X_{E1-MX}$	0.031		
			OX	197.8	$X_{E1-OX}$	0.005		
			$C_6H_5$	5328	$X_{E1-B}$	0.150		
			$C_6H_5C_2H_4$	666	$X_{E1-EB}$	0.018		
G1	Salida	H <sub>2</sub> Recuperado	H <sub>2</sub>	2158.44	$X_{G1-H}$	1	2158.44	1
F1	Salida	Benceno, tolueno y mezcla de xilenos.	$C_6H_5CH_3$	19980	$X_{F1-T}$	0.600	33310	1
			PX	6021.97	$X_{F1-PX}$	0.180		
			MX	1106.23	$X_{F1-MX}$	0.033		
			OX	197.8	$X_{F1-OX}$	0.006		
			$C_6H_5$	5328	$X_{F1-B}$	0.160		
			$C_6H_5C_2H_4$	666	$X_{F1-EB}$	0.020		
<b>Balance de energía</b>								
Corriente				Temperatura (°C)	Cp (kcal/kg°C)			
E1				60	0.59			
G1				60	3.43			
F1				60	0.43			
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corrientes								
E1				0.8				
G1				1				
F1				0				

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.5 Compresor multietapas K-105

Se emplea un compresor multietapas de tornillo para elevar la presión desde 1 atm a 30 atm de la corriente gaseosa K1. La condición de presión es determinante en la etapa de reacción.

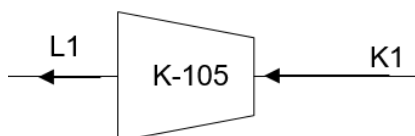


Figura 7-9: Diagrama del compresor K-105

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones:

- El calor es retirado a través de un sistema de refrigeración propio del compresor.

<b>Tabla 7-11:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $K1 = L1$	
Balance parcial tolueno (T)	$K1 \cdot X_{K1-T} = L1 \cdot X_{L1-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$K1 \cdot X_{K1-H} = L1 \cdot X_{L1-H}$

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-12:</b> Balance de masa K-105								
<b>Equipo: K-105</b>								
Descripción del equipo: Compresor								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
K1	Entrada	Mezcla de tolueno e H <sub>2</sub> recuperado	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	33300	X <sub>N1-T</sub>	0.939	35458.44	1
			H <sub>2</sub>	2158.44	X <sub>N1-H</sub>	0.061		
L1	Salida	Mezcla de tolueno e H <sub>2</sub> recuperado presurizado	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	33300	X <sub>N1-T</sub>	0.939	35458.44	30
			H <sub>2</sub>	2158.44	X <sub>N1-H</sub>	0.061		
<b>Balance de energía</b>								
				Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3		
				T entrada (°C)	240	427	395	
				T salida (°C)	427	395	450	
				Q entrada (m <sup>3</sup> /h)	60330.7265	11776.8367	5046.1183	
				Q salida (m <sup>3</sup> /h)	11776.8367	5046.1183	2853.3966	
				P entrada (atm)	1	7	19	
				P salida (atm)	7	19	30	
				Calor (kcal/h)	4.27541*10 <sup>6</sup>	2.80894*10 <sup>6</sup>	1.19239*10 <sup>6</sup>	
				Calor de enfriamiento (kcal/h)	-	3.85205*10 <sup>6</sup>	-	

Fuente: Elaboración propia

## 7.4 SECCION 200: Descripción de los equipos.

### 7.4.1 Columna de destilación C-201

La columna de destilación C-201 es la primera de una serie de 3 columnas que cumplen la función principal de separación de productos que serán subproductos del proceso esenciales o recirculados al mismo.

Para la simulación de las torres es fundamental el uso de ChemCad, todos los cálculos fueron realizados con dicho simulador.

En el caso de la C-201, su alimentación contiene todas las proporciones de productos de reacción y de éstos, es destilado el benceno. El benceno es uno de los subproductos logrados en el proceso con una concentración de 99% y se almacena en las condiciones adecuadas para su venta directa.

Consideraciones:

- Se considera en el balance de energía los calores de condensadores y de rehedidores expresados en la figura 7-10. Los diseños específicos de los mismos son expresados en el siguiente capítulo.

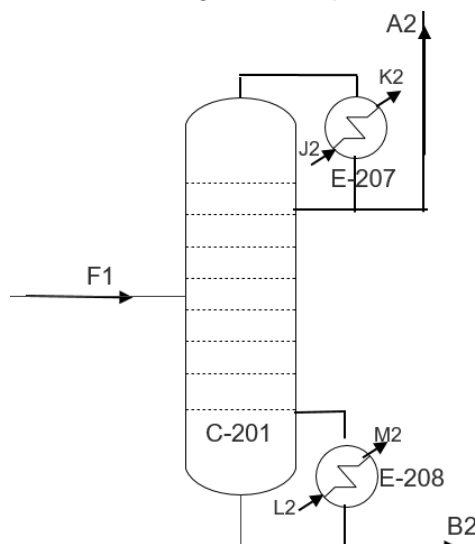


Figura 7-10: Diagrama de la torre de destilación C-201

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-13: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $F1 = A2 + B2$	
Balance parcial tolueno (T)	$F1 \cdot X_{F1-T} = A2 \cdot X_{A2-T} + B2 \cdot X_{B2-T}$
Balance parcial benceno (B)	$F1 \cdot X_{F1-B} = A2 \cdot X_{A2-B} + B2 \cdot X_{B2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$F1 \cdot X_{F1-PX} = A2 \cdot X_{A2-PX} + B2 \cdot X_{B2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$F1 \cdot X_{F1-OX} = A2 \cdot X_{A2-OX} + B2 \cdot X_{B2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$F1 \cdot X_{F1-MX} = A2 \cdot X_{A2-MX} + B2 \cdot X_{B2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$F1 \cdot X_{F1-EB} = A2 \cdot X_{A2-EB} + B2 \cdot X_{B2-EB}$

Fuente: Elaboración propia



Tabla 7-14: Balance de masa y energía de la torre de destilación C-201								
Equipo: C-201								
Descripción del equipo: Torre de destilación								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
F1	Entrada	Benceno, tolueno y mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>F1-T</sub>	0.600	33310	1
			PX	6021.97	X <sub>F1-PX</sub>	0.180		
			MX	1106.23	X <sub>F1-MX</sub>	0.033		
			OX	197.8	X <sub>F1-OX</sub>	0.006		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>F1-B</sub>	0.160		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>F1-EB</sub>	0.020		
A2	Salida	Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>A2-B</sub>	1	5328	1
B2	Salida	Tolueno y mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>B2-T</sub>	0.714	27972	1.5
			PX	6021.97	X <sub>B2-PX</sub>	0.215		
			MX	1106.23	X <sub>B2-MX</sub>	0.039		
			OX	197.8	X <sub>B2-OX</sub>	0.007		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>B2-EB</sub>	0.023		
Balance de energía								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
F1			60			0.43		
A2			79			0.44		
B2			131			0.49		
Calor condensador (kcal/h)			2.01 10 <sup>6</sup>					
Calor rehvador (kcal/h)			2.98 10 <sup>6</sup>					
Fracción vaporizada								
Corriente								
F1			0					
A2			0					
B2			0					

*Fuente: Elaboración propia*

#### 7.4.2 Intercambiador de calor E-207

El intercambiador de calor E-207 representa el condensador de la C-201 en la cabeza de la misma. Aportando la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos.

A continuación se muestra el balance de masa.

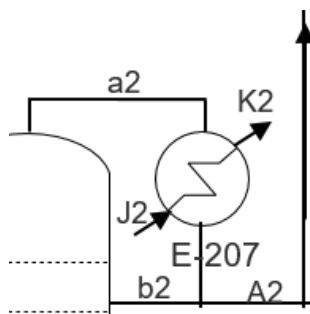


Figura 7-11: Condensador E-207

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-15: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $a2 + J2 = b2 + A2 + K2$	
Balance parcial tolueno (T)	$a2 \cdot X_{a2-T} + J2 \cdot X_{J2-T} = b2 \cdot X_{b2-T} + A2 \cdot X_{A2-T} + K2 \cdot X_{K2-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$a2 \cdot X_{a2-H} + J2 \cdot X_{J2-H} = b2 \cdot X_{b2-H} + A2 \cdot X_{A2-H} + K2 \cdot X_{K2-H}$
Balance parcial benceno (B)	$a2 \cdot X_{a2-B} + J2 \cdot X_{J2-B} = b2 \cdot X_{b2-B} + A2 \cdot X_{A2-B} + K2 \cdot X_{K2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$a2 \cdot X_{a2-PX} + J2 \cdot X_{J2-PX} = b2 \cdot X_{b2-PX} + A2 \cdot X_{A2-PX} + K2 \cdot X_{K2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$a2 \cdot X_{a2-OX} + J2 \cdot X_{J2-OX} = b2 \cdot X_{b2-OX} + A2 \cdot X_{A2-OX} + K2 \cdot X_{K2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$a2 \cdot X_{a2-MX} + J2 \cdot X_{J2-MX} = b2 \cdot X_{b2-MX} + A2 \cdot X_{A2-MX} + K2 \cdot X_{K2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$a2 \cdot X_{a2-EB} + J2 \cdot X_{J2-EB} = b2 \cdot X_{b2-EB} + A2 \cdot X_{A2-EB} + K2 \cdot X_{K2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$a2 \cdot X_{a2-W} + J2 \cdot X_{J2-W} = b2 \cdot X_{b2-W} + A2 \cdot X_{A2-W} + K2 \cdot X_{K2-W}$

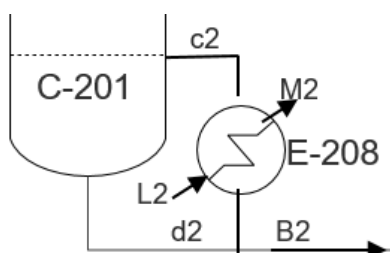
Tabla 7-16: Balance de masa y energía intercambiador E-207								
Equipo: E-207								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
a2	Entrada	Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	21312	X <sub>a2-B</sub>	1	21312	1
J2	Entrada	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	118000	X <sub>J2-H2O</sub>	1	118000	1
b2	Salida	Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	15984	X <sub>b2-B</sub>	1	15984	1
A2	Salida	Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	5328	X <sub>A2-B</sub>	1	5328	1
K2	Salida	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	118000	X <sub>K2-H2O</sub>	1	118000	1
Balance de energía								
Calor Intercambiado (kcal/h)		2.01 10 <sup>6</sup>						

Corriente	Temperatura (°C)	Cp ( kcal/kg°C)
a2	80	0.44
J2	18	1
b2	79	0.44
A2	79	0.44
K2	35	1
<b>Fracción vaporizada</b>		
Corriente		
a2	1	
J2	0	
b2	0	
A2	0	
K2	0	

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.4.3 Intercambiador de calor E-208

El intercambiador de calor E-208 representa el rehervidor de la C-201 en el fondo de la misma. Al igual que el condensador, aporta la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos. Se representa a continuación, el balance de masa de este equipo:



**Figura 7-12:** Rehervidor E-208

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-17:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $c2 + L2 = d2 + B2 + M2$	
Balance parcial tolueno (T)	$c2 \cdot X_{c2-T} + L2 \cdot X_{L2-T} = d2 \cdot X_{d2-T} + B2 \cdot X_{B2-T} + M2 \cdot X_{M2-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$c2 \cdot X_{c2-H} + L2 \cdot X_{L2-H} = d2 \cdot X_{d2-H} + B2 \cdot X_{B2-H} + M2 \cdot X_{M2-H}$
Balance parcial benceno (B)	$c2 \cdot X_{c2-B} + L2 \cdot X_{L2-B} = d2 \cdot X_{d2-B} + B2 \cdot X_{B2-B} + M2 \cdot X_{M2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$c2 \cdot X_{c2-PX} + L2 \cdot X_{L2-PX} = d2 \cdot X_{d2-PX} + B2 \cdot X_{B2-PX} + M2 \cdot X_{M2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$c2 \cdot X_{c2-OX} + L2 \cdot X_{L2-OX} = d2 \cdot X_{d2-OX} + B2 \cdot X_{B2-OX} + M2 \cdot X_{M2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$c2 \cdot X_{c2-MX} + L2 \cdot X_{L2-MX} = d2 \cdot X_{d2-MX} + B2 \cdot X_{B2-MX} + M2 \cdot X_{M2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$c2 \cdot X_{c2-EB} + L2 \cdot X_{L2-EB} = d2 \cdot X_{d2-EB} + B2 \cdot X_{B2-EB} + M2 \cdot X_{M2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$c2 \cdot X_{c2-W} + L2 \cdot X_{L2-W} = d2 \cdot X_{d2-W} + B2 \cdot X_{B2-W} + M2 \cdot X_{M2-W}$

*Fuente: Elaboración propia*

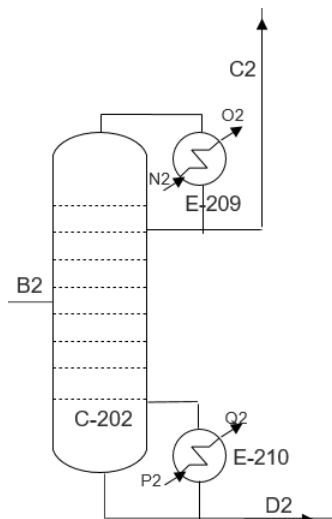
Tabla 7-18: Balance de masa y energía intercambiador E-208								
Equipo: E-208								
Descripción del equipo Intercambiador de calor:								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
c2	Entrada	Tolueno y mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	25182,57	X <sub>c2-T</sub>	0,714	35269,7	1.5
			PX	7582,98	X <sub>c2-PX</sub>	0,215		
			MX	1375,51	X <sub>c2-MX</sub>	0,039		
			OX	246,88	X <sub>c2-OX</sub>	0,007		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	811,20	X <sub>c2-EB</sub>	0,023		
L2	Entrada	Vapor	H <sub>2</sub> O	5520	X <sub>L2-H2O</sub>	1	5520	1
B2	Salida	Tolueno y mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19972,00	X <sub>B2-T</sub>	0,714	27972	1.5
			PX	6013,98	X <sub>B2-PX</sub>	0,215		
			MX	1090,90	X <sub>B2-MX</sub>	0,039		
			OX	195,80	X <sub>B2-OX</sub>	0,007		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	643,35	X <sub>B2-EB</sub>	0,023		
d2	Salida	Tolueno y mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	5210,56	X <sub>d2-T</sub>	0,714	7297,71	1.5
			PX	1569	X <sub>d2-PX</sub>	0,215		
			MX	284,61	X <sub>d2-MX</sub>	0,039		
			OX	51,08	X <sub>d2-OX</sub>	0,007		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	167,84	X <sub>d2-EB</sub>	0,023		
M2	Salida	Vapor	H <sub>2</sub> O	5520	X <sub>M2-H2O</sub>	1	5520	1
Balance de energía								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
c2			131			0.49		
L2			100			1		
B2			131			0.49		
d2			132			0.49		
M2			100			1		
Fracción vaporizado								
Corriente								
c2			0					
L2			1					
B2			0					
d2			1					
M2			0					

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4.4 Columna de destilación C-202

A continuación de la primera columna de destilación, donde la corriente de salida no contiene benceno, se encuentra la segunda columna de destilación C-202. En la misma es separado el tolueno presente en la corriente de alimentación. El tolueno es

recuperado en un 99% y recirculado completamente al comienzo del proceso para comunicarse con la entrada de tolueno fresco y completar el caudal másico requerido para la producción dada.



**Figura 7-13:** Diagrama de la torre de destilación C-202  
*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-19:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $B2 = C2 + D2$	
Balance parcial tolueno (T)	$B2 \cdot X_{B2-T} = C2 \cdot X_{C2-T} + D2 \cdot X_{D2-T}$
Balance parcial benceno (B)	$B2 \cdot X_{B2-B} = C2 \cdot X_{C2-B} + D2 \cdot X_{D2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$B2 \cdot X_{B2-PX} = C2 \cdot X_{C2-PX} + D2 \cdot X_{D2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$B2 \cdot X_{B2-OX} = C2 \cdot X_{C2-OX} + D2 \cdot X_{D2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$B2 \cdot X_{B2-MX} = C2 \cdot X_{C2-MX} + D2 \cdot X_{D2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$B2 \cdot X_{B2-EB} = C2 \cdot X_{C2-EB} + D2 \cdot X_{D2-EB}$

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-20:</b> Balance de masa y energía de la torre de destilación C-202								
<b>Equipo: C-202</b>								
Descripción del equipo: Torre de destilación								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
B2	Entrada	Tolueno y mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19980	X <sub>B2-T</sub>	0.714	27972	1.5
			PX	6021.97	X <sub>B2-PX</sub>	0.215		
			MX	1106.23	X <sub>B2-MX</sub>	0.039		
			OX	197.8	X <sub>B2-OX</sub>	0.007		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>B2-EB</sub>	0.023		
C2	Salida	Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19960	X <sub>C2-H</sub>	1	19960	1.5

D2	Salida	Mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>C2-T</sub>	0.002	8012	2
			PX	6021.97	X <sub>C2-PX</sub>	0.75		
			MX	1106.23	X <sub>C2-MX</sub>	0.138		
			OX	197.8	X <sub>C2-OX</sub>	0.025		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>C2-EB</sub>	0.083		
<b>Balance de energía</b>								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
B2			131			0.49		
C2			125			0.49		
D2			166			0.53		
Calor condensador (kcal/h)			6.75 10 <sup>6</sup>					
Calor rehvividor (kcal/h)			6.32 10 <sup>6</sup>					
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corriente								
B2			0					
C2			0					
D2			0					

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4.5 Intercambiador de E-209

El intercambiador de calor E-209 representa el condensador de la C-202 en la cabeza de la misma. Aportando la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos.

A continuación, se muestra el balance de masa.

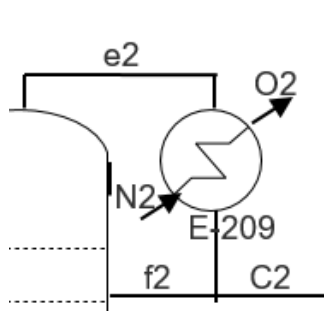


Figura 7-14: Condensador E-209

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-21: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes</b>	
Balance general: $e2 + N2 = f2 + C2 + O2$	
Balance parcial tolueno (T)	$e2 \cdot X_{e2-T} + N2 \cdot X_{N2-T} = f2 \cdot X_{f2-T} + C2 \cdot X_{C2-T} + O2 \cdot X_{O2-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$e2 \cdot X_{e2-H} + N2 \cdot X_{N2-H} = f2 \cdot X_{f2-H} + C2 \cdot X_{C2-H} + O2 \cdot X_{O2-H}$
Balance parcial benceno (B)	$e2 \cdot X_{e2-B} + N2 \cdot X_{N2-B} = f2 \cdot X_{f2-B} + C2 \cdot X_{C2-B} + O2 \cdot X_{O2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$e2 \cdot X_{e2-PX} + N2 \cdot X_{N2-PX} = f2 \cdot X_{f2-PX} + C2 \cdot X_{C2-PX} + O2 \cdot X_{O2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$e2 \cdot X_{e2-OX} + N2 \cdot X_{N2-OX} = f2 \cdot X_{f2-OX} + C2 \cdot X_{C2-OX} + O2 \cdot X_{O2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$e2 \cdot X_{e2-MX} + N2 \cdot X_{N2-MX} = f2 \cdot X_{f2-MX} + C2 \cdot X_{C2-MX} + O2 \cdot X_{O2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$e2 \cdot X_{e2-EB} + N2 \cdot X_{N2-EB} = f2 \cdot X_{f2-EB} + C2 \cdot X_{C2-EB} + O2 \cdot X_{O2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$e2 \cdot X_{e2-W} + N2 \cdot X_{N2-W} = f2 \cdot X_{f2-W} + C2 \cdot X_{C2-W} + O2 \cdot X_{O2-W}$

Tabla 7-22: Balance de masa y energía intercambiador E-209								
Equipo: E-209								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
e2	Entrada	Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	79840	X <sub>e2-T</sub>	1	79840	1.5
N2	Entrada	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	397000	X <sub>N2-H2O</sub>	1	397000	1
f2	Salida	Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	59880	X <sub>f2-T</sub>	1	59880	1.5
C2	Salida	Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	19960	X <sub>C2-T</sub>	1	19960	1.5
O2	Salida	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	397000	X <sub>O2-H2O</sub>	1	397000	1
Balance de energía								
Calor Intercambiado (kcal/h)		6.75 10 <sup>6</sup>						
Corriente		Temperatura (°C)				Cp (kcal/kg°C)		
e2		126				0.49		
N2		18				1		
f2		125				0.49		
C2		125				0.49		
O2		35				1		
Fracción vaporizada								
Corriente								
e2		1						
N2		0						
f2		0						
C2		0						
O2		0						

*Fuente: Elaboración propia*

#### 7.4.6 Intercambiador de E-210

El intercambiador de calor E-210 representa el rehervidor de la C-202 en el fondo de la misma. Al igual que el condensador, aporta la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos.

Se representa a continuación, el balance de masa de este equipo:

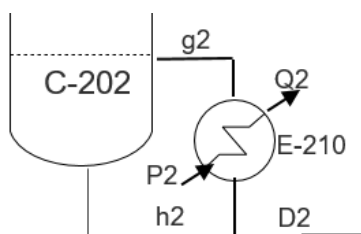


Figura 7-15: Rehervidor E-210

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-23: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $g2 + P2 = h2 + D2 + Q2$	
Balance parcial tolueno (T)	$g2 \cdot X_{g2-T} + P2 \cdot X_{P2-T} = h2 \cdot X_{h2-T} + D2 \cdot X_{D2-T} + Q2 \cdot X_{Q2-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$g2 \cdot X_{g2-H} + P2 \cdot X_{P2-H} = h2 \cdot X_{h2-H} + D2 \cdot X_{D2-H} + Q2 \cdot X_{Q2-H}$
Balance parcial benceno (B)	$g2 \cdot X_{g2-B} + P2 \cdot X_{P2-B} = h2 \cdot X_{h2-B} + D2 \cdot X_{D2-B} + Q2 \cdot X_{Q2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$g2 \cdot X_{g2-PX} + P2 \cdot X_{P2-PX} = h2 \cdot X_{h2-PX} + D2 \cdot X_{D2-PX} + Q2 \cdot X_{Q2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$g2 \cdot X_{g2-OX} + P2 \cdot X_{P2-OX} = h2 \cdot X_{h2-OX} + D2 \cdot X_{D2-OX} + Q2 \cdot X_{Q2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$g2 \cdot X_{g2-MX} + P2 \cdot X_{P2-MX} = h2 \cdot X_{h2-MX} + D2 \cdot X_{D2-MX} + Q2 \cdot X_{Q2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$g2 \cdot X_{g2-EB} + P2 \cdot X_{P2-EB} = h2 \cdot X_{h2-EB} + D2 \cdot X_{D2-EB} + Q2 \cdot X_{Q2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$g2 \cdot X_{g2-W} + P2 \cdot X_{P2-W} = h2 \cdot X_{h2-W} + D2 \cdot X_{D2-W} + Q2 \cdot X_{Q2-W}$

Tabla 7-24: Balance de masa y energía intercambiador E-210								
Equipo: E-210								
Descripción del equipo Intercambiador de calor:								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
g2	Entrada	Mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	164,80	X <sub>g2-T</sub>	0,002	82403,35	2
			PX	61802,51	X <sub>g2-PX</sub>	0,75		
			MX	11371,66	X <sub>g2-MX</sub>	0,138		
			OX	2060,08	X <sub>g2-OX</sub>	0,025		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6839,47	X <sub>g2-EB</sub>	0,083		
P2	Entrada	Vapor	H <sub>2</sub> O	11710	X <sub>P2-H2O</sub>	1	11710	1
h2	Salida	Mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	148,78	X <sub>h2-T</sub>	0,002	74391,35	2
			PX	55793,51	X <sub>h2-PX</sub>	0,75		
			MX	10266,00	X <sub>h2-MX</sub>	0,138		
			OX	1859,78	X <sub>h2-OX</sub>	0,025		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6174,48	X <sub>h2-EB</sub>	0,083		
D2	Salida		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	16,02	X <sub>D2-T</sub>	0,002	8012	2



		Mezcla de xilenos	PX	6009	$X_{D2-PX}$	0,75		
			MX	1105,65	$X_{D2-MX}$	0,138		
			OX	200,3	$X_{D2-OX}$	0,025		
			$C_6H_5C_2H_4$	664,99	$X_{D2-EB}$	0,083		
Q2	Salida	Vapor	$H_2O$	11710	$X_{Q2-H_2O}$	1	11710	1
<b>Balance de energía</b>								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
g2			166			0.53		
P2			100			1		
h2			167			0.53		
D2			166			0.53		
Q2			100			1		
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corriente								
g2						0		
P2						1		
h2						1		
D2						0		
Q2						0		

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4.7 Columna de destilación C-203

El equipo C-203 es la tercera columna de destilación con función de separar el o-xileno de la mezcla de xilenos que constituyen la alimentación. El o-xileno es uno de los tres isómeros del xileno y tiene importancia comercial por sí solo. En este proceso, constituye un subproducto de poco caudal másico pero gran relevancia económica. De C-203 se obtiene o-xileno al 98% y se enfría en el intercambiador E-206 para su almacenamiento y posterior distribución de venta.

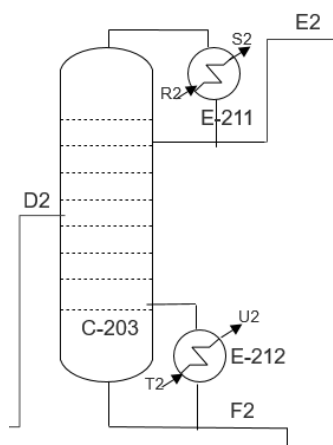


Figura 7-16: Diagrama de la torre de destilación C-203

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-25:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $D2 = E2 + F2$	
Balance parcial tolueno (T)	$D2 \cdot X_{D2-T} = E2 \cdot X_{E2-T} + F2 \cdot X_{F2-T}$
Balance parcial benceno (B)	$D2 \cdot X_{D2-B} = E2 \cdot X_{E2-B} + F2 \cdot X_{F2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$D2 \cdot X_{D2-PX} = E2 \cdot X_{E2-PX} + F2 \cdot X_{F2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$D2 \cdot X_{D2-OX} = E2 \cdot X_{E2-OX} + F2 \cdot X_{F2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$D2 \cdot X_{D2-MX} = E2 \cdot X_{E2-MX} + F2 \cdot X_{F2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$D2 \cdot X_{D2-EB} = E2 \cdot X_{E2-EB} + F2 \cdot X_{F2-EB}$

*Fuente: Elaboración propia*

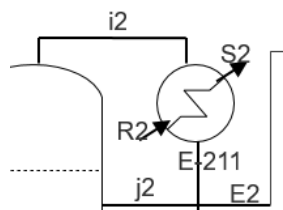
<b>Tabla 7-26:</b> Balance de masa y energía de la torre de destilación C-203								
<b>Equipo: C-203</b>								
Descripción del equipo: Torre de destilación								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
D2	Entrada	Mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>D2-T</sub>	0.002	8012	2
			PX	6021.97	X <sub>D2-PX</sub>	0.75		
			MX	1106.23	X <sub>D2-MX</sub>	0.138		
			OX	197.8	X <sub>D2-OX</sub>	0.025		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>D2-EB</sub>	0.083		
F2	Salida	o-Xileno	PX	0.543	X <sub>E2-PX</sub>	0.002	201	2.5
			MX	3.418	X <sub>E2-MX</sub>	0.017		
			OX	197.02	X <sub>E2-OX</sub>	0.980		
E2	Salida	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>F2-T</sub>	0.002	7811	2
			PX	6003.9	X <sub>F2-PX</sub>	0.772		
			MX	1102.8	X <sub>F2-MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>F2-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>F2-EB</sub>	0.085		
<b>Balance de energía</b>								
Corriente		Temperatura (°C)				Cp (kcal/kg°C)		
D2		166				0.53		
F2		180				0.53		
E2		160				0.53		
Calor condensador (kcal/h)		9.60 10 <sup>6</sup>						
Calor rehvador (kcal/h)		6.32 10 <sup>6</sup>						
<b>Fracción vaporizado</b>								
Corriente								
D2		0						
F2		0						
E2		0						

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.4.8 Intercambiador de calor E-211

El intercambiador de calor E-209 representa el condensador de la C-202 en la cabeza de la misma. Aportando la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos.

A continuación, se muestra el balance de masa.



**Figura 7-17:** Condensador E-211

Fuente: *Elaboración propia*

Fuente: *Elaboración propia*

<b>Tabla 7-27:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $i2 + R2 = j2 + E2 + S2$	
Balance parcial tolueno (T)	$i2 \cdot X_{i2-T} + R2 \cdot X_{R2-T} = j2 \cdot X_{j2-T} + E2 \cdot X_{E2-T} + S2 \cdot X_{S2-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$i2 \cdot X_{i2-H} + R2 \cdot X_{R2-H} = j2 \cdot X_{j2-H} + E2 \cdot X_{E2-H} + S2 \cdot X_{S2-H}$
Balance parcial benceno (B)	$i2 \cdot X_{i2-B} + R2 \cdot X_{R2-B} = j2 \cdot X_{j2-B} + E2 \cdot X_{E2-B} + S2 \cdot X_{S2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$i2 \cdot X_{i2-PX} + R2 \cdot X_{R2-PX} = j2 \cdot X_{j2-PX} + E2 \cdot X_{E2-PX} + S2 \cdot X_{S2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$i2 \cdot X_{i2-OX} + R2 \cdot X_{R2-OX} = j2 \cdot X_{j2-OX} + E2 \cdot X_{E2-OX} + S2 \cdot X_{S2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$i2 \cdot X_{i2-MX} + R2 \cdot X_{R2-MX} = j2 \cdot X_{j2-MX} + E2 \cdot X_{E2-MX} + S2 \cdot X_{S2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$i2 \cdot X_{i2-EB} + R2 \cdot X_{R2-EB} = j2 \cdot X_{j2-EB} + E2 \cdot X_{E2-EB} + S2 \cdot X_{S2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$i2 \cdot X_{i2-W} + R2 \cdot X_{R2-W} = j2 \cdot X_{j2-W} + E2 \cdot X_{E2-W} + S2 \cdot X_{S2-W}$

<b>Tabla 7-28:</b> Balance de masa y energía intercambiador E-211								
<b>Equipo: E-211</b>								
Descripción del equipo Intercambiador de calor:								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
i2	Entrada	Mezcla de xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	249,952	X <sub>i2-T</sub>	0.002	124976	2
			PX	96481,47	X <sub>i2-PX</sub>	0.772		
			MX	17621,61	X <sub>i2-MX</sub>	0.141		
			OX	0	X <sub>i2-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	10622,96	X <sub>i2-EB</sub>	0.085		
R2	Salida	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	565000	X <sub>R2-H2O</sub>	1	565000	1
E2	Salida	o-Xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	15,622	X <sub>E2-T</sub>	0.002	7811	2
			PX	6030,09	X <sub>E2-PX</sub>	0.772		
			MX	1101,35	X <sub>E2-MX</sub>	0.141		

			OX	0	$X_{E2-OX}$	0		
			$C_6H_5C_2H_4$	663,935	$X_{E2-EB}$	0.085		
j2	Salida	Mezcla de xilenos sin o-xileno	$C_6H_5CH_3$	234,33	$X_{j2-T}$	0.002	117165	2
			PX	90451,38	$X_{j2-PX}$	0.772		
			MX	16520,26	$X_{j2-MX}$	0.141		
			OX	0	$X_{j2-OX}$	0		
			$C_6H_5C_2H_4$	9959,02	$X_{j2-EB}$	0.085		
S2		Agua de enfriamiento	$H_2O$	565000	$X_{2-H_2O}$	1	565000	1
<b>Balance de energía</b>								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
i2			161			0.53		
R2			18			1		
E2			160			0.53		
j2			160			0.53		
S2			350.53			1		
<b>Fracción vaporizado</b>								
Corriente								
i2						1		
R2						0		
E2						0		
j2						0		
S2						0		

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4.9 Intercambiador de calor E-212

El intercambiador de calor E-212 representa el rehervidor de la C-203 en el fondo de la misma. Al igual que el condensador, aporta la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos. Se representa a continuación, el balance de masa de este equipo:

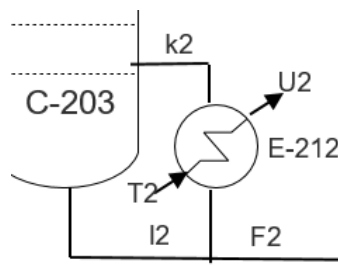


Figura 7-18: Rehervidor E-212

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-29:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $k2 + T2 = I2 + F2 + U2$	
Balance parcial tolueno (T)	$k2 \cdot X_{k2-T} + T2 \cdot X_{T2-T} = I2 \cdot X_{I2-T} + F2 \cdot X_{F2-T} + U2 \cdot X_{U2-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$k2 \cdot X_{k2-H} + T2 \cdot X_{T2-H} = I2 \cdot X_{I2-H} + F2 \cdot X_{F2-H} + U2 \cdot X_{U2-H}$
Balance parcial benceno (B)	$k2 \cdot X_{k2-B} + T2 \cdot X_{T2-B} = I2 \cdot X_{I2-B} + F2 \cdot X_{F2-B} + U2 \cdot X_{U2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$k2 \cdot X_{k2-PX} + T2 \cdot X_{T2-PX} = I2 \cdot X_{I2-PX} + F2 \cdot X_{F2-PX} + U2 \cdot X_{U2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$k2 \cdot X_{k2-OX} + T2 \cdot X_{T2-OX} = I2 \cdot X_{I2-OX} + F2 \cdot X_{F2-OX} + U2 \cdot X_{U2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$k2 \cdot X_{k2-MX} + T2 \cdot X_{T2-MX} = I2 \cdot X_{I2-MX} + F2 \cdot X_{F2-MX} + U2 \cdot X_{U2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$k2 \cdot X_{k2-EB} + T2 \cdot X_{T2-EB} = I2 \cdot X_{I2-EB} + F2 \cdot X_{F2-EB} + U2 \cdot X_{U2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$k2 \cdot X_{k2-W} + T2 \cdot X_{T2-W} = I2 \cdot X_{I2-W} + F2 \cdot X_{F2-W} + U2 \cdot X_{U2-W}$

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-30: Balance de masa y energía intercambiador E-212</b>								
<b>Equipo: E-212</b>								
Descripción del equipo Intercambiador de calor								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
k2	Entrada	o-Xileno	PX	232,86	$X_{k2-PX}$	0,002	116430,0	2.5
			MX	1979,31	$X_{k2-MX}$	0,017		
			OX	114101,4	$X_{k2-OX}$	0,98		
T2	Entrada	Vapor	H <sub>2</sub> O	33820	$X_{T2-H2O}$	1	33820	1
I2	Salida	o-Xileno	PX	232,45	$X_{I2-PX}$	0,002	116229,0	2.5
			MX	1975,89	$X_{I2-MX}$	0,017		
			OX	113904,4	$X_{I2-OX}$	0,98		
F2	Salida	o-Xileno	PX	0,40	$X_{F2-PX}$	0,002	201	2.5
			MX	3,41	$X_{F2-MX}$	0,017		
			OX	196,98	$X_{F2-OX}$	0,98		
U2	Salida	Vapor	H <sub>2</sub> O	33820	$X_{U2-H2O}$	1	33820	1
<b>Balance de energía</b>								
Corriente			Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)		
k2			180			0.53		
T2			100			1		
I2			181			0.53		
F2			180			0.53		
U2			100			1		
<b>Fracción vaporizado</b>								
Corriente								
k2			1					
T2			0					
I2			0					
F2			1					
U2			1					

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4.10 Intercambiador de calor E-206

El intercambiador de calor E-206 disminuye la temperatura de la corriente de o-xileno desde 180°C a 25°C mediante una corriente de agua de enfriamiento. Una vez frío, es almacenado en las condiciones adecuadas para la posterior distribución de venta.

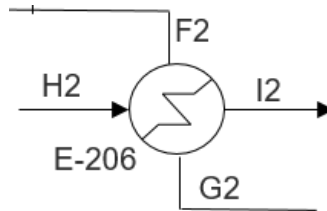


Figura 7-19: Intercambiador de calor E-206

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-31:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $F2 + H2 = G2 + I2$	
Balance parcial tolueno (T)	$F1 \cdot X_{F2-T} + H2 \cdot X_{H2-T} = G2 \cdot X_{G2-T} + I2 \cdot X_{I2-T}$
Balance parcial benceno (B)	$F1 \cdot X_{F2-B} + H2 \cdot X_{H2-B} = G2 \cdot X_{G2-B} + I2 \cdot X_{I2-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$F1 \cdot X_{F2-PX} + H2 \cdot X_{H2-PX} = G2 \cdot X_{G2-PX} + I2 \cdot X_{I2-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$F1 \cdot X_{F2-OX} + H2 \cdot X_{H2-OX} = G2 \cdot X_{G2-OX} + I2 \cdot X_{I2-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$F1 \cdot X_{F2-MX} + H2 \cdot X_{H2-MX} = G2 \cdot X_{G2-MX} + I2 \cdot X_{I2-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$F1 \cdot X_{F2-EB} + H2 \cdot X_{H2-EB} = G2 \cdot X_{G2-EB} + I2 \cdot X_{I2-EB}$
Balance parcial agua (W)	$F1 \cdot X_{F2-W} + H2 \cdot X_{H2-W} = G2 \cdot X_{G2-W} + I2 \cdot X_{I2-W}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-32: Balance de masa y energía intercambiador E-206								
Equipo: E-206								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
F2	Entrada	o-Xileno	PX	0.543	$X_{F2-PX}$	0.002	201	2.5
			MX	3.418	$X_{F2-MX}$	0.017		
			OX	197.02	$X_{F2-OX}$	0.980		
H2	Entrada	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	861.7	$X_{H2-H2O}$	1	861.7	1
G2	Salida	o-Xileno enfriado	PX	0.543	$X_{G2-PX}$	0.002	201	1
			MX	3.418	$X_{G2-MX}$	0.017		
			OX	197.02	$X_{G2-OX}$	0.980		
I2	Salida	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	861.7	$X_{I2-H2O}$	1	861.7	1
Balance de energía								
Calor Intercambiado (kcal/h)		1.46 10 <sup>4</sup>						
Corriente		Temperatura (°C)				Cp (kcal/kg°C)		
F2		182.5				0.53		
H2		18				1		
G2		35				0.41		
I2		25				1		
Fracción vaporizada								
Corriente								
F2		0						
H2		0						
G2		0						
I2		0						

*Fuente: Elaboración propia*

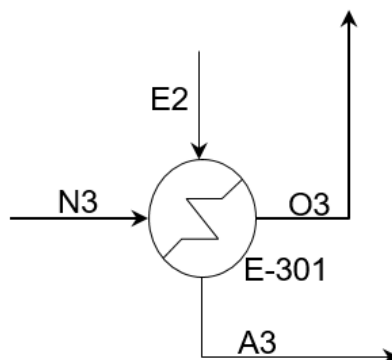
## 7.5 SECCION 300: Descripción de los equipos.

### 7.5.1 Intercambiador de calor E-301

Para comenzar la sección 300, última sección del proceso, se encuentran funcionando un tren de intercambiadores de calor que tienen la función de enfriar (mediante agua de enfriamiento y sistema de frío con amoníaco y salmuera) la corriente proveniente de la

columna de destilación C-203 constituida por una mezcla considerable de xilenos. El funcionamiento de los sistemas de frío utilizados se describe en el capítulo Servicios Auxiliares.

En este caso, el E-301 disminuye la temperatura de la mezcla de xilenos desde 160°C a 60°C mediante agua de enfriamiento en contracorriente.



**Figura 7-20:** Intercambiador de calor E-301  
*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-33:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $N3 + E2 = A3 + O3$	
Balance parcial tolueno (T)	$N3 \cdot X_{N3-T} + E2 \cdot X_{E2-T} = A3 \cdot X_{A3-T} + O3 \cdot X_{O3-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$N3 \cdot X_{N3-H} + E2 \cdot X_{E2-H} = A3 \cdot X_{A3-H} + O3 \cdot X_{O3-H}$
Balance parcial benceno (B)	$N3 \cdot X_{N3-B} + E2 \cdot X_{E2-B} = A3 \cdot X_{A3-B} + O3 \cdot X_{O3-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$N3 \cdot X_{N3-PX} + E2 \cdot X_{E2-PX} = A3 \cdot X_{A3-PX} + O3 \cdot X_{O3-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$N3 \cdot X_{N3-OX} + E2 \cdot X_{E2-OX} = A3 \cdot X_{A3-OX} + O3 \cdot X_{O3-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$N3 \cdot X_{F2-MX} + E2 \cdot X_{E2-MX} = A3 \cdot X_{A3-MX} + O3 \cdot X_{O3-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$N3 \cdot X_{N3-EB} + E2 \cdot X_{E2-EB} = A3 \cdot X_{A3-EB} + O3 \cdot X_{O3-EB}$
Balance parcial salmuera (S)	$N3 \cdot X_{N3-S} + E2 \cdot X_{E2-S} = A3 \cdot X_{A3-S} + O3 \cdot X_{O3-S}$

*Fuente: Elaboración propia*

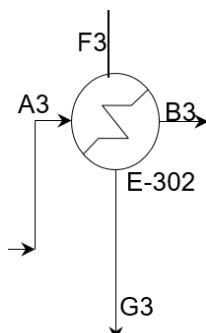


Tabla 7-34: Balance de masa y energía intercambiador E-301								
Equipo: E-301								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
E2	Entrada	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>E2-T</sub>	0.002	7811	2
			PX	6003.9	X <sub>E2-PX</sub>	0.772		
			MX	1102.8	X <sub>E2-MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>E2-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>E2-EB</sub>	0.083		
N3	Entrada	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	35484.8	X <sub>N3-H2O</sub>	1	35484.8	1
A3	Salida	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>A3-T</sub>	0.002	7811	1
			PX	6003.9	X <sub>A3-PX</sub>	0.772		
			MX	1102.8	X <sub>A3-MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>A3-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>A3-EB</sub>	0.083		
O3	Salida	Agua de enfriamiento	H <sub>2</sub> O	35484.8	X <sub>O3-H2O</sub>	1	35484.8	1
Balance de energía								
Calor Intercambiado (kcal/h)		6.03 10 <sup>5</sup>						
Corriente		Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)			
E2		160			0.53			
N3		18			1			
A3		60			0.47			
O3		35			1			
Fracción vaporizada								
Corriente								
E2		0						
N3		0						
A3		0						
O3		0						

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.5.2 Intercambiador de calor E-302

El E-302 es el segundo de tres intercambiadores continuos y disminuye el caudal de mezcla de xilenos desde 100°C a 50°C, en contracorriente, con flujo de salmuera frío proveniente del sistema de enfriamiento por NH<sub>3</sub>.



**Figura 7-21:** Intercambiador de calor E-302  
*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-35:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $A3 + F3 = B3 + G3$	
Balance parcial tolueno (T)	$A3 \cdot X_{A3-T} + F3 \cdot X_{F3-T} = B3 \cdot X_{B3-T} + G3 \cdot X_{G3-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$A3 \cdot X_{A3-H} + F3 \cdot X_{F3-H} = B3 \cdot X_{B3-H} + G3 \cdot X_{G3-H}$
Balance parcial benceno (B)	$A3 \cdot X_{A3-B} + F3 \cdot X_{F3-B} = B3 \cdot X_{B3-B} + G3 \cdot X_{G3-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$A3 \cdot X_{A3-PX} + F3 \cdot X_{F3-PX} = B3 \cdot X_{B3-PX} + G3 \cdot X_{G3-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$A3 \cdot X_{A3-OX} + F3 \cdot X_{F3-OX} = B3 \cdot X_{B3-OX} + G3 \cdot X_{G3-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$A3 \cdot X_{A3-MX} + F3 \cdot X_{F3-MX} = B3 \cdot X_{B3-MX} + G3 \cdot X_{G3-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$A3 \cdot X_{A3-EB} + F3 \cdot X_{F3-EB} = B3 \cdot X_{B3-EB} + G3 \cdot X_{G3-EB}$
Balance parcial salmuera (S)	$A3 \cdot X_{A3-S} + F3 \cdot X_{F3-S} = B3 \cdot X_{B3-S} + G3 \cdot X_{G3-S}$

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 7-36:</b> Balance de masa y energía intercambiador E-302								
<b>Equipo: E-302</b>								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
<b>Balance de masa</b>								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
A3	Entrada	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>A3-T</sub>	0.002	7811	1
			PX	6003.9	X <sub>A3-PX</sub>	0.772		
			MX	1102.8	X <sub>A3-MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>A3-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>A3-EB</sub>	0.083		

**OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN  
SELECTIVA DE TOLUENO**



F3	Entrada	Salmuera	H <sub>2</sub> O-NaCl	10920.51	X <sub>F3-</sub> H <sub>2</sub> ONa Cl	1	10920. 51	1
B3	Salida	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>B3-T</sub>	0.002	7811	1
			PX	6003.9	X <sub>B3- PX</sub>	0.772		
			MX	1102.8	X <sub>B3- MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>B3- OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>B3- EB</sub>	0.083		
G3	Salida	Salmuera	H <sub>2</sub> O-NaCl	10920.51	X <sub>G3-</sub> H <sub>2</sub> ONa Cl	1	10920. 51	1
<b>Balance de energía</b>								
Calor Intercambiado (kcal/h)		1.75 10 <sup>5</sup>						
Corriente		Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)			
A3		100			0.47			
F3		2			1			
B3		50			0.43			
G3		24			1			
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corriente								
A3		0						
F3		0						
B3		0						
G3		0						

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.5.3 Intercambiador de calor E-303

El E-303 es el último de tres intercambiadores continuos y disminuye el caudal de mezcla de xilenos desde 50°C a 5°C, en contracorriente, con flujo de salmuera frío proveniente del sistema de enfriamiento por NH<sub>3</sub>. A esta temperatura, la corriente C3 es enviada directamente hacia el tanque agitado formador de cristales de p-xileno que mantiene la temperatura constante para que se generen los mismos.

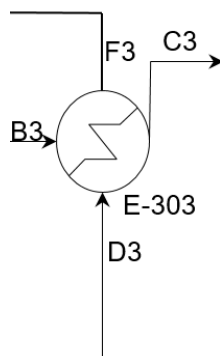


Figura 7-22: Intercambiador de calor E-303  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-37: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $A3 + F3 = B3 + G3$	
Balance parcial tolueno (T)	$A3 \cdot X_{A3-T} + F3 \cdot X_{F3-T} = B3 \cdot X_{B3-T} + G3 \cdot X_{G3-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$A3 \cdot X_{A3-H} + F3 \cdot X_{F3-H} = B3 \cdot X_{B3-H} + G3 \cdot X_{G3-H}$
Balance parcial benceno (B)	$A3 \cdot X_{A3-B} + F3 \cdot X_{F3-B} = B3 \cdot X_{B3-B} + G3 \cdot X_{G3-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$A3 \cdot X_{A3-PX} + F3 \cdot X_{F3-PX} = B3 \cdot X_{B3-PX} + G3 \cdot X_{G3-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$A3 \cdot X_{A3-OX} + F3 \cdot X_{F3-OX} = B3 \cdot X_{B3-OX} + G3 \cdot X_{G3-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$A3 \cdot X_{A3-MX} + F3 \cdot X_{F3-MX} = B3 \cdot X_{B3-MX} + G3 \cdot X_{G3-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$A3 \cdot X_{A3-EB} + F3 \cdot X_{F3-EB} = B3 \cdot X_{B3-EB} + G3 \cdot X_{G3-EB}$
Balance parcial salmuera (S)	$A3 \cdot X_{A3-S} + F3 \cdot X_{F3-S} = B3 \cdot X_{B3-S} + G3 \cdot X_{G3-S}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-38: Balance de masa y energía intercambiador E-303								
Equipo: E-303								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
B3	Entrada	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>B3-T</sub>	0.002	7811	1
			PX	6003.9	X <sub>B3-PX</sub>	0.772		
			MX	1102.8	X <sub>B3-MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>B3-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>B3-EB</sub>	0.083		
D3	Entrada	Salmuera	H <sub>2</sub> O-NaCl	10920.51	X <sub>D3-H2ONaCl</sub>	1	10920.51	1
C3	Salida	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>C3-T</sub>	0.002	7811	1
			PX	6003.9	X <sub>C3-PX</sub>	0.772		

			MX	1102.8	X <sub>C3-MX</sub>	0.141		
			OX	0.778	X <sub>C3-OX</sub>	0		
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>C3-EB</sub>	0.083		
F3	Entrada	Salmuera	H <sub>2</sub> O-NaCl	10920.51	X <sub>F3-H<sub>2</sub>ONaCl</sub>	1	10920.51	1
<b>Balance de energía</b>								
Calor Intercambiado (kcal/h)		1.44 10 <sup>5</sup>						
Corriente		Temperatura (°C)			Cp (kcal/kg°C)			
B3		150			0.43			
D3		-10.5			1			
C3		5			0.40			
F3		2			1			
<b>Fración vaporizada</b>								
Corriente								
B3		0						
D3		0						
C3		0						
F3		0						

*Fuente: Elaboración propia*

#### **7.5.4 Tanque agitado formador de cristales MA-304**

El MA-304, es un tanque con sistema de agitación y mantenimiento constante de temperatura para que la corriente C3 a 5°C pueda formar los cristales de p-xileno y separarse de la corriente líquida de mezcla de xilenos.

Los cristales de p-xileno tienen una pureza de 99% y el líquido madre formado tiene la composición requerida para considerarse como un subproducto en condiciones correctas para la venta directa.

Los avances dados en la mejora de la p-selectividad, como se comentó anteriormente, han creado un impacto significativo en la producción del esquema tradicional de p-xileno de alta pureza. En la siguiente figura se muestra una comparación de procesos de cristalización para diversas composiciones de aromáticos, obtenidos de procesos de recuperación de xilenos con y sin equilibrio termodinámico. (Tsai T, 1980)

Table 6  
Crystallization processes for various xylene compositions

A <sub>8</sub> component	Mix-xylene production process	
	Thermodynamic equilibrium process <sup>a</sup>	Para selective process <sup>b</sup>
<i>p</i> -Xylene (%)	21	78–90
<i>m</i> -Xylene (%)	48	3–14
<i>o</i> -Xylene (%)	21	1–3
Ethylbenzene (%)	10	5–8
<i>Crystallization process</i>		
Number of stages	2	1
Temperature (°C)	~–70	~–20–4
Recovery rate (%)	65	80–90

<sup>a</sup> Produced from A<sub>7</sub> disproportionation and A<sub>9</sub> transalkylation.

<sup>b</sup> Produced from MSTDP<sup>SM</sup>, MTPX<sup>SM</sup> and PX-Plus<sup>SM</sup>.

**Figura 7-23:** Esquema comparativo de etapas de cristalización.

Fuente: (Tsai T, 1980)

Mientras el *p*-xileno aumenta la concentración de mezclas de aromáticos, la temperatura de la mezcla eutéctica disminuye y la contaminación en el producto de *p*-xileno disminuye correspondientemente.

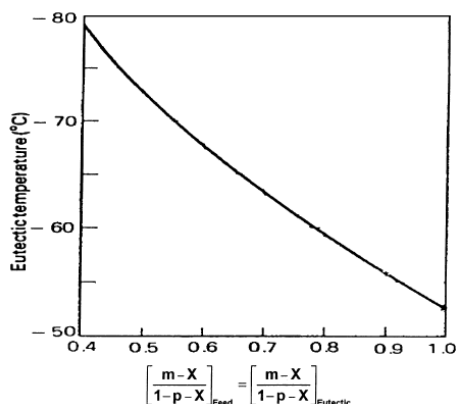


Fig. 8. Relationship between eutectic temperature and ratio of *m*-xylene and *p*-xylene compositions in feedstock and eutectic mixtures; reproduced from ref. [63].

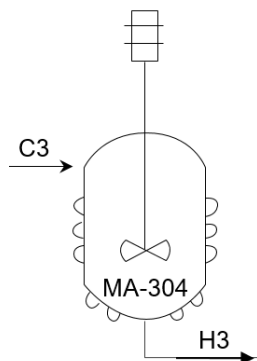
**Figura 7-24:** Esquema comparativo de etapas de cristalización.

Fuente: (Tsai T, 1980)

No hay requisitos de enfriamiento hasta la temperatura eutéctica para mezclas enriquecidas en *p*-xileno, como para mezclas de aromáticos con composición de equilibrio termodinámico, y se obtienen altas tasas de recuperación y alta calidad (99.5%) de *p*-xileno en una sola etapa (Fremuth A.D, 1995). Por lo tanto el costo de producción disminuye sustancialmente (Tabla 6, Fig. 9). Este nuevo esquema de producción es muy simple, y debería tener una inversión de capital de considerable menor costo y más tamaño económico comparado al complejo convencional de *p*-xileno.

Debido a estos avances en el proceso de desproporción de tolueno para la formación de *p*-xileno, se recuperó la tecnología de cristalización como una etapa principal del mismo. Y por la alta tasa de recuperación de *p*-xileno, hay una fracción menor de la corriente de refinado en comparación con la mezcla de equilibrio termodinámico convencional. Aunque, constituye un subproducto del proceso conformado y catalogado comercialmente.

El tanque agitado formador de cristales simula con certeza la etapa de cristalización del proceso de desproporción de tolueno y obtiene altos rendimientos de p-xileno con la pureza requerida.



**Figura 7-25:** Tanque agitado formador de cristales MA-304.  
*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tabla 7-39:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $C3 = H3$	
Balance parcial tolueno (T)	$C3 \cdot X_{C3-T} = H3 \cdot X_{H3-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$C3 \cdot X_{C3-H} = H3 \cdot X_{H3-H}$
Balance parcial benceno (B)	$C3 \cdot X_{C3-B} = H3 \cdot X_{H3-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$C3 \cdot X_{C3-PX} = H3 \cdot X_{H3-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$C3 \cdot X_{C3-OX} = H3 \cdot X_{H3-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$C3 \cdot X_{C3-MX} = H3 \cdot X_{H3-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$C3 \cdot X_{C3-EB} = H3 \cdot X_{H3-EB}$

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tabla 7-40:</b> Balance de masa y energía intercambiador E-102									
<b>Equipo: E-102</b>									
Descripción del equipo: Intercambiador de calor									
<b>Balance de masa</b>									
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)	Tem (°C)
C3	Entrada	Mezcla de xilenos sin o-xileno	$C_6H_5CH_3$	20	$X_{C3-T}$	0.002	7811	1	5
			PX	6003.9	$X_{C3-PX}$	0.772			
			MX	1102.8	$X_{C3-MX}$	0.141			
			OX	0.778	$X_{C3-OX}$	0			
			$C_6H_5C_2H_4$	666	$X_{C3-EB}$	0.083			
H3	Salida	Mezcla de xilenos sin	$C_6H_5CH_3$	20	$X_{H3-T}$	0.002	7811	1	5
			PX	6003.9	$X_{H3-PX}$	0.772			
			MX	1102.8	$X_{H3-MX}$	0.141			

		o-xileno	OX	0.778	X <sub>H3-OX</sub>	0			
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>H3-EB</sub>	0.083			
<b>Fracción vaporizada</b>									
Corriente									
C3	0								
H3	Líquido madre con cristales sólidos de p-xileno de pureza 99%.								

Fuente: Elaboración propia.

### 7.5.5 Centrífuga S-305

La centrífuga S-305 continúa directamente al tanque formador de cristales para separar los cristales de p-xileno del líquido madre. La corriente J3 sigue su camino en el proceso. La corriente I3 es enviada al tanque de almacenamiento de mezcla de xilenos que se encuentra en las condiciones adecuadas para la venta directa. La mezcla de xilenos contiene una proporción determinada de cada uno de sus componentes y constituye un subproducto de relevante importancia comercial. Esta composición es determinada por YPF y se muestra en la figura 7.27.

3.COMPOSICIÓN/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES			
Composición general: Xileno, mezcla de isómeros.			
Principales Componentes	Rango %	Clasificación	Frases S
Xileno, mezcla de isómeros. CAS # 1330-20-7	75 - 85	R10 Xn; R20/21 Xi; R38	S25
Etilbenceno. CAS # 100-41-4	10 - 15	F; R11 Xn; R20	S2 - S16 - S24/25 - S29
Tolueno. CAS # 108-88-3	1 - 5	F; R11 Xn; R38 - R48/20 - R63 - R65 - R67	S2 - S36/37 - S62

Figura 7-26: Proporción de componentes requeridos de mezcla de xilenos para su comercialización.

Fuente: Ficha de Seguridad Mezcla de Xilenos YPF

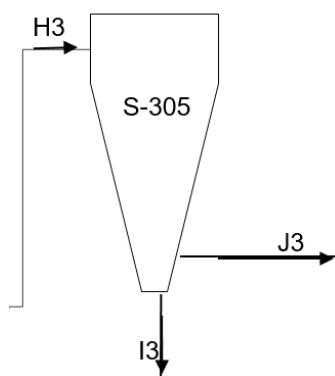


Figura 7-27: Centrífuga S-305.

Fuente: Elaboración propia



<b>Tabla 7-41:</b> Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $C3 = H3$	
Balance parcial tolueno (T)	$C3 \cdot X_{C3-T} = H3 \cdot X_{H3-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$C3 \cdot X_{C3-H} = H3 \cdot X_{H3-H}$
Balance parcial benceno (B)	$C3 \cdot X_{C3-B} = H3 \cdot X_{H3-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$C3 \cdot X_{C3-PX} = H3 \cdot X_{H3-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$C3 \cdot X_{C3-OX} = H3 \cdot X_{H3-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$C3 \cdot X_{C3-MX} = H3 \cdot X_{H3-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$C3 \cdot X_{C3-EB} = H3 \cdot X_{H3-EB}$

Fuente: Elaboración propia

<b>Tabla 7-42:</b> Balance de masa y energía intercambiador E-102									
<b>Equipo: E-102</b>									
Descripción del equipo: Intercambiador de calor									
<b>Balance de masa</b>									
Corriente	Tipo de corriente	Denominación	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)	Temperatura (°C)
H3	Entrada	Mezcla de xilenos sin o-xileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	20	X <sub>C3-T</sub>	0.002	7811	1	5
			PX	6003.9	X <sub>C3-PX</sub>	0.772			
			MX	1102.8	X <sub>C3-MX</sub>	0.141			
			OX	0.778	X <sub>C3-OX</sub>	0			
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	666	X <sub>C3-EB</sub>	0.083			
J3	Salida	Cristales sólidos de p-xileno	PX	4817.2	X <sub>C3-PX</sub>	0.995	4841.2	1	5
			MX	24	X <sub>C3-MX</sub>	0.005			
			OX		X <sub>C3-OX</sub>				
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		X <sub>C3-EB</sub>				
I3	Salida	Líquido madre: Mezcla de xilenos	PX		1186.75		X <sub>C3-PX</sub>	0.323	3664.5
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	2477.7	X <sub>C3-PX</sub>	0.676			
			MX		X <sub>C3-MX</sub>				
			OX		X <sub>C3-OX</sub>				
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		X <sub>C3-EB</sub>				
<b>Fracción vaporizada</b>									
Corriente									
H3		Líquido madre con cristales sólidos de p-xileno.							
J3		Cristales sólidos de p-xileno.							
I3		Líquido madre: mezcla de xilenos.							

Fuente: Elaboración propia

### 7.5.6 Tanque fundidor de cristales E-306

El E-306 es el último equipo de la sección 300, en él son fundidos los cristales de p-xileno con pureza de 99% y enviados en forma líquida a almacenar, estando en condiciones adecuadas para su venta. Éste es el producto final terminado.

Para efectuar el intercambio de calor se utiliza un caudal pequeño de vapor por hora de forma continua a través de un serpentín unido al tanque.

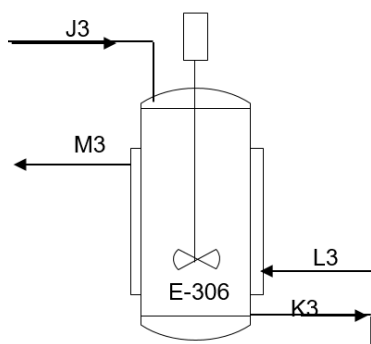


Figura 7-28: Tanque fundidor E-306.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-43: Ecuaciones del balance general y parcial de componentes	
Balance general: $C3 = H3$	
Balance parcial tolueno (T)	$C3 \cdot X_{C3-T} = H3 \cdot X_{H3-T}$
Balance parcial hidrogeno (H)	$C3 \cdot X_{C3-H} = H3 \cdot X_{H3-H}$
Balance parcial benceno (B)	$C3 \cdot X_{C3-B} = H3 \cdot X_{H3-B}$
Balance parcial p-xileno (PX)	$C3 \cdot X_{C3-PX} = H3 \cdot X_{H3-PX}$
Balance parcial o-xileno (OX)	$C3 \cdot X_{C3-OX} = H3 \cdot X_{H3-OX}$
Balance parcial m-xileno (MX)	$C3 \cdot X_{C3-MX} = H3 \cdot X_{H3-MX}$
Balance parcial etilbenceno (EB)	$C3 \cdot X_{C3-EB} = H3 \cdot X_{H3-EB}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-44: Balance de masa y energía intercambiador E-306								
Equipo: E-306								
Descripción del equipo: Intercambiador de calor								
Balance de masa								
Corriente	Tipo de corriente	Denom.	Componente	Cantidad (kg/h)	Fracción másica		Total (kg/h)	Presión (atm)
J3	Entrada	Cristales sólidos de p-xileno	PX	24	$X_{C3-PX}$	0.995	4841.2	1
			MX		$X_{C3-MX}$	0.005		
			OX		$X_{C3-OX}$			
			$C_6H_5C_2H_4$		$X_{C3-EB}$			
L3	Entrada	Vapor de agua	$H_2O$	3000	$X_{L3-H_2O}$	1	3000	1

**OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN  
SELECTIVA DE TOLUENO**



K3	Salida	p-Xileno	PX	4817.2	X <sub>C3-PX</sub>	0.99 5	4841.2	1
			MX	24	X <sub>C3-MX</sub>	0.00 5		
			OX		X <sub>C3-OX</sub>			
			C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		X <sub>C3-EB</sub>			
M3	Salida	Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	3000	X <sub>M3-H2O</sub>	1	3000	1
Calor Intercambiado (kcal/h)		1.61 10 <sup>6</sup>						
<b>Balace de energía</b>								
Corriente	Temperatura (°C)		Cp (kcal/kg°C)					
J3	5		0.4					
L3	100		1					
K3	25		0.4					
M3	100		1					
<b>Fracción vaporizada</b>								
Corriente								
J3	0							
L3	1							
K3	0							
M3	0							

*Fuente: Elaboración propia*

# **CAPÍTULO VIII**

## **DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS**

## CAPÍTULO VIII: DISEÑO y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

### 8.1 Introducción

En el presente capítulo se llevará a cabo la descripción del diseño y adopción de la totalidad de los equipos que incluye el proceso productivo de obtención de p-Xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno. Es importante aclarar, que este capítulo se trabaja en forma conjunta con el capítulo anterior: balance de masa y energía. La razón es debida a la necesidad de análisis de datos y resolución de situaciones para lograr la mejor opción de cálculo posible.

El criterio de selección de equipos para el diseño se basa en tomar aquellos que se consideran específicos para la obtención de p-Xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno y se adoptan aquellos equipos de características generales, comunes en la industria de procesos.

Todos los cálculos se realizan con la ayuda de MathCad y ChemCad como software base.

El orden de descripción de equipos se respecta al igual que el capítulo anterior y se muestra, a continuación, en la tabla 8-1 un resumen de los equipos diseñados y adoptados.

<b>Tabla 8-1: Criterios de especificación de equipos.</b>		
<b>Codificación</b>	<b>Equipo</b>	<b>Criterio de especificación</b>
<b>Sección 100</b>		
T-106	Tanque de almacenamiento	Adopción
E-102	Intercambiador de calor	Diseño
K-105	Compresor	Adopción
R-101	Reactor	Diseño
C-103	Flash	Diseño
C-104	Flash	Diseño
T-107	Tanque almacenamiento stock H <sub>2</sub>	Diseño
T-108	Tanque almacenamiento stock H <sub>2</sub>	Diseño
T-109	Tanque almacenamiento stock H <sub>2</sub>	Diseño
<b>Sección 200</b>		
C-201	Columna de destilación	Diseño
C-202	Columna de destilación	Diseño
C-203	Columna de destilación	Diseño
T-204	Tanque de almacenamiento	Adopción
E-206	Intercambiador de calor	Diseño

T-205	Tanque de almacenamiento	Adopción
E-207	Intercambiador de calor	Diseño
E-208	Intercambiador de calor	Diseño
E-209	Intercambiador de calor	Diseño
E-210	Intercambiador de calor	Diseño
E-211	Intercambiador de calor	Diseño
E-212	Intercambiador de calor	Diseño
<b>Sección 300</b>		
E-301	Intercambiador de calor	Diseño
E-302	Intercambiador de calor	Diseño
E-303	Intercambiador de calor	Diseño
MA-304	Tanque agitado formador de cristales	Diseño
S-305	Centrifuga	Adopción
T-308	Tanque de almacenamiento	Adopción
E-306	Tanque agitado con serpentín	Diseño
T-307	Tanque de almacenamiento	Adopción

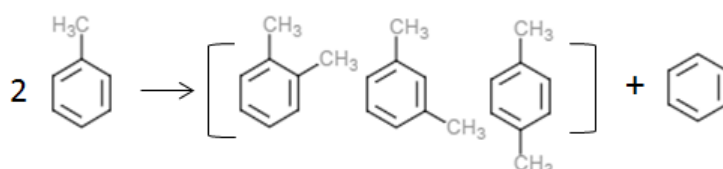
Fuente: Elaboración propia

## 8.2 SECCIÓN 100: Descripción de los equipos

### 8.2.1 Reactor R-101

En el capítulo de balance de masa y energía se realiza una breve introducción a R-101 de características especiales comparado con otros reactores de industrias de procesos. Retomando lo expuesto en aquel capítulo, el reactor es de tipo multitubular de lecho fijo y la reacción sucede en fase gaseosa a una temperatura de 450°C y 30 atm de presión.

La reacción selectiva de desproporción de tolueno ocurre en el reactor donde se forma p-xileno como producto principal y benceno, o-xileno y mezcla de xilenos como subproductos. Las materias primas fundamentales para que suceda esta reacción son: tolueno, hidrógeno y zeolita catalizadora sólida ZSM-5. La fase gaseosa comprende tolueno e hidrógeno mientras que la fase sólida es la zeolita catalizadora ZSM-5. (*Delta M, 2017*).



**Figura 8-1:** Reacción química de desproporción de tolueno.  
*Fuente: (King J.C., 1980).*

De las consideraciones planteadas en el capítulo anterior, se destacan:

1. La  $k$  de la reacción viene dada por la ecuación de velocidad de reacción:  
 $-r_A = k P_A^2$ . Según ley de Arrhenius, se conoce que:  $k = 819.49 * e^{(-6500/R.T)}$ .
2. El  $\Delta H_r$  es igual a 0.8 kJ/mol de tolueno (a 800 K)
3. La temperatura de reacción es 450 °C y la presión es 30 atm.
4. La reacción es endotérmica e irreversible.
5. La relación molar tolueno/hidrógeno es 1-3.
6. La conversión de la alimentación de tolueno es de 40%.

En el ítem 1 se expresa la velocidad de la reacción:

$$-r_A = k * P_A^2$$

Siendo:

- $-r_A$ : velocidad de reacción ( $\text{kmol hr}^{-1} \text{kg cat}^{-1}$ )
- $k$ : constante de reacción ( $\text{kmol hr}^{-1} \text{kg cat}^{-1} \text{atm}^{-1}$ )
- $P_A$ : Presión parcial reactante (atm)

Según la ley de Arrhenius:

$$K = K_o * e^{\frac{E}{R*T}}$$

- $k$ : constante de reacción ( $\text{kmol h}^{-1} \text{kg cat}^{-1} \text{atm}^{-1}$ )
- $k_o$ : factor pre-exponencial o factor de frecuencia. Indica la frecuencia de las colisiones. En este caso su valor es: 819.5 ( $\text{kmol hr}^{-1} \text{kg cat}^{-1} \text{atm}^{-1}$ )
- $E$ : energía de activación. En este caso su valor es: -6500 (kJ/kmol)
- $R$ : constante universal de los gases. En este caso su valor es: 8.32 (kJ/kmol\*K)
- $T$ : temperatura (K)

Conociendo la velocidad de reacción, se procede al cálculo de la cantidad de catalizador a emplear. Para ello, se conocen las propiedades fundamentales del mismo, que se expresan en la siguiente tabla:

<b>Tabla 8-2:</b> Características del catalizador de zeolita ZSM-5 modificada con tratamiento térmico y químico.	
Parámetro	Valor
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1780
Porosidad	0.6
Superficie específica (m <sup>2</sup> /g)	550
Tamaño de partícula (mm)	8

*Fuente: Quijano, 2018*

Para el cálculo de cantidad de catalizador, se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$\frac{dX}{dW} = -\frac{r_A}{F_{ae}}$$

Siendo:

- X: Conversión en el reactor
- W: kg de catalizador que se han utilizado
- $r_A$ : Velocidad de reacción
- $F_{ae}$ : Caudal molar de entrada del componente clave (mol/s)

$$F_{ae} = C_{ae} * Q_e$$

De acuerdo a la cantidad de catalizador a emplear según la conversión del reactante y su velocidad de reacción, se deriva el cálculo del volumen de reactor:

$$V = \frac{W}{\rho_{cat} * (1 - \epsilon)}$$

Siendo:

- V: volumen de reactor (m<sup>3</sup>)
- W: cantidad de catalizador (kg)
- $\rho_{cat}$ : densidad de catalizador (kg/m<sup>3</sup>)
- $\epsilon$ : porosidad de catalizador

Y consecuentemente, el cálculo de tiempo de reacción:

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

Siendo:

- t: tiempo de reacción (h)
- V: volumen del reactor (m<sup>3</sup>)
- Q: caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/h)

En este momento, se debe retomar la idea general del tipo de reactor a utilizar. El reactor seleccionado es multitubular de lecho fijo, que en su análisis de cálculo de diseño se simplifica a reactor de flujo pistón. Y de acuerdo a esto, serán las ecuaciones planteadas.



Entonces el volumen de reactor calculado corresponde directamente al volumen de catalizador que es necesario para que la reacción se produzca. El catalizador se encuentra dentro de los tubos del reactor en forma compacta y sin lugares libres además de la porosidad misma del catalizador.

Recordando el ítem 3 y el ítem 4 de las consideraciones más importantes, se tiene en cuenta que las condiciones necesarias y óptimas de reacción son 450°C y 30 atm y la reacción es endotérmica. Para respetar estos parámetros, los tubos del reactor donde se encuentra el catalizador son recubiertos por un horno de calentamiento cuya función será mantener la temperatura de reacción constante a través del calor liberado por los gases de la combustión.

Por lo tanto, el diseño de reactor lleva consigo un diseño de reactor ideal flujo pistón para simular un reactor multitubular de lecho fijo y, además, un diseño de un horno de calentamiento para mantener las condiciones de reacción constantes.

Ahora bien, conociendo el volumen y tiempo de reacción, se calcula las variables determinantes como cantidad de tubos, velocidad en los tubos, n° de Reynolds y caída de presión en el lecho fijo.

Para la cantidad de tubos:

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

$$V_{tubo} = A * L$$

$$C_{tubo} = \frac{V}{V_{tubo}}$$

Siendo:

- A: área de tubos (m<sup>2</sup>)
- Di: diámetro interior elegido de tubos (m)
- L: longitud de tubos (m)
- V: volumen de reactor (m<sup>3</sup>)
- V<sub>tubo</sub>: volumen de tubos. (m<sup>3</sup>)
- C<sub>tubo</sub>: cantidad de tubos.

Para la velocidad de flujo dentro de los tubos:

$$Velocidad = \frac{\frac{Q}{A}}{3600 * C_{tubo}}$$

$$G = \frac{F}{A * C_{tubo}}$$

Siendo:

- Q: caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/h)
- A: área de tubos (m<sup>2</sup>)
- C<sub>tubo</sub>: cantidad de tubos
- G: masa velocidad (kg/m<sup>2</sup>\*h)
- F: caudal másico (kg/h)

Para el cálculo de número de Reynolds:

$$NRe = \frac{Dp * G}{\bar{\nu} * (1 - \epsilon)}$$

Siendo:

- Dp: diámetro de la partícula (m)
- G: masa velocidad ((kg/m<sup>2</sup>\*h)
- $\bar{\nu}$ : viscosidad de catalizador (kg/m\*s)
- e: porosidad de catalizador

Para la caída de presión en un lecho fijo:

$$\Delta P = \frac{1.75 * L * V * G * (1 - \epsilon)}{gc * Dp * \epsilon^3}$$

Siendo:

- L: longitud de tubos (pies)
- V: velocidad de tubos (pie/s)
- G: masa velocidad ((lb/pie<sup>2</sup>\*s)
- e: porosidad de catalizador
- Dp: diámetro de la partícula (pie)
- Gc: aceleración de la gravedad (lbpie/lb<sub>fuerza</sub>\*s<sup>2</sup>)

Hasta aquí, los cálculos de reactor flujo pistón.

Para comenzar con el cálculo de horno, que recubre toda la sección de tubos calculados anteriormente, es conveniente introducir de manera general el concepto de este equipo de proceso.

Un horno de procesos es un equipo constituido por un cerramiento metálico revestido interiormente por una pared refractaria aislante, dentro de la cual se dispone un serpentín tubular por el que circula un producto que se desea calentar o evaporar a través del calor liberado por un combustible sólido, líquido o gaseoso que se inyecta convenientemente al horno. En el quemador se produce la reacción de combustión que genera una masa de gases calientes que son los productos de combustión. Estos gases entregan el calor por radiación al serpentín y salen por la chimenea. (Moyano Molina M, 2012)

Como se puede recordar el ítem 2 de las consideraciones planteadas para la reacción, hace mención a el valor de entalpía de reacción, que es: 0.8 kJ/mol de tolueno. Este dato es muy importante para el cálculo de calor liberado por la reacción y, por lo tanto, necesario para conocer cuánto calor debe entregar el combustible elegido para que la temperatura mantenga el valor constante de 450°C.

$$Q = \Delta Hr * moles \text{ de tolueno}$$

Del calor liberado en la combustión, una parte es aprovechada en el calentamiento del producto, otra parte se pierde por chimenea (dado que los humos aún están calientes) y también habrá una pérdida por conducción a través de las paredes del refractario.

Por razones de diseño, la temperatura de salida de los gases de combustión por la chimenea ha de ser de entre 25 y 40 °C superior al fluido de entrada al horno. Para el diseño que se lleva a cabo, se toma el valor superior de 40 °C (313 K). Por tanto, la temperatura de salida de gases por la chimenea es de:

$$T_{stack} = 723 + 313 = 1406 \text{ (}^{\circ}\text{F)}$$

La ineficiencia se debe a las pérdidas de calor en las paredes del horno (un 2% es un valor aceptable en el diseño) y a las pérdidas en los gases producidos. Teniendo en cuenta el calor que se necesita para calentar los fluidos y la eficiencia del horno, se modifica ligeramente el calor liberado.

$$E_f = 0.98 - 9.25 * 10^{-5} * T_{stack}^{1.128} * \left(1 + \frac{Ex}{100}\right)^{0.748}$$

$$Q_{liberado} = \frac{Q}{E_f}$$

Normalmente, los hornos se dividen en tres partes:

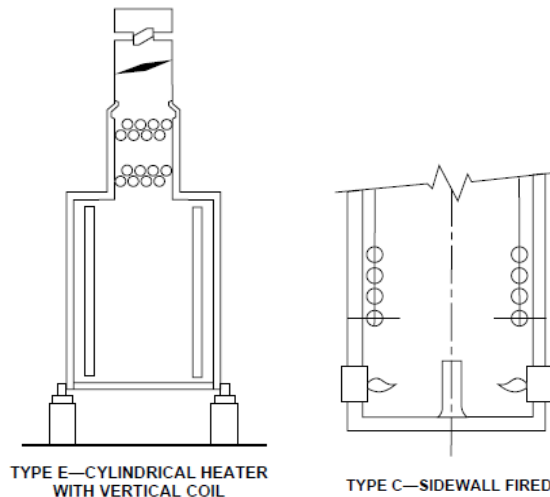
- Sección radiante: Los tubos están en presencia de la llama. En esta parte la transmisión de calor es por radiación en un 80 % aproximadamente y un 20 % por convección de la circulación de gases calientes alrededor de los tubos.
- Sección de convección: Los tubos están fuera del alcance de la llama. Los gases calientes se direccionan a través del banco de tubos. El calor transmitido es por radiación del CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en los gases calientes además del calor por convección. Los tubos están equipados con aletas para mejorar las condiciones de transmisión de calor.
- Sección de choque: Las primeras filas de tubos del área de convección son la zona de choque. En ella los tubos no tienen aletas, reciben la misma cantidad de calor por ambos mecanismos. (Moyano Molina M, 2012)

Existen varios tipos constructivos de hornos de proceso, pero en general, todos responden a alguno de los tres tipos básicos que se presentan en el mercado. En este caso, sólo se describe, con características generales, el tipo de horno seleccionado para este proceso.

El horno por diseñar es un clásico horno tipo caja (Box Heaters), especial para caudales grandes que necesitan gran área de transferencia. Son equipos de sección recta y normalmente los tubos se instalan en posición horizontal en las paredes laterales y en el arco. En la sección de radiación los tubos están montados horizontalmente en la pared lateral más larga en una capa simple. Se pueden montar varias series de tubos en paralelo en función del caudal. Se colocan a una distancia de la pared de 1,5 veces el diámetro de tubería.

La sección de convección se extiende a lo largo del horno, por lo que usualmente se pueden usar tubos más largos que en los hornos cilíndricos., y se monta directamente sobre la zona de radiación. La convección consiste en un banco de tubos con distribución triangular equilátera y una separación de dos veces el diámetro de tubería.

Los quemadores pueden ser de varios tipos dependiendo de donde se distribuyan. La ventaja de tenerlos en las paredes laterales es de no requerir espacio para el mantenimiento debajo del piso del horno, con lo que el soporte se haría más sencillo ya que el horno apoya sobre una base plana. (Moyano Molina M, 2012)



**Figura 8-2:** Horno tipo caja  
*Fuente: API STANDARD 560*

A fin de aprovechar mejor las diferencias de temperatura, el fluido de proceso ingresa primero en la zona convectiva, y luego pasa a la zona radiante, circulando a contracorriente de los humos o gases de combustión.

Para conocer que composición y temperaturas tendrán los gases de combustión que transmiten el calor a los tubos, es necesario recordar conceptos básicos de combustión. La combustión es la reacción química entre el oxígeno y un combustible que libera calor. El combustible es un hidrocarburo, y el oxígeno proviene del aire. Cuando hay suficiente oxígeno para convertir todo el combustible en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (principales productos de la reacción de combustión), la reacción es completa.

En los quemadores de los equipos industriales, la cantidad de oxígeno empleada no es la estequiométrica, sino que se utiliza un exceso de aire para asegurar la combustión completa del combustible. Cuando se usan combustibles gaseosos (gas natural) se suele emplear un exceso de aire de entre un 10 y un 15 %. El gas natural contiene metano, etano y menores cantidades de propano, butano, pentano y nitrógeno; siendo el componente de mayor proporción (90%) el metano.

Elegido el combustible hay que definir un importante término: el poder calorífico, que es la cantidad de calor que se libera en la combustión completa de una unidad de combustible. Para el gas natural tiene un valor de 50.000 kJ/kg.

$$W_{\text{metano}} = \frac{Q_{\text{liberado}} * 1000}{PC}$$

Siendo:

- W<sub>metano</sub>: caudal másico de metano (kg/h)
- Q<sub>liberado</sub>: calor liberado por reacción (kJ/h)
- PC: poder calorífico del metano (kJ/kg)

$$M_{\text{at}} = M_{\text{a}} + M_{\text{aex}} = M_{\text{a}} + (Ex - 1) * M_{\text{a}}$$

$$M_{\text{a}} = 4.62 * M_{\text{ox}} = 4.65 * \frac{W_{\text{metano}}}{3600 * 8}$$

$$Ex = 1.1$$

Siendo:

- Mat: masa de aire total (kmol)
- Ma: masa de aire (kmol)
- Maex: masa de aire en exceso (kmol)
- Mox: Masa de oxígeno (kmol)
- Wmetano: caudal molar de metano (kmol/h)

En el horno que se diseña, los quemadores se sitúan en las paredes laterales, pero bien cerca del piso, tal como lo muestra la figura 8-2. La capacidad de los quemadores debe tener un sobredimensionamiento con respecto a la requerida por el proceso. Normalmente los quemadores se instalan con pilotos para asegurar un reencendido instantáneo en caso de apagado de llama. El piloto es un pequeño quemador auxiliar independiente. En los quemadores, un ventilador impulsa el aire a través de ellos. (Moyano Molina M, 2012)

Con respecto al dimensionamiento exterior del horno: para hornos de tubos horizontales con quemadores en el piso, se fijan límites a la relación altura/ancho para asegurar una densidad uniforme de calor en el horno.

TABLA 19.1. LONGITUD MEDIA DE LA TRAYECTORIA RADIANTE EN VARIAS FORMAS DE GAS

Relaciones Hornos	dimensionales rectangulares *	Longitud media, L, pies
1. 1-1-1 a 1-1-3 1-2-1 a 1-2-4		$\frac{2}{3} \sqrt[3]{\text{volumen del horno, pies}^3}$
2. 1-1-4 a 1-1-∞		1.0 × la menor dimensión
3. 1-2-5 a 1-2-8		1.3 × la menor dimensión
4. 1-3-3 a 1-∞-∞		1.8 × la menor dimensión
Hornos cilíndricos		
5 . $d \times d$		$\frac{2}{3}$ diámetro
6 . $d \times 2d$ a $d \times \infty d$		1 × diámetro
Banco de tubos		
7. Como en las secciones convencionales $L \text{ (pies)} = 0.4P_r - 0.567 \text{ DE, plg}$		
* Longitud, ancho y alto en cualquier orden.		

**Figura 8-3:** Relaciones dimensionales de hornos

Fuente: Kern, D. 1999.

Se elige la relación de dimensión rectangular 1-1-∞

Los tubos montados en la pared deben estar al menos a 4 in de la pared interior o 1,5 veces el diámetro nominal tomándose el mayor de los dos valores.

Con respecto al diseño de la sección radiante, el objetivo es conocer el calor que cede el combustible a la zona antedicha y con ello la fracción de calor liberado que es absorbido en la zona. Se estima también el área refractaria, que es el área no cubierta por los tubos que está disponible en el horno. Para hallar todos los datos referentes a la zona de radiación se debe realizar una estimación, en la cual se supone un flujo de calor y a partir de éste, se calculan convenientemente cada dato. Pero es a continuación cuando se aplica el método de Lobo-Evans en el que se simplifica la geometría del sistema sustituyendo la superficie tubular por un área ficticia plana; considerando los gases calientes como un cuerpo radiante y los tubos como un plano frío de absorción de radiación. (Moyano Molina M, 2012)

El calor cedido por la zona radiante se determina por la siguiente ecuación:

$$QR = R * Q_{\text{liberado}}$$

Siendo:

- QR: calor cedido por la zona radiante (kJ/h)
- R: valor de la fracción de calor liberado que es absorbido en la sección radiante.
- Q<sub>liberado</sub>: calor liberado por reacción (kJ/h)

Con este dato y el del flujo de energía radiante, se puede sacar una relación que nos dará el área refractaria, que es el área no cubierta por los tubos que está disponible en el horno.

$$AR = \frac{QR}{q}$$

Siendo:

- AR: área refractaria (m<sup>2</sup>)
- QR: calor cedido por la zona radiante (kJ/h)
- Q: flujo de energía de la sección radiante (kJ/s\*m<sup>2</sup>)

Para estimar la temperatura de los gases del horno,  $T_g$ , que es la temperatura de los gases de combustión a la entrada de la sección de choque se puede calcular la temperatura de los gases que salen de la sección de radiación utilizando las mismas ecuaciones que se utilizan para la eficiencia total del horno quedando, para un combustible gaseoso como:

$$T_g = \left( \frac{0.98 - R}{9.25 * 10^{-5} * \left( 1 + \frac{Ex}{100} \right)^{0.748}} \right)^{\frac{1}{1.128}}$$

Para estimar la presión parcial de los gases CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, productos de la combustión del gas natural se determina con la siguiente ecuación:

$$P = 0.29067 - 0.0029654 * Maex + 2.72 * 10^{-5} * Maex^2 - 1.175 * 10^{-7} * Maex^3$$

Todo lo que hasta ahora ha sido calculado está basado en la suposición de que el flujo de calor de la zona radiante fuese 10000 Btu/h·ft<sup>2</sup>. Por ello se intenta, de una forma iterativa, que lo que a continuación se calcule, dé como resultado ese flujo de calor inicial. Para ello se recurre al método de *Lobo-Evans*. El flujo de calor transmitido por radiación en la cámara de combustión, desde los gases calientes a temperatura  $T_g$  a los tubos a temperatura  $T_{media}$  se calcula en base al área de los tubos para la transferencia de calor por radiación entre dos cuerpos a distintas temperaturas. Para esto es necesario simplificar la geometría del sistema recurriendo al método de *Lobo-Evans*, por el cual se sustituye la superficie tubular por un área plana ficticia,  $A_{cp}$ , denominada área del plano frío, que es la superficie de un plano de igual capacidad de absorción de energía radiante. Es decir, los gases calientes se consideran como un cuerpo radiante y los tubos como un plano frío de absorción de radiación.

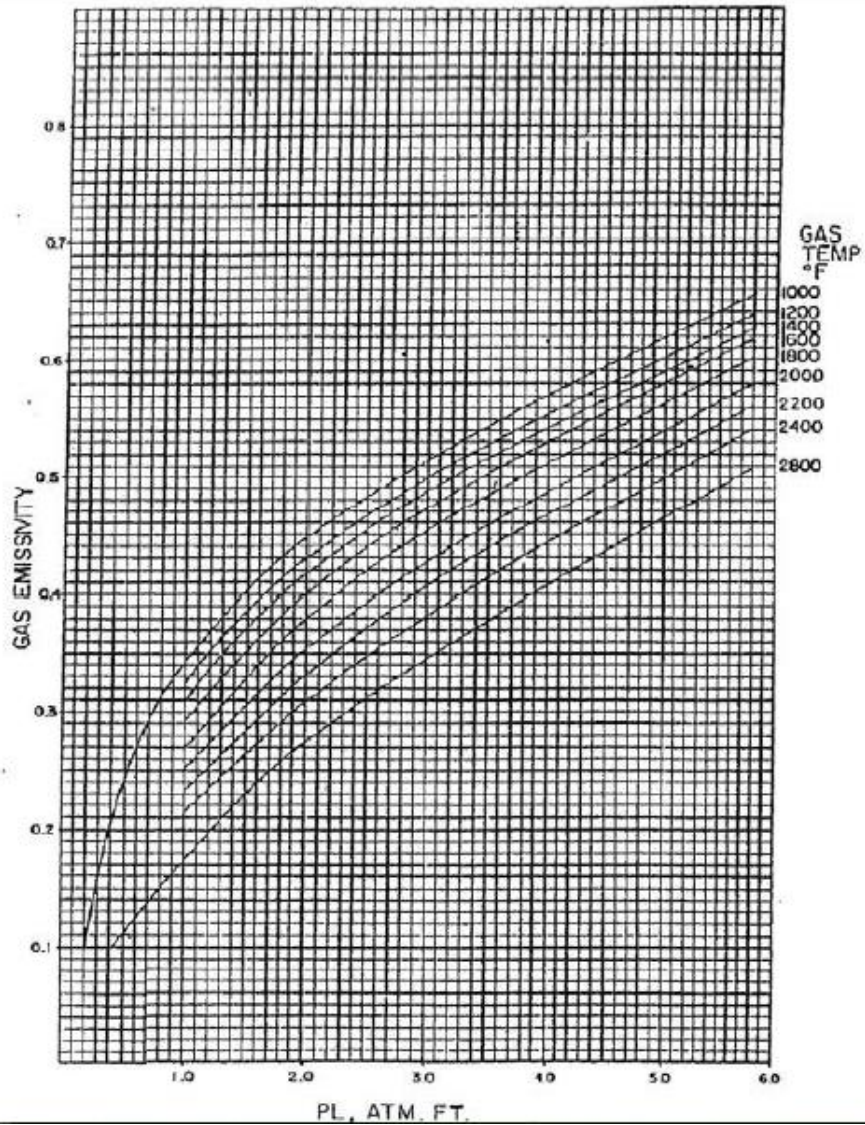
Este método es una base simplificada de diseño, que conviene acotar con la mayor claridad posible:

- Para hornos tipo *caja* o *cabina*, se considera iguales las temperaturas del gas dentro de la cámara y de los humos saliendo del mismo.

- El método sólo permite determinar un valor medio de la velocidad de transferencia de calor en la zona radiante suponiendo una temperatura uniforme de la pared de los tubos.
- El movimiento de los gases alrededor de los tubos se considera en los coeficientes de transmisión de calor por convección.
- El calor cedido por unidad de volumen ha de ser inferior a  $16000 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2$  para combustibles gaseosos.
- Sólo se abarcan seis casos de relación entre dimensiones de la cámara, para los que se podrá obtener el valor de la longitud del rayo radiante.

Se han de solucionar varias ecuaciones simultáneamente. El proceso por seguir en el cálculo es el siguiente:

1. Establecer los valores de las variables explícitas, que son las que se determinarán de forma directa. Hay algunas variables ya conocidas y otras por conocer.
2. Utilizar la tabla UW-12 de Div.1 de ASME VIII para estimar la fracción absorbida en zona radiante, R.
3. Calcular el área requerida en los tubos de la zona radiante.
4. Estimar el área del plano frío del banco de tubos,  $A_{cp}$ .
5. Calculado  $A_{cp}$ , hallar las dimensiones del horno y longitud media del rayo radiante.
6. Estimar la temperatura de los gases del horno,  $T_g$ , utilizando la ecuación propia a los combustibles gaseosos y sustituyendo el valor de R conocido en el punto 2 de estos pasos.
7. Tomar el valor de  $T_g$  para calcular la emisividad de los gases y el factor de intercambio, F, utilizando las figuras 8-4 y 8-5, respectivamente. Calcular el factor corregido, FS.
8. Utilizar la figura 8-6 para estimar  $QR/\alpha A_{cp} F_s$
9. Calcular un nuevo valor de R.
10. Recalcular el valor de q y compararlo con el valor inicial. (Moyano Molina M, 2012)



**Figura 8-4:** Emisividad de los gases de combustión  
*Fuente: Kern, D. 1999.*



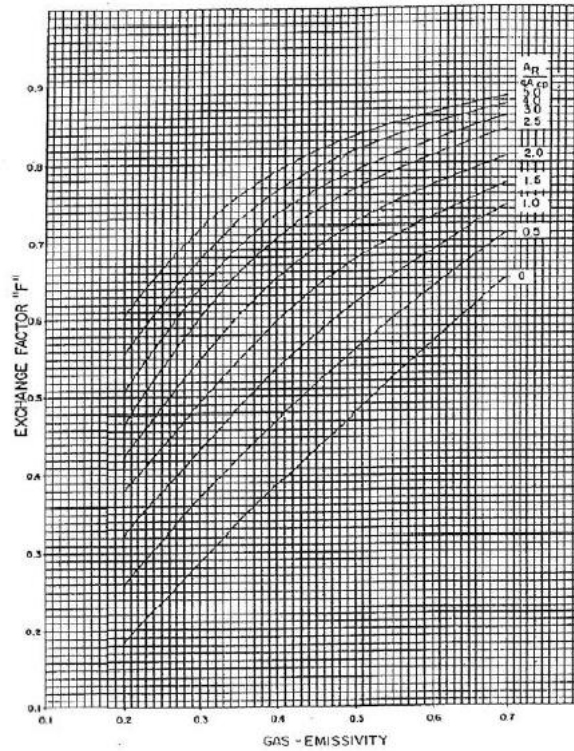


Figura 8-5: Factor de intercambio

Fuente: Kern, D. 1999.

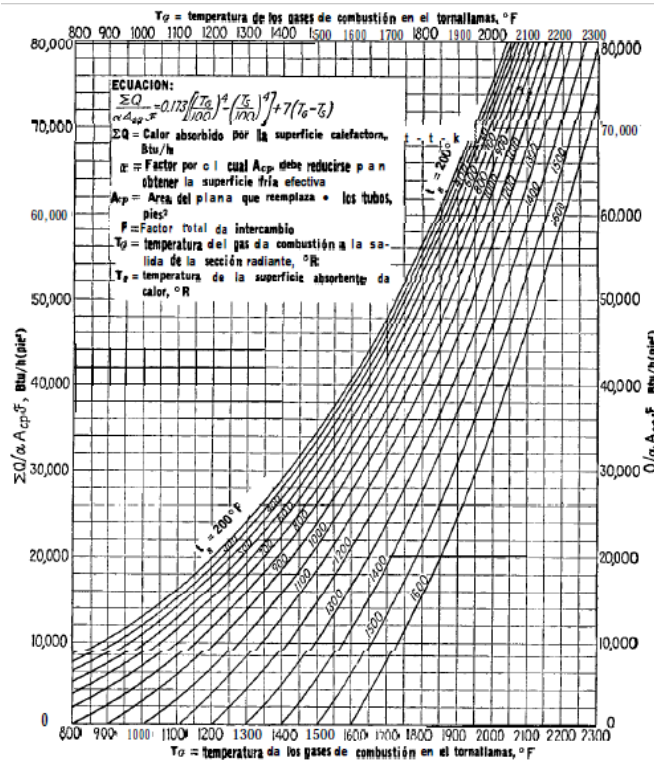


Figura 8-6: Factor de intercambio

Fuente: Kern, D. 1999.

Con respecto al cálculo de chimenea, la altura de la chimenea depende normalmente de requisitos de contaminación atmosférica por dilución de humos. También hay que tener en cuenta el  *tiro*  o  *draft*  de la chimenea cuando es natural. Se conoce como  *tiro*  a la diferencia de presión entre presión atmosférica y la presión en la chimenea a la misma altura (indicado en pulgadas de agua). La presión en el interior del horno y chimenea debe ser siempre inferior al exterior, ya que la dirección de los fluidos va siempre de mayor a menor presión. En el borde de la chimenea esta presión ha de ser mayor al ambiente para favorecer la salida de gases. (Moyano Molina M, 2012)

Para comenzar con el diseño de la chimenea es necesario conocer la temperatura de salida de los gases, su velocidad másica y el diámetro que debe tener la chimenea. Para ello, se debe estimar algunos datos de partida:

- Altura chimenea = 50 ft
- Pérdida temperatura en la chimenea = 25 °F
- Temperatura del aire = 68 °F
- Velocidad lineal en la chimenea = 60 ft/s

Conociendo la temperatura con la que los gases salen de la zona convectiva para salir por la chimenea ( $T_{stack}$ ), se puede conocer la temperatura de salida de la misma teniendo en cuenta las pérdidas de temperatura:

$$T_{salida\ gases} = T_{stack} - \frac{Pérdidas\ de\ temperaturas}{2}$$

Es necesario conocer la densidad de los gases que salen por la chimenea y así poder hallar el flujo de velocidad por la misma y su sección. Por tanto, se usa la siguiente expresión para hallar la velocidad. Nótese que para conocer el peso molecular de los gases se ha tenido en cuenta el de los gases y el del aire, así como la proporción de ellos en el horno.

$$\rho = \frac{PM * P}{R * T}$$

Siendo:

- PM: Peso molecular de los gases de combustión (lb/mol)
- P: Presión atmosférica (psi)
- T: Temperatura de salida de los gases (°R)
- R: Constante de los gases (psia·ft<sup>3</sup>/lbmol·°R)

Se calcula a continuación el caudal volumétrico de gases conociendo el caudal másico de gases (aire en exceso y combustible):

$$Q = \frac{W_{aire} + W_{gases}}{\rho_{gases}}$$

La sección que comprende la chimenea puede conocerse a raíz del caudal y de la velocidad lineal estimada anteriormente.

$$A = \frac{Q}{v}$$

El diámetro de dicha sección viene dado por la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

*Pérdida de presión a la salida de la chimenea*

La pérdida de presión a la salida de la chimenea viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta P_{ex} = 0.003 * \frac{G^2}{\rho_{gas}}$$

*Pérdida de presión a lo largo de la chimenea*

Esta pérdida reza la siguiente ecuación:

$$\Delta P_f = 0.09 * \frac{G^2}{\rho_{gas} * D_{stack}}$$

*Tiro o Draft*

El tiro o *Draft*, como se comentó antes, es la diferencia de presión entre presión atmosférica y la presión en la chimenea a la misma altura. Y éste viene dado como sigue:

$$Draft = 0.18 * P_a * \left( \frac{M_a}{T_a} - \frac{M_g}{T_g} \right) * (h_2 - h_1)$$

Siendo:

- Pa: Presión del aire atmosférico (psi)
- Ma: Peso molecular del aire (kg/kmol)
- Mg: Peso molecular de los gases (kg/kmol)
- Ta: Temperatura del aire (°R)
- Tg: Temperatura de los gases (°R)
- h2-h1: Diferencia de altura en la chimenea (ft)

Por lo tanto, la presión diferencial a la entrada de la chimenea viene dada por el tiro en la chimenea, menos la pérdida a lo largo de ésta menos la pérdida en la salida de la chimenea:

$$\Delta P = Draft - \Delta P_{ex} - \Delta P_f$$

*Pérdidas en la cámara del horno*

Una vez calculada la pérdida en la chimenea y el tiro en ésta, se procede a calcular las pérdidas y tiros en otros puntos del horno. En primer lugar, la pérdida de presión del regulador está establecida en 0,05 in H<sub>2</sub>O.

$$\Delta P_{reg} = 0.05 \text{ in H}_2\text{O}$$

Por otro lado, la pérdida en el área de entrada tiene la siguiente expresión:

$$\Delta P_{ent} = \frac{1}{2} * \Delta P_{ex}$$

La pérdida de carga en el área de salida toma un valor de 0 in H<sub>2</sub>O.  
Por tanto, el cambio neto de presión en la cámara es:

$$\Delta P = \Delta P_{sal} - \Delta P_{ent} - \Delta P_{reg}$$

Hasta aquí, el cálculo completo del Reactor-Horno R-101 diseñado para este proceso productivo. Se expone a continuación la tabla que resumen todos los resultados de estos cálculos.

<b>Tabla 8-3: Diseño de R-101</b>	
<b>Variables</b>	<b>Valores calculados</b>
<b>Reacción</b>	
k	0.001 kmol/h kgcat atm
X conversión del tolueno	0.4
D densidad de catalizador	1780 kg/m <sup>3</sup>
E porosidad del catalizador	0.6
V Volumen del catalizador	0.318 m <sup>3</sup>
T Tiempo de residencia	0.4 s
<b>Calores y combustible</b>	
Q necesario	289120 kJ/h
T temperatura de salida de los gases por la chimenea	1036 K
Ex exceso de aire	10%
Eff eficiencia del horno	0.65
Qliberado	444063 kJ/h
qFlujo de energía radiante	31.54 kJ/sm <sup>2</sup>
Relación aire-combustible	17.17
R calor cedido en la sección radiante	0.575
Q necesario final	772282.365 kJ/h
PCI poder calorífico inferior del metano	50000 kJ/kg
W <sub>metano</sub> total	4.3 kg/s
W <sub>aire</sub> total	78.6 kg/s
<b>Tubos</b>	
Di diámetro interno	0.02564 m
De diámetro externo	0.017m
BWG	8
Et Espesor de los tubos	0.004m
L largo de los tubos	1 m
CT Cantidad de tubos	615
V velocidad por tubos	2.5 m/s
ΔP en un lecho fijo	15 psi
<b>Área refractaria</b>	
Ar Área refractaria	12 m <sup>2</sup>
Dimensiones del horno	1-1-∞
Ancho	6 m
Largo	6 m
Alto	15 m
Separación de la pared	15 in = 38 cm
Tg Temperatura de los gases de salida de la zona radiante	1679 °F =915°C
<b>Chimenea</b>	
Altura de la chimenea	15 m
Temperatura de salida de los gases	20 °C

Densidad de los gases	0.026 lb/ft <sup>3</sup> = 0.416 kg/m <sup>3</sup>
Q caudal de los gases de combustión	4054.61 ft <sup>3</sup> /s = 114.8 m <sup>3</sup> /s
Área de salida de los gases	67.35 ft <sup>2</sup> = 6.26 m <sup>2</sup>
Diámetro de la chimenea	10 ft = 3.04 m
velocidad másica de los gases	1.34 lb/ft <sup>2</sup> s = 6.61 kg/m <sup>2</sup> s
ΔPex Perdida de presión a la salida de la chimenea	0.207 in H <sub>2</sub> O
ΔPf Perdida de presión a lo largo de la chimenea	0.62 in de H <sub>2</sub> O
ΔP Perdida en la cámara del horno	-0.095 in de H <sub>2</sub> O

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2 Intercambiador de calor E-102

El intercambiador de calor E-102 tiene como principal función disminuir la temperatura de los productos de reacción de la corriente de salida del reactor desde 450°C a 180°C para continuar hacia el proceso, en contracorriente, con l1 que contiene la cantidad total de tolueno necesaria para la reacción y es calentado desde 85°C a 325°C.

Este intercambiador es un típico intercambiador de tubo y coraza y es diseñado con ChemCad, como todos los intercambiadores que se describirán en el proceso. El análisis de cálculo se lleva paso a paso para este equipo, según lo indica el libro de Transferencia de la Energía Térmica de Donald Kern (1999) y se repite exactamente lo mismo para todos los demás. Por último, se expone en una tabla todos los valores de resultados obtenidos.

Para el cálculo de intercambiador 1-2 existente. Condiciones de procesos requeridas.

- Fluido caliente: T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, W, c, S, μ, K, R<sub>d</sub>, ΔP
- Fluido frío: t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, w, C, s, μ, K, R<sub>d</sub>, ΔP

Para el intercambiador se deben conocer los siguientes datos:

<b>Tabla 8-4:</b> Condiciones de intercambiador a diseñar	
Lado de coraza	Lado de los tubos
Diámetro Interno DI	Número y longitud
Espacio de los deflectores	Diámetro exterior DE, BWG y arreglo
Pasos	Pasos

Fuente: Kern D, 1999.

- 1) Balance de calor  $Q = W.C.(T_2 - T_1) = w.c.(t_2 - t_1)$
- 2) Diferencia verdadera de temperatura Δt

$$\Delta t = MLDT * F_T$$

- 3) Temperatura calórica T<sub>c</sub> y t<sub>c</sub>

<b>Tabla 8-4:</b> Condiciones de intercambiador a diseñar	
Fluido frío: lado de la coraza	Fluido caliente: lado de los tubos
(4) Área de flujo: $as = DI * C * B * \left(\frac{1}{144 * PT}\right)$	(4) $at = \frac{n^{\circ} \text{ de tubos} * \text{area de flujo / tubo}}{n^{\circ} \text{ de pasos}}$
(5) Masa velocidad $G_s = \frac{W}{as}$	(5) Masa velocidad $G_t = \frac{w}{at}$

(6') Obtenga $De$ ; obtenga $\mu$ , obtenga $Res = De * Gs / \mu$	(6) Obtenga $D$ ; obtenga $\mu$ , obtenga $Res = D * Gt / \mu$
(7') Obtener $j$	(7) Obtener $j$
(8') A $Tc$ obtener $c$ y $k$	(8) A $Tc$ obtener $c$ y $k$
(9') $ho = jH * \left(\frac{k}{D}\right) * \left(\frac{c*\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} * \theta_s$	(9) $hi = jH * \left(\frac{k}{Do}\right) * \left(\frac{c*\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} * \theta_t$
(10') Temperatura de la pared del tubo $tw = tc + \frac{ho*j*\theta_s}{\frac{hio}{\theta_t} + \frac{ho}{\theta_s}} * (Tc - tc)$	(10) $\frac{hio}{\theta_t} = \frac{hi}{\theta_t} * \frac{DI}{DE}$
(11') Obtenga $\mu_w$ y $\theta_s = \frac{\mu^{0.14}}{\mu_w}$	(11) Obtenga $\mu_w$ y $\theta_t = \frac{\mu^{0.14}}{\mu_w}$
(12') Coeficiente corregido $ho = \frac{ho\theta_s}{\theta_s}$	(12) Coeficiente corregido $hi = \frac{hi\theta_t}{\theta_t}$

Fuente: Kern D, 1999.

1) Coeficiente total limpio  $U_c$ :

$$U_c = \frac{hio * ho}{hio + ho}$$

2) Coeficiente total de diseño  $U_D$ :

$$U_D = \frac{Q}{A * \Delta t}$$

3) Factor de obstrucción  $R_d$ :

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c * U_d}$$

Si  $R_d$  iguala o excede al factor de obstrucción requerido, siga con la caída de presión.

Para la caída de presión:

Tabla 8-5: Caída de presión para tubos y coraza de E-102.	
Coraza	Tubos
(1') Para $Re$ , en (6') obtenga $f$ .	(1) Para $Re$ , en (6') obtenga $f$ .
(2') $N^\circ$ de cruces, $N + 1 = (12 * L) / B$	(2) $\Delta Pt = \frac{f * Gt^2 * Ln}{5.22 * 10^{10} * Ds * \theta_t}$
(3') $\Delta Ps = \frac{f * Gs^2 * Ds * (N+1)}{5.22 * 10^{10} * De * s * \theta_s}$	(3') $\Delta PT = \frac{4 * N * V^2 * 62.5}{s * 2 * g * 144}$ $\Delta PT = \Delta Pt + \Delta Pt$

Fuente: Kern D, 1999.

Tabla 8-6: Datos de diseño de E-102	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	49 cm
Numero de tubos	323
Longitud de tubos	6.1 m
Diámetro externo de los tubos	1.9 cm
Diámetro interno de los tubos	1.6 cm
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	2.38 cm
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	17
Separación centro a centro entre baffles	33.6 cm

Segmentación de baffles	25%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	115.32 m <sup>2</sup>
Área requerida	104.36 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	463.6/419.6 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	7.23 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	11%
ΔP coraza	6.1 atm
ΔP tubos	0.06 atm
Coeficiente de película para la coraza	1938.3 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	1062.8 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

Fuente: ChemCad

### 8.2.3 Flash C-103

La función principal de ese equipo es disminuir la presión de la corriente de salida del reactor desde 30 atm a 1 atm, que se encuentra fría por el intercambiador E-102.

Para el diseño de este equipo es fundamental el uso de ChemCad.

<b>Tabla 8-7: Datos de diseño de C-103</b>	
Datos generales de diseño	
Fabricante	Servinox
Material	Acero al carbono
Presión de diseño	1.2 atm
Tipo	Elipsoidal
Longitud	2.59 m
Diámetro interno	1.83 m
Relación longitud/diámetro	1.41
Nivel máximo de líquido	0.45 m
Nivel normal de líquido	1.22 m
Espesor de cabeza	0.0063 m
Espesor del cabezal	0.0063 m
Velocidad máxima	4.2 m/s

Fuente: ChemCad

### 8.2.4 Flash C-104

La función principal de ese equipo es separar las corrientes gaseosas de las corrientes líquidas. La corriente gaseosa comprende H<sub>2</sub> que será recuperado y enviado a la corriente de ingreso al reactor nuevamente. La corriente líquida comprende benceno, tolueno, y mezcla de xilenos que se dirigen directamente al ingreso de la primera torre de destilación C-201.

Este equipo se diseña semejante a una columna de destilación de un único plato para separación de componentes y nuevamente, ChemCad, es el software utilizado para tal fin.

<b>Tabla 8-8: Datos de diseño de C-104</b>	
Datos generales de diseño	
Fabricante	Servinox
Material	Acero al carbono

Presión de diseño	1.2 atm
Tipo	Elipsoidal
Longitud	2.59 m
Diámetro interno	1.83 m
Relación longitud/diámetro	1.41
Nivel máximo de líquido	0.45 m
Nivel normal de líquido	1.22 m
Espesor de cabeza	0.0063 m
Espesor del cabezal	0.0063 m
Velocidad máxima	4.2 m/s

Fuente: ChemCad

Ambos equipos Flash (C-103 y C-104) son muy semejantes en diseño físico.

### 8.2.5 Compresor K-105

El compresor por seleccionar según las necesidades establecidas por el proceso productivo es un compresor multietapas que es capaz de transformar la presión de gases desde 1 atm a 30 atm en una serie de etapas internas.

Como se menciona en el balance de masa y energía para este equipo, se calcula cada etapa de cambio de presión y temperatura.

**Tabla 8-9:** Compresor K-105, etapas de compresión.

	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
T entrada	240 °C	427°C	395°C
T salida	427°C	395°C	450°C
Q entrada	60330.72 m <sup>3</sup> /h	11776.83 m <sup>3</sup> /h	5046.11 m <sup>3</sup> /h
Q salida	11776.83 m <sup>3</sup> /h	5046.11 m <sup>3</sup> /h	2853.39 m <sup>3</sup> /h
P entrada	1 atm	7 atm	19 atm
P salida	7 atm	19 atm	30 atm
Calor (kcal/h)	4.27541*10 <sup>6</sup>	2.80894*10 <sup>6</sup>	1.19239*10 <sup>6</sup>
Calor de enfriamiento	-	-3.85205*10 <sup>6</sup> kcal/h	-

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo esta función, se adopta el compresor de tornillo VRA exento de aceite de la firma AERZEN.

Para conocer mejor su funcionamiento, la firma describe que los compresores de gases de proceso de AERZEN se instalan como equipos monos o multifásicos en plantas químicas, petroquímicas, de materias primas y de producción de energía y otros. El equipo es ideal para la compresión en seco de cualquier gas producido en las industrias química y petroquímica. Dentro de las cámaras de compresión no hay contacto metálico entre ambos rotores ni con la carcasa. Gracias a la sincronización de sus engranajes, los rotores funcionan sin contacto entre sí. Por lo tanto, las cámaras de impulsión permanecen sin lubricación y no se contamina el medio transportado. La longitud máxima (1350 mm) y mínima (155 mm) del rotor dan una idea de lo amplia que es la variedad de compresores disponibles. Se pueden aplicar rotores de acero común o especial y carcasas de hierro fundido nodular, o de fundición de acero común o especial para adaptarlos a los diferentes gases de proceso. Los compresores de tornillo están diseñados de forma individual para dar respuesta a necesidades muy diferentes. El compresor de tornillo para gases de proceso AERZEN emplea el equipo VRA estándar



para el bloque compresor con los accesorios auxiliares especificados ensamblados conjuntamente para formar un equipo compacto bien montado capaz de adaptarse a todas las aplicaciones.

Estos equipos cumplen con:

- Normas DIN y Euro
- Normas NACE
- Reglamentos antidumping
- Normas TEMA
- Código ASME Sección VIII Div. 1, incluido el sello «U»
- Pautas API
- ATEX

Y a modo de datos generales, se expone la tabla 8-10:

<b>Tabla 8-10:</b> Datos generales de diseño de K-105 AERZEN	
Tipo de construcción	Compresores de tornillo
Caudal volumétrico	550 a 120000 m <sup>3</sup> /h
Medio	Aire, gases neutros, gases de proceso, gases agresivos
Compresión	Exento de aceite
Operación de succión	Max -900 mbar de presión manométrica
Operación de presión	Máx 52000 mbar de presión manométrica
Dimensiones	
Largo	2.8 m
Ancho	2 m
Alto	2.6 m

*Fuente: AERZEN*



**Figura 8-7:** Figura ilustrativa de compresor de tornillo multietapas VRA exento de aceite.

*Fuente: AERZEN*

### 8.2.6 Tanque de almacenamiento de tolueno T-106

Para el almacenamiento del tolueno necesario para reponer la pérdida ocasionada por la reacción de desproporción, se dispone de tanques atmosféricos. Para realizar la adopción de estos se tienen en cuenta las siguientes variables de proceso:

- Flujo másico de alimentación: 13340 kg/h
- Densidad de la alimentación: 863,93 kg/m<sup>3</sup>
- Tiempo de residencia máximo: 24 horas.

Debido a que el caudal de alimentación máximo que puede ser introducido al proceso es de 370 m<sup>3</sup>/día, es necesario, solicitar a Bertotto y Boglione, medidas de tanque de almacenamiento de pedido especial.

<b>Tabla 8-11:</b> Dimensiones tanque de almacenamiento de tolueno T-106	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical simple pared
Material	Acero al carbono
Diseño de cabezal	Toriférico
Capacidad máxima	370 m <sup>3</sup>
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	7.47 m
Altura	7.31 m
Esbeltez	1
Espesor de pared	6.35 mm (1/4")
Diámetro boca de hombre	60 cm

*Fuente: Elaboración propia – Datos: Bertotto y Boglione, PEMEX.*

### 8.2.7 Tanque de almacenamiento stock de hidrogeno T-107/108/109

El último equipo de la sección 100 de este proceso, es el tanque de H<sub>2</sub> presurizado. Tal como se mencionó en otra oportunidad, a lo largo de la descripción de equipos en el capítulo anterior y en el presente, el H<sub>2</sub> necesario para la puesta en marcha y para el ingreso de alimentación continuo al proceso productivo será a través de tuberías subterráneas saliendo de YPF que se encuentra a pocos metros de la posición de la plata productora de p-Xileno.

Por lo tanto, se diseña un tanque de H<sub>2</sub> a presión para replicar por triplicado y hacer uso de ellos en concepto de stock por si el suministro de H<sub>2</sub> por cañería tuviese algún inconveniente.

Recordando que el H<sub>2</sub> se mantiene en un reciclo constante dentro del proceso, y que es de necesidad para la estabilidad del catalizador en el reactor y es un elemento de correlación, se supone una pérdida del 0,5 % de H<sub>2</sub> en todo el reciclo. Esta pérdida representa 0.736 m<sup>3</sup>/h.

Entonces quedan 3 tanques a presión iguales: cada uno contiene 1.472 m<sup>3</sup>, que representan 2 horas. En total, se contabilizan 6 horas de stock de H<sub>2</sub>.

Para el diseño, se sigue la secuencia de cálculo para tanques a presión según el Código ASME 2010 para Calderas y Recipientes a presión (2010). Estos recipientes se diseñan como cilindros de pared delgada.

Las primeras variables que hay que establecer para el comienzo del cálculo, son: presión de operación, presión de diseño y volumen del recipiente.

Presión de operación: es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

Presión de diseño: Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión. Este valor será:

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ lb/plg}^2$$

$$P = 1.1 * P_o$$

Siendo:

- P: presión de diseño
- Po: presión de operación

El volumen del recipiente se calcula a partir a partir del caudal másico considerando las pérdidas que hay que suministrar al proceso.

$$V = \frac{Q_m}{\rho_{H_2}}$$

$$V_{\text{repuesto}} = V * 0.5\% * 2 h$$

Siendo:

- V: volumen de recipiente (m<sup>3</sup>/h)
- Q<sub>m</sub>: caudal másico de H<sub>2</sub> (kg/h)
- ρ<sub>H<sub>2</sub></sub>: densidad de H<sub>2</sub> (kg/m<sup>3</sup>)
- V<sub>repuesto</sub>: volumen a reponer por la pérdida ocasionada en el reciclo.

Para la construcción de un recipiente de una cierta capacidad con el mínimo material, la longitud del diámetro en relación con la longitud horizontal del mismo, se recurre al diseño óptimo del recipiente. Para encontrar el diámetro óptimo se sigue el siguiente proceso de cálculo:

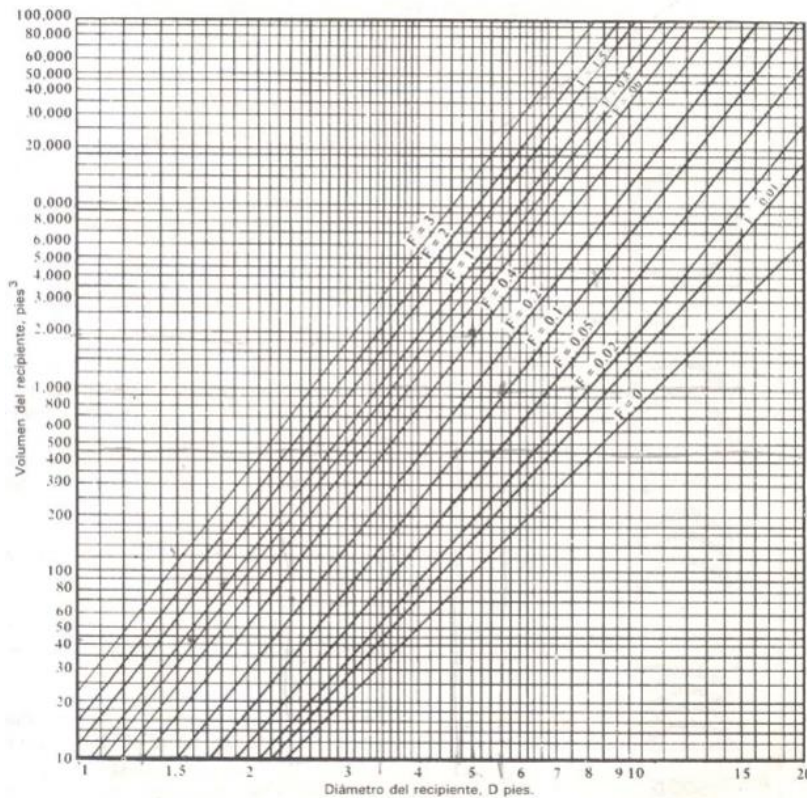
- 1) Calcular el valor de F

$$F = \frac{P}{C * S * E}$$

Siendo:

- P: Presión de diseño (psi)
- C: corrosión máxima permitida (in)
- S: valor del esfuerzo del material (psi)
- E: eficiencia de soldadura

- 2) Una vez determinado el valor de F, se recurre a la figura 8-8, donde: en función del volumen del recipiente y el valor de F calculado, se determina el diámetro óptimo del recipiente.



**Figura 8-8:** Diseño óptimo de un recipiente a presión.

Fuente: Villasana Villagomez, 2010

- 3) Calculado el diámetro óptimo, se sigue a calcular el valor de la longitud del recipiente

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

Siendo:

- L: longitud del recipiente (pies)
- V: volumen del recipiente (pies<sup>3</sup>)
- D: diámetro óptimo (pies)

- 4) Para las dimensiones del casco cilíndrico:

Espesor longitudinal

$$t = \frac{P * D * 12 * 0.5}{2 * S * E + 0.4 * P}$$

Espesor circunferencial

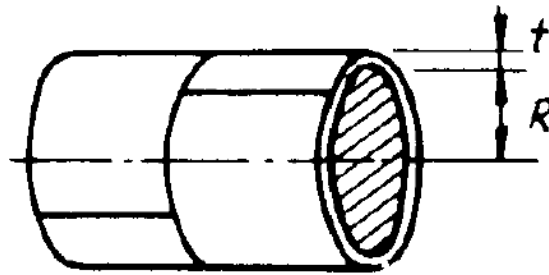
$$t = \frac{P * D * 12 * 0.5}{S * E + 0.4 * P}$$

Presión máxima de trabajo

$$Pt = \frac{S * E * t_{min}}{D * 12 * 0.5 - 0.4 * t_{min}}$$

Siendo:

- P: presión de diseño
- D: diámetro del recipiente elegido
- S: valor del esfuerzo del material
- E: eficiencia del material
- $t_{min}$ : espesor mínimo



**Figura 8-9:** Casco cilíndrico (Costura longitudinal)  
*Fuente: Universidad veracruzana FCQ –IQ*

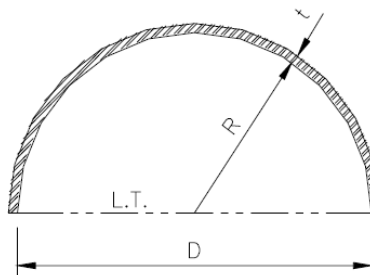
5) Para las dimensiones del casquete hemisférico

Espesor

$$T = \frac{P * D * 12 * 0.5}{2 * S * E - 0.2 * P}$$

Presión máxima de trabajo

$$P = \frac{2 * S * E * T}{D * 12 * 0.5 + 0.2 * T}$$



**Figura 8-10:** Casquete hemisférico  
*Fuente: León Estrada, 2001.*

6) Diámetro exterior

$$D_{ex}: D * 12 + 2 * t_{min}$$

7) Relación L/D

$$\frac{L * 12}{Dex}$$

8) Junta circunferencial

$$S1 = \frac{P * D}{4 * t}$$

9) Junta longitudinal

$$S2 = \frac{P * D}{2 * t}$$

10) Altura crítica de la torre

$$H = \frac{P * D}{3 * t}$$

Se expone a continuación la tabla que resumen todos los resultados de estos cálculos.

<b>Tabla 8-12: Datos de diseño de T-107/108/109</b>	
Poperación	200 atm = 2939 psi
Pdiseño	3233 psi
Material	Aluminio
Casco cilíndrico	
Material	Aluminio
Eficiencia de junta E	0.9
Valor de esfuerzo S	36259.4 psi
Factor F	0.099
V volumen	53 pie <sup>3</sup> = 1.5 m <sup>3</sup>
D diámetro	3.5 pie = 1.06 m
L largo	5.5 pie = 1.67 m
D exterior	46 in = 1.16 m
L/Dexterior	1.44
Espesor longitudinal	1 in
Espesor circunferencial	1.5 in
Medida comercial para espesor	50 mm
Presión máxima de trabajo	3240 psi
Casquete hemisférico	
Espesor mínimo	1.1 in
Medida comercial	50 mm
Presión máxima de trabajo	3240 psi
Esfuerzos	
Junta circunferencial	16980 psi
Junta longitudinal	33960 psi

Fuente: Elaboración propia

### 8.3 SECCIÓN 200: Descripción de los equipos

#### 8.3.1 Columna de destilación C-201

Tal y como se nombra en el capítulo de balance de masa y energía, la columna de destilación C-201 es la primera de una serie de 3 columnas que cumplen la función principal de separación de productos que serán subproductos del proceso esenciales o reciclados al mismo. En el caso de la C-201, su alimentación contiene todas las proporciones de productos de reacción y de éstos, es destilado el benceno. El benceno

es uno de los subproductos logrados en el proceso con una concentración de 99% y se almacena en las condiciones adecuadas para su venta directa.

Todos los procesos de producción estudiados previamente para este Proyecto Final de grado, llevan columnas de destilación. En este caso, los análisis son de obtención propia, buscando datos de referencia en las distintas fuentes de bibliografía. Sabiendo así que, los datos encontrados son comunes a columnas e industrias de envergaduras semejantes.

Para la simulación de las torres es fundamental el uso de ChemCad. Según datos del simulador, las características de diseño de C-201 son las siguientes:

- Columna 1 sección
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 70.
- Alimentación plato número: 30.
- Relación de reflujo: 3.

Sus dimensiones se detallan a continuación:

<b>Tabla 8-13: Datos de diseño columna de destilación C-201</b>	
Fabricante	Servinox
Material	Acero al carbono
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza	80.13 (°C)
Temperatura de fondo	131.35 (°C)
Calor de condensador	2.01 10 <sup>6</sup> (kcal/h)
Calor de rehervidor	2.98 10 <sup>6</sup> (kcal/h)
Relación de reflujo	3
Masa refluja	15.981 (kg/h)
Caída de presión	0.5 (atm)
Cantidad total de platos	70
Altura de la torre	20 m
Diámetro de la torre	2 m
Plato de alimentación	30
Espacio entre platos	0.61 m
Tipo de válvula	V1
Factor de inundación	74.82 (%)
Composición de cabeza (kg/h)	
Benceno	5328
Tolueno	0
o-Xileno	0
m-Xileno	0
p-Xileno	0
Etilbenceno	0
Composición de fondo (kg/h)	
Benceno	0
Tolueno	19980
o-Xileno	197.8
m-Xileno	1106.23
p-Xileno	6022
Etilbenceno	666

*Fuente: Elaboración propia*

En esta columna se selecciona para su diseño una bandeja de tamiz que ofrece la ventaja de su efectividad para una amplia gama de flujos, su eficiencia y bajo costo. La energía necesaria para poner en funcionamiento la torre, tiene que ver con el condensador E-207 y con el rehervidor E-208 que se diseñan y se describen en los ítems a continuación.

### 8.3.2 Intercambiador de calor E-207

El intercambiador de calor E-207 representa el condensador de la C-201 en la cabeza de esta. Aportando la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos.

El E-207 se diseña de igual modo que los demás intercambiadores, tomando como bibliografía principal de análisis de cálculo al libro Transferencia de la Energía Térmica de Donald Kern (1999) y usando el simulador ChemCad como herramienta primordial. Los pasos de diseño son explicados en detalle en la descripción de E-102.

Este condensador, como los demás condensadores de las torres, funciona por medio de un sistema cerrado de agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento. En el capítulo de Servicios Auxiliares se describe las características fundamentales de este equipo.

A continuación, se enumeran en la siguiente tabla, los valores de los resultados del diseño de este condensador.

<b>Tabla 8-14: Datos de diseño de E-207</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.34 m
Numero de tubos	146
Longitud de tubos	4.88 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.016 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	11
Separación centro a centro entre baffles	0.40 m
Segmentación de baffles	30%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	41.64 m <sup>2</sup>
Área requerida	34.92 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	1256/1053 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	2.01 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	19.25%
ΔP coraza	0.03 atm
ΔP tubos	0.01 atm
Coeficiente de película para la coraza	7977.07 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	4914.4 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

*Fuente: Elaboración propia*



### 8.3.3 Intercambiador de calor E-208

El E-208 corresponde al rehervidor de la columna de destilación de benceno, C-201. Este equipo completa el conjunto: condensador, columna y rehervidor. Y, al igual que en los demás casos, ChemCad es la principal herramienta de diseño. Este equipo, como los demás rehervidores de las columnas de destilación, funciona en contracorriente con vapor en circuito cerrado proveniente del sistema de calderas que se describe con más detalle en el capítulo de Servicio Auxiliares.

Se expone a continuación la tabla con los datos calculados de diseño.

<b>Tabla 8-15: Datos de diseño de E-208</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.81 m
Numero de tubos	884
Longitud de tubos	6.75 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.016 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	2
Numero de baffles	23 m
Separación centro a centro entre baffles	0.24 m
Segmentación de baffles	21%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	508.09 m <sup>2</sup>
Área requerida	441.93 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	1005/874 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	2.98 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	15%
ΔP coraza	0.52 atm
ΔP tubos	0.49 atm
Coefficiente de película para la coraza	12049.72 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coefficiente de película para los tubos	2089.18 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

Fuente: Elaboración propia

### 8.3.4 Columna de destilación C-202

De manera semejante al análisis de resolución de C-201, es la columna de destilación de tolueno: C-202. Corresponde a la segunda de tres columnas principales de proceso, y separa toda la cantidad de tolueno de la corriente de alimentación, para ser recirculado al inicio del proceso, en la alimentación del reactor.

Según datos del simulador, las características de diseño de C-202 son las siguientes:

- Columna 1 sección
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 70.
- Alimentación plato número: 30.

- Relación de reflujo: 3.
- Sus dimensiones se detallan a continuación:

<b>Tabla 8-16:</b> Datos de diseño columna de destilación C-202	
Fabricante	Servinox
Material	Acero al carbono
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza	125.73 (°C)
Temperatura de fondo	166.44 (°C)
Calor de condensador	6.75 10 <sup>6</sup> (kcal/h)
Calor de rehedidor	6.32 10 <sup>6</sup> (kcal/h)
Relación de reflujo	3
Masa refluja	59.937 (kg/h)
Caída de presión	0.5 (atm)
Cantidad total de platos	70
Altura de la torre	20 m
Diametro de la torre	2.5 m
Plato de alimentación	30
Espacio entre platos	0.61 m
Tipo de válvula	V1
Factor de inundación	77.66 (%)
Composición de cabeza (kg/h)	
Benceno	0
Tolueno	19980
o-Xileno	0
m-Xileno	0
p-Xileno	0
Etilbenceno	0
Composición de fondo (kg/h)	
Benceno	0
Tolueno	0
o-Xileno	197.8
m-Xileno	1106.23
p-Xileno	6022
Etilbenceno	666

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.3.5 Intercambiador de calor E-209

El intercambiador de calor E-209 representa el condensador de la C-202 en la cabeza de esta y aporta la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos. Su diseño y análisis de cálculo es exactamente igual a los demás condensadores, por lo cual, se expone a continuación los valores de resultados.

<b>Tabla 8-17:</b> Datos de diseño de E-207	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.49 m
Numero de tubos	179
Longitud de tubos	4.88 m

Diámetro externo de los tubos	0.025 m
Diámetro interno de los tubos	0.022 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.032 m
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	6
Separación centro a centro entre baffles	0.72 m
Segmentación de baffles	39%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	67.93 m <sup>2</sup>
Área requerida	57.17 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	1388.46/1168.41 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	6.75 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	18.83 %
ΔP coraza	0.73 atm
ΔP tubos	0.22 atm
Coeficiente de película para la coraza	9285.1 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	5781.78 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

Fuente: Elaboración propia

### 8.3.6 Intercambiador de calor E-210

El E-210 representa el rehervidor de la columna de destilación de tolueno C-202. Su análisis de cálculo es exactamente igual a los anteriores. A continuación, se muestran los valores resultados del diseño:

<b>Tabla 8-18:</b> Datos de diseño de E-210	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	1.68 m
Numero de tubos	1054
Longitud de tubos	6.00 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.016 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	4
Numero de baffles	13 m
Separación centro a centro entre baffles	0.33 m
Segmentación de baffles	40%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	1427.14 m <sup>2</sup>
Área requerida	1251.13 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	919.82/806.38 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	6.33 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	14%
ΔP coraza	0.06 atm
ΔP tubos	0.63 atm
Coeficiente de película para la coraza	9383.33 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

Coeficiente de película para los tubos	1827.74 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
--	----------------------------------

Fuente: Elaboración propia

### 8.3.7 Columna de destilación C-203

La columna de destilación C-203 es la última de las tres columnas de destilación del proceso. Esta torre presenta algunas diferencias con las anteriores, en detalle de diseño. Su función es separar o-xileno de p-xileno y m-xileno, y de esta manera, obtener un subproducto de relevancia económica para el proceso productivo.

La fuerza intermolecular entre los diversos isómeros de xileno no varían mucho, como lo indican los valores muy similares de constantes dieléctricas. Por lo tanto, los procesos dependen de las diferencias de fuerzas intermoleculares. Esta cercanía, también se refleja en los puntos de ebullición que están bastante juntos. El o-isómero es lo suficientemente diferente en volatilidad para que una separación de o-xileno de m-xileno y p-xileno por destilación sea practicable, aunque se requiere una relación de reflujo de 15 a 1 y 100 o más platos para lograr la destilación correcta. La Figura 14-3 muestra una columna de destilación de la unidad de xileno utilizada para separar o-xileno de los otros isómeros. La volatilidad relativa entre p- y m-xileno es tan leve que la separación por destilación está fuera de la cuestión. El proceso de separación más dependiente de la forma de un volumen molecular fijo es la cristalización. La cristalización ha sido clásicamente el método más común para separar p-xileno de m-xileno comercialmente, después de la eliminación de o-xileno por destilación. (King J.C., 1980).

**Table 14-2 Properties of xylenes and ethylbenzene†**

	<i>o</i> -Xylene	<i>m</i> -Xylene	<i>p</i> -Xylene	Ethylbenzene
Amount in equilibrium mixture at 1000 K, %	23	43	19	15
Boiling point, K	417.3	412.6	411.8	409.6
Freezing point, K	248.1	225.4	286.6	178.4
Change in boiling point with change in pressure, 10 <sup>-4</sup> K/Pa	3.73	3.68	3.69	3.68
Dipole moment, 10 <sup>-28</sup> C/molecule	2.1	1.2	0	
Polarizability, 10 <sup>-31</sup> m <sup>3</sup>	141	141.8	142	
Dielectric constant	2.26	2.24	2.23	2.24
Surface tension at 293 K, mJ/m <sup>2</sup>	30.03	28.63	28.31	29.04
Molecular weight	106.16	106.16	106.16	106.16
Density at 293 K, Mg/m <sup>3</sup>	0.8802	0.8642	0.8610	0.8670
Density at critical point, Mg/m <sup>3</sup>	0.28	0.27	0.29	0.29
Latent heat of vaporization at boiling point, kJ/kg	347	343	340	339

† Data from "Handbook of Chemistry and Physics," "Encyclopedia of Chemical Technology," "Chemical Engineers' Handbook," and Landolt-Börnstein.

**Figura 8-11:** Propiedades de xilenos y etilbenceno.

Fuente: (King J.C., 1980).



**Figura 8-12:** Reacción química de desproporción de tolueno.

*Fuente:* Columna separadora de xileno en Richmond California. Refinería: Standard Oil. Esta columna tiene como alimentación los isómeros del xileno y por el fondo se separa o-xileno. Obsérvese el gran tamaño en comparación con otras columnas. (Compañía de Investigación Chevron Richmond California.) (King J.C., 1980)

Tomando como base lo expresado en la bibliografía, y según datos del simulador, las características de diseño de C-203 son las siguientes:

- Columna 1 sección
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 160.
- Alimentación plato número: 90.
- Relación de reflujo: 15.

Sus dimensiones se detallan a continuación:

<b>Tabla 8-19:</b> Datos de diseño columna de destilación C-203	
Fabricante	Servinox
Material	Acero al carbono
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza	166.35 (°C)
Temperatura de fondo	182.63 (°C)
Calor de condensador	9.60 10 <sup>6</sup> (kcal/h)
Calor de rehervidor	6.32 10 <sup>6</sup> (kcal/h)
Relación de reflujo	15

Masa refluja	116.92 (kg/h)
Caída de presión	0.5 (atm)
Cantidad total de platos	160
Altura de la torre	40 m
Diámetro de la torre	3.5 m
Plato de alimentación	90
Espacio entre platos	0.61 m
Tipo de válvula	V1
Factor de inundación	77.79 (%)
Composición de cabeza (kg/h)	
Benceno	0
Tolueno	0
o-Xileno	2.8
m-Xileno	1106.23
p-Xileno	6022
Etilbenceno	666
Composición de fondo (kg/h)	
Benceno	0
Tolueno	0
o-Xileno	195
m-Xileno	0
p-Xileno	0
Etilbenceno	0

Fuente: Elaboración propia.

### 8.3.8 Intercambiador de calor E-211

El intercambiador de calor E-211 representa el condensador de la C-203 en la cabeza de esta y aporta la energía necesaria para que la columna funcione con normalidad y cumpla con los requisitos establecidos. Su diseño y análisis de cálculo es exactamente igual a los demás condensadores, por lo cual, se expone a continuación los valores de resultados.

<b>Tabla 8-20: Datos de diseño de E-211</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.54 m
Numero de tubos	221
Longitud de tubos	3.66 m
Diámetro externo de los tubos	0.025 m
Diámetro interno de los tubos	0.022 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.032 m
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	4
Separación centro a centro entre baffles	0.082 m
Segmentación de baffles	39%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	

Área efectiva de transferencia	62.48 m <sup>2</sup>
Área requerida	54.74 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	1461.24/1280.16 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	9.60 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	14.14 %
ΔP coraza	0.71 atm
ΔP tubos	0.19 atm
Coeficiente de película para la coraza	10374.2 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	6622.9 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.3.9 Intercambiador de calor E-212

El E-210 representa el rehervidor de la columna de destilación de tolueno C-203. Su análisis de cálculo es exactamente igual a los anteriores. A continuación, se muestran los valores resultados del diseño:

<b>Tabla 8-21: Datos de diseño de E-211</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.79 m
Numero de tubos	866
Longitud de tubos	6 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.016 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	27
Separación centro a centro entre baffles	0.304 m
Segmentación de baffles	30%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	458.02 m <sup>2</sup>
Área requerida	394.45 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	1461.24/1280.16 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	9.60 10 <sup>6</sup> kcal/h
Exceso de área	14.14 %
ΔP coraza	0.71 atm
ΔP tubos	0.19 atm
Coeficiente de película para la coraza	9453.13 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	2895.67 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.3.10 Intercambiador de calor E-206

Esta unidad de intercambiador de calor se anexa a la sección 200 con motivo de reducir la temperatura y presión de la corriente de o-xileno saliente del fondo de la columna de destilación C-203. De esta manera, se podrá almacenar a 25°C y 1 atm, condiciones normales para su distribución y venta como subproducto. El E-206 funciona en

contracorriente con agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento y, al igual que los condensadores, se mantiene en un circuito cerrado.

El diseño de este equipo es exactamente igual a los demás equipos semejantes. Se expone en la tabla a continuación, las dimensiones calculadas.

<b>Tabla 8-22: Datos de diseño de E-206</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.20 m
Numero de tubos	47
Longitud de tubos	1.86 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.016 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	26
Separación centro a centro entre baffles	0.051 m
Segmentación de baffles	15%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	4.67 m <sup>2</sup>
Área requerida	2.87 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	128.69/79.11 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	1.46 10 <sup>4</sup> kcal/h
Exceso de área	50 %
ΔP coraza	0.2 atm
ΔP tubos	0.2 atm
Coeficiente de película para la coraza	896.6 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	194.1 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.3.11 Tanque de almacenamiento T-204

Para el almacenamiento de benceno como subproducto se dispone de tanques atmosféricos. Para realizar la adopción de los mismos se tienen en cuenta las siguientes variables de proceso:

- Flujo másico de alimentación: 5328 kg/h
- Densidad de la alimentación: 815.23 kg/m<sup>3</sup>
- Tiempo de residencia máximo: 48 horas.

Debido a que el caudal de alimentación máximo que puede ser introducido al proceso es de 156.9 m<sup>3</sup>/día, es necesario, solicitar a Bertotto y Boglione, medidas de tanque de almacenamiento de pedido especial.

<b>Tabla 8-23: Dimensiones tanque de almacenamiento de benceno T-206</b>	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical simple pared
Material	Acero al carbono



Diseño de cabezal	Toriférico
Capacidad máxima	315 m <sup>3</sup>
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	7.47 m
Altura	7.31 m
Esbeltez	0.98
Espesor de pared	6.35 mm (1/4")
Diámetro boca de hombre	60 cm

*Fuente: Elaboración propia – Datos: Bertotto y Boglione, PEMEX*

### **8.3.12 Tanque de almacenamiento T-205**

Para el almacenamiento de o-xileno como subproducto se dispone de tanques atmosféricos. Para realizar la adopción de estos se tienen en cuenta las siguientes variables de proceso:

- Flujo másico de alimentación: 200 kg/h
- Densidad de la alimentación: 829.16 kg/m<sup>3</sup>
- Tiempo de residencia máximo: 48 horas.

Debido a que el caudal de alimentación máximo que puede ser introducido al proceso es de 6 m<sup>3</sup>/día, se solicita a Bertotto y Boglione una unidad de tanque en stock.

<b>Tabla 8-24:</b> Dimensiones tanque de almacenamiento de o-xileno T-205	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical simple pared
Material	Acero al carbono
Diseño de cabezal	Toriférico
Capacidad máxima	15 m <sup>3</sup>
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	2.27 m
Altura	3.75 m
Esbeltez	1.65
Espesor de pared	3.17 mm (1/8")
Diámetro boca de hombre	60 cm

*Fuente: Elaboración propia – Datos: Bertotto y Boglione.*

## **8.4 SECCIÓN 300: Descripción de los equipos**

### **8.4.1 Intercambiador de calor E-301**

El intercambiador de calor E-301 es el primer equipo de la sección 300. Es un intercambiador de tubo y coraza, al igual que todos los demás en el proceso. Y cumple con la función principal de enfriar la corriente saliente por la cabeza de la columna de destilación C-203 para prepararse hasta la cristalización de p-xileno. La corriente se enfría desde 160 °C hasta 60°C con agua de enfriamiento en contracorriente, proveniente de la torre de enfriamiento, manteniendo un circuito cerrado.

El diseño, como es común en este proyecto, es análogo a los demás equipos semejantes. En la tabla a continuación se exponen las dimensiones.

<b>Tabla 8-25:</b> Datos de diseño de E-301	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.43 m
Numero de tubos	179
Longitud de tubos	4.88 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.015 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	6
Numero de baffles	49
Separación centro a centro entre baffles	0.087 m
Segmentación de baffles	45%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	49.64 m <sup>2</sup>
Área requerida	43.23 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	629.56/548.17 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	6.03 10 <sup>5</sup> kcal/h
Exceso de área	15 %
ΔP coraza	0.1 atm
ΔP tubos	0.3 atm
Coeficiente de película para la coraza	4371.91 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	1398.96 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

Fuente: Elaboración propia

#### 8.4.2 Intercambiador de calor E-302 y Intercambiador de calor E-303.

A continuación, la corriente de salida de E-301 se encuentra a 60°C y su temperatura debe disminuir hasta 5°C. Este efecto se logra en conjunto con el intercambiador de calor E-303, usando en contracorriente una solución de salmuera que se mantiene a muy baja temperatura gracias al sistema de enfriamiento de NH<sub>3</sub> anexo. Este sistema se analiza en detalle en el capítulo de Servicios auxiliares.

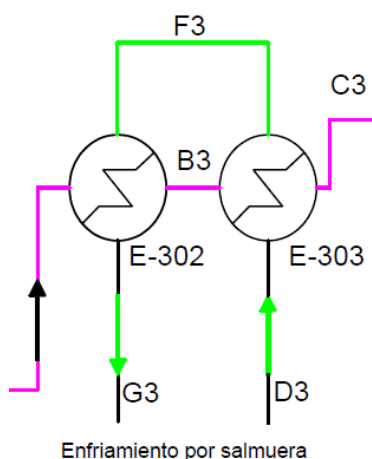


Figura 8-13: Propiedades de xilenos y etilbenceno.

Fuente: Elaboración propia

Ambos intercambiadores se diseñan de la misma forma que los demás intercambiadores del proceso. En las tablas 8-26 y 8-27 se expone las dimensiones calculadas de E-302 y E-303, respectivamente.

<b>Tabla 8-26: Datos de diseño de E-302</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.20 m
Numero de tubos	42
Longitud de tubos	2.44 m
Diámetro externo de los tubos	0.090 m
Diámetro interno de los tubos	0.015 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	6
Numero de baffles	37
Separación centro a centro entre baffles	0.050 m
Segmentación de baffles	45%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	5.61 m <sup>2</sup>
Área requerida	4.49 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	691.87/554.21 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	1.75 10 <sup>5</sup> kcal/h
Exceso de área	25 %
ΔP coraza	0.7 atm
ΔP tubos	0.5 atm
Coeficiente de película para la coraza	2405.27 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	2256 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 8-27: Datos de diseño de E-303</b>	
Tipo de intercambiador	Tubos y coraza
Fabricante	Servinox
Flujo	Contracorriente
Datos generales	
Diámetro interno de la coraza	0.30 m
Numero de tubos	87
Longitud de tubos	3.05 m
Diámetro externo de los tubos	0.019 m
Diámetro interno de los tubos	0.015 m
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	0.024 m
Numero de pasos por los tubos	8
Numero de baffles	41
Separación centro a centro entre baffles	0.060 m
Segmentación de baffles	25%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	14.74 m <sup>2</sup>

Área requerida	13.16 m <sup>2</sup>
U(calculado/de servicio)	488.09/435.71 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Calor calculado	1.44 10 <sup>5</sup> kcal/h
Exceso de área	12 %
ΔP coraza	0.6 atm
ΔP tubos	0.4 atm
Coeficiente de película para la coraza	1603.4 (kcal/hm <sup>2</sup> C)
Coeficiente de película para los tubos	1298.04 (kcal/hm <sup>2</sup> C)

*Fuente: Elaboración propia*

### **8.4.3 Tanque agitado formado de cristales MA-304.**

Este equipo es diseñado con el propósito de producir cristales de p-xileno en la corriente de salida del intercambiador de calor E-303 que se encuentra a 5°C. Luego, la mezcla que se obtiene es formada por cristales y mezclas líquidas que se envían directamente a la centrifuga S-305 para su separación.

En el momento de diseño, se piensa a MA-304 como un tanque de acero al carbono con agitador para favorecer la formación de cristales en el tiempo. En primera instancia se calculan las dimensiones del equipo y posteriormente el sistema de agitación: especificando la potencia del motor requerido y tipo de agitador.

Para obtener las dimensiones generales del equipo se utilizaron las siguientes correlaciones geométricas.

$$\frac{D_a}{D_c} = 0,3 \text{ a } 0,5$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{H}{D_c} = 1$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

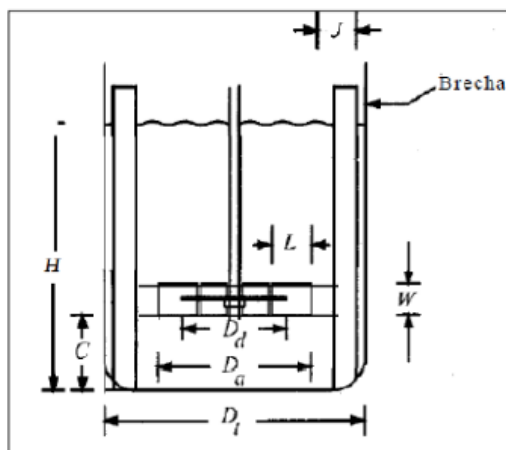
$$\frac{C}{D_c} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{J}{D_c} = \frac{1}{12}$$

*Fuente: Geankoplis, 2008.*

Siendo:

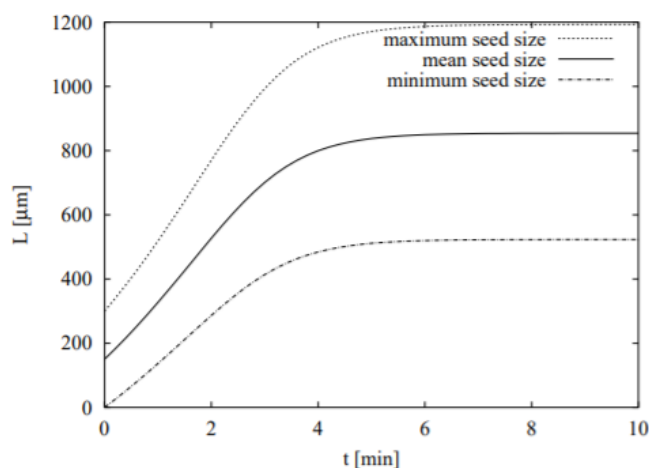
- D<sub>c</sub>: diámetro del tanque.
- D<sub>a</sub>: diámetro del agitador.
- H: altura del líquido.
- W: ancho del agitador.
- L: distancia del agitador a la pared del equipo.
- J: espesor de la pared del tanque.
- C: distancia del agitador al fondo del tanque.



**Figura 8-14:** Dimensiones de un tanque agitado.

*Fuente: Geankoplis, 2008.*

Ahora, es preciso conocer el proceso de formación de los cristales y su respectivo tiempo. Considerando el tamaño del cristal 1 mm se pudo obtener el tiempo de residencia de los cristales ( $\tau$ ) usando la siguiente gráfica.



**Figura 8-15:** Tiempo de residencia (min) vs tamaño de cristales ( $\mu\text{m}$ )

*Fuente: Bruce Patience, 2002.*

Donde se encuentra que:  $\tau = 3$  min para el caso de la cristalización de p-xileno.

Obtenido el tiempo de residencia para la formación de cristales en el tanque agitado y el caudal de la corriente de alimentación del tanque, se calcula el volumen de dicho equipo.

$$V = \tau \times q$$

Siendo:

- $\tau$ : tiempo de residencia (min)
- $q$ : caudal de alimentación al tanque agitado (kg/h)

A continuación, con los datos obtenidos anteriormente, se procede al cálculo en sí mismo de las dimensiones del equipo:

Para el número de Reynolds:

$$NRe = \frac{Da^2 \times n \times \delta}{\mu}$$

Siendo:

- Da: diámetro del agitador
- N: velocidad del agitador
- $\delta$ : densidad del fluido
- $\mu$ : viscosidad del fluido

A partir del N° de Reynolds, se procede a la selección del agitador, y para ello, es conveniente realizar una breve descripción de los tipos de agitadores existentes. La agitación y mezclado es una operación unitaria presente en la gran mayoría de los procesos industriales. Esta operación involucra sistemas de una sola fase o de varias fases líquidas, sólidas y gaseosas.

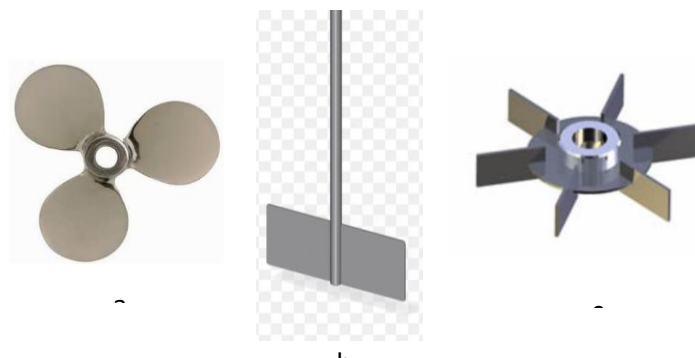
Los agitadores mecánicos consisten en un rodete ensamblado a un eje y accionado por un motor eléctrico. Se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador, agitadores de flujo axial y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial, agitadores de flujo radial.

- Agitadores de flujo axial: permiten un flujo que se desprende de las palas del impulsor aproximadamente a 45° y por lo tanto presenta recirculación, luego retorna hasta la zona central de las palas, creando un campo de flujo de ida y vuelta paralelo al eje de giro. Este tipo de flujo se presenta con un Reynolds de entre 200 a 600 aproximadamente.
- Agitadores de flujo radial: Los más representativos son los agitadores de palas planas. Este tipo de agitadores incluyen palas paralelas al eje del motor. En la mayoría de los procesos industriales de mezclado se busca que la capacidad de impulsión sea lo mayor posible, mientras que la velocidad tangencial no constituye un factor de importancia y por lo tanto se prefiere evitar. (*Castillo Uribe, 2013*).

Los tres tipos principales de agitadores son: de hélice, de paletas, y de turbina.

- Agitadores de hélice: agitador de flujo axial que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. (*Valiente Barderas, 2015*).
- Agitadores de paletas: agitadores formados por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque e impulsan al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor. También sus bajas velocidades evitan la formación de vórtices indeseables. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave. (*Castillo Uribe, 2013*)

- Agitadores de turbina: Estos tipos de agitadores se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran a velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. (Castillo Uribe, 2013).

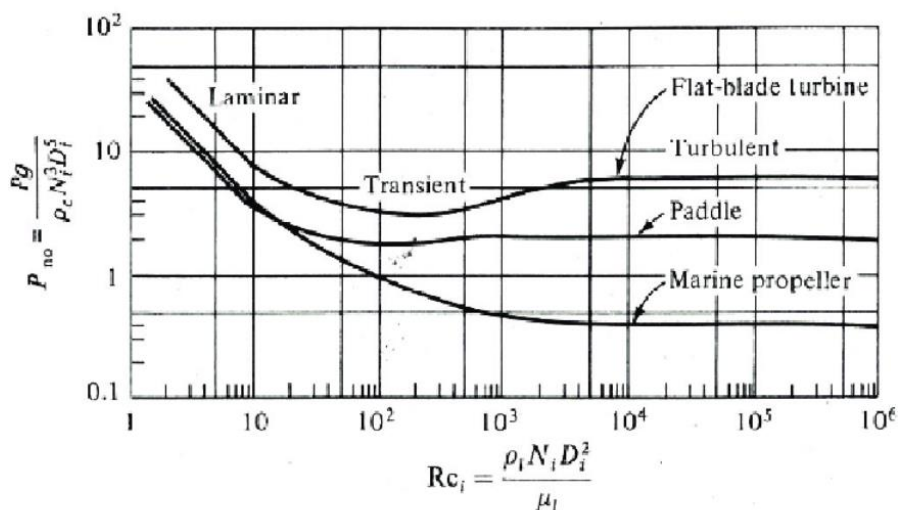


**Figura 8-16:** (a) agitador tipo hélice. (b) agitador tipo paletas. (c) agitador tipo turbina  
Fuente: Instrumentación Científica Técnica, S.L.

En el caso de MA-304 se adopta un agitador tipo paleta, de 2 palas, por poseer características de agitación suave y evitar formación de vórtices. Como se mencionó anteriormente, en este equipo, se forman todos los cristales de p-xileno, por lo tanto, es importante evitar las roturas de los mismos por agitación elevada y, al mismo tiempo, evitar posibles depósitos en el fondo.

Para el cálculo del número de potencia, se sigue la siguiente secuencia:

- Para  $N_{Re} = 10$
- Tipo de rodete: Paletas planas
- Usando la figura 8-17 se sabe que  $N_{po} = 6$



**Figura 8-17:** Número de potencia vs número de Reynolds  
Fuente: Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Mc Cabe-Smith.

$$P1 = kt \times n^3 \times Da^5 \times \delta$$

**OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN SELECTIVA DE TOLUENO**



$$P = \frac{P_1}{\eta}$$

Siendo:

- Kt: valor constante, de la figura 8-18.
- n: velocidad de rotación del agitador
- Da: diámetro del agitador
- δ: densidad del fluido
- η: eficiencia

Tipo de rodetes	$K_L$	$K_T$
Hélice (paso cuadrado, tres palas)	41,0	0,32
Hélice (paso igual a 2, tres palas)	43,5	1,00
Turbina (seis palas planas)	71,0	6,30
Turbina (seis palas curvadas)	70,0	4,80
Ventilador de turbina (seis paletas)	70,0	1,65
Paletas planas (dos palas)	36,5	1,70
Turbina cerrada (seis palas curvadas)	97,5	1,08
Turbina cerrada (con stator, sin placas deflectoras)	172,5	1,12

\* De J. H. Rushton, Ind. Eng. Chem., 44 :2931 (1952).

**Figura 8-18:** Número de potencia vs número de Reynolds  
Fuente: Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Mc Cabe-Smith.

Conociendo todos los datos calculados, se adopta la potencia del motor del agitador según datos del proveedor de acuerdo a las necesidades expresadas.

Potencia [kW]	[HP]	Tipo	r/min	Eficiencia [%]				Factor de potencia				Corriente			Torque			Momento de inercia		Peso [kg]	Ruido [dB(A)]
				50	75	100	FS	50	75	100	FS	I <sub>n</sub> [A]	I <sub>s</sub> [A]	I <sub>v</sub> [A]	T <sub>n</sub> [Nm]	T <sub>s</sub> [Nm]	T <sub>max</sub> [Nm]	J <sub>1/4GD2</sub> [kgm <sup>2</sup> ]			
2 polos = 3000 r/min 400 V 50 Hz																					
Diseño básico																					
0,37	0,5	M2QA	71 M2A	2780	62,2	68,0	70,0	0,68	0,79	0,81	1,15	0,94	6,1	0,5	1,3	2,2	3,0	0,00030	10	56	
0,55	0,74	M2QA	71 M2B	2785	69,2	72,4	73,0	0,71	0,80	0,82	1,15	1,3	6,1	0,7	1,9	2,2	2,7	0,00037	11	56	
0,75	1	M2QA	80 M2A	2840	72,4	75,5	75,0	0,74	0,84	0,85	1,15	1,7	6,1	0,7	2,5	2,2	3,0	0,00091	16	57	
1,1	1,5	M2QA	80 M2B	2855	72,7	77,9	78,0	0,72	0,82	0,85	1,15	2,4	7,0	1,1	3,7	2,2	2,2	0,00107	17	58	
1,5	2	M2QA	90 S2A	2850	75,7	79,0	79,0	0,73	0,83	0,87	1,15	3,2	7,0	1,4	5,0	2,2	2,5	0,00135	21	61	
2,2	2,9	M2QA	90 L2A	2850	78,8	81,8	81,5	0,71	0,81	0,86	1,15	4,5	7,0	2,2	7,4	2,2	3,5	0,00163	24	61	
3	4	M2QA	100 L2A	2860	80,1	83,2	83,0	0,74	0,85	0,88	1,15	5,9	7,0	2,5	10,0	2,2	3,0	0,00402	33	65	
4	5,4	M2QA	112 M2A	2900	80,3	84,6	85,0	0,78	0,89	0,90	1,15	7,6	7,0	2,9	13,2	2,2	3,2	0,00671	42	67	
5,5	7,4	M2QA	132 S2A	2920	84,9	87,9	87,5	0,79	0,89	0,89	1,15	10,2	7,0	3,3	18,0	2,2	3,0	0,01241	58	70	
7,5	10	M2QA	132 S2B	2920	88,2	90,1	88,5	0,82	0,88	0,90	1,15	13,6	7,0	3,9	24,5	2,2	3,5	0,01491	63	70	
11	15	M2QA	160 M2A	2930	86,9	90,5	90,0	0,73	0,86	0,89	1,15	19,8	6,5	6,8	36	2,5	3,1	0,04360	112	72	
15	20	M2QA	160 M2B	2920	90,1	90,1	90,0	0,81	0,87	0,89	1,15	27	6,5	8,1	49	2,5	2,6	0,05510	122	72	
18,5	25	M2QA	160 L2A	2930	90,1	90,9	90,5	0,84	0,89	0,90	1,15	33	6,5	9,3	60	2,5	2,7	0,06549	142	72	
22	29	M2QA	180 M2A	2940	90,0	91,0	90,8	0,85	0,89	0,90	1,15	39	6,5	10,2	71	2,3	2,5	0,08935	170	72	
30	40	M2QA	200 L2A	2955	89,5	91,1	91,4	0,84	0,89	0,90	1,15	52	6,5	12,9	97	2,2	2,6	0,14821	235	81	
37	50	M2QA	200 L2B	2955	90,3	91,8	92,2	0,85	0,89	0,90	1,15	64	6,5	15,7	120	2,3	2,6	0,18822	254	81	
45	60	M2QA	225 M2A	2970	90,2	92,2	92,6	0,81	0,86	0,89	1,15	78	7,0	23,6	145	2,5	2,7	0,29345	328	81	
55	74	M2QA	250 M2A	2960	90,3	91,7	93,4	0,83	0,90	0,89	1,15	96	7,5	25,9	177	2,4	2,7	0,37840	390	84	
75	101	M2QA	280 S2A	2972	91,0	92,2	94,0	0,82	0,86	0,90	1,15	128	7,5	35	241	2,5	3,0	0,58700	504	85	
90	121	M2QA	280 M2A	2972	91,7	92,3	94,3	0,84	0,89	0,91	1,15	153	7,5	37	289	2,3	3,0	0,61500	560	85	
110	147	M2QA	315 S2A	2980	90,2	92,2	94,0	0,79	0,85	0,91	1,15	187	7,1	65	352	1,8	3,4	1,40830	910	88	
132	177	M2QA	315 M2A	2980	90,3	92,3	94,5	0,81	0,87	0,91	1,15	223	7,1	70	423	1,8	3,3	1,55940	1010	88	
160	214	M2QA	315 L2A	2979	91,8	93,5	94,6	0,78	0,85	0,92	1,15	267	7,2	78	513	1,8	3,2	1,72560	1070	88	
200	268	M2QA	315 L2B*	2978	92,3	94,0	94,8	0,78	0,86	0,92	1,15	332	7,2	91	641	1,8	3,2	1,94050	1120	88	
250	335	M2QA	355 M2A*	2980	94,4	94,5	95,4	0,84	0,90	0,92	1,15	415	7,1	87	801	2,3	2,8	3,05000	1438	89	
315	422	M2QA	355 L2A*	2980	95,0	95,3	96,0	0,84	0,90	0,92	1,15	520	6,9	109	1009	2,0	2,8	3,60000	1726	89	
2 polos = 3000 r/min 400 V 50 Hz																					
Diseño de alta potencia																					
5,5	7,4	M2QA	112 L2A*	2900	82,0	83,0	82,0	0,82	0,88	0,90	1	10,8	7,0	3,2	18,1	2,0	2,1	0,00826	49	70	
9,2	12	M2QA	132 M2A*	2910	85,0	86,0	85,5	0,80	0,86	0,88	1	17,7	7,5	7,9	30	2,0	2,2	0,01500	68	71	
11	15	M2QA	132 M2B*	2900	87,0	88,0	88,0	0,82	0,88	0,90	1	20,1	8,0	9,0	36	2,2	2,2	0,01768	73	73	
22	29	M2QA	160 L2B*	2930	87,0	88,0	88,0	0,82	0,88	0,90	1	40	6,5	10,4	72	2,3	2,8	0,06549	130	75	
30	40	M2QA	180 L2A*	2950	89,8	90,8	90,8	0,82	0,88	0,90	1	53	6,5	16,4	97	2,3	2,8	0,10339	185	75	
45	60	M2QA	200 L2C*	2955	91,0	92,0	92,0	0,82	0,88	0,90	1	78	7,0	21,1	145	2,2	2,6	0,18473	276	81	
55	74	M2QA	225 M2B*	2975	91,6	92,6	92,6	0,81	0,87	0,89	1	96	7,0	26,9	177	2,5	2,8	0,33431	340	81	
75	101	M2QA	250 M2B*	2970	90,0	91,0	91,0	0,81	0,87	0,89	1	134	7,0	40	241	2,4	2,8	0,45829	411	85	

\* Incremento de temperatura clase F  
Corriente nominal a 400V.

**Figura 8-19:** Características de motores industriales.  
Fuente: Motores ABB, 2019.

Se elige según las necesidades, un motor de potencia de 3 HP.

A continuación, se enumeran todas las dimensiones de diseño calculadas para el equipo MA-304.



<b>Tabla 8-28:</b> Dimensiones de diseño de MA-304.	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Material	Acero Inoxidable
Tipo de flujo	Laminar
Tipo de rodete	Dos paletas planas
Ubicación	Horizontal
Placas deflectoras	No posee
Fondo	Plano
Techo	Cónico auto soportado
Q Caudal de ingreso al cristalizador	9,063 m <sup>3</sup> /h
$\delta$ Densidad de la mezcla	857,7952 kg/m <sup>3</sup>
$\mu$ Viscosidad de la mezcla	0,6057 cp
$\tau$ Tiempo de residencia	3 min
Constante $K_T$	1,7
V Volumen del cristalizador	550 lts
$D_c$ Diámetro del cristalizador	0,86 m
H Altura del líquido	0,86 m
$D_a$ Diámetro del agitador	0,43 m
N Velocidad de rotación del agitador	0,038x10 <sup>-3</sup> rps
C Distancia entre el fondo del tanque y el agitador	0,29 m
L Distancia entre la pared y el agitador	0,1075
J Ancho de la pared	0,072 m
W Ancho de la paleta del agitador	0,286 m
$N_{Re}$ Número de Reynolds	10
$N_{po}$ Número de potencia	6
Potencia adoptada del motor	3 HP
Tamaño del cristal	1 mm

*Fuente: Elaboración propia*

#### **8.4.4 Centrifuga S-305.**

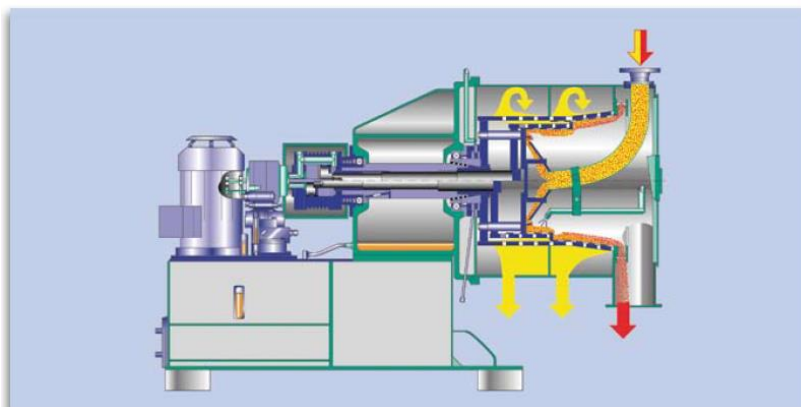
Para la separación de los cristales de p-xileno y la mezcla de xilenos líquida, se adopta una centrifuga industrial modelo Pusher doble paso SHS de la firma Siebtechnik. Del mismo catálogo de presentación de equipos se expone, a continuación, una breve descripción de S-305.

La centrífuga de empuje Pusher, de ejecución simple, doble o triple escalón, y con cestillo cilíndrico/cónico, es una centrífuga de filtración y operación continua. Los sólidos son retenidos en forma de torta en el cestillo de perfil trapezoidal y a continuación transportados axialmente por medio de un movimiento oscilante del cestillo interior a la descarga de sólidos.

La mezcla de sólidos y líquido se alimenta de forma continua al tubo de entrada hasta llegar al cono de distribución que gira a la misma velocidad que el cesto. Aquí la mezcla acelera y fluye a través del espacio entre los anillos, situado entre el fondo de empuje y el cono de distribución, hacia el anillo distribuidor. Dentro del distribuidor la mezcla acelera suavemente hasta alcanzar la velocidad circunferencial y consecuentemente fluye como una capa de suspensión por encima del borde del distribuidor hasta toda el área de cribado en la zona de alimentación. La mayor parte del líquido se centrifuga hacia afuera a través de las aperturas de la rejilla, mientras que los sólidos son retenidos encima de la rejilla en forma de torta de filtrado. Además de girar, el cesto interior efectúa un movimiento axialmente oscilante. Este llamado movimiento de empuje mueve la torta

de filtrado hacia adelante y lo empuja gradualmente hacia el cesto exterior desde el cual se descarga a través de la parte abierta hacia la zona de sólidos de la carcasa.

La capacidad de una centrífuga de empuje depende en primer lugar del efecto de desagüe de la mezcla. Una concentración mayor de sólidos en la alimentación influye en una productividad mayor y una humedad de descarga menor.



**Figura 8-20:** Ilustración centrífuga S-305.  
Fuente: Siebtechnik.

**Ejecuciones estándar**

Díámetro nominal		250	350	450	530	600	800	900	1000	1100	1200
Simple escalón	cilíndrico y cilíndrico/cónico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Doble escalón	cilíndrico y cilíndrico/cónico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Triple escalón	cilíndrico y cilíndrico/cónico		x			x	x	x	x	x	x
Length	mm (aprox.)	1500	1750	1900	2600	2600	2750	2750	3300	3675	3750
Width	mm (aprox.)	850	950	1100	1800	1800	2000	2000	2400	2400	2400
Height	mm (aprox.)	950	1020	1050	1700	1700	2050	2050	2150	2250	2250
Peso operacional en kg (aprox.)		800	1150	1900	5000	5600	8000	10000	14000	15000	16000

Nos reservamos el derecho de efectuar cambios que sirvan al progreso técnico.

**Figura 8-20:** Dimensiones de proveedor de centrífuga S-305.  
Fuente: Siebtechnik.

Según el flujo másico de la corriente de entrada a S-305, se adopta las dimensiones de la figura 8-20 correspondientes a 8000 kg.

<b>Tabla 8-29: Dimensiones de la centrífuga S-305</b>	
Peso operacional	8000 kg
Largo	2.75 m
Ancho	2 m
Alto	2 m

Fuente: Siebtechnik.



**Figura 8-21:** Imágenes de centrifugas industriales  
*Fuente: Siebtechnik.*

#### 8.4.5 Tanque de fundidor E-306.

El tanque fundidor de cristales de p-xileno es el último equipo del proceso productivo completo para la obtención de p-xileno. Su función principal es, como se puede deducir, la fundición de cristales sólidos para obtener una corriente líquida con pureza 99% en condiciones normales de presión y temperatura listos para ser almacenado y distribuido.

Este tanque se diseña como un tanque de características generales comunes, pero se añade un sistema de agitación con objetivo de aumentar la homogeneización del flujo de ingreso y un serpentín por cuál circula flujo de vapor logrando elevar la temperatura del p-xileno desde 13 °C a 25 °C. La corriente de vapor se mantiene en circuito cerrado a través del sistema de calderas que se describe en detalle en el capítulo de Servicios Auxiliares.

Para el cálculo de sistema de agitación se sigue los mismos pasos que en el caso de MA-304. A continuación, se expresan todas las dimensiones calculadas.

<b>Tabla 8-30:</b> Dimensiones del tanque fundidor T-205	
Dimensiones de tanque	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical simple pared
Material	Acero al carbono
Diseño de cabezal	Toriférico
Tipo de flujo	Laminar
Tipo de rodete	Dos paletas planas
Ubicación	Horizontal
Potencia del motor del agitador	10 HP
Capacidad máxima	10 m <sup>3</sup>

Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	2.08 m
Altura	3.00 m
Esbeltez	1.65
Espesor de pared	3.17 mm (1/8")
Diámetro boca de hombre	60 cm
Balance de energía para el cálculo de serpentín	
Flujo volumétrico de alimentación de p-xileno	7 m <sup>3</sup>
Capacidad calorífica	0.4082 kcal/kg.°C
Calor latente	328 kcal/kg
Temperatura de entrada al tanque	13 °C
Temperatura de salida al tanque	25 °C
Calor intercambiador	1.61 10 <sup>6</sup> kcal/h
Caudal volumétrico vapor	3 m <sup>3</sup>
Temperatura de entrada vapor	101 °C
Temperatura de salida de condensado	99 °C
Dimensiones de serpentín	
Diámetro interior de tubo	0.0381 m
Diámetro del tanque	2.08 m
Largo del serpentín	12 m
Cantidad de vueltas	5

#### 8.4.6 Tanque de almacenamiento de p-xileno T-307

Para el almacenamiento de p-xileno producto principal se dispone de tanques atmosféricos. Para realizar la adopción de estos se tienen en cuenta las siguientes variables de proceso:

- Flujo másico de alimentación: 4841 kg/h
- Densidad de la alimentación: 856.71 kg/m<sup>3</sup>
- Tiempo de residencia máximo: 48 horas.

Debido a que el caudal de alimentación máximo que puede ser introducido al proceso es de 135 m<sup>3</sup>/día, se solicita a Bertotto y Boglione una unidad de dimensiones especiales a pedido.

<b>Tabla 8-31:</b> Dimensiones tanque de almacenamiento de p-xileno T-307	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical simple pared
Material	Acero al carbono
Diseño de cabezal	Toriférico
Capacidad máxima	270 m <sup>3</sup>
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	7.46 m
Altura	7.31 m
Esbeltez	0.98
Espesor de pared	6.35 mm (1/4")
Diámetro boca de hombre	60 cm

*Fuente: Elaboración propia*

**8.4.7 Tanque de almacenamiento de mezcla de xilenos T-308.**

Para el almacenamiento de mezcla de xilenos como subproducto se dispone de tanques atmosféricos. Para realizar la adopción de los mismos se tienen en cuenta las siguientes variables de proceso:

- Flujo másico de alimentación: 2932 kg/h
- Densidad de la alimentación: 859.16 kg/m<sup>3</sup>
- Tiempo de residencia máximo: 48 horas.

Debido a que el caudal de alimentación máximo que puede ser introducido al proceso es de 90 m<sup>3</sup>/día, se solicita a Bertotto y Boglione una unidad de dimensiones especiales a pedido.

<b>Tabla 8-32:</b> Dimensiones tanque de almacenamiento de o-xileno T-308	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Tipo de tanque	Atmosférico vertical simple pared
Material	Acero al carbono
Diseño de cabezal	Toriférico
Capacidad máxima	200 m <sup>3</sup>
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	7.46 m
Altura	7.31 m
Esbeltez	0.98
Espesor de pared	6.35 mm (1/4")
Diámetro boca de hombre	60 cm

**8.5 Adopción de bombas de proceso**

En ciertas etapas del proceso productivo se requiere que el líquido fluya de un lugar a otro en una tubería. Para ello es necesario contar con una fuerza impulsora, que es suministrada por bombas. Para poder realizar la adopción de bombas involucradas en el proceso de obtención de p-xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno se emplea el procedimiento detallado a continuación:

- 1) Se define la distribución y elevación para los equipos y tuberías teniendo en cuenta magnitudes tales como el diámetro, altura y nivel de líquido de los recipientes de proceso.
- 2) Se confecciona el diagrama tridimensional de tuberías, incluyendo válvulas, uniones y accesorios. Además, se selecciona el tipo de material de construcción.
- 3) Se adopta una velocidad de flujo en los tubos entre 1 y 3 m/s dependiendo el caso (*Warring, 1977*). Con la velocidad y los caudales obtenidos en el balance de masa y energía se establecen los diámetros de las líneas.
- 4) Se calcula la pérdida de carga de la tubería y la pérdida de carga equivalente por longitud en válvulas, codos y accesorios (*Ocon y tojo*).
- 5) Se estiman pérdidas de carga en los equipos como intercambiadores de calor, estas pérdidas se calcularon en el diseño de los equipos.
- 6) Se calcula la altura de impulsión neta requerida para la conducción del fluido y su respectiva potencia.
- 7) Se calcula la NPSH disponible en la aspiración de la bomba para el caso que sea necesario.

- 8) Se realiza la selección del tipo y modelo de bomba requerida de los catálogos de los fabricantes, considerando la altura de impulsión neta, la NPSH disponible y el caudal volumétrico necesario.

### 8.5.1 Procedimiento de cálculos para la adopción de bombas.

#### 8.5.1.1 Pérdidas de carga del sistema

Las pérdidas de carga del sistema se calculan con la siguiente expresión:

$$hf = f * \frac{Leq}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Siendo:

- F: factor de fricción
- $L_{eq}$ : longitud equivalente (tubería + accesorios + codos)
- D: diámetro interno del tubo.

#### 8.5.1.2 Altura de impulsión neta

Para determinar la altura de impulsión se utiliza la ecuación de Bernoulli corregida, teniendo en cuenta la fricción del fluido en las tuberías, accesorios y equipos.

$$H_b = hf + \left( \frac{P_2}{\delta * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 \right) - \left( \frac{P_1}{\delta * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 \right)$$

Siendo:

- $H_b$ : altura de impulsión neta.
- $P_1$  y  $P_2$ : presión sobre el fluido en los puntos de succión y descarga.
- $Z_1$  y  $Z_2$ : altura del nivel del líquido en los puntos de succión y descarga.
- $V_1$  y  $V_2$ : velocidad lineal del fluido en los puntos de succión y descarga.
- $\delta$ : densidad del fluido
- $hf$ : pérdidas por fricción en tubería, accesorios y equipos.
- $g$ : aceleración de la gravedad.

#### 8.5.1.3 Potencia real de la bomba

La potencia ejercida por la bomba se calcula de la siguiente manera, se le adiciona un 10% de sobre diseño como margen de seguridad. Con esta altura de elevación final  $H_b$ , se calcula la potencia de la bomba mediante la ecuación:

$$PB = \frac{H_b * Q_b * g * \delta}{\eta}$$

Siendo:

- $\eta$ : rendimiento
- $Q_b$ : caudal volumétrico de la bomba

**8.5.1.4** Altura neta de succión positiva disponible (NSPH Disponible)

Para calcular el NPSH disponible, se sigue la siguiente ecuación:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{atm}}{\delta * g} + H - hf_{asp} - P_{vap}$$

Siendo:

- H: altura desde el punto de aspiración hasta el eje de la bomba.
- $Hf_{asp}$ : pérdida de aspiración
- $P_{vap}$ : presión de vapor de líquido

**8.5.2** Características de las diferentes líneas de bombeo

En la siguiente tabla se detallan las distintas líneas de bombeo, junto con los caudales y propiedades de las corrientes del proceso. A partir de estos datos es posible determinar el diámetro de tubería más apropiado para cada tramo.

<b>Tabla 8-33:</b> Características de líneas de bombeo								
Procedencia	Destino	Código	Temperatura °C	Presión atm	$\mu$ (cP)	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Q m <sup>3</sup> /h	$P_{vapor}$
T-106	E102	B-110	25	1	0.5543	864	15.44	0.03878
Unión de cañerías J1-C2	E-102	B-112	85	1	0.3068	806.56	41.28	0.468
C-104	C-201	B-113	60	1	0.3943	831.34	40.05	0.22483
C201	T204	B-213	80	1	0.32	815.23	26.11	1.029
C201	C202	B-214	131	1.5	0.2077	758.96	36.86	1.536
C202	C203	B-215	166.42	2	0.1865	725.25	11.02	2.046
C203	E206	B-216	182.63	2.5	0.1972	730.3	0.26	2.54
E206	T205	B-217	25	1	0.7577	875.89	0.2249	0.00903
C203	E301	B-218	166.52	2	0.1856	724.6	10.78	2.08
E301	E302	B-308	100	1	0.2915	791.44	9.82	0.3279
E302	E303	B-310	50	1	0.458	836.49	9.29	0.0432
E303	MA304	B-311	5	1	0.7837	874.33	8.89	0.00343
E306	T307	B-312	25	1	0.6070	856.7	5.63	0.0112
S305	T308	B-313	25	1	0.5849	860.18	17.15	0.0114

### 8.5.3 Resumen de cálculos de bombas de proceso productivo

En las siguientes tablas se resumen los cálculos para las distintas bombas de proceso

<b>Tabla 8-34:</b> Cálculos de bombas. Sección 100, 200 y 300.		
<b>B-110</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.53	0.94
Diámetro (plg)	4	3
Nº Reynolds	$1.424 \cdot 10^5$	$9.502 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.0205	0.021
Longitud equivalente (m)	70	42
Perdida de carga (hf) (m)	1.383	0.159
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	3
Potencia (HP)	2.56	
NPSHd	11.36	
<b>B-112</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	1.014	1.118
Diámetro (plg)	5	4
Nº Reynolds	$4.658 \cdot 10^5$	$4.89 \cdot 10^5$
Factor de Fricción (f)	0.018	0.0157
Longitud equivalente (m)	71	81
Perdida de carga (hf) (m)	0.559	0.79
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	0
Potencia (HP)	4.78	
NPSHd	7	
<b>B-113</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.982	1.083
Diámetro (plg)	5	4
Nº Reynolds	$2.45 \cdot 10^5$	$2.57 \cdot 10^5$
Factor de Fricción (f)	0.018	0.019
Longitud equivalente (m)	131	64
Perdida de carga (hf) (m)	0.967	0.636
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	3
Potencia (HP)	4.45	
NPSHd	9	
<b>B-213</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.707	1.168
Diámetro (plg)	4	3
Nº Reynolds	$2.08 \cdot 10^5$	$9.64 \cdot 10^5$
Factor de Fricción (f)	0.019	0.019
Longitud equivalente (m)	10	40
Perdida de carga (hf) (m)	0.67	0.57
Presión (atm)	1	1



OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN  
SELECTIVA DE TOLUENO



Altura (m)	0	13
Potencia (HP)	2.89	
NPSHd	0.82	
<b>B-214</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.808	0.998
Diámetro (plg)	4	3
Nº Reynolds	$3.75 \cdot 10^5$	$9.502 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.017	0.018
Longitud equivalente (m)	11	60
Perdida de carga (hf) (m)	0.227	0.48
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	6
Potencia (HP)	4.65	
NPSHd	0.61	
<b>B-215</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.493	1.071
Diámetro (plg)	3	2
Nº Reynolds	$1.705 \cdot 10^5$	$2.512 \cdot 10^5$
Factor de Fricción (f)	0.0195	0.021
Longitud equivalente (m)	7.5	46
Perdida de carga (hf) (m)	0.02	0.914
Presión (atm)	1.5	1.5
Altura (m)	0	20
Potencia (HP)	2.89	
NPSHd	3.6	
<b>B-216</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.082	0.082
Diámetro (plg)	1	1
Nº Reynolds	$1.02 \cdot 10^4$	$1.02 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.027	0.027
Longitud equivalente (m)	11	16
Perdida de carga (hf) (m)	0.003081	0.004481
Presión (atm)	2	2
Altura (m)	0	0
Potencia (HP)	0.85	
NPSHd	0.58	
<b>B-217</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.071	0.071
Diámetro (plg)	1	1
Nº Reynolds	$2.754 \cdot 10^3$	$2.754 \cdot 10^3$
Factor de Fricción (f)	0.05	0.05
Longitud equivalente (m)	11	37
Perdida de carga (hf) (m)	0.0042	0.014
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	3
Potencia (HP)	0.78	
NPSHd	7	
<b>B-218</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.4082	1.048
Diámetro (plg)	3	2
Nº Reynolds	$1.655 \cdot 10^5$	$2.379 \cdot 10^5$

Factor de Fricción (f)	0.016	0.017
Longitud equivalente (m)	52	33
Perdida de carga (hf) (m)	0.111	0.52
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	1.5
Potencia (HP)	3	
NPSHd	5.837	
<b>B-308</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.954	0.954
Diámetro (plg)	2	2
Reynolds	$5.63 \cdot 10^5$	$5.63 \cdot 10^5$
Factor de Fricción (f)	0.027	0.027
Longitud equivalente (m)	10	13
Perdida de carga (hf) (m)	0.208	0.27
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	0
Potencia (HP)	1.45	
NPSHd	9	
<b>B-310</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.954	0.954
Diámetro (plg)	2	2
Nº Reynolds	$5.63 \cdot 10^4$	$5.63 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.027	0.027
Longitud equivalente (m)	10	13
Perdida de carga (hf) (m)	0.308	0.30
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	0
Potencia (HP)	1.5	
NPSHd	9	
<b>B-311</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.864	0.864
Diámetro (plg)	2	2
Nº Reynolds	$5.23 \cdot 10^4$	$5.23 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.023	0.023
Longitud equivalente (m)	10	27
Perdida de carga (hf) (m)	0.145	0.89
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	7
Potencia (HP)	1.23	
NPSHd	3	
<b>B-312</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.864	0.864
Diámetro (Plg)	2	2
Nº Reynolds	$5.29 \cdot 10^4$	$5.29 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.023	0.023
Longitud equivalente (m)	13	46
Perdida de carga (hf) (m)	0.189	0.667
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	3
Potencia (HP)	1	
NPSHd	1.854	

<b>B-313</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.767	0.767
Diámetro (Plg)	3	3
Reynolds	$8.9 \cdot 10^4$	$8.9 \cdot 10^4$
Factor de Fricción (f)	0.021	0.021
Longitud equivalente (m)	17	27
Perdida de carga (hf) (m)	0.121	0.192
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	9
Potencia (HP)	1.77	
NPSHd	1.796	

*Fuente: Elaboración propia*

#### 8.5.4 Descripción de bombas seleccionadas

En la siguiente tabla se muestra las principales características de las bombas seleccionadas empleando los catálogos de fabricantes y los cálculos realizados anteriormente.

**Tabla 8-35:** Descripción de bombas adoptadas

Código de equipo	<b>B-110</b>	<b>B-112</b>	<b>B-113</b>	<b>B-213</b>	<b>B-214</b>	<b>B-215</b>
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	16	43	41	28	38	12
Potencia adoptada (HP)	3	5	5	3	5	3
Consumo del motor de la bomba (kW)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
NPSH	1	4.5	4.3	0.5	0.5	0.6
Modelo	NK-32-125.1	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-125.1
Fabricante	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos

Código de equipo	<b>B-216</b>	<b>B-217</b>	<b>B-218</b>	<b>B-308</b>	<b>B-310</b>	<b>B-311</b>
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	1	12	11	11	10
Potencia adoptada (HP)	1	1	2	2	2	2
Consumo del motor de la bomba (kW)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
NPSH	0.3	1	4	5	5	2
Modelo	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-160	NK-32-160
Fabricante	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos

Código de equipo	B-312	B-313
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	20
Potencia adoptada (HP)	1	2
Consumo del motor de la bomba (kW)	0.75	0.75
NPSH	0.7	0.7
Modelo	NK-32-125.1	NK-32-125.1
Fabricante	Grundfos	Grundfos

*Fuente: Elaboración propia*

### **8.6 Adopción de sopladores de proceso**

Dentro del proceso de producción, en la sección 100, existe la necesidad de transportar corrientes gaseosas. Para ello, se presentan las unidades de sopladores cuya función principal es dar el impulso necesario a las mismas. A continuación, se procede a realizar la adopción de estos equipos teniendo en cuenta las condiciones establecidas para cada corriente a transportar y los diferentes modelos existentes en el mercado.

#### **8.6.1 Soplador SP-114.**

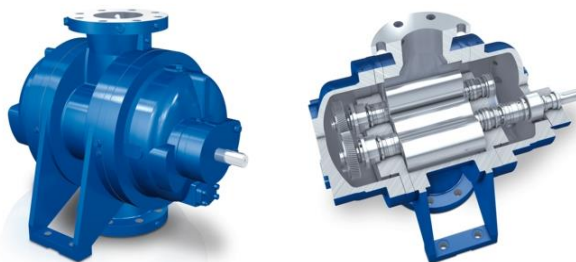
Se adopta el soplador necesario para transportar la corriente gaseosa B1, proveniente del compresor multietapas K-105 hacia reactor R-101 para así, elevar 15 m la corriente desde el nivel del suelo hasta el ingreso a R-101.

Para conocer las dimensiones necesarias de SP-114, se recuerdan las características generales de la corriente B1.

Tabla 8- : Características generales de la corriente B1	
Caudal volumétrico	2853 m <sup>3</sup> /h
Temperatura	450 °C
Presión	30 atm

*Fuente: Elaboración propia*

Se adopta el soplador modelo GM dz de la firma AERZEN, el cual cumple con las características requeridas para la operación. Este equipo es un soplador de desplazamiento positivo, exento de aceite, el cual permite operar con caudales desde 60 a 6000 m<sup>3</sup>/h y posee un valor de presión de operación de 30000 mbar de presión monomérica, siendo imprescindible que dicha corriente no varíe bruscamente la presión.



**Figura 8-** : Figura ilustrativa de soplador GM, exento de aceite.

*Fuente: AERZEN*

Tabla 8- : Dimensiones de SP-114.	
Caudal de alimentación admisible	60 – 6000 m <sup>3</sup> /h
Presión de operación máxima	30000 mbar de presión manométrica
Dimensiones	
Largo	0.5 m
Ancho	0.5 m
Altura	0.7 m

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.6.2 Soplador SP-115.

Se adopta el soplador necesario para transportar la corriente gaseosa C1, proveniente del reactor R-101 hacia el intercambiador de calor E-102. La corriente C1 tiene las mismas condiciones que la corriente B1, de esta forma, el SP-115 adoptado es el mismo que SP-114.

Tabla 8- : Dimensiones de SP-115.	
Caudal de alimentación admisible	60 – 6000 m <sup>3</sup> /h
Presión de operación máxima	30000 mbar de presión manométrica
Dimensiones	
Largo	0.5 m
Ancho	0.5 m
Altura	0.7 m

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.6.3 Soplador SP-116.

Se adopta el soplador necesario para transportar la corriente gaseosa H1, proveniente EL intercambiador de calor E-102 hacia el compresor K-105. Se analiza el sistema de adopción de la misma manera que los anteriores.

Tabla 8- : Características generales de la corriente H1	
Caudal volumétrico	17591.5 m <sup>3</sup> /h
Temperatura	325 °C
Presión	1 atm

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 8- : Dimensiones de SP-116.	
Caudal de alimentación admisible	180000 m <sup>3</sup> /h
Presión de operación máxima	600 mbar

Dimensiones	
Largo	1 m
Ancho	2 m
Altura	1 m

*Fuente: Elaboración propia*

#### 8.6.4 Soplador SP-117.

Tabla 8- : Características generales de la corriente G1	
Caudal volumétrico	29400 m <sup>3</sup> /h
Temperatura	60 °C
Presión	1 atm

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 8- : Dimensiones de SP-117.	
Caudal de alimentación admisible	30300 m <sup>3</sup> /h
Presión de operación máxima	800 mbar
Dimensiones	
Largo	2 m
Ancho	1.5 m
Altura	1.4 m

*Fuente: Elaboración propia*

# **CAPÍTULO IX**

## **SERVICIOS AUXILIARES**

## CAPITULO IX: SERVICIOS AUXILIARES

### 9.1 Introducción

La adopción de los servicios auxiliares es una de las claves para mantener la operación óptima y continua de la planta, son imprescindibles y a menudo una clave para alcanzar el buen desarrollo y los objetivos empresariales.

Los balances de materia y energía, como así también las especificaciones de las corrientes de materiales (entrada y salida), son tomados como datos necesarios para el diseño de los servicios auxiliares que giran en torno a los equipos del proceso a través de un inventario de requerimientos por grupo de servicio. Los servicios a considerar son los siguientes:

1. Agua de Enfriamiento
2. Agua
3. Vapor
4. Gas
5. Refrigerante

Los equipos adoptados se codificaran como pertenecientes a la sección 400.

### 9.2 Agua de Enfriamiento

En el proceso desarrollado se encuentra que es necesaria la utilización de agua como medio de enfriamiento específicamente para el intercambiador E-301 y los condensadores de las tres torres, E-207, E-209, E-211, se resuelve que sea recuperada y enfriada en varias torre de enfriamiento (CT-A401, CT-B401, CT-C401, CT-D401) la cuales se dimensionan sabiendo la cantidad de agua necesaria en el proceso, en la siguiente tabla se expone el caudal de cada equipo y el total requerido para el cálculo.

<b>Tabla 9-1: Agua de enfriamiento requerida</b>			
Intercambiador	T entrada	T salida	Volumen necesario
E-301	18	35	35 m <sup>3</sup>
E-207	18	35	118 m <sup>3</sup>
E-209	18	35	397m <sup>3</sup>
E-211	18	35	565 m <sup>3</sup>
Total			1200 m <sup>3</sup> /h

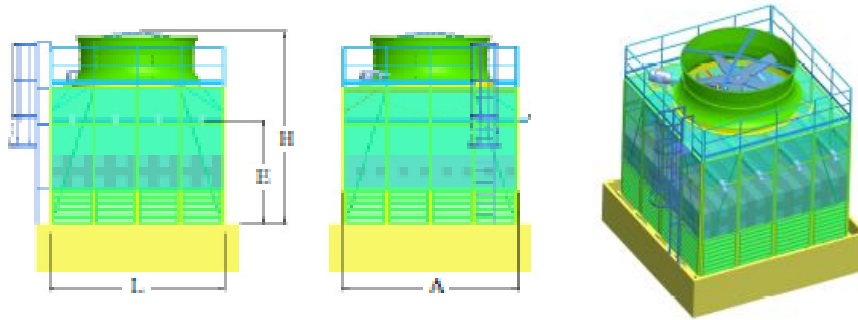
*Fuente: Elaboración propia*

#### 9.2.1 Adopción de la torre de enfriamiento

Para absorber las variaciones climáticas se decide adoptar 4 torres de enfriamiento lo que permite un control de la temperatura y caudal más preciso según la humedad presente en el aire. Estas son provistas por FAVRA, se eligió el modelo F40 que cuenta con una variedad de caudales desde 442 m<sup>3</sup>/h a 1157 m<sup>3</sup>/h la adopción final son 4 torres con un caudal de 510 m<sup>3</sup>/h

A continuación, se muestra una imagen donde se detalla las medidas del equipo adoptado.





**Figura 9-1:** Dimensiones de la torre de enfriamiento.

*Fuente: FAVRA S.A.*

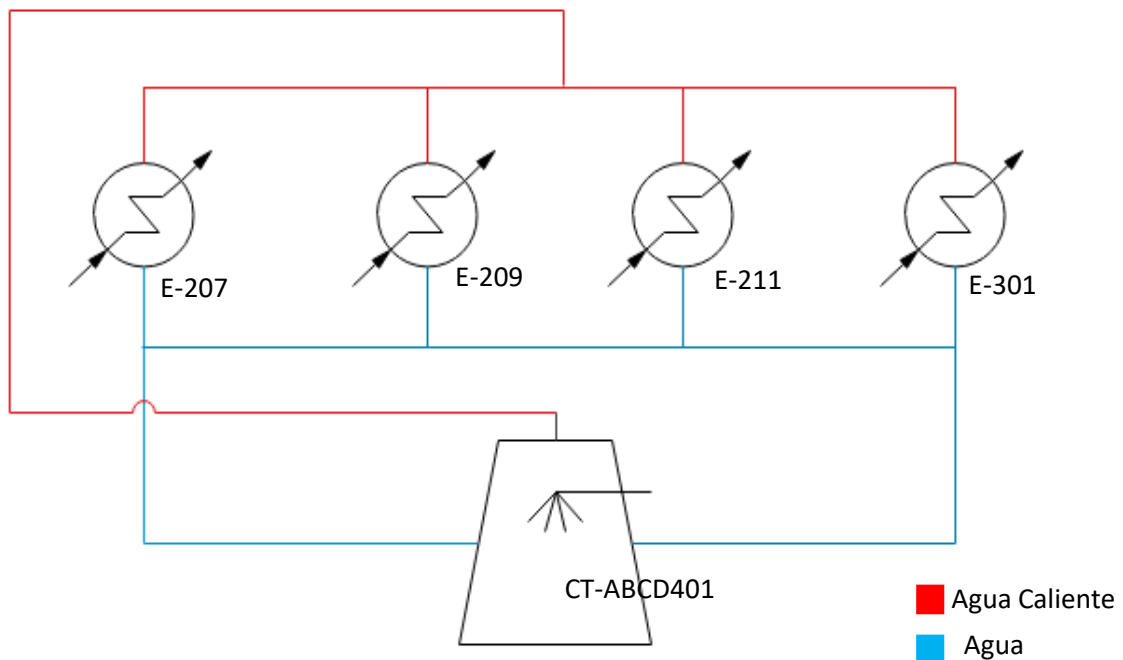
Las dimensiones finales de las torre de enfriamientos se exponen en la siguiente tabla.

**Tabla 9-2:** Dimisiones de la torre de enfriamiento.

Modelo	Caudal Nominal (m <sup>3</sup> /h)	Dimensiones			Entrada de agua (E)
		Largo (L)	Ancho (A)	Altura (H)	
F 40 / 364809	510	3600	4800	5100	3000

*. Fuente: FAVRA S.A.*

**9.2.2** Diagrama de abastecimiento del agua de enfriamiento



**Figura 9-2:** Diagrama de abastecimiento del agua de enfriamiento.

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 9.2.3 Bombas para el transporte del agua fría

Para completar el ciclo del agua de enfriamiento se adoptan las siguientes bombas.

<b>Tabla 9-3:</b> Bombas para el transporte del agua de enfriamiento.										
Destino	Código	T	P	$\mu$ (cP)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Pv	Metros	Valv	Codo
E-207	B-219	18°C	1	1.08	998.2	118	2.11*10 <sup>-2</sup>	28	2	5
E-209	B-220	18°C	1	1.08	998.2	397	2.11*10 <sup>-2</sup>	26	2	5
E-211	B-221	18°C	1	1.08	998.2	565	2.11*10 <sup>-2</sup>	48	2	5
E-301	B-314	18°C	1	1.08	998.2	35	5.6*10 <sup>-2</sup>	6.5	2	3
TC-401	B-315	35°C	1	0.74	993.7	35	5.6*10 <sup>-2</sup>	10	2	4

*Fuente: Elaboración Propia.*

El agua luego de salir de los diferentes condensadores vuelve a la torre de enfriamiento por gravedad.

### 9.2.4 Características de las bombas

En el siguiente cuadro se detalla las diferentes potencias necesarias para las bombas en el sistema de enfriamiento, su cálculo fue realizado como se detalla en el capítulo de diseño y adopción de equipos, luego se detallan las bombas adoptadas finales empleando los catálogos de fabricantes y las potencias calculadas.

<b>Tabla 9-4:</b> Características de las bombas		
<b>B-220</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.85	0.967
Diámetro (plg)	16	15
Nº Reynolds	1.63 10 <sup>7</sup>	1.739 10 <sup>7</sup>
Factor de fricción (f)	0.012	0.012
Longitud equivalente (m)	116	104
Perdida de carga (hf) (m)	0.126	0.156
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	20
Potencia (HP)	39.21	
NPSHd	10.02	
<b>B-219</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.87	1.47
Diámetro (Plg)	8	6
Nº Reynolds	8.98 10 <sup>6</sup>	1.17 10 <sup>7</sup>
Factor de fricción (f)	0.014	0.015
Longitud equivalente (m)	36	84
Perdida de carga (hf) (m)	0.087	0.829
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	20
Potencia (HP)	12.02	
NPSHd	10	
<b>B-221</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.858	1.21

**OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN  
SELECTIVA DE TOLUENO**



Diámetro (Plg)	19	16
Nº Reynolds	$1.953 \cdot 10^7$	$2.32 \cdot 10^7$
Factor de fricción (f)	0.0128	0.012
Longitud equivalente (m)	138	132
Perdida de carga (hf) (m)	0.127	0.291
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	40
Potencia (HP)	111.11	
NPSHd	10	
<b>B-314</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.767	0.948
Diámetro (Plg)	5	4
Nº Reynolds	$4.59 \cdot 10^6$	$4.109 \cdot 10^6$
Factor de fricción (f)	0.0158	0.0168
Longitud equivalente (m)	62	53.5
Perdida de carga (hf) (m)	0.232	0.36
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	1.5
Potencia (HP)	7	
NPSHd	9.5	
<b>B-315</b>	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.767	0.948
Diámetro (Plg)	5	4
Nº Reynolds	$1.309 \cdot 10^5$	$1.455 \cdot 10^5$
Factor de fricción (f)	0.019	0.02
Longitud equivalente (m)	59	67
Perdida de carga (hf) (m)	0.265	0.537
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	1
Potencia (HP)	1	
NPSHd	9.5	

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 9.2.5 Bombas Adoptadas

Código de equipo	B-219	B-220	B-221A	B-221B	B-314	B-315
Caudal min-máx. (m <sup>3</sup> /h)	120	400	600	600	40	40
Potencia adoptada (HP)	15	40	50	50	10	1
Consumo del motor de la bomba (kW)	11.18	29.82	37.28	37.28	7.5	0.75
NPSH	9	1	4	4	5	5
Modelo	CV 3196	CV 3196	CV 3196	CV 3196	NK-32-160	NK-32-160
Fabricante	Bombas Gould S.A	Bombas Gould S.A	Bombas Gould S.A	Bombas Gould S.A	Grundfos	Grundfos

Fuente: Elaboración Propia

### 9.3 Agua

La ciudad de Ensenada, en Buenos Aires, cuenta con servicio de agua corriente la cual va a ser necesaria para usos generales, administración, baños y laboratorio. El agua empleada en el proceso se obtiene de una perforación subterránea y es almacenada en un tanque con una capacidad suficiente para asegurar el suministro durante un día completo.

El consumo total de este recurso dentro de la planta está determinado por:

- Agua para cubrir las pérdidas de la torre de enfriamiento.
- Agua de usos generales.

A continuación, se presenta una tabla donde se describe el consumo estimado según su uso:

Usos	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Caudal(m <sup>3</sup> /día)
Agua para cubrir las pérdidas en la torre de enfriamiento	12	288
Agua para usos generales	0.8	19.2
<b>Total</b>	<b>12.8</b>	<b>307.2</b>

Fuente: Elaboración Propia

El agua empleada para cubrir las pérdidas en la torre de enfriamiento, se considera un 0,05 – 1 % del total de agua que se utiliza en los condensadores y el intercambiador de calor.

El volumen de agua destinado a los usos generales se calcula en función de la cantidad de empleados.

### 9.3.1 Adopción de tanques de almacenamiento para el agua

Se decide la adopción de dos tanques uno corresponde al agua de usos generales y otro a las pérdidas que pudieran producirse en las torres de enfriamiento, se los codifica con el nombre T-402 y T-403 según corresponde

#### Tanque para agua de usos generales

El agua potable se obtiene de la red perteneciente al parque industrial. Se adopta un tanque (T-402) acorde con el volumen antes calculado de 19.2 m<sup>3</sup>/día.

Se elige un tanque plástico vertical de 23.000 lts de la marca Duraplast® con válvula de 2" con acople rápido, de medidas: 295 cm de diámetro x 386 cm de altura, fabricado de polietileno virgen con protección U.V, provisto con una tapa de inspección de 45,5 cm de diámetro.



**Figura 9-3:** Tanque de almacenamiento de agua.

*Fuente: Duraplast S.A.*

#### Tanque de almacenamiento para pérdidas en las torres de enfriamiento

El agua empleada para cubrir la pérdida en la torre de enfriamiento, considerando una pérdida entre 0,05 - 1 % del total de agua que se utiliza en los condensadores y el intercambiador de calor.

El valor total de agua de enfriamiento necesaria es 1200 m<sup>3</sup>/h si se considera una pérdida del 0,8% se obtiene 9.6m<sup>3</sup>/h si se considera una autonomía de un día es volumen de tanque necesario es 230.4 m<sup>3</sup>.

Esta es obtenida de la perforación subterránea realizada en el parque industrial a una temperatura de 18°C.

Las características del tanque (T-403) adoptado se muestran en la siguiente tabla:

<b>Tabla 9-7:</b> dimensiones del tanque de almacenamiento	
Fabricante	Eboplast S. A
Tipo de tanque	<b>Cilíndrico vertical atmosférico</b>
Material	Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
Diseño del cabezal	Toriférico
Capacidad máxima	250 m <sup>3</sup>
Altura	15400 mm

Diámetro	4700 mm
Espesor de pared	6,35 mm (1/4")
Diámetro boca de hombre	60 cm

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 9.4 Vapor

El vapor que se utiliza está a 1 atm de presión y temperatura es de 100°C el  $\lambda$  de vaporización es de 539,4 cal/g conociendo estos valores y los calores necesarios a entregar se calcula la cantidad de vapor necesario para cada equipo.

Esto es detallado en la siguiente tabla:

Equipos	Calor (kcal/h)	Cantidad de vapor (t/h)
C-201	2.98133*10 <sup>6</sup>	5.52
C-202	6.31936*10 <sup>6</sup>	11.71
C-203	8.94223*10 <sup>6</sup>	16.58
<b>Total</b>	<b>18.24292*10<sup>6</sup></b>	<b>33.82</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

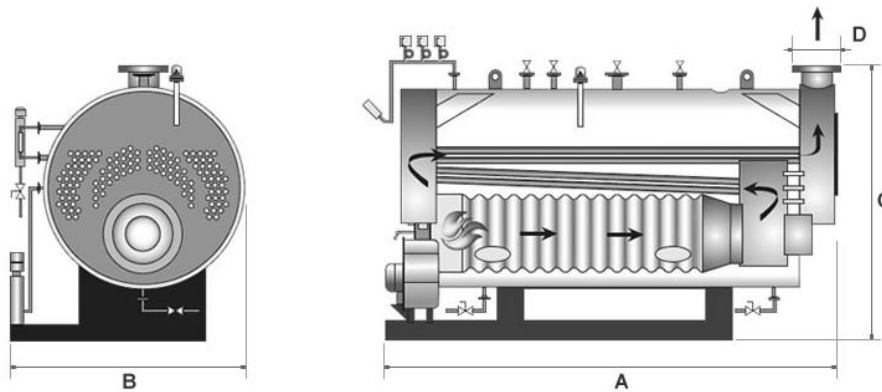
##### 9.4.1 Adopción de la caldera de vapor

Según los datos de cantidad de vapor que se presentaron anteriormente se procede adoptar la caldera, se opta por 2 calderas de igual capacidad de la marca Fontanet se las designa con los nombres SG-404 Y SG-405 diseñadas para quemar combustibles líquidos pesados o livianos y/o gaseosos. Hogar dimensionado para una combustión completa con baja carga térmica. Su ubicación central, muy por debajo de los tubos superiores, garantiza una mejor circulación del agua en el interior, con respecto a las calderas de hogar lateral elevado. Además un margen de seguridad generoso entre el hogar y el nivel de agua, que pudiera ser crítico en una condición de bajo nivel en las del hogar lateral, permite una operación más segura. Fondo húmedo con cámara de retorno de gases totalmente refrigerada sin parte refractaria. Bocas de inspección y limpieza, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables, dejan accesible todas las superficies en contacto con agua, vapor y gases de combustión. Construcción tipo paquete, con todos los equipos auxiliares incorporados, sistema que permite un rápido montaje y puesta en marcha luego de realizar las conexiones de agua, combustible, vapor y electricidad. Sus características se detallan en la siguiente tabla:

Fabricante	Fontanet
Modelo	Caldera hc - hf
Tipo	Humotubular de tres pasos fondo húmedo
Hogar	Dos horgares, corrugado
Capacidad térmica	1410
Tipo de combustible	Gaseoso
Construcción	Tipo paquete
Producción vapor (Tn/h)	22
Consumo de gas natural (Nm <sup>3</sup> /h)	295

*Fuente: Elaboración Propia*

Se muestra en la imagen la referencia de las dimensiones que luego se especifica para el modelo elegido.

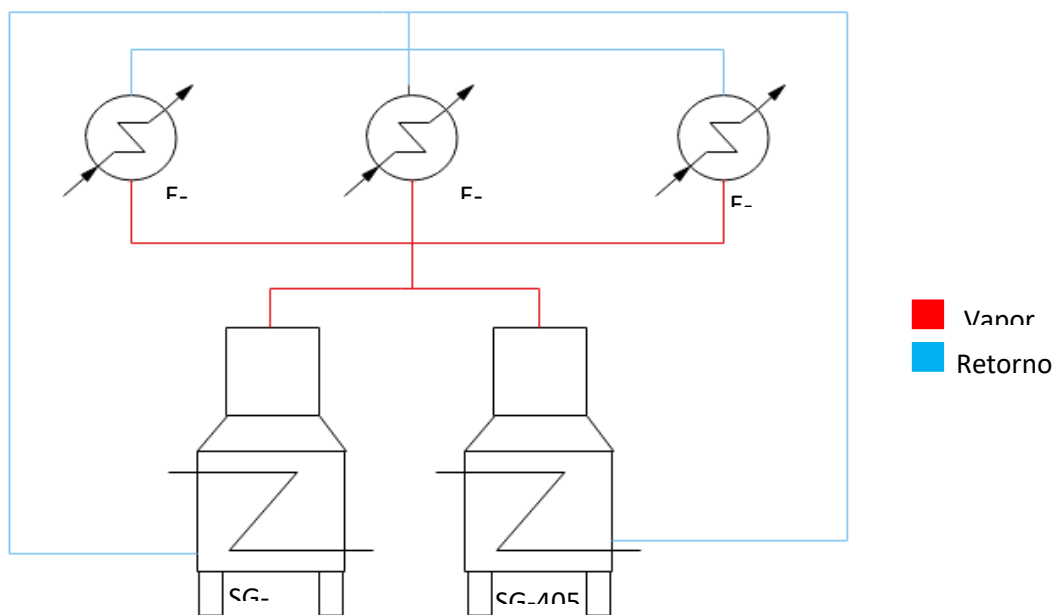


**Figura 9-4:** Dimensiones de la caldera.  
Fuente: Fontanet.

Modelo	A Largo total (mm)	B Ancho total (mm)	C Alto total (mm)	D Diámetro chimenea (mm)
200	9100	5000	4150	1000

Fuente: Fontanet.

**9.4.2** Diagrama de abastecimiento de vapor



**Figura 9-5:** Diagrama de abastecimiento de vapor.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 9.4.3 Dimensiones de tuberías de distribución de vapor

Para dimensionar el diámetro de una tubería de vapor saturado y retorno de condensado se tiene en cuenta la velocidad y presión por la que circulan en la línea de distribución.

- El diámetro de las tuberías se ve ligado a la velocidad del vapor, puesto que con una mayor velocidad del vapor en la línea de distribución, aumenta la erosión y el ruido en las tuberías. Por lo tanto las velocidades recomendadas para una adecuada y correcta distribución de vapor dentro de las líneas es de 25 a 35 m/s
- Para el retorno de condensado la velocidad de diseño depende de la existencia de vapor en la línea. Si es solo líquido condensado generalmente la velocidad es de 1 a 1,5 m/s pero si es flujo de dos fases, las líneas deben ser dimensionadas en base al flujo de vapor. Para el flujo de dos fases la velocidad de diseño aproximadamente es 15 m/s.

El cálculo del diámetro de la tubería corresponde a la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{A * Mv * Ve}{v * \pi}}$$

Donde:

- D: Diámetro de la tubería (m)
- Mv: Masa de vapor ( kg/h )
- Ve: Volumen específico del vapor ( m<sup>3</sup>/kg) que es función de (P y T)
- V: Velocidad del vapor ( m/h)

#### 9.4.4 Pérdida de calor en la red

A lo largo de toda la superficie externa de una tubería que transporta vapor existe una pérdida de calor hacia el ambiente por convección y radiación, provocando que parte del mismo se condense, reduciendo su presión y temperatura, lo cual ocasiona una disminución de la calidad del vapor. Por ello es que a las tuberías de distribución se le coloca un aislante térmico, de esta forma se minimiza el desperdicio de energía. En tuberías en las que pasa vapor a presiones iguales o menores a 10 atm se ha determinado empíricamente que:

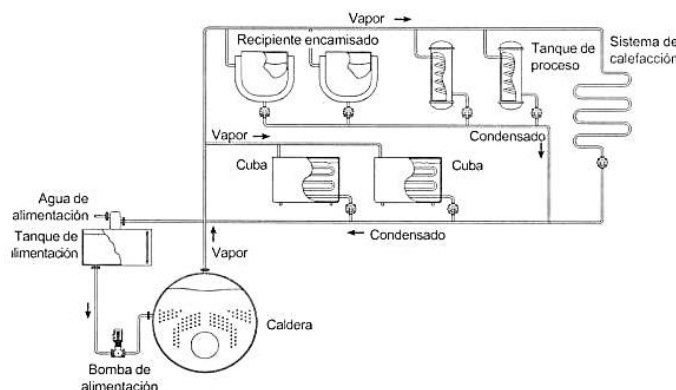
- Para tuberías menores a 2 plg de diámetro se tendrá 1 plg de espesor de aislante.
- Para tuberías mayores a 2 plg de diámetro se tendrá 2 plg de espesor de aislante.

#### 9.4.5 Retorno de condensados

Las tuberías de retorno son aquéllas que reciben el condensado de los equipos de transferencia de energía y de varias tuberías de descarga de trampas de vapor, y lo llevan de regreso al tanque de condensado para aprovechar tanto su temperatura como el tratamiento que ya le fue dado. En plantas pequeñas puede haber una sola línea de retorno de condensado. Una instalación típica como se muestra en la figura 9.5, consiste en un tanque de recolección de condensados al cual se le agrega el agua de reposición tratada para luego ser bombeados a la caldera y generar vapor nuevamente. Otro punto a considerar es que la línea de retorno de condensado este por debajo del nivel del



equipo de transferencia de calor de manera que la descarga de condensado de la trampa de vapor pueda fluir por gravedad a la línea de retorno de condensado, además debe tener una ligera pendiente la cañería para favorecer el flujo por gravedad.



**Figura 9-6:** Circuito típico de condensados  
Fuente: monografías

#### 9.4.6 Sistema de distribución

Para la distribución del vapor se cuenta con dos calderas, para el cálculo de las tuberías se supone que cada una entrega la mitad de la cantidad necesaria de vapor 19,50 t/h, luego se produce la unión de las cañerías y el vapor es transportado a los intercambiadores de cada torre, E-208, E-210, E212.

Para tales efectos se calcula el diámetro de las diferentes conexiones teniendo en cuenta la masa de vapor que va ser transportada.

**Tabla 9-11: Masa de vapor necesaria**

	Línea de vapor	Línea de condensado
Masa (kg/h)	19500	19300
Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	1.67	0.001
Velocidad (m/s)	30	15
Tipo de tubo	Acero al carbono - Schedule 80	
Aislante	Lana mineral	

Fuente: Elaboración propia.

Para la línea de vapor se calculan los diámetros de cada cañería necesaria para la distribución.

**Tabla 9-12: Tuberías de vapor**

<b>Tubería de salida de las calderas</b>	
Diámetro calculado (mm)	52.6
Diámetro Nominal (mm)	50
Diámetro interno (mm)	52.5
Espesor del aislante (mm)	51
<b>Tubería de unión de vapor</b>	
Diámetro calculado (mm)	52.6
Diámetro Nominal (mm)	50
Diámetro interno (mm)	52.5
Espesor del aislante (mm)	51

Tubería de entrada a E-208	
Diámetro calculado (mm)	20
Diámetro Nominal	20
Diámetro interno	21
Espesor del aislante	25.4
Tubería de entrada a E-210	
Diámetro calculado (mm)	29.7
Diámetro Nominal	32
Diámetro interno	35.1
Espesor del aislante	25.4
Tubería de entrada a E-212	
Diámetro calculado (mm)	34.7
Diámetro Nominal	40
Diámetro interno	40.9
Espesor del aislante	25.4

Fuente: Elaboración propia.

Luego para la línea de condensado, al ser agua líquida a la presión de 1 atm se adopta un diámetro de 1 plg para todas las cañerías de retorno a la caldera y una aislación de 1 plg de lana de vidrio.

#### 9.4.7 Trampas de vapor

Normalmente parte del vapor transportado en una línea de distribución condensa y se acumula en el fondo de la tubería. Cuando el área transversal de una sección de tubería está completamente llena de agua se generan olas de condensado a gran velocidad produciendo el golpe de ariete el cual puede causar daño humano así como al equipo, tubería y válvulas. Por lo tanto se debe tener en cuenta la ubicación y diseño de las instalaciones de trapeo.

Se colocan trampas de vapor en los siguientes casos:

- Cada 30-50 metros de cañería recta.
- Antes de una válvula de control o reductora de presión
- Antes de válvulas manuales que permanecen cerradas por largos periodos de tiempo.
- En la parte inferior de subidas o bajadas verticales.

#### 9.4.8 Sistema de bombeo de la caldera

El sistema de bombeo de una caldera en circuito cerrado está compuesto por una bomba encargada de alimentar a la caldera. La reposición de agua al tanque de condensados, se realiza mediante otra bomba, previo al ingreso se realiza un tratamiento físico-químico para eliminar su dureza. La bomba para el retorno del condensado tiene las siguientes características:

Tabla 9-13: Característica de la bomba		
B-315	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.864	0.864
Diámetro (plg)	3	3
Nº Reynolds	$1.309 \cdot 10^5$	$1.309 \cdot 10^5$
Factor de fricción (f)	0.021	0.023

Longitud equivalente (m)	34	36
Perdida de carga (hf) (m)	0.305	0.354
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	8
Potencia (HP)	2	
NPSHd	0.3	

*Fuente: Elaboración propia.*

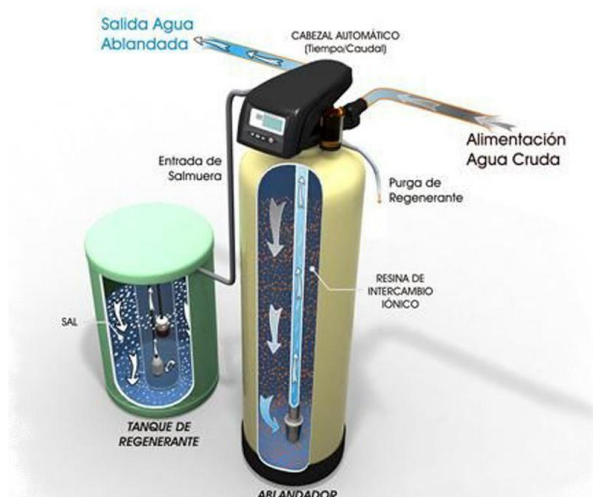
Para ello, se adopta la siguiente bomba:

<b>Tabla 9-14: Bomba adoptada.</b>	
<b>Código de equipo</b>	<b>B-216</b>
Caudal min-máx. (m <sup>3</sup> /h)	20
Potencia adoptada (HP)	2
Consumo del motor de la bomba (kW)	1.5
NPSH	0.2
Modelo	NK-32-125.1
Fabricante	Grundfos

*Fuente: Elaboración propia*

#### 9.4.9 Ablandador automático de agua Twin

Un ablandador Twin permite acondicionar el agua destinada a sistemas en los cuales la dureza (sales de calcio y magnesio) genera depósitos minerales no deseados en lugares sensibles como calderas. Esas incrustaciones reducen el proceso de intercambio de calor generando un mayor consumo de energía y acortando la vida útil de las instalaciones. El agua de red con alto contenido de sales de calcio y magnesio pasa a través de una resina polimérica en la cual se produce un intercambio iónico sobre la superficie, cuando la resina está saturada, es decir, cuando todos los iones sodio son intercambiados por los iones calcio y magnesio presentes en el agua de alimentación, debe ser regenerada a través del pasaje de una mezcla formada por cloruro de sodio y agua, comúnmente denominada "salmuera". El equipo realiza de manera autónoma las operaciones de regeneración de la resina.



**Figura 9-7: Ablandador de agua.**

*Fuente: Aquatherm S.A*

Como se observa en la figura 9-6, el equipo está compuesto por un único cabezal automático programable de control, dos columnas de intercambio iónico y un tanque de regeneración en el cual se agrega NaCl para regenerar la resina. Al tener el sistema dos columnas permite la provisión de agua tratada de forma continua, es decir mientras una brinda agua ablandada, la otra se regenera.

<b>Tabla 9-15:</b> Ablandador de agua	
Fabricante	Aquatherm S.A.
Modelo	TWIN 12 doble
Caudal de trabajo (m <sup>3</sup> /h)	3,9
Presión de entrada (kg/m <sup>2</sup> )	1,8 - 4
Regeneración de la resina	Automática
Volumen de resina (litros)	100
Tipo de resina	Catiónica

*Fuente:* Elaboración propia

### 9.5 Gas

El parque industrial de Ensenada cuenta con una red de media y alta presión de gas natural. Esta red provee de gas a los equipos SG-404 y SG-405 (Caldera) y R-101 (Reactor-Horno), además del laboratorio, cocina, baños y en las oficinas para calefacción.

Para calcular el gas natural en la caldera se utiliza la siguiente ecuación:

$$Cg = \frac{E}{\eta * Pg}$$

Siendo:

- Cg: Caudal de gas natural ( m<sup>3</sup>/h )
- Pg: Poder calorífico del gas natural : 9300 kcal/m<sup>3</sup>
- η: Rendimiento de la combustión: 87%
- E: Energía necesaria en la caldera: 18.24292\*10<sup>6</sup> kcal

<b>Tabla 9-16:</b> Consumo de gas	
Destino	Consumo (m <sup>3</sup> /h)
Reactor-horno (R-101)	23600
Caldera	2254.71
laboratorio	0.2
Cocina	0.32
Baños	0.86
Calefacción	0.48
Total	25856.56

*Fuente:* Elaboración propia

La cañería principal de distribución de gas natural a toda la planta es de acero galvanizado, con un diámetro de 4 pulgadas, la misma alimenta a la caldera y el reactor-horno, mientras que las de distribución a las instalaciones baño, comedor, calefacción y vestuario son de ½ pulgadas de diámetro y de polietileno unido por termo fusión.

## 9.6 Refrigeración con amoníaco

Con el fin de llegar a la temperatura de cristalización del producto de 5°C se adoptó un sistema de refrigeración con amoníaco el cual se lleva utilizando como refrigerante en instalaciones frigoríficas industriales desde principios del siglo XX se codifica con el nombre SRA-408.

Este refrigerante tiene muy buenos rendimientos energéticos y además no es dañino para la capa de ozono, ya que su composición se mantiene muy poco tiempo en la atmosfera, por lo que lo se podría catalogar como un gas biodegradable. Asimismo, el coste del amoníaco es muy inferior a cualquiera de los gases sintéticos que hay en el mercado. A diferencia de los sistemas de refrigeración convencionales que funcionan con gases fluorados o clorados, en las instalaciones frigoríficas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), el refrigerante se evapora en el depósito de baja presión y se bombea en estado líquido hacia los recintos o sistemas a enfriar o congelar. El funcionamiento básico de la instalación de refrigeración con amoníaco se basa en un ciclo cerrado de evaporación, compresión, condensación y expansión

### Ciclo de refrigeración

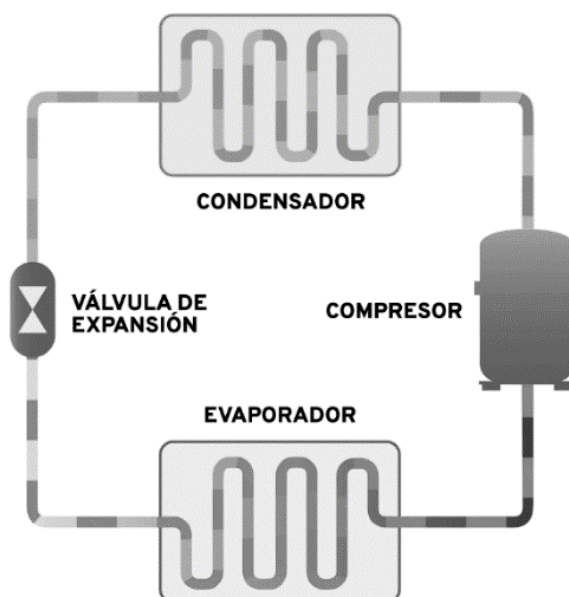


Figura 9-8: Ciclo de refrigeración.

Fuente: Froztec

El punto de ebullición del amoníaco es a  $-33^{\circ}\text{C}$  a una presión de 1,09 bar. El uso del amoníaco no solo tiene ventajas sino que también tiene algunas desventajas, pero técnicamente resueltas como se verá a continuación:

- El amoníaco no es contaminante por lo que no daña la capa de ozono. Tal es así que la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) ha identificado al amoníaco como un sustituto aceptable de sustancias dañinas al ozono en los principales sectores industriales, incluyendo la refrigeración y aire acondicionado.
- El amoníaco tiene rendimientos termodinámicos en torno a unos 3-10% superiores a otros refrigerantes, por lo que a igualdad de capacidad frigorífica tiene un consumo energético menor.

- La mejor característica de seguridad que tiene el amoniaco es su auto-alarma provocada por su olor característico a diferencia de otros refrigerantes industriales. Esto tiene la ventaja de que se detectan fácil y rápidamente las posibles fugas. Por otro lado el fuerte olor del amoniaco provoca en los individuos la reacción de abandonar el área antes de la existencia de una acumulación peligrosa.
- El coste del amoniaco es menor que el de otro refrigerante y además se requiere de una menor cantidad para la misma aplicación. Todo esto se acumula en costos de operación menores, lo que se traduce en mejores precios competitivos de los productos refrigerados.
- El sistema de refregamiento va ser utilizado para enfriar salmuera de cloruro de sodio al 20% hasta un temperatura de  $-10,5^{\circ}\text{C}$  luego es enviada a un intercambiador donde la temperatura sube hasta  $25^{\circ}\text{C}$  vuelve al tanque de almacenamiento donde es enfriada por el amoniaco completando así el ciclo de refrigeración.

Se muestra las propiedades de la salmuera nuestra elección fue cloruro de sodio 21% con:

- Temperatura  $-10.5^{\circ}\text{C}$ ,
- Densidad :  $1.166 \text{ g/cm}^3$
- Calor especifico  $0.8 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$
- Conductividad térmica  $0.372 \text{ kcal m/m}^2\text{C}^{\circ}\text{h}$
- Punto de congelación:  $-17.2^{\circ}\text{C}$
- Viscosidad:  $4.2 \text{ cP}$
- Punto de ebullición  $102.2^{\circ}\text{C}$

Para calcular la cantidad de salmuera necesaria para el enfriamiento se debe conocer el calor a intercambiar este se trae de los cálculo de los intercambiadores E-302 Y E-303 realizado en el capítulo de diseño y adopción de equipos.

Tabla 9-17: Consumo de gas	
Intercambiador	Calor necesario kcal/h
E-302	$1.75 \cdot 10^5$
E-303	$1.44 \cdot 10^5$

Fuente: Elaboración Propia

Conociendo el calor necesario y con los datos de calor especifico y densidad se procede a calcular el volumen de salmuera necesario.

Calor total a transferir:

$$1.75 \cdot 10^5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 1.44 \cdot 10^5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 3.19 \cdot 10^5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Calculo de la masa de salmuera:

$$m = \frac{3.19 \cdot 10^5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0.8 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot (24 - (-10.5))^{\circ}\text{C}} = 11557.97 \text{ kg}$$

Calculo del volumen:

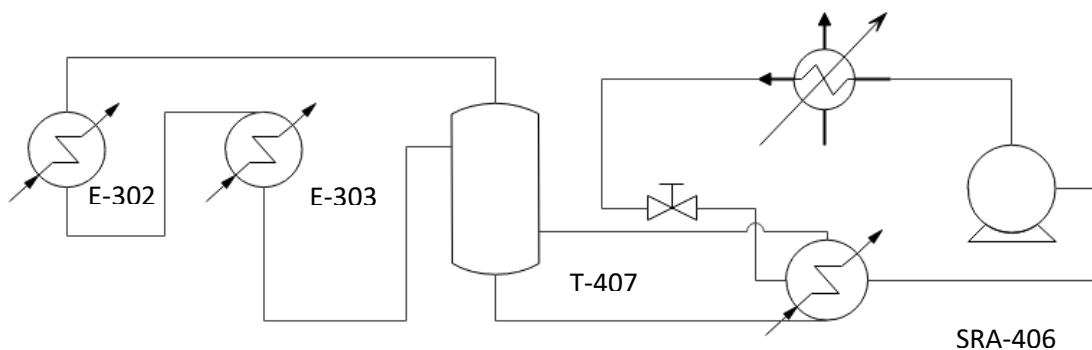
$$\frac{11557.97 \text{ kg}}{1666 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 7 \text{ m}^3$$

Se resuelve adoptar un tanque de 10 m<sup>3</sup> para el almacenamiento y enfriamiento de la salmuera que posea un serpentín que permite la transferencia de calor con el amoniaco (NH<sub>3</sub>).

Se detalla a continuación las características del tanque:

<b>Tabla 9-18:</b> Tanque de almacenamiento de salmuera	
Fabricante	Bertotto y Boglione
Volumen	10 m <sup>3</sup>
Largo	2,08 m
Diámetro	3 m
Material de construcción	Acero inoxidable
Largo del serpentín	10

### 9.6.1 Diagrama de refrigeración



**Figura 9-9:** Diagrama de refrigeración.  
*Fuente: Elaboración propia.*

9.6.2 Sistema adoptado

Se muestra a continuación imágenes donde se detallan las dimensiones del sistema adoptado y una tabla con el modelo elegido y sus medidas:

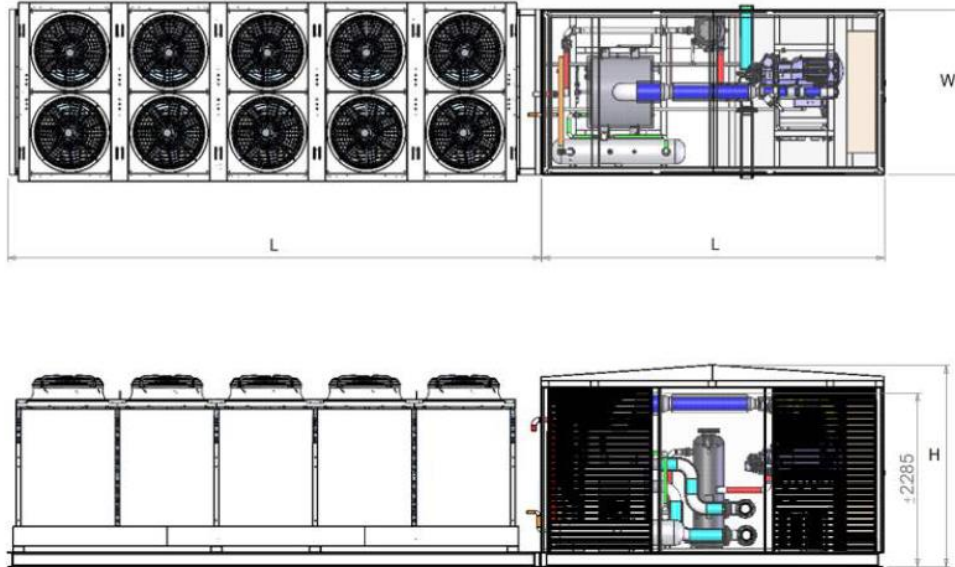


Figura 9-10: Medidas del equipo de refrigeración.

Fuente: FRIO-RAF S.A.

Tabla 9-19: Dimensiones del sistema de refrigeración de amoniaco								
Fabricante				FRIO-RAF S.A.				
Modelo	Dimensiones de la unidad de refrigeración (mm)			Dimensiones de condensador (mm)			Total largo (mm)	Total peso (Kg)
	L	W	H	L	W	H		
ACC010312	4500	2160	2650	11000	2110	1665	15500	6239

Fuente: Elaboración propia

Para su mejor comprensión se muestran imágenes en 3D obtenidas por el proveedor.

a. Conjunto ensamblado

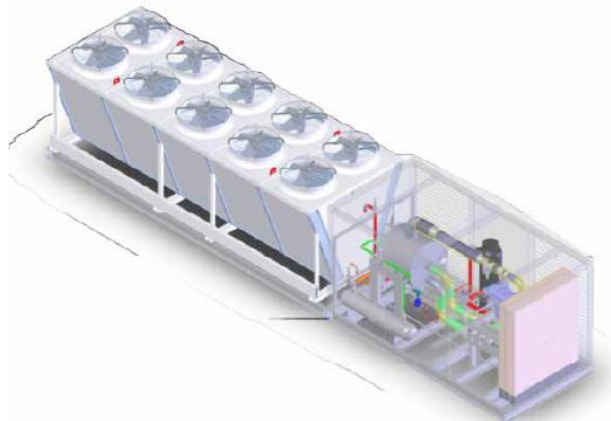
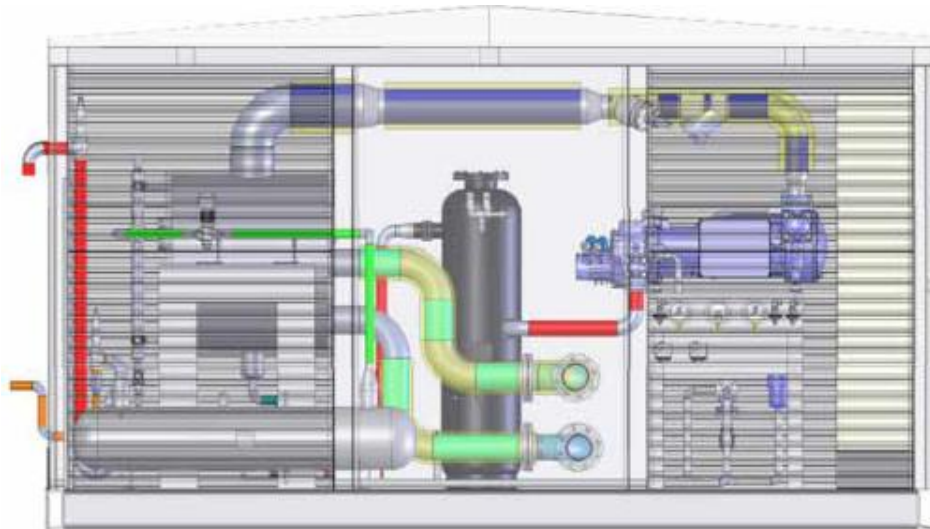


Figura 9-11: Equipo de refrigeración.

Fuente: FRIO-RAF S.A.

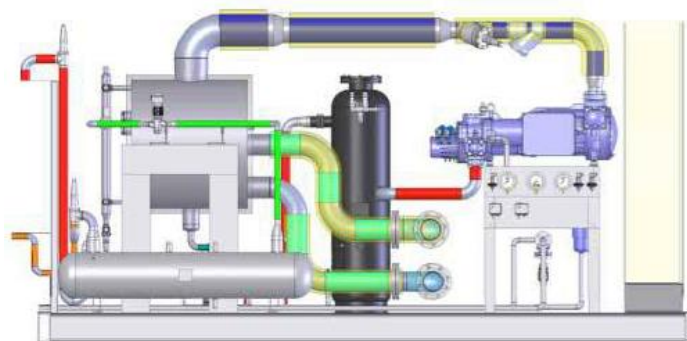


- b. Conjunto desmontado  
Unidad para exterior con carcasa impermeable:



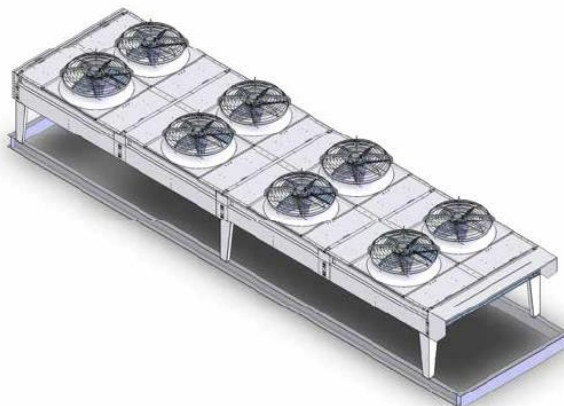
**Figura 9-12:** Equipo de refrigeración.  
*Fuente:* FRIO-RAF S.A.

- Unidad para interior sin carcasa:



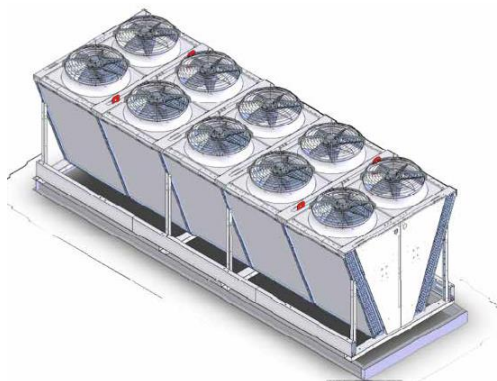
**Figura 9-13:** Equipo de refrigeración.  
*Fuente:* FRIO-RAF S.A.

- c. Condensador horizontal estándar refrigerado por aire con enfriador de aceite integrado.



**Figura 9-14:** Equipo de refrigeración.  
*Fuente:* FRIO-RAF S.A.

- d. Condensador enfriado por aire “V-shape” opcional con enfriador de aceite integrado.



**Figura 9-15:** Equipo de refrigeración.

*Fuente:* FRIO-RAF S.A.

# **CAPÍTULO X**

## **CONTROL DE CALIDAD**

## CAPÍTULO X: CONTROL DE CALIDAD

### 10.1 Introducción

Toda industria debe plantear un modelo de gestión de calidad para asegurar la calidad del producto final y responder a los parámetros exigidos por las normativas vigentes.

En el presente capítulo se presenta la descripción del control de calidad que se realiza tanto a la materia prima como al producto final.

Aquí se desarrollan los controles que se llevan a cabo en las distintas etapas del proceso.

El objetivo del control de calidad es la obtención de productos normalizados dentro de límites comerciales.

El proceso productivo de p-Xileno, requiere de procesos complejos que conllevan el tratamiento de productos peligrosos, combustibles, inflamables y/o corrosivos y de la disposición de elevadas temperaturas. De ahí la necesidad del uso de materiales de altas prestaciones de aceros al carbono, aceros de baja y alta aleación y otros materiales específicos que soporten los esfuerzos a los que son sometidos. Esto lleva a necesitar de un alto grado de especialización y conocimientos de los materiales y técnicas específicas, así como en los servicios de mantenimiento, que requieren del cumplimiento de numerosos procedimientos, especificaciones y estándares.

Es necesario apostar a productos, instalaciones y servicios de alta calidad, estableciendo una política de calidad y, implementación de un sistema de gestión de la calidad basado en la norma internacional ISO 9001, certificado desde hace ya más de 16 años.

Esta política de calidad, basada en la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de los requisitos, ya sean éstos explícitos o implícitos, y en la mejora de los resultados de la organización, requiere mantener equipos de especialistas bien preparados. Es primordial contar con una alta cualificación para las diversas actividades que pueden surgir en este tipo de sector industrial (montadores, caldereros, soldadores, ajustadores, mecánicos, electricistas e instrumentistas). Es fundamental contar con unos mandos que cuenten con gran destreza, y de un exigente equipo de control de calidad para controlar, gestionar e inspeccionar, mediante rigurosos planes de calidad, programas de puntos de inspección y listas de comprobaciones de los diversos trabajos, de acuerdo con las exigencias contractuales reflejadas en los códigos de diseño, las especificaciones y los requisitos legales aplicables. (*Imtech - España, 2014*)

“La Calidad nunca es un accidente, siempre es el resultado de un esfuerzo de la inteligencia” (John Ruskin).

### 10.2 Características de un sistema de gestión de calidad

Un sistema de Gestión de Calidad se define como la estructura organizacional, los procedimientos y los recursos necesarios para implementar un método que asegure que todas las actividades necesarias en el ciclo de vida de un producto o servicio son efectivas, con respecto al sistema y su desempeño, y que contribuyen a la satisfacción de las necesidades expresas y/o latentes de los usuarios. Según Joseph Juran, un sistema de gestión de calidad se compone de tres procesos básicos: Planeación de la Calidad, Control de la Calidad y Mejora Continua de la Calidad.

- Planeación de la calidad

La planeación de la calidad es un proceso que permite el desarrollo de una estrategia anticipada que asegure que los productos y servicios que se crean y prestan tengan la capacidad de satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes. Un plan de calidad comprende la identificación, clasificación y ponderación de las características de calidad, del mismo modo que contempla los objetivos, requisitos y restricciones de la misma.

Existen una serie de pasos para elaborar una estrategia de calidad:

1. Identificar el cliente
2. Determinar sus necesidades (clientes)
3. Traducir sus necesidades al lenguaje de la organización
4. Desarrollar un producto que pueda responder a esas necesidades
5. Optimizar el producto de manera que cumpla con los objetivos de la organización y con las necesidades del cliente
6. Desarrollar un proceso que pueda producir el producto
7. Optimizar y estandarizar dicho proceso
8. Probar que ese proceso pueda producir el producto en condiciones normales de operación
9. Transferir el proceso a operación

- Control de calidad

El proceso de control de calidad realiza o participa en la caracterización de los nuevos productos o servicios en sus diferentes fases de desarrollo y en el establecimiento de las especificaciones de calidad de los mismos. Del mismo modo que desarrolla, ejecuta o coordina la ejecución de los métodos de ensayo para determinar las características de calidad de las materias primas, materiales, productos intermedios y productos finales.

Existen una serie de pasos para elaborar control de calidad:

1. Elegir que controlar: el sujeto.
2. Desarrollar un objetivo para una característica de control
3. Determinar una unidad de medida
4. Desarrollar un medio o sensor para medir la característica de control
5. Medir la característica durante el proceso o prestación o al final de éste.
6. Evaluar las diferencias entre el desarrollo real y el esperado
7. Tomar las acciones necesarias

- Mejora continua de la calidad

- Planear: Es necesario asegurarse que el proyecto seleccionado es el más importante. Para ello se debe recopilar toda la información relacionada con los indicadores claves de competitividad del negocio y representarlos gráficamente. Las herramientas claves en esta etapa son el histograma, la gráfica de control y el análisis de tendencia histórica. Cuando los problemas han sido analizados, se debe pasar a priorizarlos mediante un diagrama de Pareto que permita distinguir cuál de todos es el más importante. De este proceso se obtiene el proyecto seleccionado para el mejoramiento. Posteriormente, el equipo directivo deberá formar el equipo que se abocará

a la solución del problema, y deberá asignar el presupuesto y el tiempo necesarios.

- Hacer: En esta etapa el equipo seleccionado se dedica a identificar las causas del problema y sus posibles soluciones. Se recomienda utilizar la lluvia o tormenta de ideas para identificar las causas teóricas del problema. La lista de ideas generada se ordena por categorías o estratos y se representan en un diagrama causa-efecto o de Ishikawa. A continuación, se buscará probar cuáles de las posibles causas están causando el problema. Lo ideal es hacer la prueba a través de medios estadísticos, como estudios de correlación de variables o diagramas de dispersión. Sin embargo, algunas veces no hay datos suficientes para ello. En estos casos se puede recurrir a un procedimiento utilizado en la técnica nominal de grupos (NGT, por sus siglas en inglés) en el que cada miembro del grupo selecciona las  $(N+1)/2$  causas, donde N es el número total de causas, que a su juicio sean las que más fuertemente influyan en el problema, ordenándolas por importancia, asignando  $(N+1)/2$  puntos a la más fuerte y un punto a la más débil de las seleccionadas. Finalmente, se suman los puntos que acumuló cada causa y se ordenan de mayor a menor. Las causas seleccionadas se deben considerar como causas reales. De la lista de causas reales se seleccionan las más importantes para pensar en posibles soluciones. De nuevo, mediante una tormenta de ideas se buscan posibles soluciones a las causas seleccionadas. Es conveniente categorizar también las soluciones y representarlas mediante un diagrama de Ishikawa, pero en sentido inverso; esto es, efecto-solución (el esqueleto de soluciones clasificadas al lado derecho del problema). En términos prácticos no siempre se pueden implementar todas las soluciones debido a restricciones de presupuestos. Por eso se debe analizar qué soluciones tendrán un mayor efecto en el mejoramiento del problema y recomendarlas para su implantación. Las soluciones recomendadas deben ser aprobadas por el equipo directivo quien decide cuales soluciones se aprueban y cuales se rechazan. Posteriormente se debe formar un equipo responsable para la implementación de las soluciones aprobadas, al cual se le asigna el presupuesto necesario para realizarlo en forma exitosa. Este equipo debe realizar un plan de trabajo y ejecutarlo.
- Verificar: A través de técnicas como histogramas, gráficas de control o gráficas de tendencia en el tiempo se verifica el grado de mejoramiento alcanzado con la implantación de las soluciones aprobadas en la fase de hacer.
- Actuar: Esta fase consiste en incorporar al siguiente ciclo de planeación los ajustes necesarios que se hayan evidenciado en la fase de verificación. La mejora continua consiste precisamente en resolver un problema tras otro sin interrupción. (BryanSalazar López, 2016)

### 10.3 Control de calidad de materias primas

En la siguiente tabla se detallarán los requerimientos y controles de las materias primas empleadas en el proceso de producción de p-xileno. Las materias primas fundamentales

para que suceda esta reacción son: tolueno, hidrógeno y zeolita catalizadora sólida ZSM-5. Cabe destacar que estas deben estar certificados por el proveedor, por lo tanto, el control se realiza solamente para corroborar el cumplimiento de los valores informados.

**Tabla 10-1:** Control de materias primas

Variable	Materia prima	Valor ideal	Responsable	Registro	Técnica
<b>Concentración</b>	Hidrógeno	0,07 ± 0,05 %p/p	Analista de laboratorio	R-001-MP-H	T-001-MP
	Tolueno	0,93 ± 0,5 %p/p	Analista de laboratorio	R-002-MP-T	T-001-MP
<b>Temperatura</b>	Hidrógeno	450 ± 5 °C	Operador de cabina	R-001-MP-H	Control automático
	Tolueno	450 ± 5°C	Operador de cabina	R-002-MP-T	Control automático
<b>Densidad</b>	Hidrógeno	2.4331 ± 1 kg/m <sup>3</sup>	Operador de cabina	R-001-MP-H	Control automático
	Tolueno	863.93 ± 1 kg/m <sup>3</sup>	Analista de laboratorio	R-002-MP-T	TT-002-MP
<b>Apariencia</b>	Hidrógeno	Gas inflamable, incoloro e inodoro.	Analista de laboratorio	R-001-MP-H	Visual
	Tolueno	Líquido claro, libre de sedimentos	Analista de laboratorio	R-002-MP-T	Visual
<b>Tipo de catalizador</b>					
	ZSM-5	Modificada con sílice y precocinada.	Analista de laboratorio	R-003-MP-Z	Visual

Fuente: Elaboración propia

#### 10.4 Control de calidad del proceso productivo

A continuación, se establecerán los puntos de control dentro del proceso y las especificaciones que se deben cumplir para lograr un producto de calidad. La mayoría de los controles se realizan por control automático y visualización SCADA, eliminando en gran medida errores operativos.

Si se encuentra algún desvío de la calidad durante el proceso, este debe corregirse inmediatamente, dando aviso al jefe superior inmediato, evitando así pérdidas económicas y reprocesos.

Tabla 10-2: Controles realizados a el proceso productivo							
Equipo	Corriente	Variable	Rango normal	Frecuencia	Responsable	Registro	Acción correctiva
<b>Sección 100</b>							
<b>R-101</b>	<b>B1 - C1</b>	Presión	30 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-R-101	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>B1 - C1</b>	Temperatura	450 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-R-101	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>B1 - C1</b>	Caudal	35460 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-R-101	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>E-102</b>	<b>C1 - D1</b>	Presión	30 ±1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>I1 – H1</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>C1</b>	Temperatura	450 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>I1</b>	Temperatura	85 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>D1</b>	Temperatura	180 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>C1 - D1</b>	Caudal	35460 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>I1 – H1</b>	Caudal	33300 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-E-102	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>C-103</b>	<b>D1</b>	Presión	30 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-103	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	180 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-103	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	35460 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-103	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>E1</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-103	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	60 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-103	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	35460 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-103	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>E1 - G1 - F1</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-104	Verificar condiciones operativas del equipo



<b>C-104</b>	<b>E1 - G1 - F1</b>	Temperatura	60 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-104	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>E1</b>	Caudal	35460 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-104	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>G1</b>	Caudal	2150 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-104	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>F1</b>	Caudal	33300 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-104	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>K-105</b>	<b>K1</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-105	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	240 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-105	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	35450 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-105	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>L1</b>	Presión	30 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-105	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	450 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-105	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	35450 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-105	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>Sección 200</b>							
<b>C-201</b>	<b>F1 - A2</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>B2</b>	Presión	1,5 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>F1</b>	Temperatura	60 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>A2</b>	Temperatura	79 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>B2</b>	Temperatura	131 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>F1</b>	Caudal	33300 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>A2</b>	Caudal	5320 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>B2</b>	Caudal	27970 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-201	Verificar condiciones operativas del equipo

<b>C-202</b>	<b>C2</b>	Presión	1,5 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-202	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	125 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-202	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	19960 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-202	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>D2</b>	Presión	2 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-202	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	131 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-202	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	8010 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-202	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>C-203</b>	<b>F2</b>	Presión	2,5 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-203	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	180 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-203	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	200 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-203	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>E2</b>	Presión	2 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-203	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	160 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-203	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	7777 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-203	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>E-206</b>	<b>H2</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	18 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	860 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>G2</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	25 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	200 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo

	<b>I2</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	35 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	860 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-206	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>Sección 300</b>							
<b>E-301</b>	<b>N3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	18 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	35480 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>A3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	60 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	7777 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>O3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	35 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	35480 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-301	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>E-302</b>	<b>F3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	5 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	10920 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>B3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	50 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	7777 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo

	<b>G3</b>	Presión	24 ±1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	50 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	10920 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-302	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>E-303</b>	<b>D3</b>	Presión	24 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	-10,5 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	10920 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>C3</b>	Presión	24 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	5 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	7777 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>F3</b>	Presión	24 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	5 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	10920 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-303	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>MA-304</b>	<b>H3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-304	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	5 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-304	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	7777 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-304	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>S-305</b>	<b>J3</b>	Presión	1 ± 1 atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-305	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	5 ± 5 °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-305	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	4840 ± 10 kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-305	Verificar condiciones operativas del equipo

	<b>I3</b>	Presión	$1 \pm 1$ atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-305	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	$5 \pm 5$ °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-305	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	$3664 \pm 10$ kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-305	Verificar condiciones operativas del equipo
<b>E-306</b>	<b>L3</b>	Presión	$1 \pm 1$ atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	$100 \pm 5$ °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	$3000 \pm 10$ kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>K3</b>	Presión	$1 \pm 1$ atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	$25 \pm 5$ °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	$4840 \pm 10$ kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
	<b>M3</b>	Presión	$1 \pm 1$ atm	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
		Temperatura	$100 \pm 5$ °C	Cada 1 hora	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo
		Caudal	$3000 \pm 10$ kg/h	Cada 30 min	Operador de Cabina	R-001-C-306	Verificar condiciones operativas del equipo

Fuente: Elaboración propia

\*Aclaración: Todos los controles mencionados se encuentran automatizados.

### 10.5 Control de calidad del producto final

Para posibilitar la comercialización del producto terminado, se debe de cumplir con ciertos estándares de calidad, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Producto	Variable	Valor ideal	Frecuencia	Registro	Técnica
p-Xileno	Apariencia	incoloro	Cada 1 hora	R-001-PF-PX	Visual
	Concentración	0,99 ± 0,1 % p/p	Cada 1 hora	R-001-PF-PX	T-001-PF
	Densidad	865 kg/m <sup>3</sup>	Cada 1 hora	R-001-PF-PX	T-002-PF
Benceno	Apariencia	incoloro	Cada 1 hora	R-001-PF-B	Visual
	Concentración	0,99 ± 0,1 % p/p	Cada 1 hora	R-001-PF-B	T-001-PF
	Densidad	876 kg/m <sup>3</sup>	Cada 1 hora	R-001-PF-B	T-002-PF
o-Xileno	Apariencia	incoloro	Cada 1 hora	R-001-PF-OX	Visual
	Concentración	0,98 ± 0,1 % p/p	Cada 1 hora	R-001-PF-OX	T-001-PF
	Densidad	865 kg/m <sup>3</sup>	Cada 1 hora	R-001-PF-OX	T-002-PF
Mezcla de xilenos	Apariencia	incoloro	Cada 1 hora	R-001-PF-MX	Visual
	Concentración	0,67 ± 0,1 % p/p	Cada 1 hora	R-001-PF-MX	T-001-PF
	Densidad	865 kg/m <sup>3</sup>	Cada 1 hora	R-001-PF-MX	T-002-PF

Fuente: Elaboración propia

### 10.6 Registros

A continuación, se detallan los registros que se llevan a cabo para materias primas, control de procesos y productos finales.

#### Registros para materias primas

Código: R-001-MP-H				
<b>Fecha:</b>				
<b>Materia prima:</b>	HIDRÓGENO			
<b>Proveedor:</b>	Y.P.F			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	0,07 ± 0,05 %p/p			
Temperatura	450 ± 5 °C			
Densidad	2.4331 ± 1 kg/m <sup>3</sup>			
Apariencia	Gas inflamable, incoloro e inodoro.			

Fuente: Elaboración propia

Código: R-002-MP-T				
<b>Fecha:</b>				
<b>Materia prima:</b>	TOLUENO			
<b>Proveedor:</b>	Y.P.F			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	0,93 ± 0,5 %p/p			
Temperatura	450 ± 5 °C			
Densidad	863.93 ± 1 kg/m <sup>3</sup>			
Apariencia	Líquido claro, libre de sedimentos			

Fuente: Elaboración propia

Código: R-003-MP-Z				
<b>Fecha:</b>				
<b>Materia prima:</b>	ZEOLITA ZSM-5			
<b>Proveedor:</b>				
<b>Variable</b>		<b>SI/NO</b>	<b>Lote</b>	<b>Responsable</b>
<b>Tipo</b>	Modificada con sílice y precocinada.			

Fuente: Elaboración propia

Registros productos finales

Código: R-001-PF-PX				
<b>Fecha:</b>				
<b>Producto:</b>	P-XILENO			
<b>Variable</b>	<b>Valor ideal</b>	<b>Valor</b>	<b>Lote</b>	<b>Responsable</b>
Apariencia	incoloro			
Concentración	0,99 ± 0,1 % p/p			
Densidad	865 kg/m <sup>3</sup>			

Fuente: Elaboración propia

Código: R-001-PF-B				
<b>Fecha:</b>				
<b>Producto:</b>	BENCENO			
<b>Variable</b>	<b>Valor ideal</b>	<b>Valor</b>	<b>Lote</b>	<b>Responsable</b>
Apariencia	incoloro			
Concentración	0,99 ± 0,1 % p/p			
Densidad	876 kg/m <sup>3</sup>			

Fuente: Elaboración propia

Código: R-001-PF-OX				
<b>Fecha:</b>				
<b>Producto:</b>	O-XILENO			
<b>Variable</b>	<b>Valor ideal</b>	<b>Valor</b>	<b>Lote</b>	<b>Responsable</b>
Apariencia	incoloro			
Concentración	0,98 ± 0,1 % p/p			
Densidad	865 kg/m <sup>3</sup>			

Fuente: Elaboración propia

Código: R-001-PF-MX				
<b>Fecha:</b>				
<b>Producto:</b>	MEZCLA DE XILENOS			
<b>Variable</b>	<b>Valor ideal</b>	<b>Valor</b>	<b>Lote</b>	<b>Responsable</b>
Apariencia	incoloro			
Concentración	0,98 ± 0,1 % p/p			
Densidad	865 kg/m <sup>3</sup>			

Fuente: Elaboración propia

### Registros control de procesos

Se desarrolla un ejemplo, por cada equipo hay un registro. El final del código nos indica el equipo. En el ejemplo R-101 es el equipo.

Código: R-001-R-101				
<b>Fecha:</b>				
<b>Equipo:</b>	R-101			
<b>Corriente:</b>	B1			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Presión	30 ± 1 atm			
Temperatura	450 ± 5 °C			
Caudal	35460 ± 10 kg/h			

*Fuente: Elaboración propia*

## 10.7 Técnicas

**T-001-MP, T-001-PF** “Determinación de composición y/o grado de pureza de un compuesto” mediante cromatografía gaseosa.

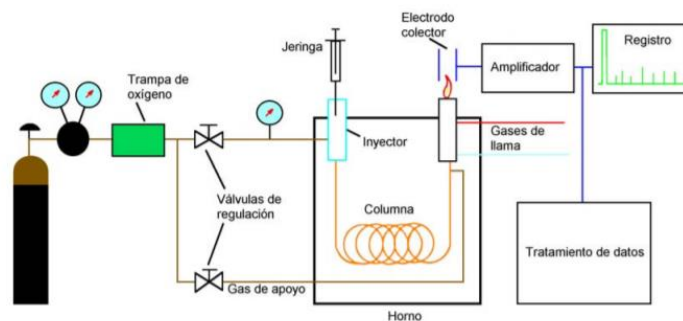
La cromatografía de gases es una técnica analítica que permite separar, identificar y determinar la concentración de cada uno de los componentes de una muestra. Durante el proceso de medida un pequeño volumen de muestra se inyecta en un flujo de gas portador que lo introduce y empuja a través de una columna.

La muestra se volatiliza en el inyector y luego se introduce en la columna capilar dentro del horno. La columna contiene recubrimientos en la pared que cumple la función de la fase estacionaria. La muestra volatilizada es arrastrada por un gas llamado “carrier” (fase gaseosa) que generalmente es He o N<sub>2</sub>. La separación se logra debido a la interacción diferenciada de los componentes de la muestra con las fases presentes: la fase estacionaria y la fase gaseosa. Los compuestos que presentan mayor interacción con la fase estacionaria, recorrerán más lentamente la columna saliendo de ella a mayor tiempo de elución. Por el contrario, los componentes con menor afinidad por la columna, como también el gas carrier, saldrán primero de la columna y tendrán, por lo tanto, los menores tiempos de retención (intervalo de tiempo en que el analito se encuentra en la columna).

Los componentes principales de un cromatógrafo son:

- Fuente de gas
- Sistema de inyección
- Horno y columna cromatográfica
- Sistema de detección
- Sistema de registro





**Figura 10-1:** Esquema de un cromatógrafo de gases

*Fuente: Cromatografía de gases, Museo nacional de Ciencias Naturales.*



**Figura 10-2:** Cromatógrafo de gases marca Agilent modelo 6890.

*Fuente: Cromatografía de gases, Universidad de Alicante*

Las muestras deben estar adecuadamente etiquetadas, envasadas y acondicionadas para asegurar su identificación, integridad y conservación.

Las muestras se proporcionarán debidamente precintadas y rotuladas y en muestras gaseosas, adecuadamente envasadas en bolsas TELKDAR.

La cantidad mínima para realizar el ensayo será de 100  $\mu$ l. en muestras líquidas y de al menos 100 ml. en muestras gaseosas.

#### **TT-002-MP, TT-002-PF** “Determinación de la densidad”:

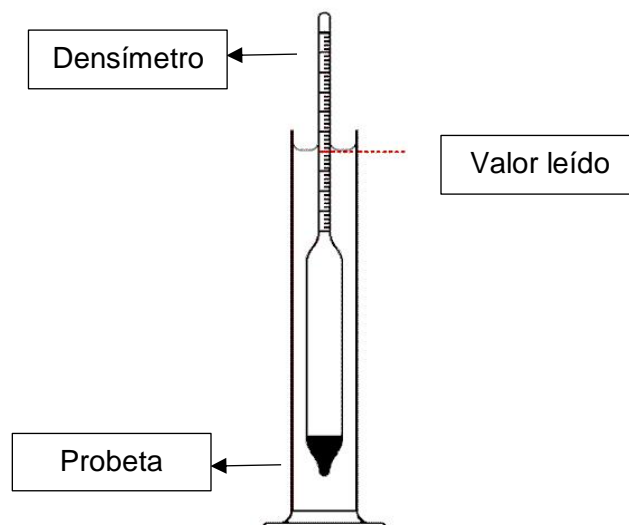
Una variación en la materia prima, indicada por un cambio en la densidad, podría tener un resultado perjudicial para el funcionamiento o la calidad del producto final. La medición de la densidad de materias primas puede usarse para confirmar la pureza del material. Si se ha adulterado una sustancia con una alternativa más barata, la densidad medida del material compuesto será diferente de la de la sustancia pura.

El método más ampliamente usado es el de la técnica de empuje que usa el principio de Arquímedes, el cual afirma que: un cuerpo sumergido en un fluido manifiesta una pérdida de peso aparente igual al peso del fluido que desplaza. Este antiguo principio, que data del

año 200 a. C. aproximadamente, es el que, precisamente, se usa hoy en día para determinar la densidad de forma gravimétrica. Por tanto, una medición exacta de la densidad depende en gran medida de la exactitud de los valores de peso.

Para líquidos:

El densímetro se introduce verticalmente y con cuidado en el líquido, y se deja en reposo hasta que flote libre y verticalmente. A continuación, se observa en la escala graduada en el vástago del densímetro su nivel de hundimiento en el líquido; esa es la lectura de la medida de la densidad relativa del líquido.



**Figura 10-3:** Imagen ilustrativa de la medición de densidad.  
*Fuente: Elaboración propia*

Para sólidos:

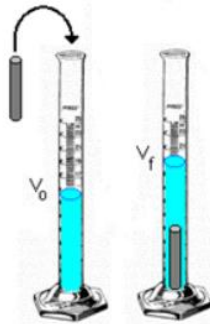
La determinación de la densidad de sólidos por el principio de Arquímedes consiste en determinar el empuje (E), el cual se halla realizando la diferencia entre el peso del sólido en el aire y el peso aparente del sólido sumergido en el líquido. El volumen del líquido desalojado corresponde al volumen del sólido sumergido.

$$E = W_{des} = W_s - W_a = VdL$$

Siendo:

- $W_{des}$ : peso de líquido desalojado.
- $V$ : volumen del sólido
- $dL$ : densidad del líquido

El sólido se sumerge con cuidado y completamente en una probeta que contiene un volumen exacto de agua ( $V_0$ ). Luego se lee cuidadosamente el volumen final ( $V_f$ ). Y el volumen del sólido corresponde a la diferencia dada.



**Figura 10-4:** Imagen ilustrativa de la medición de densidad.  
Fuente: Técnicas de laboratorio

# **CAPÍTULO XI**

## **OBRAS CIVILES**

## CAPÍTULO XI: OBRAS CIVILES

### 11.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza la distribución física de todas las áreas que conforman las instalaciones de la planta productora de p-xileno, ubicada tal como se describió en el capítulo 4, en el parque industrial Ensenada, Buenos Aires.

Se describen todos los detalles considerados para la construcción de cada uno de los sectores y se diseña el lay-out correspondiente de la planta productiva.

### 11.2 Descripción general de la planta

El terreno cuenta con 10000 m<sup>2</sup> en los cuales se encuentran divididos en los siguientes sectores:

Tabla 11-1: Distribución de áreas	
Sector 1	Estacionamiento de vehículos
Sector 2	Oficinas de administración
Sector 3	Baños y vestuarios
Sector 4	Comedores
Sector 5	Laboratorio
Sector 6	Sala de control de PLC/Oficina de producción
Sector 7	Enfermería
Sector 8	Taller de mantenimiento
Sector 9	Sala de calderas
Sector 10	Sector de tanques de almacenamiento
Sector 11	Sector de equipos de enfriamiento
Sección 100	Producción de la reacción principal
Sección 200	Destilación
Sección 300	Cristalización

*Fuente: Elaboración propia*

El predio posee un cerco perimetral de 2 metros de altura con alambrado olímpico. Los postes del cerco están hechos de hormigón y colocados cada 10 metros del perímetro, estos, sirven de base y en su parte superior poseen 3 hileras de alambrado de púas, cubriendo la totalidad de su superficie.

El establecimiento cuenta con los siguientes servicios:

- Red eléctrica de baja y media tensión.
- Red de agua corriente.
- Red de cloacas.

- Red de media y alta presión de gas natural.
- Sistema desagües pluviales.
- Iluminación interior y alumbrado público exterior.
- Sistema hidrante contra incendios.

Las instalaciones de la planta se encuentran cubiertas bajo techo y a la intemperie, en la tabla siguiente se detallan claramente, con sus respectivas dimensiones.

**Tabla 11-2:** Descripción de las áreas.

<b>Sector</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Dimensión</b>
Sector 1	Intemperie	18000 mm x 19500 mm
Sector 2	Bajo techo	15240 mm x 17850 mm
Sector 3	Bajo techo	9850 mm x 17000 mm
Sector 4	Bajo techo	10000 mm x 7500 mm
Sector 5	Bajo techo	10000 mm x 7955 mm
Sector 6	Bajo techo	10000 mm x 5955 mm
Sector 7	Bajo techo	6000 mm x 6000 mm
Sector 8	Bajo techo	21400 mm x 10000 mm
Sector 9	Bajo techo	21100 mm x 15000 mm
Sector 10	Intemperie	15800 mm x 16000 mm
Sector 11	Intemperie	24600 mm x 15800 mm
Sección 100	Intemperie	39000 mm x 27000 mm
Sección 200	Intemperie	43200 mm x 37800 mm
Sección 300	Intemperie	43200 mm x 17200 mm

*Fuente: Elaboración propia*

### 11.3 Distribución física de la planta

La vista completa del plano isométrico se puede observar con detenimiento en el anexo A.

En la figura 11-1 se exhibe el lay-out general de la planta. Las calles están pavimentadas y cuentan con la iluminación correspondiente.

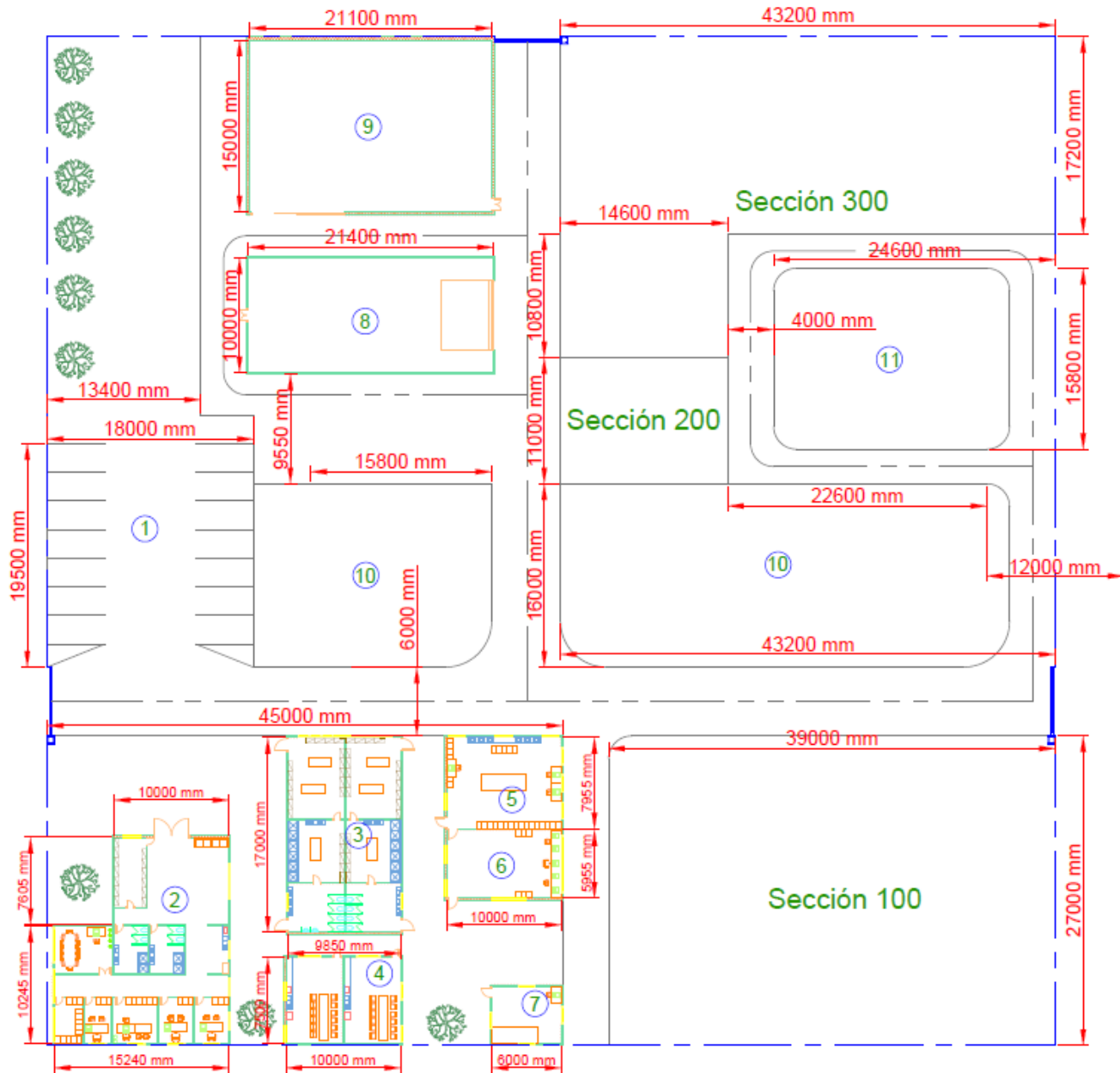


Figura 11-1: Plano isométrico.

Fuente: Elaboración propia

El ingreso a la está ubicada en la esquina inferior izquierda. Continuando hacia arriba se encuentra el estacionamiento adaptado para motos, bicicletas y automóviles destinado al personal.

En el área de la administración se localizan las oficinas para los diferentes administrativos.

Los baños y vestuarios, divididos para mujer y hombres, poseen las condiciones estructurales necesarias para que los operarios y administrativos puedan colocarse los equipos de seguridad pertinentes antes de ingresar a la planta.

Al lado del área administrativa nos encontramos con el sector de comedor, en el cual se presta el servicio de desayuno, almuerzo, merienda y cena.

El laboratorio cuenta con todos los elementos necesarios para el control de calidad de materias primas, productos y subproductos. Al lado de este se encuentra la Sala de control de PLC y Oficina de producción.

La enfermería posee los insumos necesarios para cualquier emergencia que pudiera ocurrir, para eventos de mayor gravedad la persona deberá ser trasladada al hospital más cercano.

Estos espacios se encuentran fuera de la zona de producción con el objetivo que los empleados se encuentren resguardados físicamente de posibles peligros.

El área productiva se divide en 3 secciones siendo las siguientes; sección 100 destinada a la reacción principal, sección 200 de destilación y sección 300 de cristalización.

El sector corresponde al de servicios auxiliares, comprende caldera y sistema de enfriamiento a través de torres.

Se cuenta con un amplio espacio para la fácil movilización de camiones, con calles internas para el ingreso y salida de la planta.

La asignación de espacio a los distintos sectores se realizó en función a los distintos aspectos funcionales y necesarios de acuerdo con el área en cuestión.

Para el sector administrativo, el principal aspecto a tener en cuenta es la cantidad de personas que se necesita para el desempeño de dicha tarea. Se designó un área de recepción para albergar visitas, y una sala de reuniones. Los pasillos quedan definidos por el resto de los espacios.

En el sector de comedor y baños, se tuvo en cuenta nuevamente la cantidad de operarios que harán uso de las instalaciones.

En el sector productivo además de tener en cuenta el personal, fue necesario adaptarlo a el proceso productivo, donde los equipos se ordenan de acuerdo con las etapas progresivas a través de las cuales avanza la fabricación. Una correcta posición de los equipos permite una mejor utilización de los espacios, facilita la circulación dentro de la planta, agiliza el proceso de manufactura, minimizando los movimientos de materiales, provocando así un manejo más eficiente de la mano de obra.

Los espacios entre los equipos se determinaron de manera tal que permita el fácil acceso de los operarios para las realizar las tareas cotidianas, y un adecuado mantenimiento de los equipos.

Finalmente, para el laboratorio, el taller de mantenimiento se asignaron espacios lo suficientemente grandes para que sea posible guardar los equipos necesarios en cada caso, las mesadas o estanterías y la circulación de personal.



Tabla 11-3: Características edilicias de las zonas cubiertas.								
Sector	Dim (mm)	Altura (m)	Paredes		Techo	Piso	Aberturas	
			Interior	Exterior			Puertas (m)	Ventanas (m)
Sector 2	15240 x 17850	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón recubierto con cerámico	10 Puerta de entrada: 1.8 x 2 Puertas internas: 0.8 x 2 Puerta de sala de reuniones 1.6 x 2	12 8 ventanas 1.2 x 1.2 4 ventanas 2.4 x 1.2 m
Sector 3	9850 x 17000	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón recubierto con cerámico	8 Puertas al exterior: 1 x 2 Puertas internas: 0.8 x 2	2 ventanas 1.2 x 1.2
Sector 4	10000 x 7500	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón. Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón recubierto con cerámico	2 puertas 0.8 x 2	6 2 ventanas 2.4 x 1.2 4 ventanas 1.2 x 1.2
Sector 5	10000 x 7955	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón. Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón recubierto con cerámico	1 puerta 0.8 x 2	7 ventanas 1.2 m x 1.2

Sector 6	10000 x 5955	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón. Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón recubierto con cerámico	2 puertas 0.8 x 2	4 ventanas 2 ventanas 1.2 m x 1.2 m 1 ventana 2.4 m x 1.2 m 1 ventana 4.8 m x 1.2 m
Sector 7	6000 x 6000	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón. Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón recubierto con cerámico	1 puerta 0.8 x 2	4 ventanas 1.2 x 1.2
Sector 8	21400 x 10000	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón. Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón con cemento alisado	1 puerta 1 x 2 1 portón corredizo 5 x 2	-
Sector 9	21100 x 15000	3	Todas las paredes dan al exterior. Hormigón	Ladrillo de rejal recubierto con hormigón. Espesor 30 cm	Hormigón armado revocado interior	Hormigón con cemento alisado	1 puerta 1 x 2 1 portón corredizo 5 x 2	-

*Fuente: Elaboración propia*

# **CAPÍTULO XII**

## **INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

## CAPÍTULO XII: INSTALACIONES ELÉCTRICAS

### 12.1 Introducción

Al proyectar un sistema de alumbrado, lo primero que se requiere es elegir un equipo que proporcione el máximo confort visual y el más alto rendimiento compatible con las limitaciones impuestas al proyectista. (Lighting Handbook)

Ensenada, Buenos Aires, cuenta con una estación transformadora de voltaje y líneas internas de suministro de energía eléctrica de baja y media tensión. Dicho servicio es provisto por la empresa Edelap (Empresa Distribuidora La Plata Sociedad Anónima).

El requerimiento de potencia total se determina considerando el consumo de los artefactos utilizados para la iluminación y el correspondiente a cada uno de los equipos que se encuentran involucrados en el proceso productivo. Los circuitos de alumbrado emplean corriente alterna monofásica de 220 V, mientras que en los circuitos de fuerza motriz la corriente utilizada es alterna trifásica de 380 V.

### 12.2 Descripción de una instalación eléctrica

Para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica son necesarios una serie de elementos que se detallan a continuación:

- Tableros eléctricos
- Conductores eléctricos
- Elementos de protección
- Tomacorrientes
- Generador de emergencia

#### 12.2.1 Tableros eléctricos

Los tableros eléctricos son equipos pertenecientes a los sistemas eléctricos y están destinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones: medición, control, maniobra y protección.

Constituyen uno de los componentes más importantes de las instalaciones eléctricas y por ende están siempre presentes en ellas, independientemente de su nivel de tensión, su tipo o tamaño.

Los tableros adquieren las más variadas formas y dimensiones de acuerdo con la función específica que les toque desempeñar, como pueden ser aquellos que se emplean en los distintos tipos de inmuebles (viviendas, sanatorios, escuelas, estadios deportivos, etc.) o bien en industrias.

Se puede afirmar que no es posible la ejecución y funcionamiento de ningún tipo de instalación eléctrica sin la utilización de alguna clase de tablero.

Un tablero eléctrico de automatización permite albergar diferentes dispositivos eléctricos o electrónicos que energicen cargas, tales como motores, generadores o máquinas de procesos, es decir, todo aquello que se necesita para controlar el funcionamiento de las máquinas industriales. Está constituido por equipos electromagnéticos como relés auxiliares, contadores, temporizadores electrónicos y temporizadores neumáticos, etc. Por su constitución y construcción, los tableros eléctricos deben ser montados en lugares de fácil acceso, secos, con cierto grado de ventilación, bien iluminados y que

permitan la realización de tareas de mantenimiento y reparación en forma segura y cómoda. En cuanto a las distancias mínimas, se puede decir que si el tablero tiene acceso solo por el frente se deberá dejar un espacio mínimo de un metro. En cambio, si tiene ingreso por el frente y por la parte trasera, se deberá dejar para esta última una distancia mínima de 0,7 m.



**Figura 12-1:** Tablero eléctrico.  
*Fuente: Cantou Ingeniería - 2018*

#### *Tipos de tableros eléctricos*

- Según su ubicación en la instalación eléctrica, los tableros eléctricos se clasifican en:
- Tablero principal de distribución: Este tablero está conectado a la línea eléctrica principal y de él se derivan los circuitos secundarios. Este tablero contiene el interruptor principal.
- Tableros secundarios de distribución: Son alimentados directamente por el tablero principal. Son auxiliares en la protección y operación de subalimentadores.
- Tableros de paso: Tienen la finalidad de proteger derivaciones que por su capacidad no pueden ser directamente conectadas a alimentadores o subalimentadores. Para llevar a cabo esta protección cuentan con fusibles.
- Gabinete individual del medidor: Este recibe directamente el circuito de alimentación y en él está el medidor de energía desde el cual se desprende el circuito principal.
- Tableros de comando: Contienen dispositivos de seguridad y maniobra.

#### **12.2.2** Conductores eléctricos

Los conductores eléctricos o materiales conductores son aquellos que tienen poca resistencia a la circulación de la corriente eléctrica, dadas sus propiedades específicas. La estructura atómica de los conductores eléctricos facilita el movimiento de los electrones a través de estos, con lo cual este tipo de elementos favorece la transmisión de electricidad.

Un cable eléctrico es un elemento fabricado y pensado para conducir electricidad. El material principal con el que están fabricados es con cobre (por su alto grado de conductividad) aunque también se utiliza el aluminio que, aunque su grado de conductividad es menor también resulta más económico que el cobre.

Los cables eléctricos están compuestos por el conductor, el aislamiento, una capa de relleno y una cubierta. Cada uno de estos elementos que componen un cable eléctrico cumple con un propósito:

- Conductor eléctrico: Es la parte del cable que transporta la electricidad y puede estar constituido por uno o más hilos de cobre o aluminio.
- Aislamiento: Este componente es la parte que recubre el conductor, se encarga de que la corriente eléctrica no se escape del cable y sea transportada de principio a fin por el conductor.
- Capa de relleno: La capa de relleno se encuentra entre el aislamiento y el conductor, se encarga de que el cable conserve un aspecto circular ya que en muchas ocasiones los conductores no son redondos o tienen más de un hilo. Con la capa de relleno se logra un aspecto redondo y homogéneo.
- Cubierta: La cubierta es el material que protege al cable de la intemperie y elementos externos.



**Figura 12-2:** Conductores eléctricos.  
*Fuente: UNCABLE Soluciones Simples.*

### 12.2.3 Tomacorrientes

Los tomacorrientes son dispositivos eléctricos que sirven como punto de conexión para alimentar equipos eléctricos, tales como electrodomésticos, equipos portátiles e industriales. Los tomacorrientes no consumen ninguna energía, este solo enlaza la fuente de alimentación a los equipos que se vayan a alimentar de una fuente de energía eléctrica.

En los sectores tales como la oficina y el laboratorio se colocan tomacorrientes del tipo monofásicos mientras que en el sector de producción se colocan del tipo trifásico, ya que en este sector se requieren mayores necesidades energéticas.



**Figura 12-3:** Tomacorrientes trifásicos y monofásicos.  
*Fuente: Schneider-electric.*

#### 12.2.4 Elementos de protección eléctrica

Para que una instalación sea segura, debe contar con la oportuna protección eléctrica para salvaguardar la integridad de personas, entornos, bienes y componentes eléctricos. Básicamente, están representadas por los siguientes dispositivos:

- Tomas de tierra
- Interruptores y relés
- Otros protectores y aislantes

##### *Interruptores*

Los interruptores son los componentes en los que podemos encontrarnos con una mayor variedad de dispositivos. La mayoría de ellos persiguen el objetivo de evitar electrocuciones, pero también sirven para impedir que se produzcan cortocircuitos, sobrecargas, y daños en el circuito eléctrico y/o en sus componentes. En cualquier tipo de instalación, pero en especial en entornos adversos, el uso de ciertos tipos de interruptores y relés es más que recomendable.

Entre otros, los interruptores de protección más utilizados en instalaciones eléctricas son:

Interruptores magnetotérmicos (o pequeños interruptores automáticos, conocidos como 'PIA'), destinados a proteger la instalación de sobrecargas y cortocircuitos.

Interruptores diferenciales, que 'saltan' o impiden el paso de corriente eléctrica cuando alguna de las fases del circuito eléctrico se deriva a tierra. Cumplen la misión de evitar, sobre todo, daños en la instalación eléctrica y electrocuciones.

##### *Tomas de tierra*

La misión principal de las tomas de tierra es evitar que se produzcan derivaciones de corriente no deseadas hacia elementos que estén en contacto directo con el entorno, para evitar descargas indeseadas a causa de fallos en otros sistemas de aislamiento. Son un tipo de protecciones eléctricas destinadas principalmente a evitar electrocuciones, y consisten básicamente en la puesta a tierra de todas las masas metálicas de las que consta una instalación mediante varios elementos conductores y una toma (una placa o una barra, generalmente), que disipa la corriente en el terreno.



**Figura 12-4:** Tomacorrientes trifásicos y monofásicos.

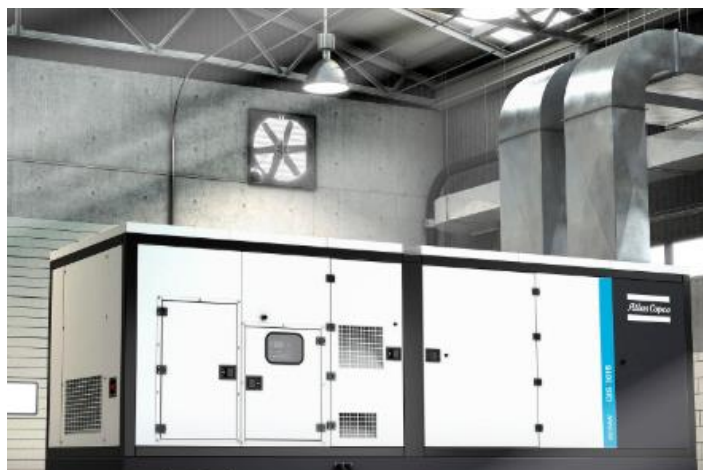
*Fuente: SIMON, 2019.*

### *Otros protectores y aislantes*

Dentro del apartado de los interruptores entran todos aquellos tipos de protecciones eléctricas con una conductividad eléctrica casi nula, como por ejemplo los plásticos. Éstos protegen los distintos componentes eléctricos de las instalaciones y lo aíslan de su entorno más inmediato, protegiéndolos del efecto de agentes externos, así como de golpes e impactos. De esta forma evitan que cualquier persona pueda entrar en contacto directo con ellos, con el consiguiente riesgo para la salud que ello supone. Algunos componentes protegidos contra polvo, agua y humedades con un alto nivel de protección son los armarios pre cableados de alta resistencia, la toma de corriente, las clavijas, los interruptores y las bases de enchufe estancas.

### **12.2.5 Generador de emergencia**

Los generadores industriales se desarrollan con el fin de asegurar que existe un suministro continuo de energía en caso de fallo de los sistemas de red eléctrica. Así, estos equipos tienen la capacidad de garantizar un desempeño eficiente de los equipos, si existen saltos de suministro eléctrico.



**Figura 12-5: Generador eléctrico.**

*Fuente: Atlas Copco Argentina S.A.C.I., 2019.*



### 12.3 Consumo de energía eléctrica de los equipos de proceso

En la siguiente tabla se detalla el consumo de potencia de cada equipo por mes, considerando las horas de funcionamiento en un ciclo de producción de 340 días.

<b>Tabla 12-1: Consumo de Kw por cada equipo</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>kW</b>	<b>Consumo diario</b>	<b>Consumo Anual</b>
B-110	3	0,75	18	6120
B-112	5	0,75	18	6120
B-113	5	0,75	18	6120
B-213	3	0,75	18	6120
B-214	5	0,75	18	6120
B-215	3	0,75	18	6120
B-216	1	0,75	18	6120
B-217	1	0,75	18	6120
B-218	2	0,75	18	6120
B-309	2	0,75	18	6120
B-310	2	0,75	18	6120
B-311	2	0,75	18	6120
B-312	1	0,75	18	6120
B-313	2	0,75	18	6120
B-219	15	11,25	270	91800
B-220	40	30	720	244800
B-221A	50	37,5	900	306000
B-221B	50	37,5	900	306000
B-314	10	7,5	180	61200
B-315	1	0,75	18	6120
B-216	2	1,5	36	12240
Tanque MA 304	3	2,25	54	18360
Tanque E-306	10	7,5	180	61200
SP-114	30	22,4	537,6	182784
SP-115	30	22,4	537,6	182784
SP-116	30	22,4	537,6	182784
SP-117	30	22,4	537,6	182784

*Fuente: Elaboración propia.*

## 12.4 Sistema de iluminación

El fundamento de la iluminación en la industria es brindar una visibilidad lo más eficiente y cómoda posible que permita realizar el trabajo en forma adecuada ayudando a mantener un ambiente seguro. Una buena iluminación consigue disminuir accidentes de trabajo, protege la capacidad visual de los operarios y evita fatiga ocular. También es importante para realizar una correcta limpieza y mantenimiento de los distintos sectores y equipos.

## 12.5 Determinación del nivel de iluminación requerido para cada ambiente

Para obtener el nivel de iluminación necesario y deseado para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones que poseen los mismos y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realice en él. El nivel de iluminación se mide en lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) y surge del cociente de flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada ( $\text{m}^2$ ).

Los niveles mínimos de iluminación están dados por la ley 19.587 “Higiene y Seguridad en el trabajo” Decreto 4160. En la tabla siguiente se detallan los respectivos valores.

**Tabla 12-2:** Determinación del nivel de iluminación requerido para cada ambiente.

Clase de tarea visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)	Ejemplos de tareas visuales
Visión ocasional solamente	100	Para permitir movimientos seguros por ej. en lugares de poco tránsito: Sala de calderas, depósito de materiales voluminosos y otros.
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes.	100 a 300	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.
Tarea moderadamente crítica y prolongadas, con detalles medianos	300 a 750	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo.
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montajes e inspección; pintura extrafina, sopleteado, costura de ropa oscura.
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1500 a 3000	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibrador, trabajo de molienda fina.
	3000	Trabajo fino de relojería y reparación.
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000 a 10000	Casos especiales, como por ejemplo: iluminación del campo operatorio en una sala de cirugía.

*Fuente: Ley 19.587 “Higiene y Seguridad en el trabajo” Decreto 4160.*

## 12.6 Determinación de cantidad de luminarias requeridas

Uno de los métodos de cálculo de niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores más sencillo es el de lúmenes, este método consiste en la obtención del valor medio del alumbrado general. En el momento dado en que

precisemos del cálculo del alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos a un método más complejo denominado método punto por punto.

Los datos de entrada para el cálculo de la luminaria son:

- **Dimensiones del local:** Los primeros datos de entrada serán entonces las dimensiones del local.

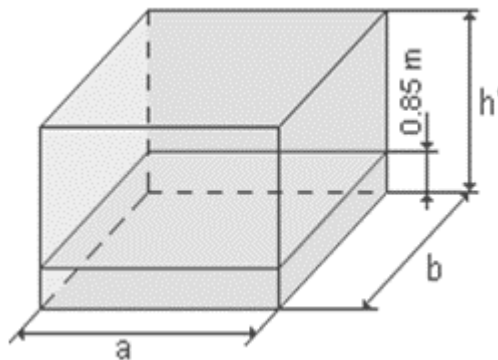
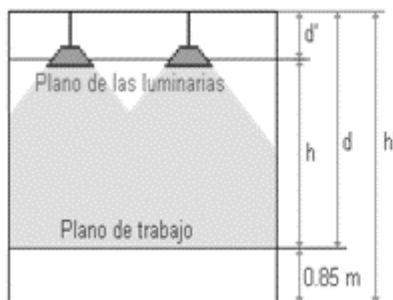


Figura 12-6: Descripción del espacio de iluminación.

Fuente: Bryan Salazar López, 2016.

- **Determinar el nivel de iluminancia media ( $E_m$ ):** Éste valor viene dado en lux, y depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrar este valor en la tabla anterior.
- **Determinar el tipo de lámpara a utilizar:** Debemos determinar el tipo de lámpara, si será incandescente, fluorescente de descarga alta, etc., según el tipo de actividad que se realice en la instalación.
- **Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido:**



$h$ : altura entre el plano de trabajo y las luminarias  
 $h'$ : altura del local  
 $d$ : altura del plano de trabajo al techo  
 $d'$ : altura entre el plano de trabajo y las luminarias

Figura 12-7: Descripción de la altura sujeción.

Fuente: Bryan Salazar López, 2016.

- **Determinar el factor de utilización:** Este valor se calcula a partir del índice del local y los factores de reflexión:



Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Figura 12-5: Factor de utilización.

Fuente: Bryan Salazar López, 2016.

- **Determinar el factor de mantenimiento (fm):** Denominado también factor de conservación es un coeficiente que depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Luego de determinar estas variables se calcula el número de lámparas necesarias empleando la siguiente ecuación.

$$n^{\circ} \text{ Lámparas} = \frac{E \times S}{Fm \times Fu \times Il}$$

Donde:

- E es el nivel de iluminación (lux).
- S es la superficie del sector a iluminar (m<sup>2</sup>).
- Fm es el factor de mantenimiento.
- Fu es el factor de utilización.
- Il es el flujo luminoso de la lámpara (lumen).

En los alumbrados interiores que presentan una polución del ambiente reducida se recomienda utilizar un factor de mantenimiento de 90% para luminaria cerrada y 80% para abierta. En los alumbrados exteriores se utiliza un factor de 60% cuando la polución es importante, 70% cuando es moderada y 80% si es reducida.

Se define el factor de utilización a la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. Es decir, brinda un rendimiento de las luminarias ubicadas en el sector analizado. Para determinar este factor es necesario conocer el índice del local, el factor de reflexión para el techo, paredes y suelo.

El índice del local se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{a \times b}{h \times (a + b)}$$

Donde:

- $k$  es el índice del local.
- $a$  es el largo de la superficie.
- $b$  es el ancho de la superficie.
- $h$  es la altura de las lámparas.

En la siguiente tabla se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, también así las luminarias externas y para cada equipo en particular.

OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN SELECTIVA DE TOLUENO



Tabla 12-3: Cálculo de la cantidad de lámparas											
Sector I 27m*39m											
Equipos	Cantidad	lux	S(m <sup>2</sup> )	Lampara	Fu	Fm	Cantidad de lámparas	Potencia	Frecuencia de uso	Consumo día	Consumo anual
Reactor-Horno (inspección difícil)	1	1000	36	7850	1	0,7	7	215	24	33,81	11493,79
Intercambiadores	1	1000	3	7850	1	0,7	1	215	24	2,82	957,82
Flash	2	1000	10,18	7850	1	0,7	2	215	24	9,56	3250,19
Tanques	3	1500	12	7850	1	0,7	3	215	24	16,90	5746,90
Compresor (inspección difícil)	1	1000	5,6	7850	1	0,7	1	215	24	5,26	1787,92
Torres de destilación (inspección muy difícil)	3	6000	19,1	7850	1	0,7	21	215	24	107,61	36588,58
Intercambiador	1	5000	1	7850	1	0,7	1	215	24	4,70	1596,36
Sector III 10.8m*16.6m											
Intercambiadores	3	9000	1,7	7850	1	0,7	3	215	24	14,37	4884,86
Tanque agitado	1	5000	2,3	7850	1	0,7	2	215	24	10,80	3671,63
Centrifuga	1	3000	5,4	7850	1	0,7	3	215	24	15,21	5172,21
Tanque fundidor	1	3000	6	7850	1	0,7	3	215	24	16,90	5746,90
Sector IV 16m * 61.4m											
Tanques	3	430	154	7850	1	0,7	12	215	24	62,18	21142,20
Sector V 17.2m*43.2m											
Tanques	2	300	154	7850	1	0,7	8	215	24	43,38	14750,37
Sector VI 16.4m*24.6m											
Sistema de frio(difícil)	1	1000	36	7850	1	0,7	7	215	24	33,81	11493,79
Tanque	1	300	28	7850	1	0,7	2	215	24	7,89	2681,89
Sala de calderas	1	350	100	6000	1	0,7	8	110	24	22,00	7480,00
Torre de enfriamiento	1	1000	21,2	7850	1	0,7	4	215	24	19,91	6768,57
Sector VIII 27m*45m											

**OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN**



**SELECTIVA DE TOLUENO**

Administración	1	200	182	6000	1	0,7	9	12	8	0,83	282,88	
Comedor-Cocina	1	600	82,5	6000	1	0,7	12	12	8	1,13	384,69	
Vestuarios y sanitario	2	300	181,5	6000	1	0,7	13	12	8	1,24	423,15	
Sala de control	1	500	60	6000	1	0,7	7	110	8	6,29	2137,14	
Laboratorio de calidad	1	500	80	6000	1	0,7	10	110	8	8,38	2849,52	
Estacionamiento	1	56	396	6000	1	0,7	5	110	8	4,65	1579,78	
Sala de emergencia	1	300	30	6000	1	0,7	2	110	8	1,89	641,14	
Sector IX 14m*23m												
Taller mantenimiento	1	100	214	6000	1	0,7	5	110	8	4,48	1524,50	
Calles												
Externas	4	100	800	7850	1	0,7	15	215	24	75,12	25541,77	
Internas	3	200	600	7850	1	0,7	22	215	24	112,68	38312,65	
Total								186	4566	520		

*Fuente: Elaboración propia.*

## 12.7 Consumo global de energía eléctrica de la planta

En la siguiente tabla se muestra la descripción del consumo global de energía eléctrica de la planta, el cual abarca los dos puntos descriptos en el presente capítulo como son el consumo de los equipos y del sistema de iluminación.

<b>Tabla 12-4:</b> Consumo global de energía eléctrica de la planta		
<b>Tipo de consumo</b>	<b>Consumo diario (kW)</b>	<b>Consumo anual (MW)</b>
Equipos	5660,4	1924,53
Iluminación	643	218,89
<b>Total</b>	<b>6303,4</b>	<b>2143,42</b>

*Fuente: Elaboración propia.*



# **CAPÍTULO XIII**

## **CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS**

## CAPÍTULO XIII: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

### 13.1 Introducción

En la era contemporánea la producción industrial se ha caracterizado principalmente por la optimización de los procesos, empleando avances tecnológicos de la comunicación y el control, a fin de lograr productos a bajo costo, alta calidad capaces de cumplir con los estándares exigidos por el mercado.

La tecnología actual permite supervisar y controlar diversas industrias. El control y la automatización a través de la electrónica han experimentado un cambio importante en la mayoría de las industrias, para ampliar y mantener su posición en los respectivos campos de acción. (*Picasso*)

En el presente capítulo se llevará a cabo el control automático de la sección 200, del proceso de producción de p-xileno.

### 13.2 Control automático

Se entiende por control automático, el mantener estable una variable del proceso mediante un dispositivo, por lo general electrónico, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de este y al recibir la señal de la variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada, corrigiendo y estabilizando el sistema de control. (*Picasso*)

Los cuatro componentes básicos de todo sistema de control son:

- Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- Controlador, que es el cerebro del sistema de control.
- Elemento final de control, frecuentemente se trata de una válvula de control, aunque no siempre.

El sensor se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal, lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador. El controlador recibe la señal, la compara con el valor que se desea y, según el resultado de la comparación, decide que hacer para mantener la variable en el valor deseado. El controlador envía otra señal al elemento final de control el cual actúa según la señal. (*Smith C.*)

#### 13.2.1 Sección 200 – Destilación

Las variables que intervienen en la regulación y el buen funcionamiento de una columna de destilación son: la presión, el caudal, la composición, la temperatura, calor añadido en el fondo de la columna (rehervidor), y los caudales de destilado y de producto extraídos.

En esta sección del proceso se establece una serie de 3 columnas que cumplen la función principal de separación de productos que serán subproductos del proceso esenciales o recirculados al mismo.

#### 13.2.1.1 Secuencia de arranque y parada

En la secuencia de arranque hacia la torre C-201 la corriente de alimentación F1, de tolueno no reaccionante, benceno y xilenos, ingresa mediante la bomba B-213, antes de ingresar a la torre, un caudalímetro FT-001 se encarga de medir el flujo de entrada, este posee un lazo de control con el variador de frecuencia VF-001, que permite regular el caudal de entrada. Además, hay un sensor de temperatura TT-001 que indica la temperatura de alimentación a la torre.

La torre C-201 cuenta con dos sensores de nivel, el sensor de nivel bajo LSL-001 se enciende indicando a la bomba B-213 su accionamiento, luego de un tiempo de retardo determinado la bomba comienza a funcionar. En el caso que el sensor de nivel alto LSH-001 se encienda, la bomba se detiene.

Por la cabeza de la torre C-201 la corriente A2 de benceno, ingresa al tanque T-204, para su almacenamiento. Cuenta con un sensor de temperatura TT-002 conectado con un lazo de control a la válvula V-004, si la temperatura desciende de  $80 \pm 5$  °C la válvula abre, mientras que si aumenta esta se cierra.

Por el fondo de la torre obtenemos tolueno no reaccionante y xilenos, corriente B2, la cual posee caudal controlado por el sensor FT-002 conectado al variador de frecuencia VF-002, a su vez esta corriente posee un sensor de temperatura conectado a la válvula V-005 la cual abre o cierra dependiendo de la temperatura leída por el sensor debe estar a  $131 \pm 5$  °C.

La columna C-202 cuenta con dos sensores de nivel alto LSL-002 y bajo LSH-002 los cuales están conectados al variador de frecuencia VF-002. Por la cabeza de la torre corriente C2 se obtiene el tolueno, el cual es recirculado al proceso, esta corriente cuenta con un sensor de temperatura TT-004 conectado con la válvula V-007 la cual abre si la temperatura leída está por debajo del límite establecido y cierra si este límite ha sido superado. Además, la corriente C2 posee un caudalímetro FT-004 para controlar el flujo de salida.

Por el fondo de la torre C-202 la corriente de salida D2 que posee mezcla de xilenos y etilbenceno cuenta con caudalímetro FT-004 conectado al variador de frecuencia VF-003, los cuales ayudan a controlar el flujo de salida teniendo en cuenta los niveles leídos por los sensores de nivel altos y bajos de la torre C-203.

Por la cabeza de la torre C-203 corriente E2, se obtiene mezcla de xilenos líquidos (p-, m- y etilbenceno), esta corriente cuenta con un sensor de caudal está conectado a la válvula V-009, regulando el caudal de salida. La corriente posee un sensor de temperatura TT-006 conectado a la válvula V-008 la cual abre al bajar la temperatura límite establecida, y cierra si este límite es superado.

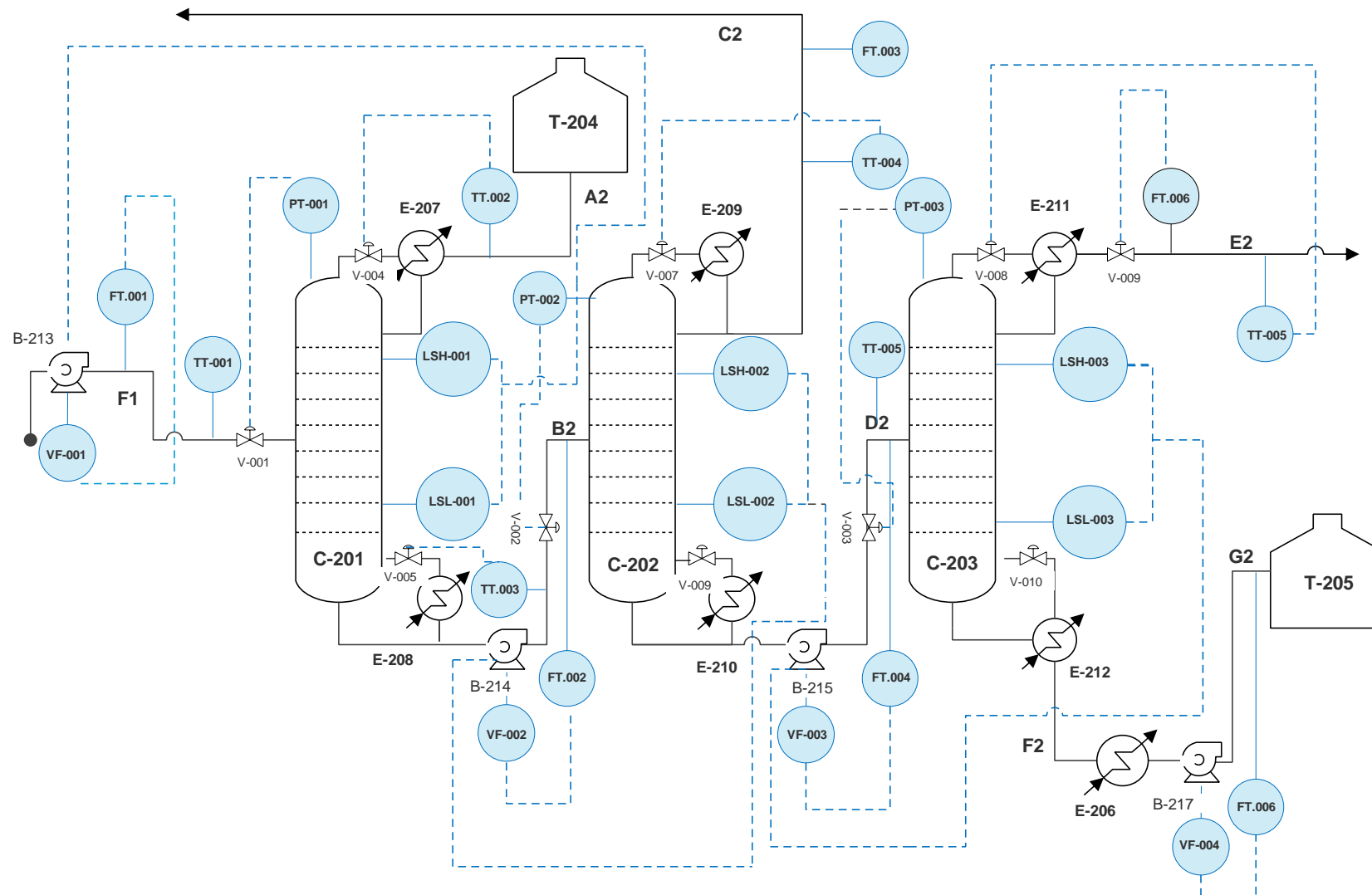
Por el fondo de la columna C-203, corriente F2 se obtiene o-xileno el cual es posteriormente enfriado con el intercambiador E-206. La corriente G2 cuenta con un sensor de flujo FT-006 conectado al variador de frecuencia VF-004, regulando así el caudal de salida.

Todas las torres cuentan con sensores de presión los cuales están conectados a los lazos de control con las válvulas que se encuentra al ingreso de cada torre.

#### 13.2.1.2 P&D

A continuación, se detalla el P&D de la sección 200 de destilación, del proceso de producción de p-xileno.

# OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN SELECTIVA DE TOLUENO



Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

### 13.2.2 Hojas de especificación de los instrumentos

**Tabla 13-1:** Hoja de especificación transmisor de presión.

<i>Control Automático de Procesos</i>			
<b>Hoja de Especificación</b>		<b>TRANSMISOR DE PRESIÓN</b>	
<b>GENERAL</b>	1	NOMBRE	<b>PT-001</b>
	2	SERVICIO	Medición
	3	UBICACIÓN	Sección 200
	4	FUNCIÓN	Medir la presión
<b>SENSOR</b>	5	TIPO DE SENSOR	Analógico
	6	ORIENTACIÓN	Horizontal
	7	MATERIAL	Acero inoxidable
	8	RANGO MEDICIÓN	1- 2 Atm
	9	MAXIMA PRESIÓN	2 Atm
	10	CONEXIÓN A PROCESO	Roscada
	11	VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	24 Volt
<b>TRANSMISOR</b>	12	SEÑAL DE SALIDA	Analógica 4-20 mA
	13	INDICACION LOCAL	Si
<b>SERVICIO</b>	14	FLUÍDO	Benceno, Tolueno y Mezcla de xilenos
	15	CAUDAL Kg/h	33300
	16	CP Kcal/Kg°C	0,43
	17	PRESIÓN Atm	1
	18	TEMPERATURA °C	60

*Fuente: Elaboración propia*

- Cantidad requerida: 3 (PT-001, PT-002, PT-003)
- PRECIO/Unidad: 100 U\$D



**Figura 13-1:** Transmisor de presión.

*Fuente: SPIRAX-SARCO*

Tabla 13-2: Hoja de especificación válvulas ON-OFF.

<i>Control Automático de Procesos</i>		<b>VÁLVULAS ON-OFF</b>	
<b>Hoja de Especificación</b>			
<b>GENERAL</b>	1	NOMBRE	<b>V-001</b>
	2	SERVICIO	Control de caudal
	3	UBICACIÓN	Sección 200
	4	DIÁMETRO LÍNEA	4 pulgadas
	5	FUNCIÓN	Control
	6	SECTOR	Destilación
<b>CUERPO</b>	7	TIPO DE VÁLVULA	On-Off
	8	CONEXIÓN/EXTREMOS	Bridado
	9	MATERIAL EXTERNO	Acero inoxidable
	10	MATERIAL INTERNO	Acero inoxidable
<b>ACTUADOR</b>	11	TIPO DE ACTUADOR	Neumático
	12	FLUÍDO MOTOR	Aire comprimido
	13	PRESIÓN FLUÍDO MOTOR	6 bar
	14	VOLTAGE	24 Volt
	15	TRANSMISOR	Analógico
<b>CONDICIONES OPERATIVAS</b>	16	FLWS UNITS	Kg/m3
	17	FLUÍDO MOTOR	Benceno, Tolueno, Mezcla Xilenos
	18	CAUDAL MÁXIMO	40000
	19	CAUDAL OPERATIVO	33300
	20	CAUDAL MÍNIMO	30000
	21	PRESIÓN ENTRADA	1 bar
	22	PRESIÓN SALIDA	1 bar
	23	TEMP.MÁX. Operación	60°C
	24	CALOR ESPECÍFICO Kcal/Kg°C	0.43
	25	% SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	0

Fuente: Elaboración propia

- Cantidad requerida: 10 (V-001, V-002, V-003, V-004, V-005, V-006, V-007, V-008, V-009)
- PRECIO/Unidad: 80 U\$D



Figura 13-2: Válvula ON-OFF.

Fuente: SPIRAX-SARCO

Tabla 13-3: Hoja de especificación transmisor de temperatura.

Control Automático de Procesos  <b>Hoja de Especificación</b>	<b>TRANSMISORES DE TEMPERATURA</b>																																																																																												
1. Transmisor <input checked="" type="checkbox"/> Termostato <input type="checkbox"/> <b>CABEZAL</b> 2. Roscado <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> 3. Antiexplosivo <input type="checkbox"/> Clase _____ Seguridad Intrínseca <input checked="" type="checkbox"/> Clase _____ 4. Material Acero inoxidable Con. Proceso _____  <b>ELEMENTO DE MEDICIÓN</b> 5. Platino <input checked="" type="checkbox"/> Nickel <input type="checkbox"/> Otro _____ 6. Rango Resistencia 0° - 100 Ohms 7. Temperatura Ver cuadro debajo 8. Material Acero inoxidable O.D. _____	11. Conexión a proceso <b>Corriente F1</b> 10. Conexión Eléctrica 2-Hilos <input checked="" type="checkbox"/> 3-Hilos <input type="checkbox"/> 4-Hilos <input type="checkbox"/> 11. Alimentación 24 V <input checked="" type="checkbox"/> 12 V <input type="checkbox"/> <b>TERMOPOZO - VAINA</b> 12. No Incluida <input checked="" type="checkbox"/> Incluida <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> 13. Material: 304AISI <input checked="" type="checkbox"/> 316AISI <input type="checkbox"/> 14. Conexión a proceso: ½ in. <input checked="" type="checkbox"/> ¾ in. <input type="checkbox"/> BSP <input type="checkbox"/>  <b>OTROS</b> a) _____ b) _____																																																																																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nombre</th> <th rowspan="2">Tipo</th> <th rowspan="2">Ubicación</th> <th colspan="2">Dimensiones Pozo</th> <th rowspan="2">Rango (°C)</th> <th rowspan="2">Longitud</th> <th rowspan="2">Cantidad</th> <th rowspan="2">Sector</th> <th rowspan="2">Precio</th> </tr> <tr> <th>"U"</th> <th>"T" + "N"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="10" style="text-align: center;"><b>Seccion 200</b></td> </tr> <tr> <td>TT-001</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente F1</td> <td>150</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-120</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>80 U\$D</td> </tr> <tr> <td>TT-002</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente A2</td> <td>150</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-120</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>80 U\$D</td> </tr> <tr> <td>TT-003</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente B2</td> <td>150</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-200</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>90 U\$D</td> </tr> <tr> <td>TT-004</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente C2</td> <td>##</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-200</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>90 U\$D</td> </tr> <tr> <td>TT-005</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente D2</td> <td>##</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-200</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>90 U\$D</td> </tr> <tr> <td>TT-006</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente E2</td> <td>##</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-200</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>90 U\$D</td> </tr> <tr> <td>TT-007</td> <td>Analógico</td> <td>Corriente G2</td> <td>##</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>50-120</td> <td>150</td> <td>1</td> <td>Destilación</td> <td>80 U\$D</td> </tr> </tbody> </table>		Nombre	Tipo	Ubicación	Dimensiones Pozo		Rango (°C)	Longitud	Cantidad	Sector	Precio	"U"	"T" + "N"	<b>Seccion 200</b>										TT-001	Analógico	Corriente F1	150	A definir por el proveedor	50-120	150	1	Destilación	80 U\$D	TT-002	Analógico	Corriente A2	150	A definir por el proveedor	50-120	150	1	Destilación	80 U\$D	TT-003	Analógico	Corriente B2	150	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D	TT-004	Analógico	Corriente C2	##	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D	TT-005	Analógico	Corriente D2	##	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D	TT-006	Analógico	Corriente E2	##	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D	TT-007	Analógico	Corriente G2	##	A definir por el proveedor	50-120	150	1	Destilación	80 U\$D
Nombre	Tipo				Ubicación	Dimensiones Pozo						Rango (°C)	Longitud	Cantidad	Sector	Precio																																																																													
		"U"	"T" + "N"																																																																																										
<b>Seccion 200</b>																																																																																													
TT-001	Analógico	Corriente F1	150	A definir por el proveedor	50-120	150	1	Destilación	80 U\$D																																																																																				
TT-002	Analógico	Corriente A2	150	A definir por el proveedor	50-120	150	1	Destilación	80 U\$D																																																																																				
TT-003	Analógico	Corriente B2	150	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D																																																																																				
TT-004	Analógico	Corriente C2	##	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D																																																																																				
TT-005	Analógico	Corriente D2	##	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D																																																																																				
TT-006	Analógico	Corriente E2	##	A definir por el proveedor	50-200	150	1	Destilación	90 U\$D																																																																																				
TT-007	Analógico	Corriente G2	##	A definir por el proveedor	50-120	150	1	Destilación	80 U\$D																																																																																				

Fuente: Elaboración propia



Figura 13-3: Transmisor de temperatura.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.

Fuente: SPIRAX-SARCO

**Tabla 13-4:** Hoja de especificación transmisor de caudal.

<i>Control Automático de Procesos</i>		<b>TRANSMISORES DE CAUDAL</b>		
<b>Hoja de Especificación</b>				
<b>GENERAL</b>	1	NOMBRE	FT-001	
	2	TIPO DE CAUDALÍMETRO	Digital	
	3	FUNCIÓN	Medición	
	4	SERVICIO	Medición del caudal	
	5	UBICACIÓN	Sección 200	
	6	SECTOR	Destilación	
<b>CONEXIÓN A PROCESO</b>	7	DIÁMETRO DE CAÑERÍA	3 pulg	
	8	MATERIAL CAÑERÍA	Acero Inoxidable	
	9	CONEXIÓN/EXTREMO	Bridada	
<b>TRANSMISOR</b>	10	VOLTAJE PARA FUNCIONAMIENTO	24 V	
	11	TRANSM	Señal de Salida	4mA - 20mA
			Material electrodo	Titanio

Fuente: *Elaboración propia*

- Cantidad requerida: 6 (FT-001, FT-002, FT-003, FT-004, FT-005, FT-006)
- PRECIO/Unidad: 650 U\$D



**Figura 13-4:** Transmisor de caudal.

Fuente: SPIRAX-SARCO



**Tabla 13-5:** Hoja de especificación transmisor de nivel.

Control Automático de Procesos		TRANSMISORES DE NIVEL	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1 NOMBRE	LSL-001	
	2 SERVICIO	Medición Nivel Bajo	
	3 UBICACIÓN	Sección 200	
	4 FUNCIÓN	Medición	
	5 SECTOR	Destilación	
SENSOR	6 TIPO DE SENSOR	magnético	
	7 ORIENTACIÓN	Vertical	
	8 MATERIAL	Acero inoxidable	
	9 LONGITUD DEL SENSOR	8 pulgadas	
	10 CONEXIÓN A PROCESO	Bridada	
	11 VOLTAJE	24 Volt	
TRANSMISOR	12 SEÑAL DE SALIDA	Digital	
	13 CORRIENTE MA/AMPERES	0,5/105	
SERVICIO	14 FLÚIDO	fondo torre C-201	
	15 CAUDAL	33300	
	16 CP	0,43	
	17 PRESIÓN	NORMAL	1 bar
	18 TEMP.	NORMAL	131°C

*Fuente: Elaboración propia*

- Cantidad requerida: 6 (LSL: 3 LSL-001, LSL-002, LSL-003) (LSH 3: LSH-001, LSH-002, LSH-003)
- PRECIO/Unidad: 80 U\$D



**Figura 13-5:** Transmisor de nivel.

*Fuente: SPIRAX-SARCO*

**Tabla 13-6:** Hoja de especificación variadores de frecuencia.

<i>Control Automático de Procesos</i>		<b>VARIADORES</b>	
<b>Hoja de Especificación</b>			
<b>GENERAL</b>	1	NOMBRE	VF-001
	2	TIPO DE VARIADOR	Digital
	3	FUNCIÓN	Modificar la potencia
	4	SERVICIO	Variación de frecuencia
	5	UBICACIÓN	Sección 200
	6	SECTOR	Destilación
<b>CONEXIÓN A PROCESO</b>	7	CORRIENTE DE SALIDA	2.1 A - 9.6 A
	8	CONEXIÓN DE ENTRADA	220 V - 380 V
	9	VOLTAGE PARA FUNCIONAMIENTO	220 V
<b>SALIDA</b>	10	TIPO DE SALIDA	triple
	11	FRECUENCIA DE SALIDA	0,00 - 300Hz

*Fuente: Elaboración propia*

- Cantidad requerida: 4 (VF-001, VF-002, VF-003, VF-004)
- PRECIO/Unidad: 130 U\$D



**Figura 13-6:** Variador de frecuencia.

*Fuente: Siemens Argentina.*

# **CAPÍTULO XIV**

## **SEGURIDAD INDUSTRIAL**

## CAPÍTULO XIV: SEGURIDAD INDUSTRIAL

### 14.1 Introducción

En el presente capítulo se detallan las normativas sobre seguridad tanto en la industria como en el personal de trabajo y se adoptan los elementos de seguridad para la protección y la seguridad de las personas internas y externas a la industria.

Es relevante tener en cuenta durante el diseño de una industria los peligros potenciales para la salud y seguridad de las personas, así como los daños que se puedan llegar a generar para el medio ambiente. También se detallan las propiedades de las sustancias involucradas en el proceso y se realiza un sistema de prevención contra incendios, evacuación de la planta, y sus respectivas capacitaciones que involucra al personal de la empresa.

### 14.2 Marco legal

La legislación industrial resulta de conocimiento y consulta imprescindibles para el ingeniero que intervenga en proyectos industriales. Esta condiciona de manera decisiva el diseño de una planta de producción si tiene enfoque en la seguridad de personas, ya sean externas o internas a la fábrica, bienes y medio ambiente.

El desarrollo del diseño de la planta de producción de p-xileno, se basa en el panorama legislativo vigente en nuestro país, en lo que respecta a seguridad industrial; estas leyes son la Ley de seguridad e higiene en el trabajo N° 19587/72, y su decreto 351/79 y la Ley de riesgos de trabajo N° 24557/95; Y, en las recomendaciones y exigencias establecidas por organizaciones internacionales que se ocupan de la seguridad industrial.

#### 14.2.1 Política de higiene y seguridad

El objetivo por cumplir de las prácticas que se desarrolla respecto a la seguridad e higiene industrial coexiste en mejorar la calidad de vida y contribuir a un desarrollo seguro y sostenible.

Es de suma importancia que participen todos los integrantes de la empresa. Para ello, la gerencia se compromete a generar conciencia sobre la importancia de los aspectos que incluye una planta segura cuyo personal está involucrado en realizar prácticas correctas y seguras en todas las secciones del establecimiento.

#### 14.2.2 Gestión de higiene y seguridad

La responsabilidad sobre cuestiones relacionadas con higiene y seguridad de la planta recaerá sobre los miembros del Departamento de Higiene y Seguridad.

El departamento de higiene y seguridad será el encargado de proteger la vida, preservar y mantener la integridad, tanto psicológica como física, de los trabajadores y de las personas que se encuentren vinculadas con el ciclo de vida del producto y también la realización de las prácticas relacionadas con la protección del medio ambiente. Para

lograr todo esto, los responsables de higiene y seguridad deberán involucrarse profundamente con el proceso productivo y el personal de fábrica.

El área de higiene y seguridad se encargará de la anticipación, identificación, evaluación y control de riesgos que se originen en el ámbito de trabajo; así como también de brindar soluciones y mejoras para disminuir los riesgos de siniestros.

#### **14.2.3 Responsabilidades del departamento de higiene y seguridad**

Las responsabilidades de los miembros del departamento de higiene y seguridad, al igual que su estructura, se exponen en el capítulo de organización industrial; siempre respetando la ley vigente.

Además, les corresponde a los integrantes de este departamento junto con el directorio de la empresa elaborar e implantar un sistema de reglamentaciones generales y particulares, que conformarán el Manual de Higiene y Seguridad de la empresa, el cual se dividirá por sectores en función de las distintas actividades de esta.

El Manual de Higiene y Seguridad de la empresa estará basado en las recomendaciones y exigencias internacionales, adaptadas a las particularidades del país. Por lo tanto, las disposiciones propias de la empresa estarán en concordancia con la legislación vigente nacional e internacional.

Es responsabilidad del encargado del departamento de higiene y seguridad garantizar que todos los empleados conozcan los puntos del manual y es responsabilidad de los trabajadores cumplir con estas reglamentaciones.

Cualquier incumplimiento será sancionado y dichas sanciones serán previamente establecidas por el departamento de higiene y seguridad junto con la gerencia de la empresa.

#### **14.2.4 Estructura del departamento de higiene y seguridad**

La estructura de la empresa, departamento y personal está conformada según lo establecido en el capítulo Organización de la Empresa, donde se detalla el organigrama de toda la planta.

##### **14.2.4.1 Proceso**

Los diseñadores son responsables de remarcar las áreas de proceso donde los riesgos potenciales exceden a las expectativas normales de riesgo en la planta.

Proceso, temperaturas máximas y mínimas, presiones máximas y mínimas, reacciones peligrosas, materias tóxicas y peligrosas, materias corrosivas.

El proceso productivo de p-xileno se encuentra detallado en el capítulo correspondiente a Selección y Descripción del Proceso de Producción. En aquel capítulo se detallan las condiciones de proceso, destacándose aquellas que significan mayores riesgos. A continuidad de este capítulo se encuentran las planillas de datos de todas las sustancias que se manipulan durante la producción, ya sea que se trate de materias primas, productos y servicios.

#### 14.2.4.2 Diseño de equipos

Las recomendaciones para el diseño detallado de los equipos deben ser semejantes a las hechas para el diseño del proceso.

<b>Tabla 14-1:</b> Consideraciones para el diseño de equipos.
Diseño de equipos
Temperaturas máximas de diseño.
Presiones máximas de diseño.
Protecciones frente a partes móviles del equipo.
Aislamiento acústico.
Aislamiento térmico.
Aislamiento para protección personal.
Soportes a prueba de fuego.

*Fuente: Ley 19587*

#### 14.2.4.3 Obras civiles y estructurales

Los edificios deben satisfacer códigos locales y nacionales de construcción que incluyen requerimientos específicos de seguridad. Además, las unidades pueden llegar a requerir medidas adicionales de seguridad, las cuales se deben tener presentes.

<b>Tabla 14-2:</b> Consideraciones sobre obras civiles y estructurales
Obras civiles y estructurales
Seguridad en espacios interiores.
Materiales de construcción.
Seguridad en materiales de construcción.
Sectorización de la planta.
Emplazamiento de edificios.
Diseño frente a terremotos.
Diseño considerando la carga máxima de viento.
Cargas de diseño para equipos y tuberías.
Cargas máximas combinadas.
Equipo para elevación de piezas.
Protección contra el fuego de las estructuras.
Caminos interiores.

*Fuente: Ley 19587*

En el capítulo Obras civiles se indican los aspectos indicados en la tabla anterior. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de definir como se construirán todas las estructuras que comprende la totalidad de la planta.

#### 14.2.4.4 Electricidad

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño incluyen también aspectos eléctricos de seguridad.

<b>Tabla 14-3:</b> Consideraciones sobre Electricidad
Electricidad
Dimensionado de cables.

Protección frente a fallos.
Puesta a tierra.
Protección de los cables contra el fuego.
Generación de energía de emergencia.

*Fuente: Ley 19587*

Las instalaciones eléctricas, equipos y conexiones de la planta de producción se encuentran detallada en el capítulo correspondiente a Instalaciones Eléctricas. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta en lo que respecta a la higiene y seguridad de la planta al momento de hacer este tipo de instalaciones.

**14.2.4.5 Protección contra incendios**

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen.

<b>Tabla 14-4:</b> Consideraciones sobre Protección contra incendios
Protección contra incendios
Sistemas de agua contra incendios.
Sistemas de agua de reserva.
Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios.
Extintores contra incendios.
Alarmas de incendio.

*Fuente: Ley 19587*

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del director de proyecto (especialista en higiene y seguridad) asegurarse de que dicha protección esté contemplada en el diseño y posteriormente en la práctica.

**14.2.4.6 Seguridad en la construcción de la planta**

La etapa de construcción de instalaciones es aquella en que se materializan los proyectos procedentes de la etapa de diseño.

Esta etapa será ejecutada por una empresa, contratada a tal fin. Esto proporciona características particulares a la consideración de la seguridad en la construcción de las instalaciones.

La seguridad en la construcción tendrá dos vertientes a considerar por separado:

- Seguridad en los propios trabajos de construcción. La dispersión de mandos y responsabilidades que se deriva de la actuación de la empresa contratista dentro del ámbito de la empresa propietaria obliga a una coordinación adecuada de información, actuación y mando; esto incluye:
  - a. Notificación de los procedimientos de seguridad en la construcción a los contratistas.

- b. Nombramiento de uno o varios supervisores de seguridad con atribuciones para emitir y controlar los permisos, así como para detener los trabajos en caso oportuno y hasta que se adopten las medidas de seguridad pertinentes.
  - c. Emisión y control de permisos para la ejecución de trabajos de cierta peligrosidad.
  - d. Aseguramiento eficiente y verdadero por los contratistas sobre los riesgos de accidente y de daños a terceros.
  - e. Consideración de todos los riesgos derivados de los propios trabajos y del entorno en que se llevan a cabo los mismos.
- Seguridad y control de calidad en la construcción. La calidad de la obra ejecutada y la fidelidad a un diseño correcto influyen de manera importante en la seguridad de la operación y mantenimiento futuro de las instalaciones. Ello hace que un control cuidadoso de dicha calidad sea un complemento imprescindible a un proyecto bien hecho.

#### **14.2.4.7 Seguridad en la operación**

La seguridad en la operación constituye una continuidad de la seguridad en el diseño; ya que la probabilidad de que un suceso peligroso ocurra no depende únicamente de las características técnicas del proceso y de los controles de seguridad, sino también de aspectos operativos y organizativos del control de riesgos tales como son las actitudes de los mandos y de los operarios, de los errores humanos, de un mantenimiento inadecuado, del conocimiento y comprensión escasos por los operarios.

#### **14.2.4.8 Seguridad en el mantenimiento**

Debido a las agresiones (desgastes, corrosiones, envejecimientos) que sufren diferentes partes de la instalación por su uso y por la acción de factores internos y externos, se pueden producir averías que originan condiciones inseguras. Por ello es evidente que el mantenimiento eficaz contribuye a la seguridad de instalaciones y operaciones de manera importante.

En nuestra planta, se implementarán dos tipos de mantenimiento, los cuales son complementarios entre sí; estos son:

- Mantenimiento correctivo. Intervención correctora de las averías con rapidez, eficiencia y precauciones (seguridad en la propia acción correctora). Para este tipo de mantenimiento es que se dispondrá de una cantidad determinada estadísticamente de repuestos en existencia.
- Mantenimiento preventivo. Se efectuarán inspecciones periódicas de todos los elementos de las instalaciones, con frecuencias mínimas o ajustadas a los análisis estadísticos de averías, con el fin de que la reparación o sustitución de aquéllos se efectúe antes de que la avería se declare. Cuando la avería pueda llegar a tener consecuencias serias para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

El mantenimiento de la planta estará a cargo de personal especializado en el tema según lo establecido en el capítulo de Organización de la empresa.



#### 14.2.4.9 Seguridad en prevención, defensa y actuación

Debido a causas imprevisibles o de fuerza mayor, y a no efectuarse la prevención con una eficiencia de 100%, debe aceptarse que el riesgo pueda manifestarse en forma de incidentes o siniestros.

Si bien hasta aquí se han considerado, en cada sector de la planta en particular, una amplia cantidad de medidas necesarias para evitar diversos tipos de riesgos; cumpliendo con todas las condiciones impuestas por la ley vigente. Sin embargo, lo realizado no quedaría completo sin el agregado de lo que a continuación se desarrolla; esto es prevención, defensa y actuación frente a siniestros, en particular frente al fuego, lo que es de destacar debido a las características del proceso productivo (equipos y sustancias).

### 14.3 Industria petroquímica

En este tipo de industrias los peligros son constantes por la relación directa a los químicos que se usan. Estos pueden presentarse en las 3 principales fases, durante todo el desarrollo de un producto, estas son las siguientes:

- Elaboración: Es en donde más ocurren accidentes, por ser el proceso donde más se está cerca con los componentes químicos, en donde cualquier intoxicación podría dañar a la persona si no se tienen los cuidados y protección segura.
- Guardado: El guardado de materiales químicos, o materias primas hace que provoque algún accidente o riesgo, al pasar un producto químico, a otro sitio y se llegara a contaminar la persona por no tener el uniforme correspondiente
- Limpieza: El riesgo aquí es inminente si no se tiene el cuidado necesario para el usuario. La persona correspondiente tiene que usar los productos de limpieza necesarios, a la hora de dar mantenimiento a los componentes, pero si no se usa un uniforme correspondiente la persona podría enfermarse por los fuertes productos químicos que se usan, para limpieza, saneamiento y purga.

Una persona que trabaja en este tipo de sectores abarca una gran seguridad personal, porque todo el cuerpo está cubierto de grandes riesgos que se presentan por la directa relación con sustancias químicas y tóxicas para el cuerpo humano.

Las principales causas de los accidentes son las salpicaduras químicas que pueden ocurrir por ejemplo si explotan tuberías o cubas bajo presión o durante el desmontaje de las canalizaciones y de las válvulas. Es importante que se cuente con el completo uniforme y sobre todo que se encuentre en las perfectas condiciones de calidad, y limpieza.

### 14.4 Sustancias de proceso

En esta sesión detallaremos las propiedades y características de las sustancias involucradas en el proceso productivo. Se describirá cada sustancia, tanto de proceso como de servicios auxiliares, en tablas utilizando las fichas técnicas de datos de seguridad de distintos fabricantes certificados.

Las sustancias manipuladas en el proceso de producción de p-xileno, por orden alfabético, son:




Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.

- Benceno
- Etilbenceno
- Hidrógeno
- Mezcla de xilenos
- o-Xileno
- p-Xileno
- Tolueno

En cuanto a las sustancias de servicio utilizadas en el proceso de producción de p-xileno, se procede a describir sus propiedades por orden alfabético. Estas son:

- Agua
- Amoníaco (utilizado por el equipo refrigerante)
- Sal fundida (utilizada en los intercambiadores E-302 y E-303 como refrigerante)

<b>Tabla 14-5:</b> Ficha datos de seguridad benceno	
Identificación del compuesto	
Nombre Químico	Benceno
Sinónimos	Ciclohexatrieno. Benzol. Fenilhidruro.
Nº CAS	71-43-2
Fórmula	C6H6
Propiedades físico-químicas	
Aspecto y Color	Liquid transparente
Olor	Incoloro a Amarillo pálido
Peso Molecular	78.12
Presión de vapor	0.12 atm a 20 °C
Densidad relativa de vapor (aire =1)	2.77
Solubilidad en agua	0.180 g/100 ml a 25°C
Punto de ebullición	80°C
Punto de fusión	5.5 °C
Estabilidad y Reactividad	
La sustancia es estable a temperatura ambiente. Líquido fácilmente inflamable y combustible.	
Condiciones que deben evitarse	Exposición chispas, calor, altas temperaturas y llamas.
Materiales a evitar	Oxidantes fuertes, ozono, oxígeno líquido, percloratos, ácido nítrico, peróxido de sodio, halógenos, azufre fundido.
Productos de descomposición	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en caso de combustión incompleta) y vapores tóxicos/irritantes.
Polimerización	No especificado
Identificación de los peligros Normas IRAM 3797	

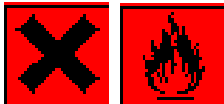
		
Información toxicológica		
Contacto con la piel	Efectos graves para la salud	
Contacto con los ojos	Quemaduras.	
Inhalación	Puede tener consecuencias graves: Muerte	
Ingestión	Poco probables	
Otros	Repetidas sobreexposiciones pueden agravar enfermedades hepáticas o renales. Problemas respiratorios y afecciones dermatológicas. No se debe ingerir alcohol dado que promueve la absorción intestinal del producto.	
Riesgos de incendio y explosión		
Incendio	Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en el caso de que existan.	
Explosión	Los vapores forman mezclas explosivas con el aire.	
Puntos de inflamación	Puede inflamarse por altas temperaturas, llamas, chispas y electricidad estática.	
Temperatura de auto ignición	498° C	
Efectos eco tóxicos		
<p>El producto liberado en el suelo o en agua sufre una rápida volatilización. No es de esperar una significativa adsorción en los sedimentos o hidrólisis.</p> <p>Liberado a la atmósfera, existe predominantemente en fase vapor. Esta fase no está sujeta a fotólisis pero si reacciona con radicales hidroxilo con una vida media de 13.4 días.</p> <p>Puede sufrir biodegradación basado en el dato de tiempo medio de 16 días en sistemas fluviales. En ecosistemas marinos, la biodegradación ocurre en 2 días después de un período de aclimatación de 2 días en verano y 2 semanas en primavera, respectivamente; en invierno no se produce.</p>		
- Equipos de protección personal -		
Protección respiratoria	Sí. La concentración en aire puede exceder los niveles de exposición ocupacional. Usar equipo de protección respiratoria de presión positiva.	
Protección de manos	Sí. Guantes impermeables resistentes a agentes químicos.	
Protección de ojos	Sí. Gafas de seguridad y pantalla facial frente al riesgo de salpicaduras. Lavaojos.	
Protección del cuerpo	Sí. Ropa de protección.	
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavaojos de seguridad.	

Manipuleo y Almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Evitar cualquier manipulación que pueda liberar componentes volátiles a la atmósfera. Evitar el contacto con el producto y la inhalación de vapores, utilizando equipo de protección adecuado, incluida protección respiratoria.
Condiciones de almacenamiento	Sistema de ventilación adecuado para evitar la formación de vapores, nieblas o aerosoles. Mantener en lugar frío; ventilación a ras del suelo y techo.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Aislar el área. Prohibir la entrada a la zona a personal innecesario. Evitar zonas bajas donde se pueden acumular vapores. Evitar cualquier posible fuente de ignición. Evitar las cargas electrostáticas.
Precauciones ambientales	Evitar los vertidos al medio ambiente debido al peligro de contaminación física en caso de vertido (litorales costeros, suelos, etc.). Prevenir la entrada en alcantarillas o cursos de agua.
Métodos de limpieza	Absorber con materiales ignífugos y absorbentes. Depositar los residuos en contenedores cerrados para su posterior eliminación. Contener el vertido. Cubrir el derrame con espuma para evitar el desprendimiento de vapores. Proceder como en los derrames pequeños.
Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios)	
En general	Evitar todo tipo de contacto. En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
Contacto con la piel	En caso de congelación: Aclarar con agua abundante. No quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
Contacto con los ojos	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar al médico.
Inhalación	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
Ingestión	No aplicable
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	Agua pulverizada, espuma, polvo químico, CO <sub>2</sub> .
Medidas de extinción inadecuadas	No utilizar agua.
Productos de descomposición	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO y vapores tóxicos/irritantes.
Equipos de protección personal especiales	Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores, nieblas o humos utilizar aparato de respiración autónoma.
Instrucciones para combatir el fuego	Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio, dejar que se consuma

	controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en el caso de que existan.
Medidas a tomar para la disposición final de residuos	
<p>Eliminación: Remitirse a un gestor autorizado.</p> <p>Manipulación: Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo tóxico y peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.</p> <p>Disposiciones: Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir las disposiciones autonómicas, nacionales o comunitarias en vigor, relativas a la gestión de residuos.</p>	

*Fuente: YPF S.A 2015*

<b>Tabla 14-6:</b> Ficha datos de seguridad etilbenceno	
Identificación del compuesto	
Nombre Químico	Etilbenceno
Sinónimos	-
Nº CAS	100-41-4
Fórmula	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
Propiedades físico-químicas	
Aspecto y Color	Líquido incoloro
Olor	Característico
Peso Molecular	106.16g/mol
Presión de vapor	9.5 hPa (20 °C)
Densidad relativa de vapor (aire =1)	3,67 (aire = 1)
Solubilidad en agua	0,2 g /l a 20 °C
Punto de ebullición	136°C
Punto de fusión	-95°C

Estabilidad y Reactividad	
El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.	
Condiciones que deben evitarse	. Riesgo de ignición. Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva.
Materiales a evitar	Artículos de caucho, diferentes plásticos
Productos de descomposición	En caso de incendio pueden formarse: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Polimerización	No especificado
Identificación de los peligros Normas IRAM 3797	
	

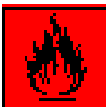
Información toxicológica	
Contacto con la piel	Provoca un efecto desengrasante en la piel
Contacto con los ojos	No dispone datos
Inhalación	Irritación de las vías respiratorias, somnolencia, mareos.
Ingestión	Náuseas, vómitos, presente un peligro por aspiración.
Otros	Cefalea, Vértigo, Espasmos, Narcosis

Riesgos de incendio y explosión	
Incendio	En caso de incendio pueden formarse: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Explosión	Combustible. Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva.
Puntos de inflamación	15 °C
Temperatura de auto ignición	430°C
- Efectos eco tóxicos -	
Sin información	
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Usar equipo de protección respiratoria de presión positiva.
Protección de manos	Sí. Úsen se guantes adecuados. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos.
Protección de ojos	Sí. Utilizar gafas de protección con protección a los costados.
Protección del cuerpo	Sí. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas). Ropa protectora de fuego.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavajos de seguridad.

Manipuleo y Almacenamiento	
Condiciones de manipuleo	Asegurar una ventilación adecuada. Evitar: Formación de aerosol y niebla. Mantenga el envase bien cerrado cuando no lo use.
Condiciones de almacenamiento	Temperatura de almacenaje recomendada: 15 – 25 °C. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas. Consérvese el recipiente bien cerrado y en lugar fresco.
Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas	
Precauciones personales	Colocar en recipientes apropiados para su eliminación. Ventilar la zona afectada.
Precauciones ambientales	Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas. Propiedades explosivas.
Métodos de limpieza	Absorber con una sustancia aglutinante de líquidos (arena, harina fósil, aglutinante de ácidos, aglutinante universal).
- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -	
En general	Evitar todo tipo de contacto.
Contacto con la piel	Aclararse la piel con agua/ducharse. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.
Contacto con los ojos	Evítese el contacto con los ojos.
Inhalación	Si respira con dificultad, transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Es necesario un tratamiento médico.
Ingestión	NO provocar el vómito. Peligro por aspiración. Llamar al médico inmediatamente.
Medidas a tomar en caso de incendio o explosión	
Medidas de extinción apropiadas	agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Medidas de extinción inadecuadas	Agua.
Productos de descomposición	En caso de incendio pueden formarse: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Equipos de protección personal especiales	Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos
Instrucciones para combatir el fuego	Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional. Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.	

Fuente: Roth 2017

<b>Tabla 14-7:</b> Ficha datos de seguridad hidrógeno	
Identificación del compuesto	
Nombre Químico	Hidrógeno
Sinónimos	-
Nº CAS	1333-74-0
Fórmula	H <sub>2</sub>
Propiedades físico-químicas	
Aspecto y Color	Gas comprimido incoloro
Olor	Inodoro
Peso Molecular	2 g/mol
Presión de vapor	No aplica
Densidad relativa de vapor (aire =1)	0.08342 kg./m <sup>3</sup>
Solubilidad en agua	0.019
Punto de ebullición	- 252.8°C
Punto de fusión	-259.2°C

- Estabilidad y Reactividad -	
El hidrógeno es un gas estable	
Condiciones que deben evitarse	. Evitar el contacto con materiales incompatibles y exponer a calor, chispas u otras fuentes de ignición. Cilindros expuestos a temperaturas altas o llamas directas pueden explotar violentamente.
Materiales a evitar	Oxidantes fuertes (cloro, bromuro, pentafluoruro, oxígeno, oxígeno difluoruro, y nitrógeno trifluoruro. Mezclas de oxígeno/hidrógeno pueden explotar al hacer contacto con un catalizador como el platino. Algunos aceros son susceptibles al hidrógeno, haciéndolos quebradizos a altas presiones y temperaturas.
Productos de descomposición	Se produce agua cuando el hidrógeno arde en presencia de aire.
Polimerización	Ninguna
- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
	
- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	Producto irritante. Congelación grave
Contacto con los ojos	No aplica
Inhalación	Es un asfixiante simple.



Ingestión	No aplica
Otros	-
- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	Extremadamente inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.
Explosión	Las mezclas gas/aire son explosivas.
Puntos de inflamación	No aplica
Temperatura de auto ignición	500-571°C
- Efectos eco tóxicos -	
Sin información	
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Utilizar equipo autónomo de respiración o máscaras con mangueras de aire o de presión directa si los niveles de oxígeno están por debajo del 19.5% o durante emergencias de un escape del gas.
Protección de manos	Sí. Guantes aislantes del frío.
Protección de ojos	Sí. Gafas de protección de seguridad.
Protección del cuerpo	Sí. El personal de rescate debe contar con un aparato de respiración auto-contenido y protección personal completa a prueba de fuego (equipo para línea de fuego).
Instalaciones de seguridad	Sí. Sistema cerrado y ventilación.




Manipuleo y Almacenamiento -	
Condiciones de manipuleo	Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.
Condiciones de almacenamiento	Recipientes a prueba de incendio. Mantener en lugar fresco. El área debe ser protegida con el fin de prevenir ataques químicos o daños mecánicos como cortes o abrasión. No permitir que la temperatura en el área de almacenamiento exceda los 54° C El área de almacén debe contar con un sistema extintor de fuego apropiado (por ejemplo, sistema de riego, extinguidores portátiles, etc.)
- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -	
Precauciones personales	Eliminar toda fuente de ignición Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar el vapor con agua pulverizada.
Precauciones ambientales	El gas se disipa rápidamente en áreas con buena ventilación. Cualquier efecto adverso en animales o en la vida de las plantas estará relacionado con ambientes deficientes en oxígeno. No hay efectos adversos anticipados a las plantas.
Métodos de limpieza	No aplica
- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -	
Contacto con la piel	Proporcionar asistencia médica.
Contacto con los ojos	No aplica.
Inhalación	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Ingestión	No aplica
- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -	
Medidas de extinción apropiadas	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , polvo químico seco, rocío de agua o agua pulverizada.
Medidas de extinción inadecuadas	No aplica
Productos de descomposición	Se produce agua cuando el hidrógeno arde en presencia de aire.
Equipos de protección personal especiales	Contar con un aparato de respiración auto-contenido y protección personal completa a prueba de fuego.

Instrucciones para combatir el fuego	Evacuar a todo el personal de la zona en peligro. No extinguir hasta que el suministro de hidrógeno esté cerrado y controlado. Cuidado al extinguir las llamas! Si las llamas se extinguen sin cortar la fuente de suministro de hidrógeno puede ocurrir una explosión.
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
El hidrógeno es un gas que se encuentra naturalmente en la atmósfera, no está identificado como contaminante marino.	

Fuente: Linde 2012

<b>Tabla 14-8:</b> Ficha datos de seguridad mezcla de xilenos	
- Identificación del compuesto -	
Nombre Químico	Mezcla de xilenos
Sinónimos	Xilol
Nº CAS	1330-20-7
Fórmula	
- Propiedades físico-químicas -	
Aspecto y Color	Líquido incoloro
Olor	Aromático
Peso Molecular	106.18 g/mol
Presión de vapor	6.72 mm Hg a 21°C
Densidad relativa de vapor (aire =1)	0.864 g/cm <sup>3</sup> a 20°C
Solubilidad en agua	Insoluble
Punto de ebullición	138.5 °C
Punto de fusión	-47.87 °C

- Estabilidad y Reactividad -	
Líquido inflamable y combustible a temperatura ambiente.	
Condiciones que deben evitarse	Chispas, llamas y fuentes de ignición.
Materiales a evitar	Oxidantes fuertes y ácidos fuertes.
Productos de descomposición	CO y vapores tóxicos en caso de combustión incompleta.
Polimerización	Ninguna

- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
	
	
- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	Irritación cutánea
Contacto con los ojos	Irritación ocular
Inhalación	Irritación. Puede ser mortal
Ingestión	Puede ser mortal
Otros	Daños renales, hepáticos y enfermedades del sistema nervioso central o de la sangre.

- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	Formación de gases tóxicos y/o vapores peligrosos
Explosión	Puede formar mezclas explosivas e inflamables con el aire y se puede inflamar en presencia de calor, llamas, chispas y electricidad estática
Puntos de inflamación	27 °C
Temperatura de auto ignición	530 °C
- Efectos eco tóxicos -	
<p>Persistencia y desgradabilidad: En el agua el producto flota y presenta potencial de contaminación física, si bien, puede volatilizarse o adsorberse a sedimentos o materiales suspendidos en el agua. El producto es biodegradable.</p> <p>Movilidad/ Bio acumulación: Presenta una movilidad moderada en el suelo. El factor de bio concentración (FBC) medido para el xileno indica una baja bio acumulación en organismos acuáticos. En la atmósfera, el xileno reacciona con radical hidroxilo producido foto químicamente, teniendo una vida media de 1 a 2 días.</p>	
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Equipos autónomos de respiración en presencia de altas concentraciones de vapor.
Protección de manos	Sí. Guantes de protección
Protección de ojos	Sí. Gafas de seguridad contra salpicaduras y vapore
Protección del cuerpo	Sí. Ropa de protección y calzado adecuado
Instalaciones de seguridad	Sí. Duchas y lavaojos en áreas de trabajo
- Manipuleo y Almacenamiento -	
Condiciones de manipuleo	Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo tóxico y peligroso. No

	desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.
Condiciones de almacenamiento	Situarlo en lugares frescos y ventilados. Eliminar fuentes de ignición y oxidantes fuertes en zonas de manejo y almacenamiento del producto.
- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -	
Precauciones personales	Aislar la zona del derrame. Evitar la inhalación prolongada de vapores y el contacto con el producto. Eliminar cualquier fuente de ignición. No fumar en la zona del derrame
Precauciones ambientales	Los derrames forman una película sobre la superficie del agua impidiendo la transferencia de oxígeno
Métodos de limpieza	Emplear materiales absorbentes como arena u otros y depositar el material en contenedores cerrados para su posterior eliminación. Evitar la dispersión con barreras mecánicas. Canalizar en zanjas los vertidos para después aspirarlos a contenedores cerrados y eliminarlos.
- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -	
En general	Solicitar asistencia médica urgente
Contacto con la piel	Retirar las prendas contaminadas con producto. Lavar las partes afectadas con agua y jabón. Solicitar asistencia médica
Contacto con los ojos	Lavar inmediatamente con agua abundante durante al menos 15 minutos Solicitar asistencia médica.
Inhalación	Sacar a la persona afectada al aire libre. Si la respiración es dificultosa, asistir la respiración artificialmente y administrar oxígeno si es necesario. Solicitar asistencia médica.
Ingestión	No inducir el vómito. Solicitar asistencia médica urgente.
- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -	
Medidas de extinción apropiadas	CO <sub>2</sub> , espumas, agua pulverizada y químicos secos.
Medidas de extinción inadecuadas	Chorro de agua directo
Productos de descomposición	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en defecto de oxígeno) y en ocasiones gases tóxicos o vapores peligrosos.
Equipos de protección personal especiales	Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores o humos, utilizar aparato de respiración autónoma.
Instrucciones para combatir el fuego	Aplicar agua fría a los tanques o depósitos expuestos a las llamas hasta que el fuego se haya extinguido. Mantenerse alejado de los tanques. En caso de fuego intenso es recomendable el empleo de mangueras sin manipulación directa para evitar riesgos.
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo tóxico y peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.	

<b>Tabla 14-9:</b> Ficha datos de seguridad o-xileno	
- Identificación del compuesto -	
Nombre Químico	Orto xileno
Sinónimos	1,4-dimetilbenceno. o-Metiltolueno. 1,2-Xileno. o-Xilol
Nº CAS	95-47-6
Fórmula	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
- Propiedades físico-químicas -	
Aspecto y Color	Líquido incoloro
Olor	Característico
Peso Molecular	106.18 g/mol
Presión de vapor	6.8 mm Hg a 25°C
Densidad relativa de vapor (aire =1)	3.66
Solubilidad en agua	Insoluble
Punto de ebullición	144.41°C
Punto de fusión	-25.18°C
- Estabilidad y Reactividad -	
Líquido fácilmente inflamable y combustible a temperatura ambiente.	
Condiciones que deben evitarse	Chispas, llamas y fuentes de ignición.
Materiales a evitar	Oxidantes fuertes y ácidos fuertes
Productos de descomposición	CO y vapores tóxicos en caso de combustión incompleta.
Polimerización	Ninguna
- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
 	
- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	Irritación cutánea.
Contacto con los ojos	Irritación ocular grave.
Inhalación	Irritación. Puede ser mortal.
Ingestión	Puede ser mortal.
Otros	Problemas respiratorios y dermatológicos. Daños renales, hepáticos y enfermedades del sistema nervioso central o de la sangre.

- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	Producto fácilmente inflamable y combustible Los vapores pueden viajar hasta fuentes remotas de ignición e inflamarse
Explosión	Puede formar mezclas explosivas e inflamables con el aire y se puede inflamar en presencia de calor, llamas, chispas y electricidad estática. Peligro de explosión de vapores en interiores, exteriores y en conductos.
Puntos de inflamación	17°C
Temperatura de auto ignición	530 °C
- Efectos eco tóxicos -	
En el agua el producto flota y presenta potencial de contaminación física, si bien, puede volatilizarse o adsorberse a sedimentos o materiales suspendidos en el agua. La biodegradación del producto en el suelo es un proceso importante.	
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Es recomendable el empleo de equipos de respiración autónoma
Protección de manos	Sí. Guantes
Protección de ojos	Sí. Gafas de seguridad contra salpicaduras y vapores.
Protección del cuerpo	Sí. Ropa de protección y calzado adecuado.
Instalaciones de seguridad	Sí. Duchas y lavaojos en áreas de trabajo

- Manipuleo y Almacenamiento -	
Condiciones de manipuleo	En las áreas de manejo, uso o almacenamiento del producto, mantener alejadas las posibles fuentes de ignición y no fumar. El transvase de productos se debe hacer mediante conexiones estancas y conectadas a tierra. Utilizar equipos correctamente conectados a tierra y herramientas antideflagrantes.
Condiciones de almacenamiento	Contenedores correctamente sellados y etiquetados, situados en lugares frescos y ventilados. Eliminar fuentes de ignición y oxidantes fuertes en zonas de manejo y almacenamiento del producto.
- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -	
Precauciones personales	Aislar la zona del derrame. Evitar la inhalación prolongada de vapores y el contacto con el producto. Eliminar cualquier fuente de ignición. No fumar en la zona del derrame.
Precauciones ambientales	Los derrames forman una película sobre la superficie del agua impidiendo la transferencia de oxígeno.
Métodos de limpieza	Emplear materiales absorbentes como arena u otros y depositar el material en contenedores cerrados para su posterior eliminación. Evitar la dispersión con barreras mecánicas. Canalizar en zanjas los vertidos para después aspirarlos a contenedores cerrados y eliminarlos.
- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -	
En general	Solicitar asistencia médica urgente.
Contacto con la piel	Retirar las prendas contaminadas con producto. Lavar las partes afectadas con agua y jabón. Solicitar asistencia médica
Contacto con los ojos	Lavar inmediatamente con agua abundante durante al menos 15 minutos Solicitar asistencia médica.
Inhalación	Sacar a la persona afectada al aire libre. Si la respiración es dificultosa, asistir la respiración artificialmente y administrar oxígeno si es necesario. Solicitar asistencia médica.
Ingestión	No inducir el vómito. Solicitar asistencia médica urgente.
- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -	
Medidas de extinción apropiadas	CO <sub>2</sub> , espumas, agua pulverizada y químicos secos.
Medidas de extinción inadecuadas	Chorro de agua directo
Productos de descomposición	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en defecto de oxígeno) y en ocasiones gases tóxicos o vapores peligrosos.
Equipos de protección personal especiales	Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores o humos, utilizar aparato de respiración autónoma.



Instrucciones para combatir el fuego	Aplicar agua fría a los tanques o depósitos expuestos a las llamas hasta que el fuego se haya extinguido. Mantenerse alejado de los tanques. En caso de fuego intenso es recomendable el empleo de mangueras sin manipulación directa para evitar riesgos. Si el fuego se vuelve incontrolable, aislar y abandonar la zona y dejar que el fuego arda
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.	

*Fuente: YPF S.A 2015*

<b>Tabla 14-10:</b> Ficha datos de seguridad o-xileno	
- Identificación del compuesto -	
Nombre Químico	Para xileno
Sinónimos	1,4-dimetilbenceno
Nº CAS	106-42-3
Fórmula	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
- Propiedades físico-químicas -	
Aspecto y Color	Líquido incoloro
Olor	Característico
Peso Molecular	106.18 g/mol
Presión de vapor	8,7 hPa a 20 °C
Densidad relativa de vapor (aire =1)	-
Solubilidad en agua	170,5 mg/l a 25 °C
Punto de ebullición	138.2°C
Punto de fusión	13,25°C
Riesgo de ignición. Calentando: Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva.	
Condiciones que deben evitarse	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
Materiales a evitar	Artículos de caucho, diferentes plásticos
Productos de descomposición	En caso de incendio pueden formarse: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Polimerización	Ninguna
- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
	
- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	Irritación cutánea.




Contacto con los ojos	Irritación ocular grave.
Inhalación	Irritación. Puede ser mortal.
Ingestión	Puede ser mortal.
Otros	Cefalea, Vértigo, Mareos, Náuseas, Pérdida de conciencia, Daños de hígado y riñones, Síntomas también se pueden mostrar horas después de la exposición.

- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	-
Explosión	Riesgo de ignición. Calentando: Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva.
Puntos de inflamación	27 °C
Temperatura de auto ignición	528 °C
- Efectos eco tóxicos -	
Persistente, Bio acumulable y Tóxico	
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Formación de aerosol y niebla. Tipo: A (contra gases y vapores orgánicos con un punto de ebullición de > 65°C, código de color: marrón).
Protección de manos	Sí. Úsense guantes adecuados. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos arriba mencionados.
Protección de ojos	Sí. Utilizar gafas de protección con protección a los costados.
Protección del cuerpo	Sí. Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).
Instalaciones de seguridad	Sí. Duchas y lavaojos en áreas de trabajo

<b>- Manipuleo y Almacenamiento -</b>	
Condiciones de manipuleo	Ventilar suficiente y aspiración puntual en puntos críticos. Evítese la exposición. Mantenga el envase bien cerrado cuando no lo use.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente. Proteger de la luz del sol.
<b>- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -</b>	
Precauciones personales	Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. No respirar los vapores/aerosoles. Prevención de las fuentes de ignición.
Precauciones ambientales	Colocar en recipientes apropiados para su eliminación. Ventilar la zona afectada.
Métodos de limpieza	Absorber con una sustancia aglutinante de líquidos (arena, harina fósil, aglutinante de ácidos, aglutinante universal).
<b>- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -</b>	
En general	Quitar las prendas contaminadas.
Contacto con la piel	Aclararse la piel con agua/ ducharse. En caso de irritaciones cutáneas, consultar a un dermatólogo.
Contacto con los ojos	Mantener separados los párpados y enjuagar con abundante agua limpia y fresca por lo menos durante 10 minutos. En caso de irritación ocular consultar al oculista
Inhalación	Proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.
Ingestión	Lavar la boca inmediatamente y beber agua en abundancia. Observar el peligro por aspiración en caso de vómito. Llamar al médico inmediatamente.
<b>- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -</b>	
Medidas de extinción apropiadas	Coordinar las medidas de extinción con los alrededores agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Medidas de extinción inadecuadas	Chorro de agua directo
Productos de descomposición	En caso de incendio pueden formarse: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Equipos de protección personal especiales	Llevar un aparato de respiración autónomo.

Instrucciones para combatir el fuego	Aplicar agua fría a los tanques o depósitos expuestos a las llamas hasta que el fuego se haya extinguido. Mantenerse alejado de los tanques. En caso de fuego intenso es recomendable el empleo de mangueras sin manipulación directa para evitar riesgos.
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional. No tirar los residuos por el desagüe.	

<b>Tabla 14-11:</b> Ficha datos de seguridad tolueno	
- Identificación del compuesto -	
Nombre Químico	Tolueno
Sinónimos	Metil-benceno
Nº CAS	108-88-3
Fórmula	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
- Propiedades físico-químicas -	
Aspecto y Color	Líquido brillante y transparente
Olor	Característico
Peso Molecular	92.15 g/mol
Presión de vapor	21.9 mm Hg a 20 °C
Densidad relativa de vapor (aire =1)	3.14
Solubilidad en agua	0.05
Punto de ebullición	110°C
Punto de fusión	-95°C

- Estabilidad y Reactividad -	
Líquido fácilmente inflamable y combustible	
Condiciones que deben evitarse	. Exposición chispas, calor, altas temperaturas y llamas.
Materiales a evitar	Oxidantes fuertes
Productos de descomposición	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en caso de combustión incompleta) y vapores tóxicos/irritantes.
Polimerización	No especificado
- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
  	
- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	Irrita la piel
Contacto con los ojos	Puede irritar los ojos.
Inhalación	Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
Ingestión	Puede ser mortal
Otros	Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto. Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación. También, si se ingiere puede causar daño pulmonar

- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	Líquido fácilmente inflamable y combustible. Puede inflamarse por altas temperaturas, llamas, chispas y electricidad estática.
Explosión	Los vapores forman mezclas explosivas con el aire. Los contenedores vacíos pueden explotar con el calor del fuego. Peligro de explosión de vapores en interiores, exteriores y en conductos.
Puntos de inflamación	4°C
Temperatura de auto ignición	521° C
- Efectos eco tóxicos -	
El producto presenta de moderada a muy alta movilidad en suelo, por lo que, puede lixiviar hacia aguas subterráneas. La bio concentración en organismos acuáticos es de baja a moderada, según los factores de bio concentración (BCF) disponibles en estos organismos.	
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Mascarilla respiratoria con cartucho para vapores orgánicos o equipo de respiración autónoma en presencia de elevadas concentraciones de vapor.
Protección de manos	Sí. Guantes impermeables de PVC resistentes a agentes químicos
Protección de ojos	Sí. Gafas de seguridad y pantalla facial frente al riesgo de salpicaduras. Lavajos.
Protección del cuerpo	Sí. Ropa de protección. Calzado de seguridad antiestático.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavajos de seguridad.

- Manipuleo y Almacenamiento -	
Condiciones de manipuleo	Usar ropa de protección adecuada para evitar el contacto y protección respiratoria para evitar la inhalación. Se recomienda el empleo de guantes y gafas para evitar el riesgo de salpicaduras. Mantener alejado de posibles fuentes de ignición, chispas, llamas, descargas estáticas o fumar donde el material es almacenado, manipulado o usado.
Condiciones de almacenamiento	Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados. Mantener los recipientes en lugar fresco y ventilado, alejados del calor y de fuentes de ignición. Mantener los recipientes conectados a tierra y alejados de oxidantes fuertes
- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -	
Precauciones personales	Aislar el área. Prohibir la entrada a la zona a personal innecesario. Evitar zonas bajas donde se pueden acumular vapores. Evitar cualquier posible fuente de ignición. Evitar las cargas electrostáticas.
Precauciones ambientales	Evitar los vertidos al medio ambiente debido al peligro de contaminación física en caso de vertido (litorales costeros, suelos, etc.). Prevenir la entrada en alcantarillas o cursos de agua.
Métodos de limpieza	Secar la superficie con materiales ignífugos y absorbentes. Depositar los residuos en contenedores cerrados para su posterior eliminación. Cuando sea posible, limpiar la tierra contaminada. Cubrir el derrame con espuma para evitar la formación de nube de vapores. Evitar la extensión del líquido con barreras y actuar de modo análogo a los derrames pequeños.
- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -	
En general	Solicitar asistencia médica
Contacto con la piel	Quitar inmediatamente la ropa impregnada. Lavar las partes afectadas con agua y jabón
Contacto con los ojos	Lavar abundantemente con agua durante unos 15 minutos. Solicitar asistencia médica.
Inhalación	Trasladar al afectado a una zona de aire fresco. Si la respiración es dificultosa practicar respiración artificial o aplicar oxígeno. Solicitar asistencia médica.
Ingestión	No inducir el vómito para evitar la aspiración hacia los pulmones. Si el afectado está consciente, suministrarle agua o leche. Solicitar asistencia médica.
- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -	
Medidas de extinción apropiadas	Espumas, polvo químico, CO <sub>2</sub> y agua pulverizada.
Medidas de extinción inadecuadas	No utilizar agua.
Productos de descomposición	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en caso de combustión incompleta) y vapores irritantes / tóxicos.

Equipos de protección personal especiales	Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores, nieblas o humos utilizar aparato de respiración autónoma..
Instrucciones para combatir el fuego	Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente.
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir las disposiciones existentes relativas a la gestión de residuos u otras disposiciones municipales, provinciales y/o nacionales en vigor.	

*Fuente: YPF S.A 2012.*

<b>Tabla 14-12:</b> Ficha datos de seguridad amoníaco	
- Identificación del compuesto -	
Nombre Químico	Amoníaco
Sinónimos	Trihidruro de nitrógeno
Nº CAS	7664-41-7
Fórmula	NH <sub>3</sub>
- Propiedades físico-químicas -	
Aspecto y Color	Gas licuado, comprimido, incoloro.
Olor	Acre.
Peso Molecular	17.03
Presión de vapor	760 10 <sup>-6</sup> mm Hg a 26° C
Densidad relativa de vapor (aire =1)	0.59
Solubilidad en agua	Buena (34 g/100ml a 20° C)
Punto de ebullición	-33° C
Punto de fusión	No aplicable




- Estabilidad y Reactividad -	
La sustancia es una base fuerte. Se forman compuestos inestables frente al choque óxidos de mercurio, plata y oro. Reacciona violentamente con ácidos. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, halógenos e interhalógenos La sustancia es corrosiva. Ataca al cobre, aluminio, zinc y sus aleaciones. Al disolverse en agua desprende calor.	
Condiciones que deben evitarse	Evitar llama abierta.
Materiales a evitar	Óxidos de mercurio, plata y oro. Ácidos, halógenos e interhalógenos. Cobre, aluminio, cinc y sus aleaciones.
Productos de descomposición	Hidrógeno.
Polimerización	No especificado
- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
	
- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	En contacto con líquido, congelación.
Contacto con los ojos	Quemaduras profundas graves.
Inhalación	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, edema pulmonar.
Ingestión	No aplicable
Otros	Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada.

- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	Extremadamente inflamable. Combustible en condiciones específicas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.
Explosión	Las mezclas de amoníaco y aire pueden ocasionar explosión si se encienden en condiciones inflamables.
Puntos de inflamación	No se encuentra en bibliografía el punto de inflamación, a pesar de ser una sustancia combustible.
Temperatura de auto ignición	651° C
- Efectos eco tóxicos -	
Residuo clasificado peligroso / especial S/ Ley 24-051 - Dto. 831/93 (Nación)	Sí
Límite en emisiones gaseosas S/ Dto. 831/93 (Nación)	5.20 E02 mg/s (desde la superficie). 1.85 E05 mg/s (altura de chimenea 30m).
Nivel guía de calidad de aire S/ Dto. 831/93 (Nación)	1.5 mg/m <sup>3</sup> (período de promedio: 30 minutos).
Límite en vertidos líquidos S/ Res. 79179/90 (Nación)	No especificado
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	Sí. Se recomienda protección respiratoria para vapores.
Protección de manos	Sí. Guantes para evitar contacto con el producto.
Protección de ojos	Sí. Protección ocular para salpicaduras químicas.
Protección del cuerpo	Sí. Ropa de protección.
Instalaciones de seguridad	Sí. Ducha y lavaojos de seguridad.

- Manipuleo y Almacenamiento -	
Condiciones de manipuleo	Evitar llama abierta.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en lugar a prueba de incendio. Separado de oxidantes, ácidos y halógenos. Mantener en lugar frío; ventilación a ras del suelo y techo.
- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -	
Precauciones personales	Protección personal completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
Precauciones ambientales	No verter al alcantarillado.
Métodos de limpieza	Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto; ventilación. Sí las botellas tienen fuga, no verter nunca chorros de agua sobre el líquido. Trasladar la botella a un lugar seguro a cielo abierto, cuando la fuga no pueda ser detenida. Si está en forma líquida dejar que se evapore.
- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -	
En general	Evitar todo tipo de contacto. En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
Contacto con la piel	En caso de congelación: Aclarar con agua abundante. No quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
Contacto con los ojos	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar al médico.
Inhalación	Aire limpio, reposo, posición de semi incorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
Ingestión	No aplicable
- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -	
Medidas de extinción apropiadas	Polvos y dióxido de carbono.
Medidas de extinción inadecuadas	No utilizar agua.
Productos de descomposición	Hidrógeno.
Equipos de protección personal especiales	Equipo de protección personal convencionales y equipo autónomo de respiración.
Instrucciones para combatir el fuego	Mantener fríos los recipientes rociando con agua pulverizada. Evitar el contacto directo con el producto.
- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -	
Los restos de producto químico deberían eliminarse por incineración o mediante cualquier otro medio de acuerdo a la legislación local. No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua. El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico.	

*Fuente: Indura S.A 2015*

<b>Tabla 14-13:</b> Ficha datos de seguridad sal fundida	
- Identificación del compuesto -	
Nombre Químico	Sal fundida.
Sinónimo	Cloruro de sodio 20%
Nº CAS	7647-14-5
Fórmulas comerciales	NaCl
- Propiedades físico-químicas -	
Aspecto y Color	Sólido cristalino o líquido
Olor	Incoloro
Peso Molecular	40 g/mol
Presión de vapor	1,3 hPa a 865 °C
Solubilidad en agua	>300 g /l a 20 °C
Punto de ebullición	1450 °C
Punto de fusión	800 °C
- Estabilidad y Reactividad -	
Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales. El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.	
Condiciones que deben evitarse	Humedad
Materiales a evitar	Hierro
Productos de descomposición	No especificado
Polimerización	No aplicable
- Identificación de los peligros Normas IRAM 3797 -	
	

- Información toxicológica -	
Contacto con la piel	No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.
Contacto con los ojos	Causa irritación de ligera a moderada
Inhalación	No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea
Ingestión	Vómitos, náuseas
Otros	.-
- Riesgos de incendio y explosión -	
Incendio	No inflamable. En caso de incendio pueden formarse: cloruro de hidrógeno.
Explosión	No combustible
Puntos de inflamación	No aplicable
Temperatura de auto ignición	No aplicable
- Equipos de protección personal -	
Protección respiratoria	No
Protección de manos	Sí. Úsense guantes adecuados.
Protección de ojos	Sí. Utilizar gafas de protección con protección a los costados.
Protección del cuerpo	No
Instalaciones de seguridad	Sí. Lavaojos de seguridad.

<b>- Manipuleo y Almacenamiento -</b>	
Condiciones de manipuleo	Higiene estricta. No fumar, beber, ni comer durante el trabajo.
Condiciones de almacenamiento	A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos. Separado de ácidos fuertes, agentes reductores fuertes, materiales fácilmente oxidables y materiales combustibles. Mantener en una habitación bien ventilada.
<b>- Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas -</b>	
Precauciones personales	No son necesarias medidas especiales.
Precauciones ambientales	Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.
Métodos de limpieza	No son necesarias medidas especiales
<b>- Medidas a tomar en caso de contacto con el compuestos (primeros auxilios) -</b>	
En general	Quitar las prendas contaminadas.
Contacto con la piel	Aclararse la piel con agua/ducharse.
Contacto con los ojos	Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos.
Inhalación	Proporcionar aire fresco.
Ingestión	Enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.
<b>- Medidas a tomar en caso de incendio o explosión -</b>	
Medidas de extinción apropiadas	Coordinar las medidas de extinción con los alrededores agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).
Medidas de extinción inadecuadas	Agua.
Productos de descomposición	Humos tóxicos.
Equipos de protección personal especiales	Llevar un aparato de respiración autónomo.
Instrucciones para combatir el fuego	Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales.
<b>- Medidas a tomar para la disposición final de residuos -</b>	
Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.	

*Fuente: Roth 2018*

### **14.5 Protección individual**

La seguridad e higiene en un establecimiento, previo a utilizar los elementos de protección personal, consta de los siguientes pasos a la hora de resolver un riesgo identificado:

- Eliminar la fuente que genera el problema de seguridad.
- Sustituir el problema en caso de que no se pueda eliminar.
- Aislar el problema en caso de no poderse sustituir.

Las principales causas de los accidentes son las salpicaduras químicas que pueden ocurrir por ejemplo si explotan tuberías o cubas bajo presión o durante el desmontaje de las canalizaciones y de las válvulas. Es importante que se cuente con el completo uniforme y sobre todo que se encuentre en las perfectas condiciones de calidad, y limpieza.

Estos elementos que son utilizados o sujetados por el trabajador en la industria, para protegerlo de uno o varios riesgos y aumentar su seguridad o el cuidado de la salud en el trabajo, se denominan Elementos de Protección Personal y son indispensables para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados.

Los mismos deben ser provistos por el empleador o el responsable del departamento de seguridad y en algunas categorías tienen que estar certificados por uno de los dos únicos entes certificadores reconocidos por la Secretaría de Comercio en la Argentina: IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), Internacional Quality Certifications y UL (Underwriters Laboratories) (*Resolución SRT N° 299, 2011*).

Los elementos de protección personal deben proporcionar la máxima comodidad y alta eficiencia para que el usuario no sufra un accidente. Los equipos no deben restringir los movimientos del empleado, sino contribuir a la seguridad del individuo durante su trabajo.

Por lo tanto, deben ser fabricados de acuerdo con las normas de construcción nacionales e internacionales, que verifican todos los procesos de fabricación y determinan si están contruidos con los materiales correctos. Su uso correcto y permanente durante el trabajo en plantas industriales es fundamental (*Bioseif 2017*).

La Resolución SRT N° 299/2011 crea el formulario de registro de entrega de elementos de protección personal y ropa de trabajo que debe ser completado por el responsable de higiene y seguridad o por la ART según corresponda, y suscripto por el trabajador.

En la siguiente figura se representa un ejemplo de la indumentaria y los elementos que debe poseer el personal en una fábrica.



**Figura 14-1:** Elementos de protección del personal

*Fuente: Bioseif 2017*

Aunque no hay que descartar que los individuos ajenos a la empresa también deban llevar sus elementos de protección para evitar accidentes. Dichos elementos de describen a continuación.

En industrias petroquímicas es recomendable usar, casco, googles, ropa de algodón, protección auditiva, y alguna mascarilla de respiración o comúnmente llamada equipo de escape (*Bioseif, 2017*)

Es importante recordar que los elementos de protección personal no eliminan los riesgos, solo los minimizan, teniendo cada elemento limitaciones de uso. Y que dichos elementos, no son intercambiables con los demás trabajadores de la planta. Además, se debe limpiar y desinfectar el equipo, inspeccionarlo periódicamente, y almacenarlo en forma adecuada.

La función básica de un equipo de protección personal es la de establecer una barrera entre el usuario del equipo y el producto agresivo. La elección de la protección estará determinada por la peligrosidad del agente, el tiempo de exposición, el nivel de contacto.

Los cuadros siguientes muestran, según la zona del cuerpo a proteger, el equipo de protección que será utilizado por el trabajador. La norma IRAM que establece las características de cada elemento de protección personal dependerá no solo del elemento de protección específico, sino también de las características apropiadas que se requieran para cada trabajador en particular.

<b>Tabla 14-14:</b> Protección corporal
Elemento protector y campo de aplicación
La ropa de trabajo utilizada tendrá las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"><li>– Será de tela flexible, permitiendo una fácil y rápida limpieza y desinfección de la misma en forma adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.</li><li>– Ajustará bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.</li><li>– Se eliminarán o reducirán en lo posible elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones, partes vueltas hacia arriba, y cordones; por razones higiénicas y para evitar enganches.</li><li>– Se prohibirá el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional, como ser: corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos.</li><li>– En ocasiones especiales la ropa de trabajo será de tela impermeable, incombustible, de abrigo resistente a sustancias agresivas; y siempre que sea necesario, se dotará al trabajador de delantales, mandiles, petos, chalecos, fajas, cinturones anchos y otros elementos que puedan ser necesarios.</li></ul>

Fuente: Ley 19587. 2017.



**Tabla 14-15:** Protección craneana.

Elemento protector y campo de aplicación



Su uso es personal y obligatorio y se cambiará al sufrir algún impacto violento. Con el casco de seguridad el trabajador se protege de:

Caídas de objetos.  
Golpes en la cabeza.  
Proyección violenta de objetos.  
Contactos eléctricos.

*Fuente: Ley 19587. 2017.*

**Tabla 14-16:** Protección ocular y/o facial

Elemento protector y campo de aplicación



Cuando haya riesgo para los ojos, por proyecciones o salpicaduras, es obligatorio el uso de gafas o pantallas de seguridad adecuadas. Se debe utilizar protección ocular o facial si está expuesto a:

Proyección de partículas sólidas y/o líquidos.  
Exposición a radiaciones nocivas (soldadura oxiacetilénica o eléctrica, etc.).  
Exposición a atmósferas contaminadas.

Tipos de protectores:

Anteojos de seguridad.  
Antiparras.  
Protectores faciales.  
Protectores oculares y/o faciales para trabajos de soldadura y corte.

*Fuente: Ley 19587. 2017.*

**Tabla 14-17:** Protección respiratoria

Elemento protector y campo de aplicación



Se debe utilizar protección respiratoria cuando la concentración de polvo, de diferentes gases y/o vapores presentes en el aire supere los valores estipulados en la legislación vigente. Su elección dependerá del tipo de contaminante, el tiempo de exposición y las características del trabajo a realizar.

En todos los casos asegúrese que, la máscara se adapte bien a su rostro (no use barba); los elementos o cartuchos filtrantes se encuentren en buen estado y hayan sido inspeccionados regularmente.

Se puede hacer una clasificación de la siguiente manera.

Dependientes del medio ambiente:

- Barbijos.
- Respiradores.
- Mascara facial.

Independientes del medio ambiente:

- Equipo autónomo portátil (utilizan filtros) de circuito cerrado o de circuito abierto.
- Equipo de succión (suministra aire) pulmonar o forzado.
- Equipo de aire comprimido provenientes de cilindro o provenientes de compresor.

*Fuente: Ley 19587. 2017.*

**Tabla 14-18:** Protección de pies

Elemento protector y campo de aplicación



Los zapatos de seguridad son de uso obligatorio. Ellos protegen de:

Caída de elementos pesados y objetos punzantes.

Pinchaduras.

Cables o conexiones eléctricas expuestas.

Manipulación de productos químicos o hidrocarburos.

Tipos:

Zapatos.

Botines.

Botas de seguridad (con puntera y/o suela de acero).

Para el caso de los electricistas, sólo en el caso de trabajar bajo tensión, zapatos dieléctricos (sin puntera y/o suela de acero ni hojalillos de acero).

*Fuente: Ley 19587. 2017.*

**Tabla 14-19:** Protección de manos y brazos

Elemento protector y campo de aplicación



Se deben utilizar guantes de seguridad de acuerdo al tipo de tarea que se vaya a emprender.

Se los debe utilizar cuando se esté expuesto a peligros tales como:

Contacto con sustancias peligrosas.

Cortes y raspaduras severas.

Quemaduras químicas o térmicas.

Trabajar con circuitos eléctricos o cerca de ellos (en éste caso los guantes deben ser dieléctricos).

Además, tener en cuenta que:

Se debe mantener las manos alejadas de cualquier carga en movimiento.

Nunca atar el cable guía de una carga al cuerpo o a las manos.

Si está trabajando con máquinas-herramientas no utilice anillos ni pulseras.

Para clavar un elemento a golpes de maza, sostener a éste con alguna pinza o soporte para no golpearse las manos.

*Fuente: Ley 19587. 2017.*

**Tabla 14-20:** Protección auditiva

Elemento protector y campo de aplicación



Si se llevan a cabo operaciones que generan un nivel de ruido elevado es necesario hacer uso de protecciones auditivas. Usarlas correctamente rebaja el nivel de ruido que llega al oído y consiguientemente el nivel del riesgo de lesión. Para que resulten eficaces, los protectores auditivos deben ser llevados durante todo el tiempo que dure la exposición.

Tipos más comunes de protección auditiva:

Insertores: Se insertan dentro del conducto auditivo externo. Su nivel de atenuación oscila en el rango de los 25 db.

Cobertores o de Copa: Cubren todo el pabellón de oído y la zona ósea. El nivel de atenuación es de hasta 45 db.

Desechables: Son aquellos que duran solo una jornada de trabajo y luego de usarlo se tiran. Se fabrican de lana, algodón, cera, etc.

*Fuente: Ley 19587. 2017.*

**Tabla 14-21:** Protección en altura

Elemento protector y campo de aplicación



Se debe utilizar cinturón o arnés de seguridad cuando se trabaje en techos, azoteas y en todo lugar que no cuenten con barandas perimetrales, cuando se realice tareas en andamios, durante el montaje y desmontaje de éstos, cuando se trabaje en armaduras de acero en altura, o en silletas y cuando se efectúe todo tipo de tareas por encima de 1,8 m sin baranda de protección. También cuando el jefe del Servicio de Higiene y Seguridad, el empleador o la ART lo consideren necesario.

El sistema anti caídas debe ser amarrado a un elemento resistente, revisándose frecuentemente el elemento de amarre y el mosquetón. Sin este requisito No se deberá iniciar el trabajo.


*Fuente: Ley 19587. 2017.*

## 14.6 Carteles y señalización

La señalización adecuada en los diversos ambientes de trabajo es fundamental tanto para mejorar las condiciones laborales, así como para actuar en forma rápida, organizada y eficaz frente a una situación de riesgo. El realizar una campaña de señalización en la empresa, no elimina riesgos, sino que es un complemento que tiende a evitar o reducir la cantidad de accidentes dentro de esta.

Al respecto, la legislación establece las señales que deben estar presentes en la industria. Estas pueden ser ópticas, olfativas, táctiles o acústicas. Las ópticas son aquellas que resultan de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo o pictograma, atribuyéndoseles un significado determinado. Cada color y forma posee un significado propio a fin de que las distintas personas puedan identificarlas, y son estas las principales señales que se utilizarán en la planta.

Los cuadros siguientes muestran las señales que se pueden llegar a visualizar en la planta industrial y lo que representa cada una de estas señales.

Tabla 14-22: Señales de información	
Proporciona información necesaria para realizar una tarea determinada y para informarte de los peligros que pueden existir en un determinado lugar de trabajo. Imagen blanca, contraste blanco y fondo de color verde.	
Señal y su respectivo significado	
	<p><b>Botiquín:</b> Esta señal informa donde está situado el botiquín por si se sufre algún tipo de lesión, que debe estar completo para poder curar lesiones de poca gravedad.</p>
	<p><b>Flecha abajo:</b> Esta señal indica las posibles salidas de socorro; pueden estar situadas en cualquier lugar de la fábrica y en cualquier dirección.</p>
	<p><b>Salida:</b> Esta señal indica cual es la salida de emergencia o socorro.</p>

Fuente: Iftem. 2017.

Tabla 14-23: Señales de prohibición	
Indican aquellas cosas que no se pueden realizar, que están prohibidas. Estas señales son de especial importancia ya que impiden el acceso o la realización de algún acto en un lugar para que no se corran riesgos. Forma redonda. Pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45° respecto a la horizontal) rojos; el rojo deberá cubrir como mínimo el 35% de la superficie de la señal:	
Señal y su respectivo significado	



PROHIBIDO  
APAGAR  
CON AGUA

**Prohibido apagar con agua:** Indica que no se puede apagar el fuego con agua, ya que podría producirse algún daño humano o material.



PROHIBIDO  
BEBER AGUA

**Prohibido beber agua:** Indica que no se puede beber agua, ya que podría estar contaminada, pudiendo ser apta para uso industrial pero no para consumo humano.



PROHIBIDO  
EL PASO  
DE PEATONES

**Prohibido el paso de peatones:** Indica que está prohibido el paso de peatones por la zona, ya que se corren riesgos de algún accidente.





PROHIBIDO  
FUMAR

**Prohibido fumar:** Indica que está prohibido fumar en el lugar, ya que el fumar puede generar un siniestro.



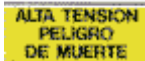
PROHIBIDO  
FUMAR Y  
ENCENDER FUEGO

**Prohibido fumar y encender fuego:** Indica que además de estar prohibido fumar en el lugar, también está prohibido hacer fuego en el sitio, ya que ambos pueden ocasionar un siniestro, y como consecuencia daños irreparables.









**Prohibido el acceso sin autorización:** Indica que no se puede acceder a la zona, y que el ingreso está restringido para la entrada solo de personal autorizado.

Fuente: Iftem. 2017.

Tabla 14-24: Señales de advertencia	
Indican algún peligro que se puede tener o algo que puede ocurrir si no se va con precaución; advierten de algún peligro. Forma triangular. Pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal), bordes negros.	
Señal y su respectivo significado	
 	<p><b>Alta tensión:</b> Esta señal indica que existe riesgo de que pase por el cuerpo una tensión muy elevada y genere como consecuencia la muerte.</p>
 	<p><b>Atención:</b> Esta señal indica que manejarse con precaución porque existe algún tipo de riesgo; sin embargo no especifica el riesgo a que se está expuesto.</p>
 	<p><b>Vehículo industrial:</b> Esta señal indica la presencia de algún vehículo industrial en el lugar en que se está.</p>



 <b>RIESGO TÓXICO</b>	<p><b>Riesgo tóxico:</b> esta señal indica la presencia de sustancias tóxicas en el ambiente laboral</p>
 <b>RIESGO CAUSTICO</b>	<p><b>Riesgo cáustico:</b> Esta señal indica la presencia de sustancias corrosivas en el ambiente laboral.</p>
 <b>RIESGO DE INCENDIO</b>	<p><b>Riesgo de incendio:</b> Esta señal indica que puede provocarse un incendio muy fácilmente.</p>
 <b>RIESGO DE EXPLOSIÓN</b>	<p><b>Riesgo de explosión:</b> Esta señal indica que puede provocarse una explosión muy fácilmente.</p>
 <b>RIESGO ELECTRICO</b>	<p><b>Riesgo eléctrico:</b> esta señal indica que en lugar hay corriente eléctrica, y por lo tanto, peligro de descarga.</p>

Fuente: Iftem. 2017.

<p><b>Tabla 14-25:</b> Señales de obligación</p>
<p>Proporciona información acerca de lo que se debe cumplir en forma obligatoria en el lugar de trabajo o en un lugar específico. Contraste blanco y color de la señal azul.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Señal y su respectivo significado</b></p>



ES OBLIGATORIO  
USAR CALZADO  
DE SEGURIDAD

**Uso de calzado de seguridad:** Informa que es obligatorio llevar el calzado apropiado para el lugar.



ES OBLIGATORIO  
USAR CASCO

**Uso de casco:** Informa que es obligatorio llevar casco.



ES OBLIGATORIO  
USAR GANTES

**Uso de guantes:** Informa que es obligatorio el uso de guantes.



PROTECCIÓN INDIVIDUAL  
OBLIGATORIA  
CONTRA CAÍDAS

**Uso de protección contra caídas:** Informa que es obligatorio llevar algo que haga de protección contra caídas de gran altura.



PROTECCIÓN  
OBLIGATORIA  
DEL CUERPO

**Uso de protección del cuerpo:** Informa que es obligatorio el uso de un mono para trabajar.



PROTECCIÓN  
OBLIGATORIA  
DEL OÍDO

**Uso de protección de oídos:** Informa que es obligatorio el uso de alguna protección auditiva.



**Uso de protección de la vista:** Informa que es obligatorio el uso gafas para protección de los ojos.



**Uso de protección facial:** Informa que es obligatorio el uso máscara para la cara.



**Vía obligatoria para peatones:** Informa que el lugar en el que se está o se va a transitar es exclusivo para peatones y que ningún tipo de transporte puede circular por el mismo.

*Fuente: Ifem. 2017.*

**Tabla 14-26:** Señales de lucha contra incendios

Proporciona información sobre elementos de lucha contra incendios. Forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).

**Señal y su respectivo significado**



**Boca de incendio:** esta señal enseña donde está situada la boca de incendio más próxima.



**Extintor:** esta señal muestra donde está ubicado el extintor más próximo; la flecha indica que el extintor se encuentra debajo de ella.

*Fuente: Ifitem. 2017.*

Deberán también demarcarse las zonas de circulación de operarios, transportadores y equipos de emergencia, así como las zonas de proceso, con franjas de color amarillo que indiquen dirección y sentido de circulación en pasillos y caminos. Es fundamental destacar en todos los casos los cruces, desviaciones u obstáculos donde puedan encontrarse elementos de transporte, contarán con indicación del peligro mediante franjas anchas de color amarillo. El pintado de cañerías cumplirá con los requisitos instaurados en la Norma IRAM 2507.

COLOR	IRAM	SIGNIFICADO
Naranja Internacional	02-1-040	Vapor de agua
Verde Claro	01-1-120	Agua fría
Amarillo	05-1-020	Combustibles líquidos y gases
Bermellón	03-1-080	Elementos de protección anticorrosivos
Gris Industrial	09-1-060	Productos inflamables
Castaño	07-1-120	Vacio
Azul Industrial	08-1-070	Aire comprimido
Negro	11-1-050	Electricidad
Verde Claro con franjas Naranja Internacional		Agua caliente
Gris Industrial con franjas Naranja Internacional		Productos peligrosos

**Figura 14-2:** Pintado de cañerías

*Fuente: Ifitem 2017*

### 14.7 Protección colectiva

La protección colectiva la componen todas las medidas de protección pasiva consideradas en las diversas áreas; aquí se detallan los equipos y agentes extintores existentes en la planta. El tipo de equipo a utilizar dependerá del tipo de fuego que se pueda llegar a generar de acuerdo a las sustancias manipuladas en el proceso.



**Figura 14-3:** . Equipos extintores

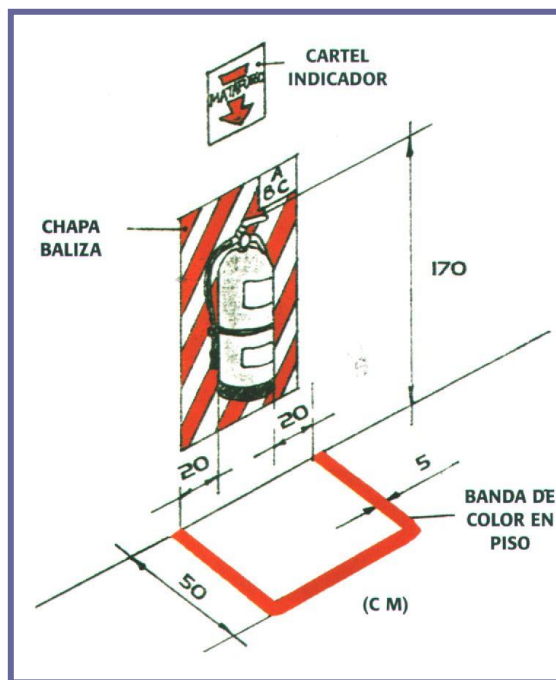
*Fuente: Iitem 2017*

En la figura 14-4 se observa la forma correcta de como instalar un matafuego. Se deben colocar en lugares que sean visibles y que tengan fácil acceso, de forma que se puedan tomar rápidamente en caso de incendio. Se debe evitar lugares oscuros cuya visualización sea dificultosa.

Por general estos equipos son instalados sobre una pared o columna a través de un soporte fijado a la misma sobre el cual se cuelga el equipo. Detrás del matafuego se deberá colocar la correspondiente chapa baliza, que tiene como objetivo indicar la ubicación del mismo y las clases de fuego para los cuales son aptos.

El equipo debe estar instalado de tal forma que la placa de accionamiento de la válvula quede a 1,70 metros del piso; en el mismo deberá pintarse una bandada de color rojo

de 5 cm de ancho, dejando 20 cm a cada lado del matafuego y extendiéndola hasta 50 cm de pared. Además, se colocarán carteles indicadores por sobre la chapa baliza a una altura tal que sea avisado a la distancia y por sobre los objetos que pueden obstaculizar la visual del equipo (Ley 24557, 2015)



**Figura 14-4:** Forma correcta de instalar un extintor  
*Fuente: Iftem. 2017.*

#### 14.7.1 Protección contra incendios

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen.

**Tabla 14-27:** Consideraciones sobre Protección contra incendios

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de agua contra incendios.</li> <li>- Sistemas de agua de reserva.</li> <li>- Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios.</li> <li>- Extintores contra incendios.</li> <li>- Alarmas de incendio.</li> </ul>
--

*Fuente: Ley 19587. 2015.*

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del responsable en higiene y seguridad asegurarse de que dicha protección este plasmada en el diseño y posteriormente en la práctica.

**14.7.1.1** Procedimiento de extinción de un posible incendio.

Al descubrirse un incendio se procederá del siguiente modo y en el orden que se establece:

1. Ubicar el foco del incendio.
2. Alejar materiales explosivos, inflamables o combustibles del lugar del incendio.
3. Determinar qué material se quema para proceder a apagar el fuego con los elementos apropiados.
4. Establecer la proporción del incendio para disponer la cantidad de elementos necesarios.
5. Pedir colaboración si ello fuera necesario.

Al atacar el fuego se deben tener en cuenta las siguientes acciones:

- a. Cortar la corriente eléctrica en el sector.
- b. Cortar toda corriente de aire en caso de ser posible.
- c. Atacar el fuego lo más cerca posible, con viento a favor de modo de aprovechar al máximo la capacidad del elemento extintor.
- d. Desde la menor distancia posible, dirigir el chorro sobre la base del fuego y no al centro, barriendo en zig-zag y en lo posible alrededor del incendio para atacarlo por todos los costados.
- e. Encerrar el fuego para evitar su propagación.
- f. Utilizar el material indispensable con el máximo rendimiento, teniendo en cuenta que cada extintor o boca de incendio abastece a una zona que no debe quedar desprotegida en ningún momento, salvo que sea por una razón bien justificada.
- g. Actuar siempre con serenidad.

El personal de la empresa deberá estar capacitado para reaccionar ante casos de incendio. Las personas mejores capacitadas serán las que deban actuar en el momento del incendio. Las demás estarán en condiciones de aprender las maniobras necesarias cuando las cargas de los matafuegos estén a punto de vencer.

**14.7.1.2** Plan de emergencia y evacuación.

Existirá en la planta un plan de emergencia de conocimiento general por la totalidad del personal. Dicho plan será llevado a cabo en caso de ocurrencia de una emergencia.

En caso de una eventualidad tal, se deberá llamar desde cualquier teléfono de planta habilitado para tal fin, citando la emergencia observada, lugar y nombre de quien habla. Los teléfonos estarán conectados con el departamento de higiene y seguridad, cuyos miembros deberán brindar rápidamente la asistencia necesaria; además desde estos teléfonos se pueden realizar llamadas de emergencia al exterior de la fábrica.

Ante tales circunstancias las personas deberán resguardarse en lugares seguros y a la espera de instrucciones. En ningún caso deberán acercarse al lugar del siniestro.

Cuando las personas presentes en el predio escuchen tres toques prolongados de sirena, deberán dirigirse a la salida de emergencia más alejada del sector del siniestro.

Para llevar a cabo la evacuación es que se dispondrá de un plan de evacuación, también de conocimiento general. Este plan incluirá lo siguiente:

- Reconocimiento del sonido de la alarma.
- Plano indicativo de salidas de principales y secundarias.
- Designio de las personas encargadas de dar aviso a los bomberos.
- Abandono total de las actividades y salida del recinto en forma segura, rápida y en silencio.
- Punto establecido de reunión fuera del edificio.

Se dispondrá de un plan alternativo, para el caso en que no se pudiera cumplir con el plan original. Tanto para el cumplimiento del plan original como del alternativo, es que se llevarán a cabo simulacros de evacuación (incluidos en la capacitación de personal), de forma tal de asegurarse que el personal sepa cómo lograr una buena evacuación, ordenada y eficaz, cuando las circunstancias así lo requieran.

#### **14.7.1.3 Sistema de alarma.**

La planta estará equipada con un sistema de alarma contra incendio compuesto de los elementos que se muestran en la siguiente tabla.



<p><b>Tabla 14-28:</b> Sistema de alarma</p>
<p>Equipo y campo de aplicación</p>
 <p><b>Alarma contra incendios:</b> conectada a un grupo electrógeno de modo que quede asegurado su funcionamiento.</p>
 <p>Sistema de aspersión automática de agua.</p>
 <p><b>Detectores de humo:</b> ubicados en los recintos cerrados de la planta; activan la alarma contra incendios.</p>

*Fuente: Ley 24557. 2015.*

#### 14.8 Selección y capacitación

Con el propósito de complementar las medidas técnicas implementadas en la empresa y con el fin de que las normas de uso interno sean aplicadas en forma correcta, es que la empresa seleccionará los empleados de acuerdo a sus aptitudes físicas y psíquicas y desarrollará programas de capacitación para adiestrar a todo el personal sobre lo concerniente a higiene y seguridad en los puestos de trabajo y en la planta en general.

Por lo tanto, la selección e ingreso de personal la efectuarán en forma conjunta y coordinada el departamento de higiene y seguridad, los servicios de medicina y otras dependencias relacionadas. Esto se hará teniendo en relación con los riesgos de las respectivas tareas, operaciones y manualidades profesionales.

Al respecto, es de incumbencia del servicio de medicina, lo detallado en el siguiente punto determinando de tal modo la aptitud de un empleado en relación a la tarea a desempeñar.

En cuanto a la capacitación del personal, se lo adiestrará como se dijo anteriormente, basándose en material educativo gráfico, medios audiovisuales, avisos y carteles. Dicho adiestramiento se concretará en:

Cursillos teóricos:

Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.

- Operaciones.
- Seguridad general.
- Defensa contra incendios (prevención y extinción).
- Primeros auxilios.
- Planes de emergencia.
- Mantenimiento.

Entrenamiento práctico:

- Ejercicios de extinción contra el fuego.
- Simulacros de emergencia.
- Simulacros de primeros auxilios.

Las jornadas de capacitación se realizarán en todos los niveles jerárquicos de la empresa.

La empresa hará acuerdos con la compañía de seguros, para que sea esta quien a través de medios y personas puestos a tal disposición, sea la encargada de impartir los cursos y el entrenamiento relativos a la seguridad (*Ley 24557, 2015*).

#### **14.8.1** Servicio de medicina laboral

La Ley N° 19587/72 impone a los empleadores y a los trabajadores en general, la obligación de cumplir con la normativa vigente sobre higiene y seguridad en el trabajo. En lo que respecta a servicio de medicina, se respetará lo establecido en los artículos correspondientes, a saber:

- Servicio de medicina.
- Exámenes médicos.
- Responsabilidad de asesoramiento (higiene y seguridad en los ambientes laborales).

El servicio será desarrollado por profesionales médicos contratados por la empresa o en centros habilitados por la autoridad sanitaria. Dichos profesionales deberán cumplir con los requisitos de la especialidad laboral, además deberán justificar su condición con el registro que los habilita.

La empresa constará de una sala con un botiquín de primeros auxilios y se capacitará a los trabajadores sobre el manejo del mismo y cómo reaccionar ante los posibles accidentes relacionados con las sustancias que se manejan en la industria. Para accidentes de mayor envergadura la empresa recurrirá al servicio de una prestación médica externa.

#### **14.8.2** Parada de planta.

Frente a una emergencia puede llegar a ser necesaria una parada de planta. Para llevar a cabo este propósito es que todos los equipos de la planta tendrán dispositivos automáticos que aseguren la interrupción del suministro de fluido cuando se produzca alguna anomalía, la planta completa cesa su actividad en caso de que se inicie un incendio (*Ley 19587, 2017*).

# **CAPÍTULO XV**

## **ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA**

## CAPÍTULO XV: ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

### 15.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe el procedimiento de organización de la empresa y los miembros que intervienen en ella. Las personas que forman parte de ella deben trabajar de manera interrelacionada para administrar de forma óptima los recursos disponibles alineando todos sus esfuerzos hacia el logro de ese objetivo común.

El concepto de organización, asegura una equilibrada y permanente relación entre las diferentes áreas que la componen y que trabajan para alcanzar los objetivos planteados. Para ello, debe existir una administración que defina y estructure los roles que los miembros de la organización deben ejecutar.

Además, se define el tipo de sociedad comercial establecido, se describen las diferentes áreas que integran la empresa, las funciones de cada puesto de trabajo y se elabora un organigrama donde se explican los niveles de jerarquía dentro de la empresa. Se detallan los turnos de trabajo y cómo se organiza la semana laboral correspondiente a los empleados.

### 15.2. Tipo de sociedad

La Ley Nacional de Sociedades Comerciales 19.550/1984 de la República Argentina contempla una gran variedad de tipos societarios. Los más utilizados en nuestro país son la sociedad anónima (S.A.) y la sociedad de responsabilidad limitada (S.R.L.). Para el caso contemplado se decide optar por la sociedad anónima, cuyo capital se representa por acciones y los socios limitan su responsabilidad a la integración de las acciones suscriptas. Esto hace que este tipo de sociedad represente una seguridad financiera alta respecto de las demás, debido a que sus socios deberán responder, como máximo, con el capital aportado. Para su conformación se requiere un mínimo de dos accionistas, siendo el máximo ilimitado. Las acciones pueden cotizar, o no, en el mercado de valores local. El directorio está conformado por uno o más miembros, que pueden ser o no accionistas.

Debe también subrayar, que la S.A. es el tipo societario que predomina en el mundo globalizado, es la sociedad capitalista por excelencia, y numerosas empresas prestigiosas internacionalmente, adoptan esta forma societaria.

### 15.3. Organigrama, diseño de cargos y funciones del personal

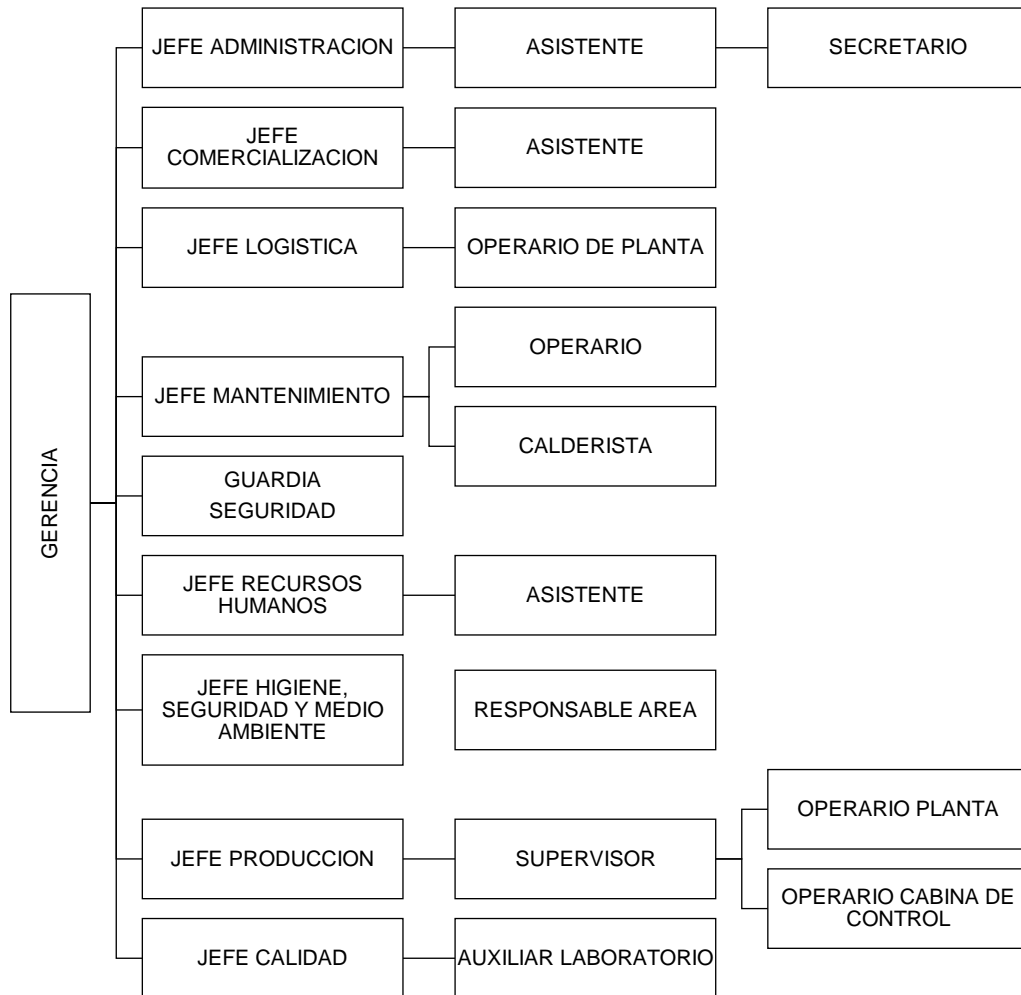
Para la organización interna de la empresa de producción de p-xileno se trabaja con departamentos, creados en función de las actividades a realizar. Cada departamento posee un jefe que responde a la gerencia general y que están a cargo del personal correspondiente a su área.

Es necesario contar con una planificación adecuada de las tareas de cada una de las partes que intervienen en cumplir un objetivo en común. Dicha planificación implica establecer procedimientos operacionales, dentro de un determinado orden.

Se mencionan las funciones de los siguientes niveles jerárquicos:

- Gerencia General
- Jefes de Servicio de cada Departamento
- Operarios

En la figura 15-1 se representa el organigrama de jerarquización de la empresa.



**Figura 15-1:** Organigrama de la empresa  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 15.4. Puestos de trabajo de cada área

Aquí se describen las funciones de cada integrante de la empresa desde la gerencia hasta los operarios involucrados en el proceso productivo. En la siguiente tabla se detallan los puestos demandados en cada departamento, el sexo, perfil y cargo correspondiente, así como la cantidad de personal necesario para cada área.

**Tabla 15-1:** Personal de la empresa.

Sector	Puesto	Cant	Total	Género		Horarios	Profesión-Especialidad
				F	M		
Gerencia	Gerente general	1	1		x	Central	Ing. Químico, Contador, Lic. En economía
Administración	Jefe administrativo	1	1	x		CENTRAL	Contador
	Asistente de administración	2	2	x			Licenciado en administración-Contador
	Secretario	1	1	x			Licenciado en administración
Comercialización	Jefe de comercialización	1	1	x		CENTRAL	Licenciado en marketing
	Asistentes de comercialización	3	3	x			Licenciado en comercialización
Logística	Jefe de logística	1	1		x	Central	Técnico Superior en logística
	Operarios de planta	2 x turno	6		x	Rotativo	Secundario completo
Mantenimiento	Jefe de mantenimiento	1	1		x	Central	Ingeniero mecánico
	Operario de mantenimiento	4 x turno	12		x	Rotativo	Técnico mecatrónico
Seguridad	Guardia de seguridad	2 x turno	6		x	Rotativo	Secundario completo
Recursos humanos	Jefe de recursos humanos	1	1	x		Central	Lic. En recursos humanos.
	Asistentes de recursos humanos	2	2	x		Central	Secundario completo. Especialista
Departamento de higiene, seguridad y medioambiente	Jefe del departamento	1	1	x		CENTRAL	Ingeniero químico
	Responsables del área	3	3	x			Ingenieros químico
Producción	Jefe de producción	1	1	x		Central	Ingeniero químico
	Supervisor	1 x turno	3		x	Rotativo	Técnico universitario en química
	Operadores de planta *	6 x turno	18		x	Rotativo	Secundario completo, Técnico Universitario en Química
	Operador cabina de control *	2 x turno	6	x	x		Técnico universitario en química

Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

Control de calidad	Jefe de calidad	1	1	x		Central	Ingeniero químico
	Auxiliar de laboratorio	3	3	x		Rotativo	Técnico universitario en química
Sala de calderas	Operador de caldera	1 x turno	3		x	Rotativo	Calderista matriculado
Servicio médico	Médico	1	1		x		Médico clínico
	Auxiliar médico	1	1	x			Enfermera
Cocina y comedor	Personal de cocina y comedor	6	6	x	x		Experiencia en comedores
Limpieza	Personal de limpieza	2	2	x			
Total de mujeres						30	
Total de hombres						57	
Total de empleados						<b>87</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación se describen cada uno de los puestos de trabajo de la empresa en cada área definida.

#### **15.4.1. Gerencia**

Gerente general: es la máxima autoridad de la empresa. Su función es la de transmitir y hacer cumplir los objetivos planificados. Además:

- Ejerce la representación legal de la empresa y participa en reuniones con instituciones públicas y privadas.
- Garantiza el cumplimiento de las normas, reglamentos, políticas, instructivos internos y los establecidos por las entidades de regulación y control.
- Participa en reuniones con Asociaciones, Cámaras, Ministerio y demás instituciones Públicas y Privadas.
- Controla y supervisa los reportes financieros, comparando los resultados reales con los presupuestados.
- Controlar los costos y rentabilidad de la empresa.
- Controlar los índices y costos de producción, planes y programas de producción.
- Controlar la administración de los recursos monetarios y el cumplimiento de regulaciones en materia tributaria, arancelaria y demás obligaciones legales.

El perfil profesional buscado será: Licenciado en Economía, Contador o Ingeniero Químico especializado en Administración.

#### **15.4.2. Departamento de administración**

El departamento de administración se encarga de la organización dinámica de la empresa orientando sus esfuerzos hacia el cumplimiento de los objetivos de la empresa. Además es su deber optimizar las relaciones entre cliente, proveedores, mercado económico y fuentes de financiamiento.

Jefe administrativo: se encarga de la supervisión y control del área administrativa y de la revisión y aprobación del balance contable mensual y anual.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.

Asistente de administración: Debe realizar diversas tareas administrativas como atención a proveedores, pedidos de cotización, compra de insumos, atención a clientes, facturación del producto vendido, registro contable de las operaciones comerciales, liquidación de sueldos, pagos y cobranzas, confección de balances contables mensuales y anuales, entre otras.

Secretario: Tiene como función colaborar con sus superiores en el área de administración.

Otra tarea importante a cargo de este departamento es gestionar con los departamentos de comercialización y producción la reposición de insumos según los planes de ventas/producción.

#### **15.4.3. Departamento de comercialización**

El departamento de comercialización tiene como tareas principales la evaluación del mercado para encontrar nuevas vetas para la venta de los productos y el análisis de las oportunidades que se presentan tanto para las ventas como para las compras que debe realizar la empresa.

Jefe de comercialización: Se encarga de la gestión de las ventas y las compras de la empresa, de la identificación de las zonas geográficas de comercialización, del desarrollo de planes y estrategias de marketing. Es el responsable de todo lo que se referido a la medición, planificación y dirección de los resultados de las operaciones económicas de la empresa. A su vez:

- Comprende el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados.
- Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto y embalajes.
- Involucra, además, los procesos de compra y recepción de materia prima.
- Garantiza el cumplimiento de los objetivos de ventas del producto elaborado, cumpliendo las políticas de la empresa.
- Es el encargado de llevar a cabo planes de acción que permitan reducir costos, plazos de entrega y tener stocks permanentes para responder a las necesidades del cliente.
- Verifica el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.

#### **15.4.4. Departamento de Logística**

En este departamento los operarios se encargan de la obtención y coordinación de los materiales, herramientas y servicios, transporte de productos y materia prima para su entrega al departamento de comercialización. Se encargan de planificar, desarrollar y aplicar procedimientos de almacenaje y transporte.

Jefe de Logística: Deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Planificar la estrategia para las actividades de suministro de la empresa (transporte, almacenaje, distribución) con el fin de garantizar la satisfacción del cliente.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.



- Desarrollar y aplicar procedimientos operativos para recibir, manejar, almacenar y enviar mercancías y materiales.

Operarios de planta: Cada operario involucrado en esta área deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Envasado de las materias primas en sus respectivos tanques de almacenamiento y trasvase de los productos de proceso a los tanques cisterna de transporte.
- Organización del depósito, control de stock.
- Control de peso de materia prima en camiones ingresantes y de producto terminado de camiones salientes en la balanza.

#### **15.4.5. Departamento de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento está a cargo, como su nombre indica, del mantenimiento, la reparación, reposición en el proceso productivo.

Jefe de mantenimiento: Debe establecer en forma conjunta con el gerente general y los operarios efectivos del área de mantenimiento de la empresa, el plan de mantenimiento anual y mensual del sistema eléctrico, mecánico y edilicio. Además, se encarga de establecer las prioridades, llevar un registro de repuestos e insumos para uso de maquinarias y equipos, definiendo y haciendo cumplir el programa de mantenimiento de la planta.

Operarios de mantenimiento: Deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc.

#### **15.4.6. Seguridad**

El personal de seguridad es responsable directo de las porterías de la planta y responsable de la guardia nocturna de la planta. Se encargan de la seguridad de toda la planta así como de las llaves de todos los sectores de la planta.

#### **15.4.7. Departamento de Recursos Humanos**

Jefe de Recursos Humano: debe tener características que le permitan dirigir a la plantilla de personal de la empresa. Entre estas características, las más importantes son:

- Organización y planificación del personal: consiste en planificar las plantillas de acuerdo con la organización de la empresa, diseñar los puestos de trabajo oportunos, definir funciones y responsabilidades, prever las necesidades de personal a medio y largo plazo, analizar los sistemas retributivos y de promoción interna.
- Reclutamiento: Conjunto de procedimientos enfocados a atraer candidatos competentes para un puesto de trabajo a la empresa
- Selección de las personas que han de trabajar en la empresa, realizando un análisis completo de todo lo que el candidato aporta al puesto de trabajo.
- Evaluación del desempeño y control del personal: desde recursos humanos han de controlarse aspectos como el absentismo, las horas extraordinarias, los movimientos de plantilla, la pirámide edad o las relaciones laborales, además de

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

corregir los desajustes entre las competencias del trabajador y las exigidas por el puesto.

Asistente de Recursos Humanos: Las funciones del asistente de recursos humanos son las siguientes:

- Colaborar con las tareas de reclutamiento y selección de personal.
- Colaborar con tareas de liquidaciones de sueldos de los empleados de la planta.

#### **15.4.8. Departamento de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente**

Dicho departamento está encargado de regular, aplicar, y hacer cumplir todos los reglamentos avocados a las normativas de seguridad e higiene en la fábrica.

Responsable de higiene y seguridad: es un profesional cuya función principal es la de controlar el cumplimiento de normas de higiene y seguridad, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Dirige los programas de capacitación en materia de seguridad industrial e higiene ocupacional. A su vez se encarga de controlar las emisiones al ambiente y los posibles focos de contaminación que pueden ser provocados en la industria. También:

- Elaborará el programa de seguridad en todas sus fases: planeación, ejecución y control.
- Integrará en el programa de aseguramiento las siguientes áreas: prevención de accidentes, prevención de siniestros, control de pérdidas, higiene ergonómica e industrial, medicina ocupacional y control ambiental.
- Identificará agentes potenciales de peligro en las distintas áreas de trabajo (agentes físicos, agentes químicos, agentes biológicos y agentes ergonómicos) así como las vías de entrada.
- Diseñar y recomendar estrategias de control y evaluar su eficacia.
- Conocer el marco jurídico para la práctica de la Higiene Industrial: Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo N° 19587, Ley N° 24557 de Riesgos del Trabajo.

#### **15.4.9. Departamento de producción**

El departamento de producción tiene a cargo la elaboración del producto, el desarrollo y la implementación de los planes productivos y el estudio de la factibilidad de nuevos procesos o de modificaciones de los ya existentes. Además, es su responsabilidad respetar los estándares y patrones de calidad para la obtención de un producto final de las características instituidas.

Jefe de producción: es el encargado de la supervisión, coordinación y ejecución de las actividades de producción cumpliendo funciones de jefe. Además, administra el personal a su cargo, asignándoles tareas, estableciendo las técnicas y los métodos de trabajo supervisando las actividades que realizan, y al mismo tiempo, haciéndoles cumplir las reglas de trabajo, convivencia y conducta.

Operarios de planta: Al tratarse de un proceso continuo, los operarios están a cargo de la tarea de controlar los parámetros (temperatura, presión, caudal, etc.) del proceso en general, respondiendo de manera adecuada ante eventuales desajustes. También

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

deberán asegurar las condiciones de su lugar de trabajo establecidos por el departamento de higiene y seguridad y medioambiente de la planta.

#### **15.4.10. Departamento de calidad**

El departamento de calidad se encarga de evaluar los parámetros físico-químicos que rigen el proceso de producción para que las características de los productos finales sea siempre la misma a lo largo del tiempo.

Jefe de calidad: su tarea principal consiste en definir la metodología para el control de los parámetros de calidad en el producto en proceso, la materia prima y el producto final. También se encarga de organizar las tareas del laboratorio, informar a la gerencia general, departamento comercial y departamento de producción, sobre los resultados de los análisis de calidad de los productos elaborados y de organizar y supervisar las tareas desarrolladas por sus subordinados.

Auxiliar de laboratorio: debe llevar a cabo los análisis sobre la materia prima, el producto en el proceso y el producto terminado. Conjuntamente deberá registrar e informar a sus superiores los resultados obtenidos y las desviaciones de los parámetros.

#### **15.4.11 Calderista**

El operario de la sala de calderas tendrá una función especial de controlar los parámetros de las calderas, conocer sobre sus funcionamientos óptimos y desviaciones, y actuar con serenidad en caso de alguna variación en los parámetros o fallas de los equipos antes mencionados.

#### **15.4.12. Personal tercerizado**

Sus horarios van a ser acordados con las empresas contratistas de cada área.

##### **15.4.12.1. Personal médico.**

Responsables de las tareas asignadas por el jefe del servicio de higiene y seguridad industrial. Del mismo modo debe Actualizar, reponer y mantener los instrumentales y materiales médicos necesarios.

##### **15.4.12.2 Personal de limpieza.**

Es el responsable directo de la higiene de los edificios administrativos.

##### **15.4.12.3 Personal de cocina y comedor.**

Tiene como responsabilidad los servicios de comedor para el personal de la planta.

### **15.5. Diagrama de turnos**

La obtención de p-xileno es un proceso continuo, por esta causa se define la carga horaria del personal afectado a la producción en sí, distribuyéndose en 3 turnos de 8 horas cada uno, teniendo en cuenta el horario destinado al descanso y alimentación.

El personal tercerizado de limpieza, el del servicio médico y el propio de comedor tendrán la misma disponibilidad de horarios que los operarios.

Para el personal dedicado a tareas administrativas y de mantenimiento y limpieza, al igual que los jefes de los diferentes departamentos el horario de trabajo será fijo y se realiza de 8:00 a 16:00 horas en turno central. Para el personal que rota en sus turnos

forma cuatro grupos (A, B, C y D), cada uno de los cuales cumplen con seis jornadas de trabajo y descansa dos, reintegrándose nuevamente al trabajo con otro horario.

Esta forma de trabajo certifica la rotación del personal, con el fin de ofrecer a cada trabajador el descanso demandado. Los horarios de los turnos rotativos son:

- Mañana 05:00 a 13:00 horas.
- Tarde 13:00 a 21:00 horas.
- Noche 21:00 a 05:00 horas.

De acuerdo a esto, el esquema de rotación para el personal de la planta es el siguiente:

<b>Tabla 15-2: Esquema de rotación del personal de la planta</b>								
<b>Semanas</b>	<b>Turno</b>	<b>Grupo de trabajo</b>						
		<b>L</b>	<b>M</b>	<b>X</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>S</b>	<b>D</b>
1	Mañana (M)	A	A	A	A	A	A	B
	Tarde (T)	B	B	B	B	C	C	C
	Noche (N)	C	C	D	D	D	D	D
2	Mañana (M)	B	B	B	B	B	C	C
	Tarde (T)	C	C	C	D	D	D	D
	Noche (N)	D	A	A	A	A	A	A
3	Mañana (M)	C	C	C	C	D	D	D
	Tarde (T)	D	D	A	A	A	A	A
	Noche (N)	B	B	B	B	B	B	C
4	Mañana (M)	D	D	D	A	A	A	A
	Tarde (T)	A	B	B	B	B	B	B
	Noche (N)	C	C	C	C	C	D	D
5	Mañana (M)	A	A	B	B	B	B	B
	Tarde (T)	C	C	C	C	C	C	D
	Noche (N)	D	D	D	D	A	A	A
6	Mañana (M)	B	C	C	C	C	C	C
	Tarde (T)	D	D	D	D	D	A	A
	Noche (N)	A	A	A	B	B	B	B
7	Mañana (M)	D	D	D	D	D	D	A
	Tarde (T)	A	A	A	A	B	B	B
	Noche (N)	B	B	C	C	C	C	C
8	Mañana (M)	A	A	A	A	A	B	B
	Tarde (T)	B	B	B	C	C	C	C
	Noche (N)	C	D	D	D	D	D	D

Fuente: Elaboración propia.

# **CAPÍTULO XVI**

## **ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO**

## CAPÍTULO XVI: ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO

### 16.1 Introducción

La evaluación económica financiera es un método de análisis que permite conocer la viabilidad concreta de un proyecto a lo largo de un período determinado y su rentabilidad real en el mediano y largo plazo. Al concretar un proyecto debe invertirse un capital significativo, que se espera recuperar junto con ganancias propias de la actividad. El rendimiento del mismo debe ser sustancial, de lo contrario sería más sencillo invertir en otras opciones menos riesgosas del mercado.

Basados en el estudio de los capítulos previos, los cuales manifiestan una factibilidad técnica para un mercado potencial de p-xileno, se procede a realizar en esta sección el estudio económico y financiero del proyecto.

Entre los objetivos propuestos para este capítulo, se encuentran:

- La estimación de la inversión y sus componentes principales, para darle valor al crédito necesario para cubrirla.
- El cálculo y análisis de los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes de la producción, como son los costos de materias primas e insumos, mano de obra, servicios, financieros, etcétera.
- Estimar los ingresos anuales por ventas de p-xileno.
- La determinación del estado de resultados que permite conocer si la empresa luego de cancelar los costos totales e impuestos, obtiene utilidades netas positivas.
- El cálculo de indicadores económicos más utilizados para determinar la rentabilidad de un proyecto. Estos son el VAN, la TIR y el PRI.
- Realizar un análisis de sensibilidad que permita deducir las condiciones en las que la empresa sigue siendo rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo.
- Como conclusión, establecer si el proyecto es viable analizando los ítems anteriores.
- Redactar conclusiones y brindar sugerencias para los aspectos más débiles del proyecto.

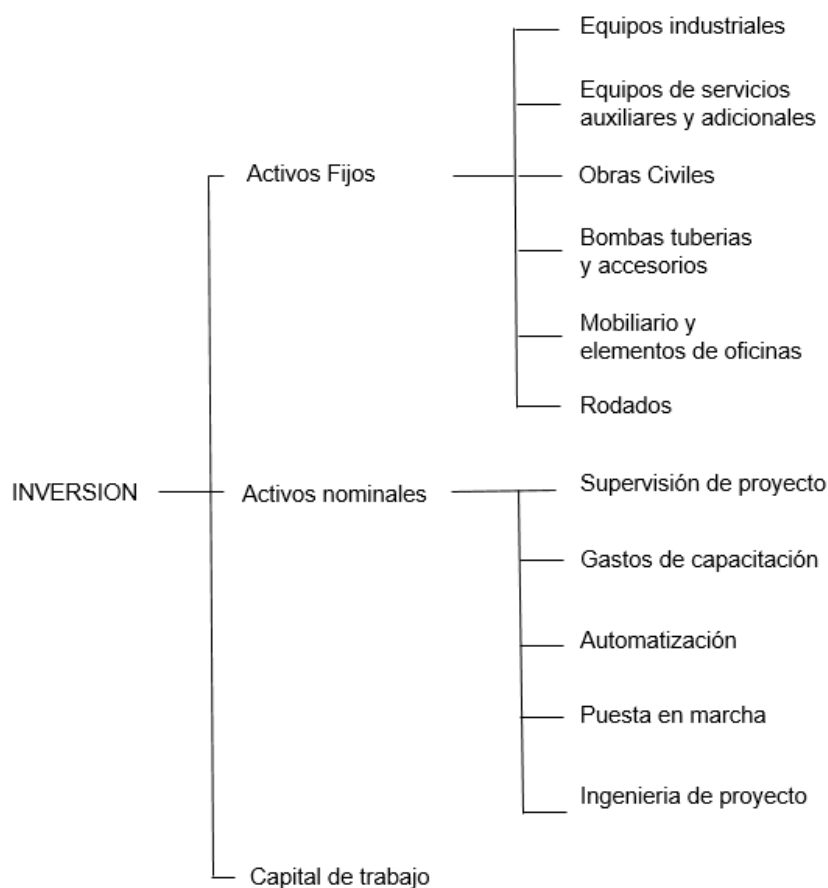
El estudio tiene en cuenta los montos de dinero expresados en pesos argentinos, con una equivalencia de cambio al dólar de 60,00 \$ARG/ USD, y considera un volumen de producción constante en el periodo del ejercicio económico de 10 años.

### 16.2 Inversión

Como inversión se entiende al capital necesario para hacer frente a un proyecto determinado y está compuesta por:

- activos fijos
- activos nominales
- fondo de maniobra.

En siguiente figura se representa la inversión con sus aristas más importantes (activos fijos) y las categorías que componen.



**Figura 16-1:** Resumen activos fijos.  
*Fuente: Elaboración propia*

### 16.2.1 Activos fijos

Se denominan activos fijos a aquellos bienes que son permanentes en el período de actividad de la empresa y son indispensables para su normal desarrollo. Lo cual, supone que no serán vendidos ni desechados en el corto plazo. Entre los activos fijos de la empresa se encuentran: obras civiles, equipos industriales y de servicios auxiliares, tuberías y accesorios, rodados y elementos de oficina. Para efectos contables, los activos fijos, están sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso. En la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 15/11/2019 del Banco de la Nación Argentina fue de \$60,00.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en nuestro país perciben el 21 % de impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera tienen una reducción del 50 % , es decir, 10,5 %.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor del 1,5 %.

#### 16.2.1.1 Obras civiles

La planta de producción de p-xileno se encuentra ubicada en la localidad de Ensenada, provincia de Buenos Aires, razón por la cual se toman los costos establecidos de terreno

en los boletines digitales del Colegio de Arquitectos de la Provincia de Buenos Aires. A continuación se detallan los resultados obtenidos.

**Tabla 16-1:** Estimación de los costos de obras civiles

Rubro	Sup (m <sup>2</sup> )	Precio (\$/m <sup>2</sup> )	Costo (\$)	I.V.A (21%)	Total
Terreno	10.000,0	3.000,0	30.000.000,0	6.300.000,0	36.300.000,0
Sección de reacción	1.053,0	1.572,6	1.655.947,8	347.749,0	2.003.696,8
Sección de destilación	159,1	1.572,6	250.263,6	52.555,3	302.818,9
Sección de cristalización	180,0	1.572,6	283.068,0	59.444,3	342.512,3
Sección de almacenamiento de materias primas	1.040,0	1.572,6	1.635.504,0	343.455,8	1.978.959,8
Sección de almacenamiento de productos finales	743,4	1.572,6	1.169.070,8	245.504,9	1.414.575,7
Sección de servicios auxiliares	388,6	1.572,6	611.175,3	128.346,8	739.522,1
Sala de calderas	321,0	6.900,0	2.214.900,0	465.129,0	2.680.029,0
Sala de mantenimiento	214,0	6.900,0	1.476.600,0	310.086,0	1.786.686,0
Estacionamiento	396,0	2.000,0	792.000,0	166.320,0	958.320,0
Administración	182,0	23.501,0	4.277.182,0	898.208,2	5.175.390,2
Vestuarios y Sanitarios	181,5	23.501,0	4.265.431,5	895.740,6	5.161.172,1
Comedor	82,5	23.501,0	1.938.832,5	407.154,8	2.345.987,3
Laboratorio	80,0	23.501,0	1.880.080,0	394.816,8	2.274.896,8
Cabina de control	60,0	23.501,0	14.100.60,0	296.112,6	1.706.172,6
Sala de primeros auxilios	30,0	23.501,0	705.030,0	148.056,3	853.086,3
<b>Total</b>			<b>54.565.145,5</b>	<b>11.458.680,5</b>	<b>66.023.826,0</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.2.1.2 Equipos industriales, auxiliares y accesorios

Esta sección involucra todos los equipos inherentes a la producción de metanol como también los de servicios auxiliares, las cañerías y accesorios. Teniendo en cuenta que son bienes de capital se considera un costo de flete del 1% del costo total e IVA de 10,5 % del costo total.

**Tabla 16-2:** Estimación de los costos de equipos industriales, auxiliares y accesorios.

Denominación técnica	Unidad	Precio Unitario (\$/u)	Costo (\$)	Flete	I.V.A
Reactor-Horno R-101	1	75.890.325	75.890.325	758.903,3	7.968.484,1
Intercambiador E-102	1	1.463.657	1.463.657	14.636,6	153.684,0
Flash C-103	1	371.598	371.598	3.716,0	39.017,8

Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.



**OBTENCIÓN DE P-XILENO A PARTIR DE LA DESPROPORCIÓN  
SELECTIVA DE TOLUENO**



Flash C-104	1	371.598	371.598	3.716,0	39.017,8
Compresor K-105	1	15.201.489	15.201.489	152.014,9	1.596.156,3
Tanque T-106	1	859.630	859.630	8.596,3	90.261,2
Tanque T-107/8/9	3	1.080.569	3.241.707	32.417,1	340.379,2
Torre de destilación C-201	1	25.000.000	25.000.000	250.000,0	2.625.000,0
Torre de destilación C-202	1	40.000.000	40.000.000	400.000,0	4.200.000,0
Torre de destilación C-203	1	40.000.000	40.000.000	400.000,0	4.200.000,0
Tanque T-204	1	859.630	859.630	8.596,3	90.261,2
Tanque T-205	1	423.568	423.568	4.235,7	44.474,6
Intercambiador E-206	1	315.489	315.489	3.154,9	33.126,3
Intercambiador E-207	1	250.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Intercambiador E-208	1	250.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Intercambiador E-209	1	250.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Intercambiador E-210	1	250.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Intercambiador E-211	1	350.000	350.000	3.500,0	36.750,0
Intercambiador E-212	1	250.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Intercambiador E-301	1	256.896	256.896	2.569,0	26.974,1
Intercambiador E-302	1	250.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Intercambiador E-303	1	200.000	200.000	2.000,0	21.000,0
Tanque de cristales MA-304	1	3.256.415	3.256.415	32.564,2	341.923,6
Centrifuga S-305	1	2.502.369	2.502.369	25.023,7	262.748,7
Tanque Fundidor E-306	1	1.502.800	1.502.800	15.028,0	157.794,0
Tanque T-307	1	625.980	625.980	6.259,8	65.727,9
Tanque T-308	1	500.480	500.480	5.004,8	52.550,4
Bombas Proceso	14	100.000	1.400.000	14.000,0	147.000,0
Sopladores	4	50.200	200.800	2.008,0	21.084,0
Tuberías de proceso	600	1.897	1.138.200	11.382,0	119.511,0
Válvulas	45	15.000	675.000	6.750,0	70.875,0
Torre de enfriamiento CT-401 A	1	625.000	625.000	6.250,0	65.625,0
Torre de enfriamiento CT-401 B	1	625.000	625.000	6.250,0	65.625,0
Torre de enfriamiento CT-401 C	1	625.000	625.000	6.250,0	65.625,0
Torre de enfriamiento CT-401 D	1	625.000	625.000	6.250,0	65.625,0
Bombas Servicios auxiliares	5	50.000	250.000	2.500,0	26.250,0
Tanque T-402	5	80.000	400.000	4.000,0	42.000,0
Tanque T-403	1	92.000	92.000	920,0	9.660,0
Calderas	2	10.000.000	20.000.000	200.000,0	2.100.000,0

Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

Bombas de condensado	1	50.000	50.000	500,0	5.250,0
Ablandador de agua Twin	1	189.765	189.765	1.897,7	19.925,3
Tanque de salmuera	1	540.780	540.780	5.407,8	56.781,9
Sistema de NH <sub>3</sub>	1	5.000.000	5.000.000	50.000,0	525.000,0
Transmisor de presión	3	6.000	18.000	180,0	1.890,0
Válvulas ON-OFF	10	4.800	48.000	480,0	5.040,0
Transmisor de temperatura	7	5.400	37.800	378,0	3.969,0
Caudalimetro	6	39.000	234.000	2.340,0	24.570,0
Sensor de nivel	6	4.800	28.800	288,0	3.024,0
Variador de frecuencia	4	7.800	31.200	312,0	3.276,0
Total			247.527.976	2.475.279,8	25.990.437,5

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.2.1.3 Rodados

Los rodados son necesarios para operar en el taller de mantenimiento en el traslado de equipos en reparación, tuberías y demás artículos, y para transportar insumos a la zona de producción y el laboratorio que no puedan ser llevados por esfuerzo humano. Para ello se adquieren 4 transpaletas capaces de elevar cargas de alto peso. En la siguiente tabla se detallan los costos de los mismos.

Artículo	Unidades	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)	I.V.A (21%)
Transpaleta	4	300.000	1.200.000	252.000
Total			1.200.000	252.000

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.2.1.4 Mobiliario y elementos de oficina

En este caso se consideran todos aquellos elementos que sin estar vinculados de forma directa con el proceso, son indispensables para el desarrollo organizado del proyecto. En la siguiente tabla se expone el costo estimado de mobiliarios y elementos de oficina.

Artículo	Unidades	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)	I.V.A (21%)
Computadoras de mesa	15	12.000	180.000	37.800
Proyector	2	10.000	20.000	4.200
Notebook	2	38.000	76.000	15.960
Aire acondicionado	5	32.000	160.000	33.600
Calefactor	5	10.000	50.000	10.500
Escritorios	20	3.000	60.000	12.600
Escritorio recepción	1	3.500	3.500	735
Mesa sala de conferencia	1	20.000	20.000	4.200
Mesa comedor	8	13.000	104.000	21.840

Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

Sillas	100	2.000	200.000	42.000
Armario	5	3.000	15.000	3.150
Heladera	3	42.000	126.000	26.460
Cocina industrial	1	50.000	50.000	10.500
Microondas	8	4.000	32.000	6.720
Baños	4	20.000	80.000	16.800
Duchas	4	3.000	12.000	2.520
Lockers	100	300	30.000	6.300
Banco para vestuario	4	1.500	6.000	1.260
Mesada para laboratorio	1	15.000	15.000	3.150
Banquetas	10	1.000	10.000	2.100
Equipo de vidrio	1	500.000	500.000	105.000
Total			1.749.500	367.395

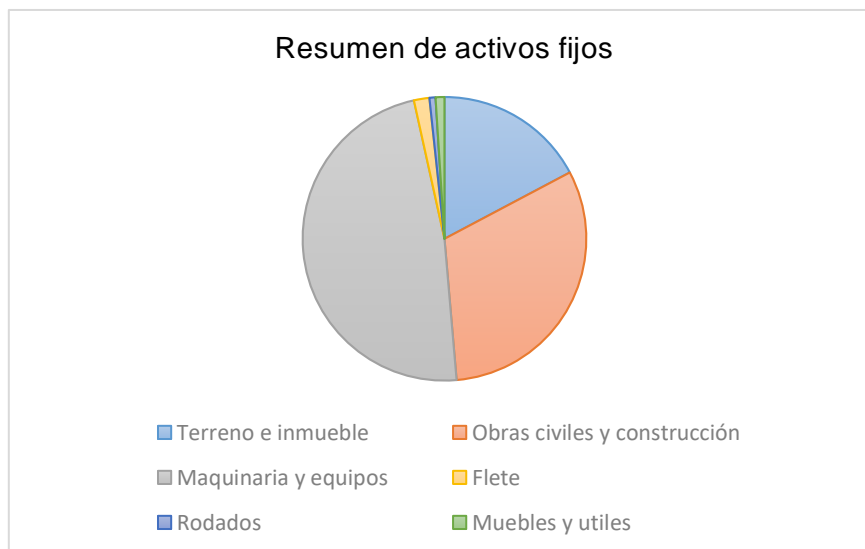
Fuente: Elaboración propia

#### 16.2.1.5 Resumen de activos fijos

A continuación se muestra un resumen de los activos fijos descriptos anteriormente por medio de tabla y gráfico.

Activo Fijo	Costo (\$)	%
Terreno e inmueble	30.000.000,00	8,71%
Obras civiles y construcción	54.565.145,47	15,85%
Maquinaria y equipos	247.527.976,00	71,89%
Flete	9.282.240,00	2,70%
Rodados	1.200.000,00	0,35%
Muebles y útiles	1.749.500,00	0,51%
Total	344.324.861,47	100%

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 16-1:** Resumen activos fijos.  
Fuente: *Elaboración propia*

### 16.2.2 Activos nominales

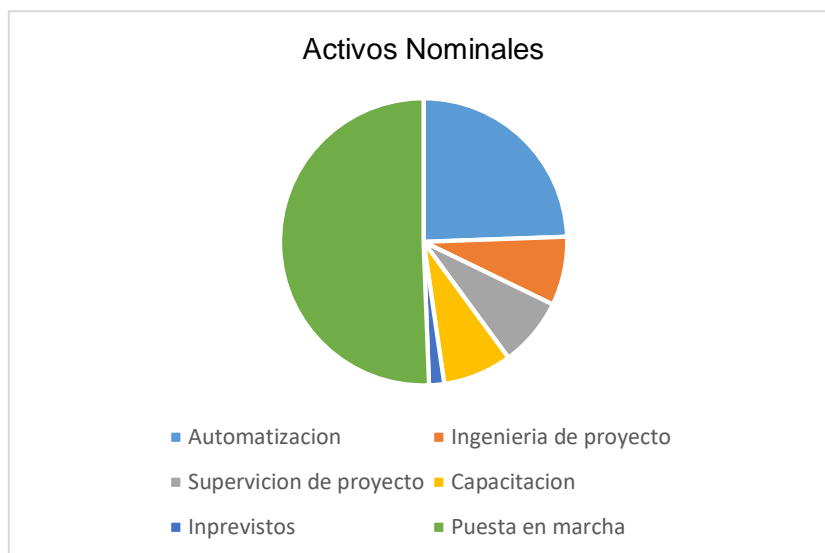
Los activos nominales o intangibles son aquellos que no tienen naturaleza física pero son recursos muy valiosos para las empresas y pueden generar un impacto importante en términos de competitividad, si son correctamente gestionados. Los mismos son gastos que no son susceptibles de ser recuperados por la empresa, pero que deben ser amortizados durante el período correspondiente.

En cuanto a los gastos de planeación y costos de supervisión de proyecto se considera un 5% de los activos fijos totales. El costo de control automático se considera como el 20% respecto al valor total de equipos industriales. Se considera 5% para los gastos de capacitación inicial. Además, el montaje e instalación de equipos se estima 50% de la suma de maquinarias y equipos y para imprevistos se considera un 1% del total. El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado, el cual es igual al tiempo de puesta en marcha más la venta del producto. El tiempo tomado de puesta en marcha es de 30 días, el cual implica calibrar los equipos y ponerlos en régimen para obtener las condiciones de operación más favorables permitiendo lograr una buena calidad y rendimiento establecido para el producto.

**Tabla 16-5:** Resumen costos activos nominales.

Activos Nominales	Costo (\$)	%
Automatización	49.505.595,20	24,43%
Ingeniería de proyecto	15.716.243,05	7,76%
Supervisión de proyecto	15.716.243,05	7,76%
Capacitación	15.716.243,05	7,76%
Imprevistos	3.443.248,61	1,70%
Puesta en marcha	102.546.623,60	50,60%
Total	202.644.196,56	100%

Fuente: *Elaboración propia*



**Gráfico 16-2:** Resumen activos nominales.  
Fuente: *Elaboración propia*

### 16.2.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo, también denominado fondo de maniobra o activos corrientes, hace referencia al conjunto de recursos financieros necesarios para la operación normal del proyecto durante el ciclo productivo, entendiéndose al ciclo productivo como el proceso que se inicia con el primer pago para cancelar los insumos de la operación y termina con la venta del producto terminado. En este caso, para estimar el capital de trabajo necesario se toma como un ciclo productivo: 15 días.

<b>Tabla 16-6:</b> Estimación de costos de capital de trabajo.		
Capital de Trabajo	Costo (\$)	%
Materia Prima	214.400.171,65	95,91%
Insumos	565.387,94	0,253%
Mano de Obra I	907.770,15	0,41%
Mano de Obra D	2.954.520,00	1,32%
Servicio de limpieza	1.254.374,39	0,56%
Gastos de comercialización	3.466.818,32	1,55%
Total	223.549.042,44	100,00%

Fuente: *Elaboración propia*



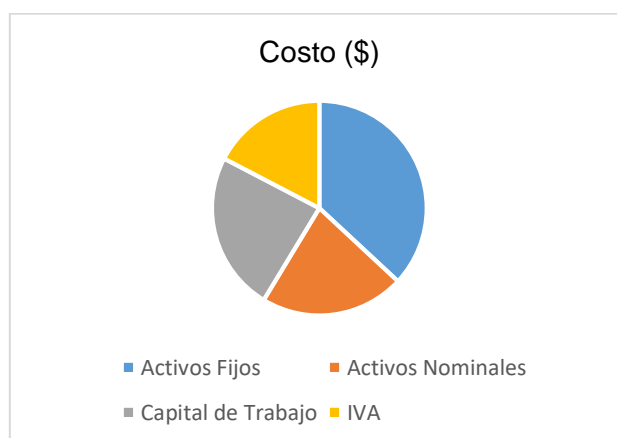
**Gráfico 16-3:** Resumen activos nominales.  
Fuente: *Elaboración propia*

#### 16.2.4 Inversión total del proyecto

Estimados los tres ítems anteriores, se realiza la suma de los mismos para obtener el capital necesario total para concretar el proyecto y comenzar con la actividad industrial. Es importante la aclaración de que este capital se obtendrá a través de una financiación externa.

Categoría	Costo (\$)	%
Activos Fijos	344.324.861,47	36,93%
Activos Nominales	202.644.196,56	21,74%
Capital de Trabajo	223.549.042,44	23,98%
IVA	161.808.801,10	17,36%
Total	932.326.901,57	100%

Fuente: *Elaboración propia*



**Gráfico 16-4:** Resumen activos nominales.  
Fuente: *Elaboración propia*

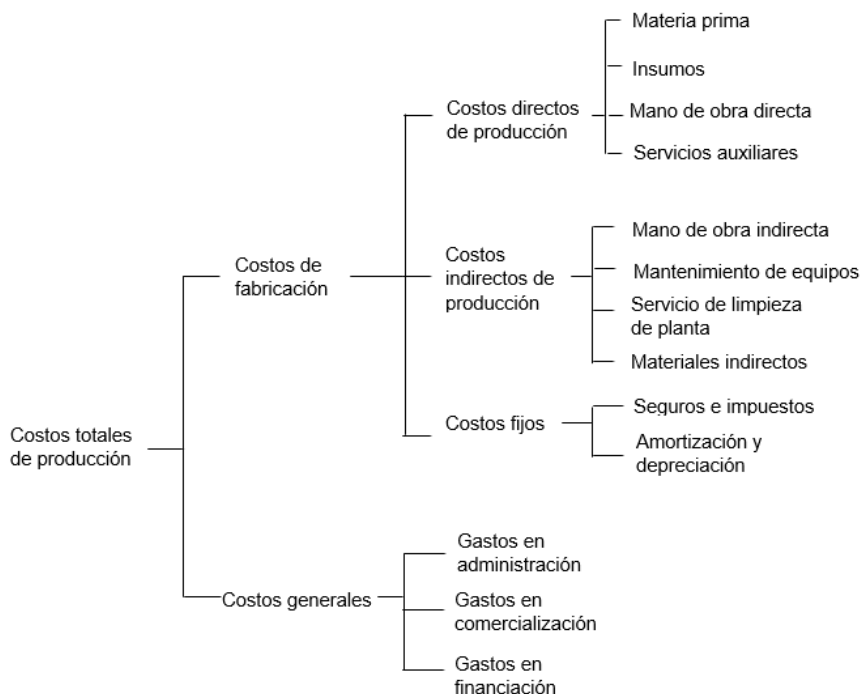
Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

### 16.3 Costos totales de producción

Los costos de producción o de operación son los gastos necesarios para mantener una línea de procesamiento y equipos en funcionamiento. Se dividen en:

- Costos de fabricación (gastos directos, indirectos y fijos).
- Costos generales (gastos de administración, distribución, marketing, etc.).

En la siguiente figura se representa la composición detallada de los costos totales de producción.



**Figura 16-2:** Costos totales de producción.  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 16.3.1 Costos directos de producción

Dentro de la clasificación de costos de fabricación, existen los costos directos de producción. Estos costos intervienen de manera directa en la realización y producción del p-xileno y subproductos: benceno, o-xileno y mezcla de xilenos, afectando de manera inmediata a la determinación del precio final de ellos.

Están compuestos por materia prima e insumos, salarios de los operarios involucrados en la producción e los insumos energéticos empleados.

##### 16.3.1.1 Materia prima

La materia prima a comprar proviene de las industrias productoras de tolueno. El hidrogeno es suministrado directo por tubería desde YPF. Previo a la adquisición, se asegura que el lote de tolueno contenga la composición adecuada para el proceso como se especifica en los capítulos anteriores. Los costos de transporte se incluyen en el precio de la misma. En la siguiente tabla se detalla el costo de la materia prima requerida.

<b>Tabla 16-8: Costos anuales de la materia prima</b>				
	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Tolueno	108.854	t	44.640	4.859.242.560
Hidrogeno	82	t	6.000	489.600
Total				4.859.737.224

*Fuente: Elaboración propia*

#### 16.3.1.2 Insumos

Como insumos solo tomamos en cuenta el catalizador necesario para que suceda la reacción química del proceso: ZSM-5 modificado con sílice. El proveedor Riogen Catalysts® es el elegido para suministrar regularmente el mismo.

<b>Tabla 16-9: Costos anuales de la materia prima</b>				
	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Zeolita ZSM-5	0,7	m <sup>3</sup>	17.436.000	12.205.200
Total				12.205.200

*Fuente: Elaboración propia*

#### 16.3.1.3 Servicios auxiliares

Basado en el capítulo de servicios auxiliares se procede a hacer un resumen del consumo de los mismos.

- Servicio de gas natural: Distribuido por la empresa BAGSA Buenos Aires Gas S.A., el consumo se calcula en función de la tarifa por categoría de la planta y se adopta un consumo constante anual.
- Servicio de electricidad: La empresa que suministra la energía eléctrica es ELECTRO ENSENADA y se tiene en cuenta la infraestructura que posee el parque industrial de Ensenada, Buenos Aires.
- Servicio de agua de red: Se suministra agua en el parque industrial mediante una red de distribución de la empresa ABSA y se aplican las tarifas correspondientes al tipo de planta y por consumo.

<b>Tabla 16-10: Costos anuales de la materia prima</b>				
	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Costo total
Energía eléctrica	338698	kw/h	0,21	71.126,6
Agua	307200	lt	1,50	460.800
Gas	38813611	m <sup>3</sup>	0,20	7.762.722,2
Total				8.294.648,8

*Fuente: Elaboración propia*

#### 16.3.1.4 Mano de obra directa

Los costos de mano de obra directa están relacionados directamente al proceso y varían en función del volumen de producción.



<b>Tabla 16-11: Costos anuales de mano de obra directa</b>						
Sector	Cargo	Cant.	Jornal por hora (\$)	Costo anual (\$)	Cargas sociales (45%)	Costo total anual (\$)
Producción	Jefe de producción	1	600	1.632.000	734.400	2.366.400
	Supervisor	3	450	3.672.000	1.652.400	5.324.400
	Operador de planta	18	360	17.625.600	7.931.520	25.557.120
	Operador de cabina de control	6	390	6.364.800	2.864.160	9.228.960
Mantenimiento	Jefe de mantenimiento	1	390	1.060.800	477.360	1.538.160
	Operarios de mantenimiento	4	360	3.916.800	1.762.560	5.679.360
Logística	Jefe de logística	1	390	1.060.800	477.360	1.538.160
	Operarios de logística	6	360	5.875.200	2.643.840	8.519.040
Calidad	Jefe de calidad	1	390	1.060.800	477.360	1.538.160
	Auxiliar de calidad	3	360	2.937.600	1.321.920	4.259.520
Sala de calderas	Calderísta	1	360	979.200	440.640	1.419.840
<b>Total</b>						<b>66.969.120</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.3.1.5 Resumen costos directos de producción

En este momento, se resumen los costos directos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y representación gráfica.

<b>Tabla 16-12: Resumen de costos directos de producción.</b>		
	Costo anual	Porcentaje
Materia prima	4.859.732.160	98%
Insumos	12.815.460	0,25%
Servicios auxiliares	8.294.648	0,16%
Mano de obra directa	66.969.120	1,35%
<b>Total</b>	<b>4.947.811.389</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Elaboración propia*



**Gráfico 16-5:** Resumen activos nominales.  
Fuente: *Elaboración propia*

### 16.3.2 Costos indirectos de producción

Los costos indirectos de producción hacen referencia a todos aquellos gastos que debe realizar una empresa para lograr la producción establecida. Cualquier gasto que no sea el costo directo de mano de obra ni el costo directo de los materiales es considerado una forma de gasto general. Comprende la mano de obra indirecta, los gastos de mantenimiento de equipos y el servicio de limpieza.

#### 16.3.2.1 Mano de obra indirecta

Es el monto de salarios y demás cargas laborales devengados por los empleados que aunque trabajan en la planta, no se relacionan directamente con la producción.

Sector	Cargo	Nº	Salario mensual	Gasto anual nominal (\$)	Cargas sociales (\$)	Costo total anual (\$)
Seguridad	Guardia de seguridad	6	72.000	5.616.000	2.527.200	8.143.200
Higiene y MA	Jefe de departamento	1	94.448	1.227.824	552.521	1.780.345
	Operadores	3	86.433	3.370.887	943.848	4.314.735
Comedor	Personal de comedor	6	47.610	3.713.580	1.039.802	4.753.382
Maestranza	Personal de maestranza	2	47.610	1.237.860	346.601	1.584.461
Gerencia	Gerente general	1	144.000	1.872.000	524.160	2.396.160
Administración	Jefe de administración	1	94.334	1.226.342	343.375	1.569.717
	Asistente de administración	2	86.400	2.246.400	628.992	2.875.392
	Secretario	1	86.400	1.123.200	314.496	1.437.696

Comercialización	Jefe de comercialización	1	86.400	1.123.200	314.496	1.437.696
	Asistentes de comercialización	3	86.400	3.369.600	943.488	4.313.088
Recursos humanos	Jefe de recursos humanos	1	94.344	1.226.472	343.412	1.569.884
	Asistentes de recursos humanos	2	86.400	2.246.400	628.992	2.875.392
Total			1.112.779	29.599.765	9.451.384	39.051.149

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.3.2.2 Mantenimiento y limpieza de la planta

En esta sección se consideran los costos de mantenimiento de equipos tanto preventivo como correctivo y el servicio de limpieza de la planta. Cada uno de ellos se estima como un 5 % del total de los activos fijos. En la siguiente tabla se resumen los costos mencionados.

Costos de mantenimiento y limpieza	Costo (\$)	Porcentaje
Gastos de limpieza de planta	28.432.486	53 %
Gastos de mantenimiento	25.681.022	47 %
<b>Total</b>	<b>54.113.508</b>	<b>100%</b>

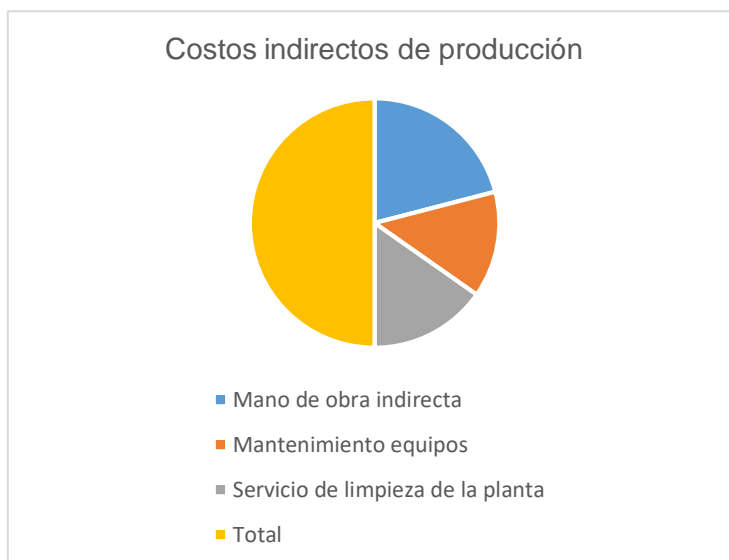
*Fuente: Elaboración propia*

### 16.3.2.3 Resumen de costos indirectos de producción

En la tabla siguiente se resumen los costos indirectos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

	Costo (\$)	Porcentaje
Mano de obra indirecta	39.051.149	42 %
Mantenimiento equipos	25.681.022	28 %
Servicio de limpieza de la planta	28.432.486	31 %
<b>Total</b>	<b>93.164.657</b>	<b>100 %</b>

*Fuente: Elaboración propia*



**Gráfico 16-6:** Costos indirectos de producción  
*Fuente: Elaboración propia*

### 16.3.3 Costos fijos indirectos

En esta sección se incluyen los costos de amortización y depreciación de los activos, y los seguros e impuestos.

#### 16.3.3.1 Amortizaciones y depreciaciones

Las amortizaciones son reducciones en el valor de los activos para reflejar en el sistema de contabilidad cambios en el precio del mercado u otras reducciones de valor.

Con las amortizaciones, los costos de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión.

Las amortizaciones se aplican a los activos fijos intangibles y representan el proceso financiero mediante el cual se extingue, gradualmente, una deuda por medio de pagos periódicos; y las depreciaciones a los activos fijos tangibles y representa el desgaste debido al uso, del paso del tiempo y la antigüedad del activo.

En la estimación de los costos de amortización se utiliza, adicionalmente, el decreto N° 873/1997 que fija la vida útil de los bienes considerados, a saber:

- Edificios: 50 años.
- Instalaciones: 10 años.
- Maquinarias y equipos: 5 años.
- Muebles y útiles: 5 años.
- Rodados: 5 años.

Fijada la vida útil de cada rubro, puede extraerse de este dato la tasa lineal de depreciación de un bien. De esto se desprende que al finalizar el proyecto estipulado (a los diez años), algunos de los bienes tendrán un valor nulo o residual, dependiendo del caso.

**Tabla 16-16:** Estimación de costos anuales de mano de obra indirecta

Categoría	Inversión realizada	Tasa	Depreciación/amortización anual (\$)	Valor tras período de actividad (\$)
Terreno	30.000.000	2%	600.000	24.000.000
Obras civiles	24.565.145,5	10%	2.456.514,5	0
Maquinarias y equipos	247.527.976	5%	12.376.398,8	0
Rodados	1.200.000	20%	240.000	0
Muebles y útiles	1.749.500	20%	349.900	0
Total			16.022.813,35	24.000.000

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.3.3.2 Seguros e impuestos

La Ley N° 13.656 de Promoción Industrial de la Provincia de Buenos Aires, otorgan a las empresas que se radiquen en Parques Industriales, importantes beneficios y exenciones impositivas de hasta el 100% de los impuestos provinciales, por un período de hasta 10 años:

- El impuesto a los ingresos brutos
- El impuesto Inmobiliario
- El Impuesto de Sellos

Respecto a los seguros se estima un 5% de la inversión en activos fijos.

**Tabla 16-17:** Seguros

Categoría	Costo (\$)
Seguros e impuestos	15.716.243

*Fuente: Elaboración propia*

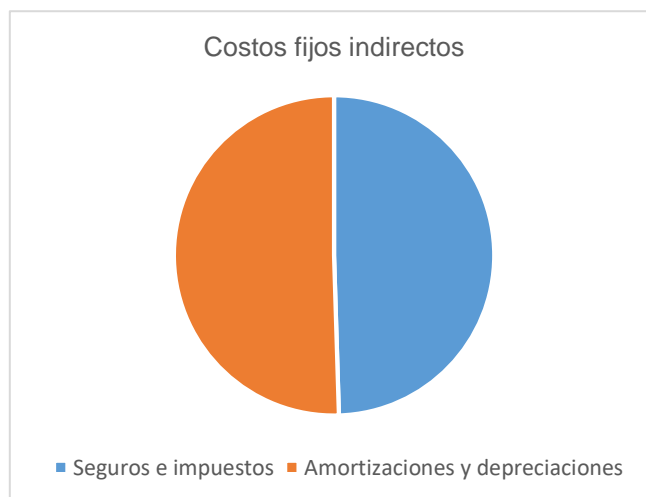
### 16.3.3.3 Resumen de costos indirectos

A continuación, se resumen los costos fijos indirectos a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

**Tabla 16-18 :** Resumen de costos fijos indirectos

Costo fijos indirectos	Costo anual \$	Porcentaje
Seguros e impuestos	15.716.243	0,49
Amortizaciones y depreciaciones	16022813,35	0,50
Total	31.739.056	1

*Fuente: Elaboración propia*



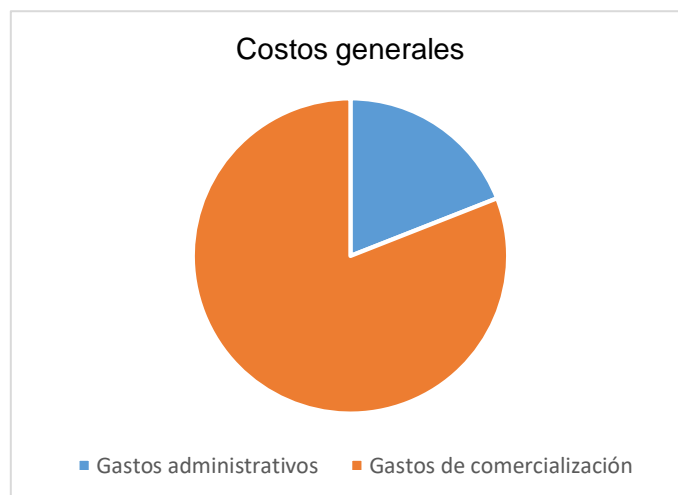
**Gráfico 16-7:** Costos indirectos de producción  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 16.3.4 Costos generales

Los gastos generales son los gastos en los que incurre la empresa que no están directamente vinculados a una función elemental como la fabricación, la producción o las ventas. Estos gastos están relacionados con la organización en conjunto. Aquí, se encuentran los gastos de administración, comercialización y financiación. En esta sección se expresan los dos primeros mientras que el costo de financiación se expresa en la sección posterior correspondiente al estado de resultados. Los costos mencionados se estiman como el 0,05% y 0,01% del costo total anual de producción. A continuación, se resumen los costos generales sin tener en cuenta los gastos de puesta en marcha y posteriormente se representa gráficamente la composición porcentual del mismo.

	Costo anual (\$)	Porcentaje
Gastos administrativos	18475025,9	19%
Gastos de comercialización	78581215,3	81%
Total	97056241,2	100%

*Fuente: Elaboración propia*



**Gráfico 16-8:** Resumen activos nominales.  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 16.4 Costos de producción unitario

El costo unitario es el valor promedio que, a cierto volumen de producción, cuesta producir un kilogramo de producto (p-xileno). Se obtiene sumando el costo total de producción (suma de costos fijos y variables) menos las ventas de los subproductos, dividido la cantidad total producida. Se expresa el costo unitario en \$/kg.

$$\text{Costo unitario} = \frac{C. \text{ fijos} + C \text{ variables} - \text{Ventas subproductos}}{\text{Total de unidades}} = \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Total de unidades}}$$

A continuación, se resume el costo total de producción a lo largo de los 10 años, junto con el volumen de producción constante y el unitario por kilogramo de p-xileno.

Costo total de producción (\$)	Volumen de producción (kg)	Costo unitario (\$/Kg)
1.710.793.102	38.400.000	44,55
1.675.377.988	38.400.000	43,63
1.671.207.406	38.400.000	43,52
1.666.622.904	38.400.000	43,40
1.661.583.402	38.400.000	43,27
1.671.854.281	38.400.000	43,54
1.665.764.822	38.400.000	43,38
1.659.070.999	38.400.000	43,20
1.651.712.830	38.400.000	43,01
1.643.624.381	38.400.000	42,80

*Fuente: Elaboración propia*

### 16.5 Ingreso por ventas

Son los montos de dinero percibidos por las ventas del producto. De acuerdo al estudio de mercado y a la bibliografía estudiada de mercado, se conoce el precio de venta del p-xileno con pureza 99% a un valor de 1,1 U\$D por kg.

Este valor se considera constante a lo largo del ciclo económico de 10 años debido a que las cantidades producidas y vendidas no varían en el mismo periodo.

Producto	Cantidad	Unidad	Precio unitario(\$)	Ingreso anual (\$)
P-xileno	38400000	Kg	66	2.534.400.000

Fuente: Elaboración propia

### 16.6 Financiación del proyecto

La financiación es la contribución de dinero y/o crédito a una empresa que se requiere para comenzar la actividad de un proyecto.

Para este proyecto, el capital disponible para la inversión es aportado por crédito bancario del Banco Nación con una TNA de 40% y sistema de amortización francés.

En el sistema francés la cuota que periódicamente se abona tiene dos componentes: una parte destinada a la amortización de capital y otra en concepto de interés, por el uso de capital prestado.

En este sistema se mantiene constante la cuota total, variando la proporción de capital e intereses de cada cuota. En las primeras cuotas se amortiza proporcionalmente menos capital que en las últimas. Esto depende del nivel de la tasa de interés acordada: cuanto mayor es la tasa menor será la proporción de capital cancelado en las primeras cuotas. Para el cálculo de la cuota se tiene que:

$$TEM = \frac{(TNA * 30)}{100 * 360}$$

$$Cuota = \frac{(1 + TEM)^n}{(1 + TEM)^n - 1}$$

Donde TNA es la tasa de interés acordada con el banco, tomada en 40%, TEM la tasa efectiva mensual tomada como el interés mensual, y n es el período de 10 años tomado en meses, es decir 120 meses.

Tabla 16-22 : Pagos anuales del crédito otorgado.		
Capital	1.171.159.156,9	
TNA	40	
Numero de cuotas	120	
Tasa de seguro	0.25	
Cuotas	Pagos anuales	Intereses
1	605.962.669,88	468.458.722,20
2	605.413.978,42	466.533.488,99
3	604.600.748,26	463.680.049,85
4	603.395.438,30	459.450.892,11
5	601.609.016,49	453.182.745,39
6	598.961.313,40	443.892.559,10

Bragas Agustina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.



7	595.037.082,51	430.123.327,91
8	589.220.875,95	409.715.585,61
9	580.600.522,15	379.468.730,16
10	567.824.067,43	334.639.064,47

*Fuente: Elaboración propia*

## **16.7 Evaluación económica**

En un proyecto es muy importante analizar la viabilidad y rentabilidad del mismo, dado que, al formar una empresa se debe invertir cierto capital, el cual se espera recuperar a lo largo de un tiempo determinado. Esta rentabilidad debe ser mayor, al menos, que una inversión de poco riesgo (como pueden ser plazos fijos, letras del estado, entre otros). Existen muchos índices que indican la rentabilidad de un proyecto. Dos de los más utilizados son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Ambos se basan en el mismo concepto, que es la estimación de los flujos de caja futuros de la empresa, a través de la simplificación de ingresos menos gastos netos. Antes de proceder a la estimación de estos índices, se calcula el estado de resultados, el cual será necesario para el cálculo de los indicadores antes mencionados.

### **16.7.1 Estado de los resultados**

El estado de resultados, conocido también como estado de ganancias y pérdidas, es un estado financiero plasmado en un documento en el cual se muestra de manera detallada y minuciosa todos los ingresos, gastos, así como el beneficio o pérdida que se genera en una empresa durante un período de tiempo determinado.

Debido al estado de resultados, una empresa cuenta con una mejor visión financiera, pudiendo prevenir y actuar de antemano, pues puede realizar previsiones en base a los resultados que se obtienen a través de este análisis.

Existen algunos conceptos del estado de resultados que es conveniente conocer para comprenderlo, destacando los principales componentes:

- Ingreso por ventas: se refiere a los ingresos totales percibidos por las ventas realizadas en ese periodo concreto.
- Costo de producción de lo vendido: cuanto le costó a la empresa el artículo que vende.
- Utilidad operativa: diferencia entre ventas y coste de ventas, indicando que gana la empresa, en bruto, con el producto vendido.
- Gastos administrativos, comerciales y de financiación: los gastos administrativos son aquellos reconocidos a las actividades administrativas globales de la empresa (gastos de papelería y suministros de oficina por ejemplo); los gastos comerciales son aquellos necesarios para la venta de un bien o un servicio, y que incluyen gastos como marketing, publicidad y comisiones, entre otros (se consideran un 0,50% del costo de producción de lo que vendido). En gastos financieros incurre una empresa al financiarse con terceros (costo del capital) y que suponen la amortización del capital solicitado junto a los intereses fijados.
- Depreciaciones y amortizaciones: Importes que disminuyen el valor contable de los bienes tangibles que se utilizan en la empresa para llevar a cabo sus operaciones. Por ejemplo: maquinaria, vehículos de transporte, etc.
- Utilidad ante los impuestos: resulta de sustraerle a la utilidad operativa las depreciaciones y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- Impuesto a las ganancias: se consideran el 35% de la utilidad antes del impuesto.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

- Utilidad o flujo netos efectivo: es la ganancia o pérdida final que la empresa obtiene después de la actividad y resulta de adicionarle las depreciaciones de la utilidad después de impuestos.

A continuación se detalla el estado de los resultados para un período de 10 años de actividad del proyecto. En la figura siguiente, se analiza el flujo neto efectivo de dicho período.

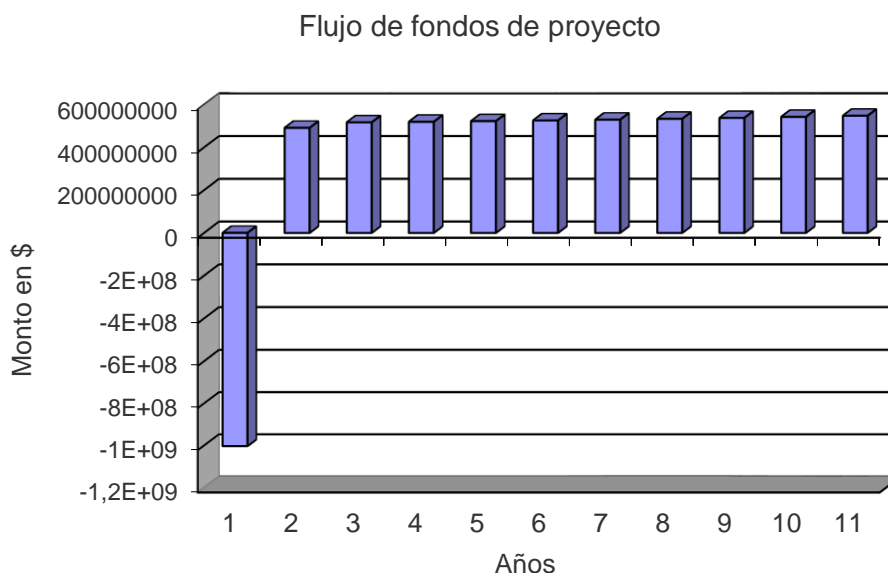
**Tabla 16-23b: Estado de resultados (año 6 al 10).**

EJERCICIOS	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ventas Netas	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0
Costo de producción de lo vendido	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3
<b>RESULTADO OPERATIVO</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>
Gastos de Administración	25.102.504	25.102.504	25.102.504	25.102.504	25.102.504
Gastos de Comercialización	5.020.501	5.020.501	5.020.501	5.020.501	5.020.501
Gastos de Financiación	214.898.670	208.800.434	202.096.962	194.728.186	186.628.078
Depreciación-Amortización	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299
<b>RESULT. ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>794.865.462</b>	<b>800.963.699</b>	<b>807.667.171</b>	<b>815.035.946</b>	<b>823.136.055</b>
Depreciación-Amortización	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299
Impuesto a las Ganancias	278.202.912	280.337.295	282.683.510	285.262.581	288.097.619
<b>FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>516.662.550</b>	<b>520.626.404</b>	<b>524.983.661</b>	<b>529.773.365</b>	<b>535.038.436</b>

**Tabla 16-23a: Estado de resultados (año 1 al 5).**

EJERCICIOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ventas Netas	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0	6.060.387.84 0
Costo de producción de lo vendido	5.036.216.94 6	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3	5.020.500.70 3
<b>RESULTADO OPERATIVO</b>	<b>1.024.170.89 4</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>	<b>1.039.887.13 7</b>
Gastos de Administración	25.181.085	25.023.922	25.023.922	25.023.922	25.023.922
Gastos de Comercialización	5.036.217	5.004.784	5.004.784	5.004.784	5.004.784
Gastos de Financiación	238.060.289	234.260.787	230.084.194	225.493.084	220.446.317
Depreciación-Amortización	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299
<b>RESULT. ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>742.927.004</b>	<b>775.597.642</b>	<b>779.774.236</b>	<b>784.365.346</b>	<b>789.412.113</b>
Depreciación-Amortización	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299	12.966.299
Impuesto a las Ganancias	264.562.656	271.459.175	272.920.983	274.527.871	276.294.240
<b>FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>491.330.647</b>	<b>504.138.468</b>	<b>506.853.253</b>	<b>509.837.475</b>	<b>513.117.874</b>

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 16-9:** Flujo neto efectivo  
Fuente: *Elaboración Propia*

## 16.7.2 Indicadores

### 16.7.2.1 Valor neto actual VAN

El VAN es el valor monetario que resulta de la diferencia entre la suma de los flujos netos y la inversión inicial. Básicamente consiste en descontar o trasladar al presente todos los flujos futuros del proyecto a una tasa igual a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). En este caso, se toma una TMAR igual al 40 %, que es la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Los proyectos se clasifican según la rentabilidad como sigue:

- Si el VAN > 0, la inversión produce ganancias y el proyecto debe aceptarse;
- Si el VAN = 0, el proyecto no produce ni ganancias ni pérdidas y no puede decidirse en función las ganancias;
- Si el VAN < 0, la inversión produce pérdidas y el proyecto debe rechazarse.

Analíticamente, el valor actual se calcula como muestra la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Donde  $I_0$  es la inversión inicial,  $FNE_n$  los flujos correspondientes a los  $n$  años de duración de la actividad y  $i$  la tasa de interés (TMAR), valor fijado por el banco con el préstamo.

Tabla 16-24 : VAN	
Indicador	Valor
VALOR ACTUAL NETO - VAN	\$ 238.036.857

*Fuente: Elaboración Propia*

El resultado del VAN es positivo lo que indica que el proyecto es viable.

### 16.7.2.2 Tasa Interna de retorno TIR

La TIR es el interés máximo que podría pagarse por el préstamo solicitado, para la inversión inicial, sin que se comiencen a apreciar pérdidas. Analíticamente, es la tasa que hace el VAN sea igual a cero (la diferencia entre los flujos futuros y la inversión inicial) y para calcularlo se despejan y calculan los intereses en la ecuación del VAN, para cuando el resultado es nulo.

Un proyecto puede determinarse como viable o rentable si la TIR es mayor que la TMAR, caso en el cual se acepta el mismo. Si la TIR es alta, estamos frente a un proyecto rentable, que supone un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés altos que posiblemente no se encuentren en el mercado. Si la TIR es baja, sin embargo, es factible que existan otras opciones mejores en el mercado para invertir ( $TMAR > TIR$ ). El valor de la TIR de este proyecto, calculado analíticamente, se muestra en la siguiente tabla.

<b>Tabla 16-25 :TIR</b>	
Indicador	Valor
Tasa interna de retorno	50%

*Fuente: Elaboración Propia*

Dado que el valor obtenido como TIR es mayor a la TMAR propuesta por el banco prestador, se concluye que el proyecto es rentable.

### 16.7.2.3 Relación beneficio/costo

La relación beneficio costo resulta de dividir el valor actualizado de los ingresos del proyecto entre el valor actualizado de los egresos del proyecto a una tasa de actualización igual a la TMAR.

Los criterios para analizar los resultados son: Si la relación es mayor a la unidad, el proyecto es aceptable por que el beneficio es superior al costo; si la relación es menor a la unidad el proyecto debe rechazarse por que no existen beneficios, si la relación es igual a la unidad es indiferente realizar o no el proyecto. Como se observa, la relación obtenida es superior a 1, lo cual hace viable el proyecto en cuestión.

<b>Tabla 16-26 :Beneficio /Costo</b>	
Indicador	Valor
Beneficio/costo	1.42

*Fuente: Elaboración Propia*

### 16.7.3 Período de recupero de la inversión realizada

El periodo de recuperación de un proyecto, es el número de años a partir de los cuales el acumulado de los FNE previstos iguala la inversión inicial, en este caso, el PRI es de 2 años y 5 meses.

En la siguiente tabla se detalla el período de recupero de la inversión.

Tabla 16-27 :Recupero de la inversión realizada			
Periodo	FNE	Saldo	
Inversión inicial	0	1.172.847.336,79	
Año 1	491.330.647	-681.516.690,19	
Año 2	504.138.468	-177.378.222,56	
Año 2	Mes 1	42.237.771	-135.140.451,45
	Mes 2	42.237.771	-92.902.680,33
	Mes 3	42.237.771	-50.664.909,22
	Mes 4	42.237.771	-8.427.138,11
	Mes 5	42.237.771	33.810.633,01

Fuente: Elaboración Propia

### 16.7.4 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo con esto, se analiza la variación de la TIR con la desviación del volumen de producción, de los costos de mano de obra, insumos, materia prima y precio de venta, que son las principales variables que influyen en las utilidades.

Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la TIR con la fluctuación de las variables antes mencionadas y comparándola con la función constante TMAR, dado que si la primera se encuentra sobre esta última el proyecto es rentable.

#### 16.7.4.1 Variación de la TIR con el precio de venta de p-xileno.

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el precio de venta del producto. En caso de disminuir el precio de venta en un 5% el proyecto deja de ser rentable.

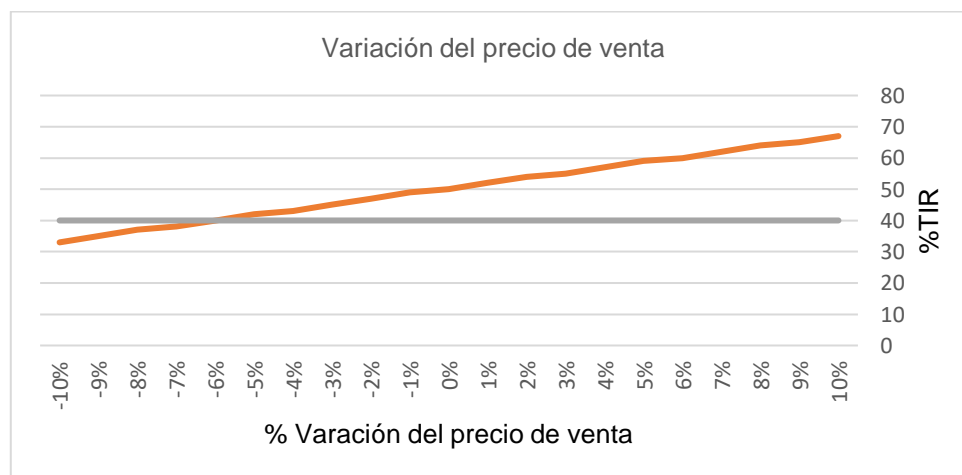
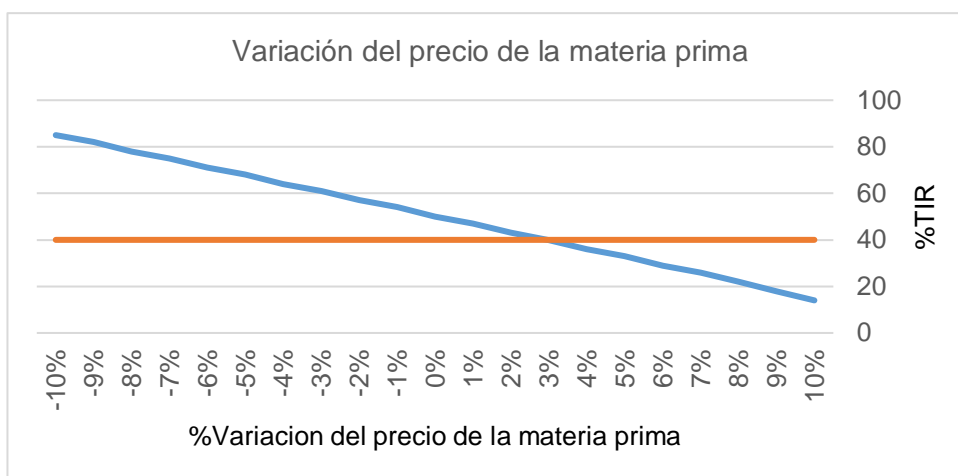


Figura 16-10: Sensibilidad de la TIR

Fuente: Elaboración Propia

**16.7.4.2** Variación de la TIR con el costo de la materia prima.

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el costo de la materia prima. En caso de aumentar el costo en un 3% el proyecto dejaría de ser rentable.

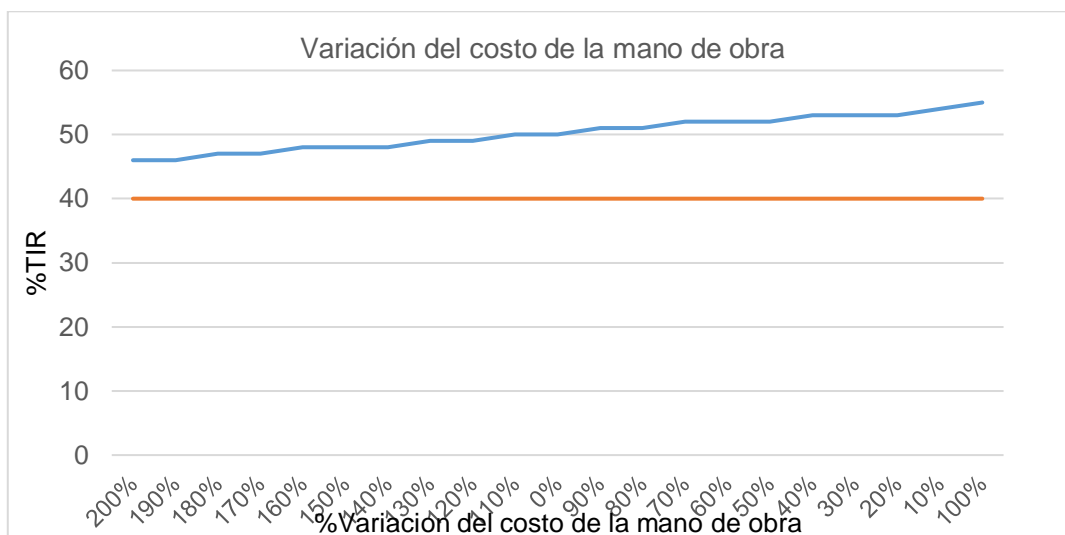


**Figura 16-11:** Sensibilidad de la TIR

Fuente: *Elaboración Propia*

**16.7.4.3** Variación de la TIR con respecto a la mano de obra.

Se analiza la sensibilidad de la tasa interna de retorno a los costos de mano de obra (tanto directa como indirecta). Para este caso, se identifica el mismo efecto que para la materia prima (una flexibilidad relativa). El proyecto admite aumentos en los costos de personal cercanos sin pérdida de rentabilidad.



**Figura 16-12:** Sensibilidad de la TIR

Fuente: *Elaboración Propia*

### 16.8 Conclusiones del estudio económico financiero

El análisis económico-financiero realizado permite concluir que es necesaria una inversión inicial de \$1.172.847.336,79 para la construcción de una planta de producción de p-xileno, la cual es financiada por crédito del Banco Nación, con una tasa nominal anual fija del 40% y un plazo de pago de 10 años.

De acuerdo con los resultados vistos a partir del análisis de los indicadores económicos y de rentabilidad, como el VAN, la TIR y la relación B/C, se observa la viabilidad económica del proyecto y su rentabilidad, manteniendo los volúmenes y precios establecidos para el producto.

Basados en los análisis de sensibilidad se concluye que las variables más influyentes en la rentabilidad del proyecto son el precio de venta y precio de la materia prima cuyo margen de disminución no debe ser superior al 6% aproximadamente, lo que nos indica un precio de venta mínimo de \$62 por kg y donde el precio de la materia prima no puede ser superior a \$460 por kg.

Respecto a los indicadores, se obtuvo una TIR de 50%, un VAN positivo de \$238.036.857 y una relación beneficio/costo de 1,42. Ellos demuestran, numéricamente, la rentabilidad de este proyecto.

# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

La producción de PET registra un aumento a través de los años lo que permite inferir que aumentará la demanda de p-xileno, su producción nacional es clave para la sustitución de las importaciones.

Se seleccionó el proceso más conveniente económicamente y donde se obtuviera la mayor pureza de p-xileno sin generar un alto impacto ambiental.

Se determinó la cantidad de producción para sustituir un porcentaje de las importaciones analizando la demanda y las limitaciones de la planta.

En la localización se analizó la proximidad de los proveedores y clientes concluyendo Ensenada, Buenos Aires como el lugar óptimo.

En los balances de masa y energía se llevaron a cabo las integraciones energéticas necesarias para lograr mayores rendimientos de proceso.

Se automatizó el proceso que garantiza la seguridad y calidad del producto.

Se efectúa una evaluación económica-financiera, mediante indicadores que determinan la factibilidad del proyecto (VAN - TIR). Las mismas arrojan resultados favorables, lo cual señala que el proyecto de inversión es factible.

# BIBLIOGRAFÍA

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.

## BIBLIOGRAFÍA

- INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS) y COMISIÓN EUROPEA (CE), 2005, *Fichas Internacionales de Seguridad Química*, p-XILENO.
- INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS) y COMISIÓN EUROPEA (CE), 2005, *Fichas Internacionales de Seguridad Química*, HIDRÓGENO.
- INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS) y COMISIÓN EUROPEA (CE), 2005, *Fichas Internacionales de Seguridad Química*, BENCENO.
- INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS) y COMISIÓN EUROPEA (CE), 2005, *Fichas Internacionales de Seguridad Química*, ETILBENCENO.
- QUIJANO, ANA LARA, 2018. *Trabajo Fin de Grado Ingeniería Química: Ingeniería básica de una planta de producción de p-xileno por metilación de tolueno*. Pág. 15. Sevilla.
- M. L. SUÁREZ OROZCO; S. A. CRUZ FIERRO; A. LÓPEZ ARIAS y C. A. BELLO, 2003, *Guías para manejo seguro y gestión ambiental de 25 sustancias químicas*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia - Consejo Colombiano de Seguridad.
- R. G. VALVERDE Y A. I. H. CALVO., 2016, Boletín Informativo IPA n° 83.
- R. OBREGÓN GUERRA; V. ELIZONDO & C. RODRÍGUEZ DE BARBARÍN, 2004, *Obtención selectiva de para-xileno sobre una zeolita sintética zsm-5*. Ciencia UANL, 7(2).
- VIZCAINO, B. 1998, *Identificación y caracterización de la zeolita natural tipo Clinoptilolita*. En Trabajo de grado Maestría en ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad De Ciencias Físico-Matemáticas. Monterrey.
- YPF; *Ficha de Datos de Seguridad (FDS) Xileno Mezcla*; [www.ypf.com](http://www.ypf.com)
- YPF; *Ficha de Datos de Seguridad (FDS) o-Xileno*; [www.ypf.com](http://www.ypf.com)
- Fibre2Fashion, «Capacidad global de PX para alcanzar 48776 mil toneladas para 2020.,» *Fibre2Fashion*, 2014.
- Revista Petroquímica, «Aumentan la producción de resinas de PET en el país,» *Revista Petroquímica, Petróleo, Gas, Química y Energía.*, 2013.
- M. Friedlander, «Hoy la Argentina exporta más al continente asiático que al propio Mercosur,» *InfoCampo*, 2017.
- C. Boyadjian, «De la mano de Asia, proyectan que exportaciones argentinas crecerán 126% hacia 2030.,» *El Cronista*, 2018.
- R. G. Valverde y A. I. H. Calvo., «Boletín Informativo IPA n° 83,» 2016.
- D. Carlos, G. Carlos y S. Néstor, «El rol de China en el mundo y su relación con la Argentina,» *Revista del CEI Comercio Exterior e Integración* , n° 13, 2008.
- I. J. Texido, «Industria Petroquímica Básica - Estructura Económica Argentina,» UBA, Buenos Aires, 2013.
- IPA Instituto Petroquímico Argentino, «Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina.,» 2016.
- APLA Asociación Petroquímica y Química Latinoamericano, «Anuario Petroquímico Latinoamericano 13-14,» 2013-2014.
- A. L. Quijano, «Ingeniería básica de una planta de producción de p-xileno por metilación de tolueno.,» Dpto de Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. , Sevilla, 2018.
- ChemicalSafetyFacts, «ChemicalSafetyFacts,» [En línea]. Available: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/paraxylene/>.
- China. 2017. *Análisis de tendencias de desarrollo de la industria p-xileno de China. 2017*.<http://www.chyxx.com/industry/201706/531391.html>.
- 2016 PX, 17 02 2016. <http://www.chyxx.com/industry/201602/386577.html>.
- 2018., 20 04 2018.<http://market.chinabaogao.com/huagong/04203315352018.html>.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

- G. B. Urbina, Evaluación de Proyectos - Séptima Edición, Mexico : Interamericana Editores .
- N. S. Chain, R.S.Chain; Preparación y Evaluación de Proyectos - Segunda Edición, Mexico : Interamericana Editores .
- YPF [www.ypf.com](http://www.ypf.com)
- APLA Asociación Petroquímica y Química Latinoamericano. (2013-2014). *Anuario Petroquímico Latinoamericano* 13-14.
- Cámara de la Industria Química y Petroquímica . (2014). *La Industria Petroquímica Argentina Su perfil en el año 2025* . Buenos Aires .
- Cámara de puertos privados comerciales. (s.f.). *Mapas*. Obtenido de <http://www.camarapuestos.com.ar/mapas>
- Conicet. (17 de 10 de 2016). *Revista Petroquímica* . Obtenido de <https://www.revistapetroquimica.com/mapa-petroquimico/>
- Gobierno de Buenos Aires. (2017). *Buenos Aires Provincia*. Obtenido de [https://www.gba.gob.ar/produccion/area\\_de\\_trabajo/puertos](https://www.gba.gob.ar/produccion/area_de_trabajo/puertos)
- Industria petroquímica en Argentina. ECYT- AR. (2015). [https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Industria\\_petroqu%C3%ADmica\\_en\\_Argentina](https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Industria_petroqu%C3%ADmica_en_Argentina)
- Properati. (2018). *Properati*. Obtenido de [https://www.properati.com.ar/17991\\_venta\\_terreno\\_ensenada\\_luminoso\\_lujoso\\_r-d-daniel-angelakis](https://www.properati.com.ar/17991_venta_terreno_ensenada_luminoso_lujoso_r-d-daniel-angelakis)
- Urbina, G. B. (2006). *Evaluación de proyectos* . Esmeralda, Mexico : Ingramex S.A.
- Red parques, Desarrollo industrial argentino.
- Weather Spark . (s.f.). *El clima promedio en Ensenada, Argentina*. Obtenido de Google Maps.
- R. OBREGÓN GUERRA; V. ELIZONDO & C. RODRÍGUEZ DE BARBARÍN, 2004, *Obtención selectiva de para-xileno sobre una zeolita sintética zsm-5*. Ciencia UANL, 7(2).
- R. GARCÍA VALVERDE; A. I. HINOJOSA CALVO, 2016 *Boletín informativo Nro 83 IPA*.
- J.P. Breen; R. Burch; J. Collier; E. Golunsky. (2008) *US Patente n° 7,321,072 B2*.
- DELTA MUTIARA, *preliminary design of paraxylene plant using selective toluene disproportionation process capacity of 400,000 tons/ year*, chemical engineering department faculty of engineering universitas muhammadiyah Surakarta, 2017.
- ANA LARA QUIJANO, *Ingeniería básica de una planta de producción de p-xileno por metilación de tolueno. Dpto. Ingeniería Química y Ambiental, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2018*.
- T. DURSCH; R. KHALIL; A. KHINE & F. MUTAHI, 2009, *Toluene Methylation to Paraxylene*. Senior Design Reports (CBE), 7.
- VALVERDE PALOMINO J. L. 1991, *Alquilación de tolueno con metanol mediante catalizadores de zeolita ZSM-5 modificados*. Madrid.
- Albahar, M. Z. (2018). *Selective toluene disproportionation over ZSM-5 zeolite* . School of Chemical Engineering and Analytical Science.
- C., K. J. (1980). *Procesos de Separación*. España: Reverté.
- D500122006, D. M. (2017). *Preliminary desing of paraxylene plant using selective toluene disproportionation process capacity of 400000 tons/years*. Universitas Muhammadiyah Surakarta .
- K., W. (1997). *Industrial Organic Chemistry*. WCH.
- Tsai, T.-C. (1998). *Disproportionation and trasalkylation of alkybenzenes over zeolite catalysts*. Taiwan : Refining and Manufacturing Research Center - Chinese Petroleum Corporation .
- A.D. Fremuth, W.D. Eccli, J.L. Pickering, WO 95/26947 (1995).
- al, M. e. (1999). *Patente n° US 5866740*.
- Albahar, M. Z. (2018). *Selective toluene disproportionation over ZSM-5 zeolite* . School of Chemical Engineering and Analytical Science.
- Amemiya, T. (1973). *A new process for separation of p-xylene*.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Peticarolli Gonzalo.

- Banderas, V. (s.f.). *Ingeniería de Fluidos - Agitación*. Mejiçco: UNAM.
- Beck, J. (1994). *Patente n° US 5365004*.
- C., K. J. (1980). *Procesos de Separación*. España: Reverté.
- Castillo, U. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Chile: Universidad de BIO-BIO.
- D500122006, D. M. (2017). *Preliminary desing of paraxylene plant using selective toluene disproportionation process capacity of 400000 tons/years*. Universitas Muhammadiyah Surakarta .
- Geankoplis, J. (2008). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*.
- Heras, N. (2018). *Diseño de tanque de agitación*. UDLAP: Mejiçco.
- J. Ocon; G. Tojo . (1982). *Problemas de Ingeniería Química*. Madrid: Aguilar.
- K., W. (1997). *Industrial Organic Chemistry*. WCH.
- Kern, D. (1999). *Transferencia de la Energía Térmica*. Mexico: CECSA.
- Levenspiel, O. (1998). *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. Reverté.
- Megyesy, E. F. (1992). *Manual de recipientes a presión. Diseño y Cálculo*. Limusa.
- Perry, R. (1999). *Chemical Engineers*.
- Puppel, G. (1991). *Patente n° UD 5055630*.
- SMAN Industries. (s.f.). *Manual de cálculo*. Universidad Autonoma de Barcelona - Escola d' Enginyeria.
- Tabler, D. (1997). *Patente n° US 4025574*.
- Tsai, T.-C. (1998). *Disproportionation and trasalkylation of alkybenzenes over zeolite catalysts*. Taiwan : Refining and Manufacturing Research Center - Chinese Petroleum Corporation .
- W.L. McCabe, J.C. Smith, P.Harriot. (7ma edición 2007). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Mc Graw-Hill.
- Weedman, J. (1998). *Patente n° US 3067270*.
  
- Kern. (1999). *Transferencia de la Energía Térmica*. Mexico: CECSA.
- Ref, B. (2014). *Regriferacoin con amoniaco*. 14.
- Rey, J. F. (2015). *Curso de distribución del vapor en instalaciones industriales*. La Habana, Cuba.
- E-medida, *Revista Española de Metrología*.
- *Cromatografía de gases*, Universidad de Alicante.
  
- Fraina, A. L. (2015). *Tableros Electricos. Notas tecnicas*, 4.
- *Lighting Handbook*. (s.f.). New Jersey U.S.A: DOSSAT S.A.
- Lopez, B. S. (2106). *IngenieriaIndutrialonline.com*.
  
- Picasso, W. G. (s.f.). *Introducción al control automático de procesos*.
- Smith, C. A. (1991). *Control automático de proceso, teoría y práctica*. México, D.F.: Editorial LIMUSA, S.A.
- <https://www.spiraxsarco.com>
- <https://new.siemens.com>
  
- Argentina, M. d. (2017). *Ley n° 19587: Higiene y Seguridad de trabajo*. La Plata.
- Argentina., A. d. (1995). *Ley n° 24557*. Buenos Aires.
- Argentina., M. d. (s.f.). *Elementos de protección personal*. Buenos Aires.
- Construmática metaportal de arquitectura, i. y. (s.f.). *Símbolos y pictogramas. Señalización de seguridad*. España.
- Group, T. L. (2012). *Hoja de seguridad del material hidrogeno*.
- INSST. (1997). *Señalización de seguridad y de higiene y trabajo*. España.
- Prodructs, I. G. (2015). *Hoja de seguridad del material amoniaco anhidrido*.
- Roth. (2017). *Hoja de seguridad del material etilbenceno*. Alemania.

Bragas Agostina B.; Broggi Lloret Guadalupe A.; Cabrera Sofia F.; Perticarolli Gonzalo.

- Roth. (2018). *Hoja de seguridad del material cloruro de sodio*. Alemania.
- Roth. (2019). *Hoja de seguridad del material p-xileno*. Alemania.
- UCASAL. (1986). *Identificación y rotulado de productos peligrosos. Símbolos e indicaciones para la correcta manipulación de embalajes*. Buenos Aires.
- YPF. (2012). *Hoja de seguridad del material tolueno*. Buenos Aires.
- YPF. (2014). *Hoja de seguridad del material mezcla de xilenos*. Buenos Aires.
- YPF. (2015). *Hoja de seguridad del material benceno*. Buenos Aires.
- YPF. (2015). *Hoja de seguridad del material o-xileno*. Buenos Aires.
- Ley 19550. Sociedades Comerciales: Buenos Aires, Argentina: 1984.

# ANEXO A

## PLANOS