

# PRODUCCION DE CH.

## Integración V - Proyecto Final

Carrera: Ingeniería Química

---

### ALUMNOS:

- De Luca Leonel.
- Fogolini Ana.
- Guido Víctor.
- Soler Valentina.

### DOCENTES:

- Titular de Cátedra: Ing. Vrcic, Juan Domingo.
- Ayudantes: Ing. Nieto, Paola. Ing. Rueda, Hernán.

Año 2021

## Contenido

1. OBJETIVO .....	4
2. ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
3. ESTUDIO DE MERCADO .....	5
3.1. Introducción.....	5
3.2. El producto, sus características.....	5
3.3. Evolución de la producción.....	11
3.4. Consumo Histórico.....	12
3.5. Productos sustitutos .....	14
3.6. Proyecciones de demanda.....	16
3.7. Determinación de la capacidad de producción de la nueva planta .....	17
3.8. Materia prima .....	18
3.9. Clientes y competencia de Productos y Materias Primas .....	27
3.10. Variables macroeconómicas.....	30
4.0. UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	34
4.1. Factores que influyen en la ubicación de una planta industrial .....	34
4.2. Factores primarios.....	34
4.3. Factores específicos.....	37
4.4. Métodos para determinar la ubicación, preliminares y finales. ....	39
4.5. Estudios de clima:.....	43
4.6. Estudios de requisitos legales.....	48
4.7. Estudios de suelos.....	57
4.8. Conclusiones.....	63
5. SELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO Y TECNOLOGIA.....	64
5.1. Descripción de los distintos procesos posibles .....	66
5.2. Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno .....	75
5.3. Selección del método óptimo.....	77
5.4. Diagrama de bloques de producción .....	78
5.5. Descripción detallada del proceso elegido.....	78
6. DISEÑO BÁSICO .....	80

6.1.	Determin. de las bases de diseño principales en los límites de batería...	80
6.2.	Balance de masa y energía.....	84
6.3.	Construcción del diagrama deflujo (PFD) .....	85
6.4.	Diseño básico de los equipos principales y auxiliares (NORMAS) .....	86
6.4.1.	Reactor multitubular R101.....	86
6.4.2.	Intercambiador de calor de tubo y coraza E107.....	112
6.4.3.	Bomba de carga P102.....	132
6.4.4.	Tanque de almacenamiento de Benceno.....	146
6.4.5.	Separador flash vertical F101.....	159
6.4.6.	Torre T-101.....	165
6.5.	Requerimientos de servicios auxiliares .....	183
7.	DIAGRAMAS Y PLANOS .....	186
7.1.	P&ID. Análisis de fallas. Sistemas de parada de emergencia; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
7.2.	Plano de distribución de equipos .....	186
7.3.	Plano de distribución de áreas .....	195
8.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	196
8.1.	Actividades con impacto ambiental; formas de mitigarlos.....	196
8.2.	Identificación de factores del medio potencialmente afectados .....	201
8.2.1.	Medio ambiente natural.....	201
8.2.2.	Medio ambiente físico .....	201
8.2.3.	Suelos.....	201
8.2.4.	Clima .....	201
8.3.	Matriz Identificación y ponderación de impactos.....	202
8.4.	Nivel de complejidad Ambiental .....	204
8.5.	Riesgos en operación y transporte. Formas de mitigación .....	208
9.	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL.....	212
9.1.	Sindicatos .....	212
9.2.	Organigrama.....	213
9.3.	Seguridad industrial .....	215
9.4.	Vinculación con sindicatos.....	215

9.5.	Selección del personal.....	216
10.	CÁLCULO ECONÓMICO .....	217
10.1.	Capital Fijo. Concepto.....	217
10.2.	Cotización de equipos .....	217
10.3.	Inversión inicial por método de porcentajes .....	218
10.4.	Estructura de costos. Costos fijos y variables. ....	219
10.5.	Ingresos por ventas: .....	221
10.6.	Capital de trabajo. Concepto. Método para estimarlo .....	222
10.7.	Financiación .....	226
10.8.	Construcción del diagrama de flujo de fondos .....	227
10.9.	Valor actual neto.....	229
10.10.	Tasa interna de retorno:.....	229
10.11.	Sensibilidad a las diferentes variables: .....	229
10.12.	Decisión de inversión.....	232
11.	BIBLIOGRAFIA .....	232
11.1.	Libros.....	232

## 1.OBJETIVO:

Desarrollo de la ingeniería básica para aprobación de inversión de una planta de producción de ciclohexano por hidrogenación catalítica de benceno, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas, de seguridad y medioambientales asociadas con la industria petroquímica.

## 2.ALCANCE DEL PROYECTO:

Estudio de viabilidad técnico económico y ambiental, para la instalación de una planta de ciclohexano con una producción de 65.000 toneladas anuales.

El desarrollo del estudio implica realizar FEL I, FEL II Y FEL III, en un periodo de tiempo no superior al año, debiendo entregar la información para toma de decisión en diciembre de 2021. Esto incluye localización de la empresa, obtención de certificado de aptitud ambiental, organigrama y análisis económico y de sensibilidad.

De resultar positivo, dentro del alcance de este trabajo se solicita un estudio de EPC con tipo de contrato a utilizar y cronograma de ejecución de la obra y fecha de PEM.

### 3. ESTUDIO DE MERCADO:

#### 3.1. Introducción:

El estudio de mercado constituye la primera etapa en todo proyecto de inversión. El mismo consiste en una serie de técnicas y procedimientos útiles para la determinación y cuantificación de la oferta, la demanda, el análisis de los precios y por último el estudio de comercialización.

El objetivo general del mismo es verificar la posibilidad real de penetración de nuestro producto en el mercado.

Los objetivos específicos que se abordan en este estudio son los siguientes:

- Definición del producto.
- Ratificar la existencia de demanda de ciclohexano insatisfecha que justifique la creación del proyecto.
- Incluir características y análisis de la demanda.
- Determinar el segmento de mercado que se pretende cubrir.
- Pronosticar la demanda futura.
- Llevar a cabo el análisis de la competencia.
- Definir los canales de comercialización.
- Definir la capacidad instalada.

#### 3.2. El producto, sus características:

El ciclohexano es un producto de la industria petroquímica intermedia derivado del benceno. Su fórmula es ( $C_6H_{12}$ ), y es el producto precursor del ácido adípico y la caprolactama, a partir de los cuales se obtienen las fibras de nylon.

### 3.2.1. Propiedades:

A continuación, se detallan las principales propiedades físicas, químicas y de seguridad para manejo y transporte del ciclohexano:

2.IDENTIFICACION DEL PELIGRO O PELIGROS			
Pictograma			
Palabra Advertencia	Peligro		
Indicación de Peligro	H225 Líquido y vapores muy inflamables.	H304 Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias. H315 Provoca irritación cutánea. H336 Puede provocar somnolencia o vértigo.	H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos
Consejo de Prudencia	Líquidos inflamables (Categoría 2)	Peligro de aspiración (Categoría 1) Irritación cutáneas (Categoría 2) Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3)	Toxicidad acuática aguda (Categoría 1) Toxicidad acuática crónica (Categoría 1)
Otras regulaciones	-		
OTROS PELIGROS			
<p>Producto no aditivado con anti-estáticos.</p> <p>Acumulador estático: este material es un acumulador estático. Ciertos factores, como la temperatura del líquido, la presencia de contaminantes, la adición de aditivos antiestáticos y la filtración pueden influenciar en la conductividad del líquido y modificar la capacidad de acumular estática.</p>			

Fuente: ficha de seguridad del ciclohexano, YPF.

## 7.MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### Manipulación:

#### *Precauciones generales:*

Utilizar ropa de protección adecuada y gafas de seguridad para prevenir el contacto con la piel y los ojos y protección respiratoria para evitar la exposición por inhalación. 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.

El material puede acumular cargas estáticas que pueden causar una chispa eléctrica (fuente de ignición). Cuando el material se maneja a granel, una chispa eléctrica puede encender los vapores de líquidos inflamables o residuos que puedan estar presentes (por ejemplo, durante las operaciones de trasvase de carga). Use procedimientos adecuados para conexión a tierra. Sin embargo, las conexiones a tierra pueden no eliminar el peligro de la acumulación de estática. Coloque el recipiente a tierra durante el llenado y mantenga contacto con el mismo. No utilice equipos electrónicos en proximidades de las áreas de llenado, excepto que los mismos estén debidamente certificados como seguros. Consulte las normas locales aplicables para orientación. Referencias adicionales incluyen el Instituto Americano del Petróleo 2003 o National Fire Protection Agency 77 o CENELEC CLC / TR 50404.

*Condiciones específicas:* Sistema de ventilación local eficiente antideflagrante. Se deben emplear procedimientos especiales de limpieza y mantenimiento de los tanques para evitar la exposición a vapores. Se debe comprobar que los tanques han sido adecuadamente purgados antes de realizar cualquier operación de limpieza o mantenimiento en ellos.

*Uso Específico:* Disolvente.

### Almacenamiento:

#### *Temperatura y productos de descomposición:*

En caso de calentamiento puede desprender vapores irritantes y tóxicos. En caso de incendio, ver la Sección V.

*Reacciones peligrosas:* Material fácilmente inflamable y combustible. Puede explotar si se mezcla con N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> líquido.

#### *Condiciones de almacenamiento:*

Almacenar en un área limpia, seca y bien ventilada. Proteger del sol. Mantener en los embalajes originales y correctamente cerrados. No fumar, soldar o realizar cualquier tipo de actividad que provoque la formación de llamas o chispas en el área de almacenamiento.

*Materiales incompatibles:* Oxidantes fuertes, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

*Fuente: ficha de seguridad del ciclohexano, YPF.*

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
<b>Aspecto:</b> Líquido.	<b>pH:</b> No aplica.
<b>Color:</b> Incoloro.	<b>Olor:</b> Pungente.
<b>Punto de ebullición:</b> 80.7°C (177.3 °F)	<b>Punto de fusión/congelación:</b> 6.5 °C
<b>Punto de inflamación/Inflamabilidad:</b> -18°C (-0.4°F) c.c.	<b>Autoinflamabilidad:</b> 473°C (243 °F)
<b>Propiedades explosivas:</b> LSE: 8.3% LIE: 1.3%	<b>Propiedades comburentes:</b> NP
<b>Presión de vapor:</b> 96.6 mmHg (13 kPa) a 25°C	<b>Densidad:</b> 0.78 g/cm <sup>3</sup>
<b>Tensión superficial:</b> Sin información disponible.	<b>Viscosidad:</b> (a 20 °C) 1.26 cPs
<b>Densidad de vapor:</b> 2.98 (aire: 1) Índice de evaporación: 2.6 (éter = 1)	<b>Coef. reparto (n-octanol/agua):</b> 3.44
<b>Hidrosolubilidad:</b> Insoluble.	<b>Solubilidad:</b> Acetona, alcohol, benceno.
<b>Otros datos:</b> Peso molecular: 84.16 g/mol Conductividad Eléctrica: 1 pS/m (Valor Típico: <25 pS/m)	

Fuente: ficha de seguridad del ciclohexano, YPF.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
<b>Estabilidad:</b> El material es estable bajo condiciones normales.	<b>Condiciones a evitar:</b> Chispas, llamas y fuentes de ignición.
<b>Incompatibilidad:</b> Materiales oxidantes, N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .	
<b>Productos de combustión/descomposición peligrosos:</b> En caso de calentamiento puede desprender vapores irritantes y tóxicos. En caso de incendio, ver la Sección V.	
<b>Riesgo de polimeración:</b> El material no desarrollará polimerización peligrosa.	<b>Condiciones a evitar:</b> Sin información disponible.

Fuente: ficha de seguridad del ciclohexano, YPF.

#### 14. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE

<b>Precauciones especiales:</b>	
Transportar en contenedores correctamente cerrados y etiquetados.	
<b>Información complementaria:</b>	
<b>TRANSPORTE TERRESTRE :</b>	
Nombre Apropiado para Embarque :	CICLOHEXANO
No UN/ID :	1145
Clase de Peligro:	3
Número de Identificación de Riesgo :	33
Grupo de Embalaje :	II
Cantidad Exenta :	1L / E2 ; R195/97: 333 Kg
<b>TRANSPORTE AÉREO (ICAO/IATA) :</b>	
Nombre Apropiado para Embarque :	CICLOHEXANO
No UN/ID :	1145
Clase de Peligro :	3
Grupo de Embalaje :	II
CRE :	3H
Aviones de Pasajeros y Carga :	Y341, 1L / 353, 5L
Aviones de Carga solamente :	364, 60L
<b>TRANSPORTE MARÍTIMO (IMDG/IMO) :</b>	
Nombre Apropiado para Embarque :	CICLOHEXANO
No UN/ID :	1145
Clase de Peligro :	3
Grupo de Embalaje :	II
Contaminante Marino :	SI
Estiba y Segregación :	Categoría E

*Fuente: ficha de seguridad del ciclohexano, YPF.*

### 3.2.2. Aplicaciones:

Como se mencionó, el ciclohexano es un producto derivado del benceno, el cual constituye el producto de partida de muchos compuestos de interés industrial.

Se lo utiliza para la fabricación del ácido adípico y caprolactama, los cuales son utilizados para la fabricación de las fibras de nylon 6 y 6,6.

A nivel mundial más del 90% del ciclohexano se utiliza para la obtención de nylon, y el moldeo de resinas para la industria de los plásticos de ingeniería, mientras que el resto de su producción se destina como disolvente y plastificante.

A continuación, se muestra el detalle porcentual en sus aplicaciones:

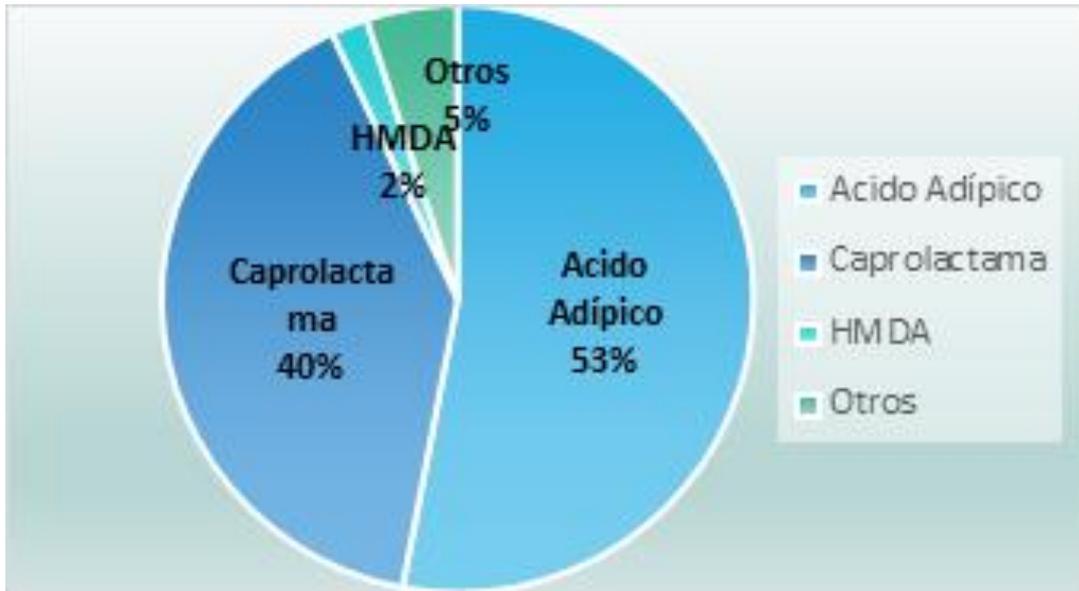


Gráfico: Aplicaciones del ciclohexano  
Fuente: Instituto Petroquímico Argentino.

3.2.3. Esquema de la cadena productiva del ciclohexano:

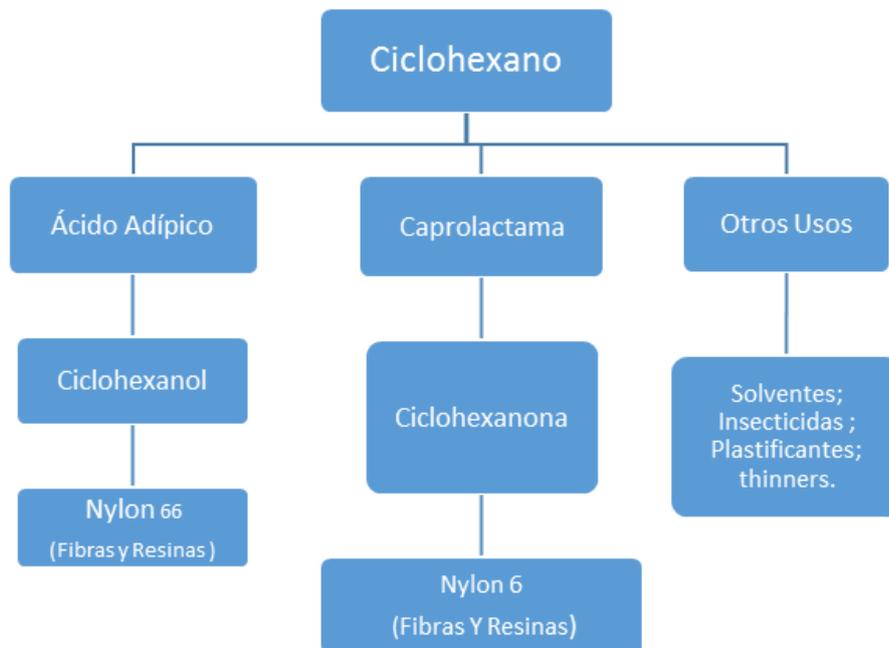


Ilustración: Esquema productiva.  
Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano.

### 3.3. Evolución de la producción:

#### 3.3.1. Producción Local- Latinoamérica:

En la actualidad existe una única empresa productora de ciclohexano en territorio argentino, YPF S. A, la cual se encuentra ubicada en el polo petroquímico Ensenada, provincia de Buenos Aires.

El ciclohexano es fabricado allí a través del proceso de hidrogenación de benceno, empleando el método Arco-Engelhardt. Posee una capacidad instalada de 95.000 Tn/año.

Según los últimos datos del Instituto Petroquímico Argentino la producción llega a un valor promedio de tan solo 13.000 Tn/año, representando un porcentaje de ocupación de su capacidad instalada total del 13%.

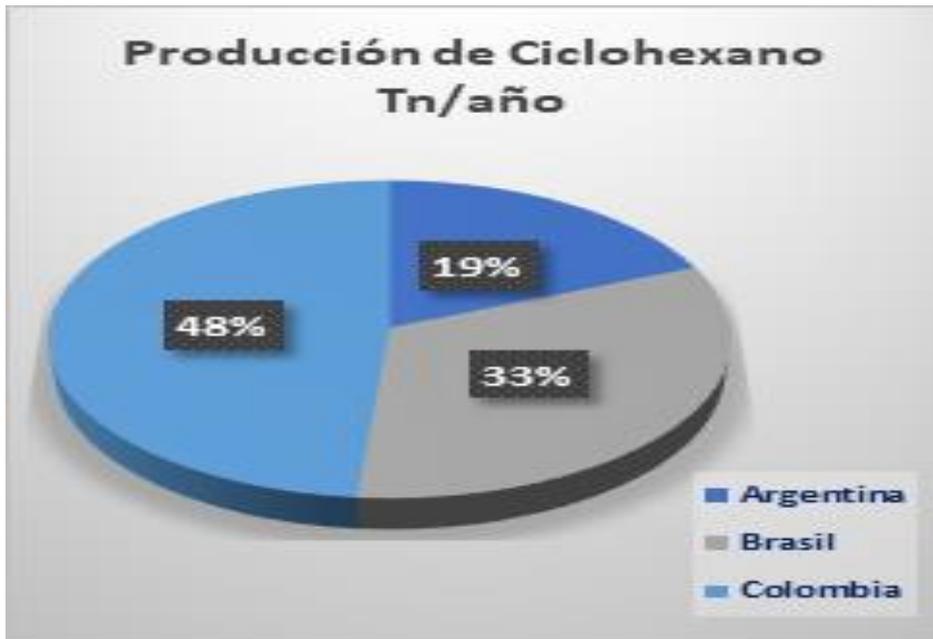
El destino principal en el mercado local es su uso como disolvente.



Gráfico: Destino del ciclohexano.  
Fuente: Instituto Petroquímico Argentino.

El panorama de producción en Latinoamérica tiene a Colombia con una producción promedio de 34.000 Tn/año, luego sigue Brasil con una producción de 24.000 Tn/año. En la actualidad ambos países, destinan su producción para abastecer el consumo interno.

El siguiente gráfico representa la distribución de producción de en Latinoamérica:



*Gráfico: Producción de ciclohexano en Latinoamérica.  
Fuente: Instituto Petroquímico Argentino.*

#### 3.4. Consumo Histórico:

Estados Unidos, Europa Occidental y China son los principales consumidores de ciclohexano, que lo destinan para la producción del ácido adípico y caprolactama.

La mayor parte de la demanda de estos dos productos se produce en China, quien lo emplea para producir fibras de nylon y adhesivos de fusión en caliente a base de poliéster para suelas de zapatos, entre otros.

Es importante destacar que existe una demanda de nylon creciente, con muy buenas proyecciones futuras en el campo de la ingeniería de los termoplásticos, en resinas o películas, lo cual amplía claramente las oportunidades de mercado para el ciclohexano.

Según un estudio de apymep.org del 2019, se estima un crecimiento anual del 6% en este campo.

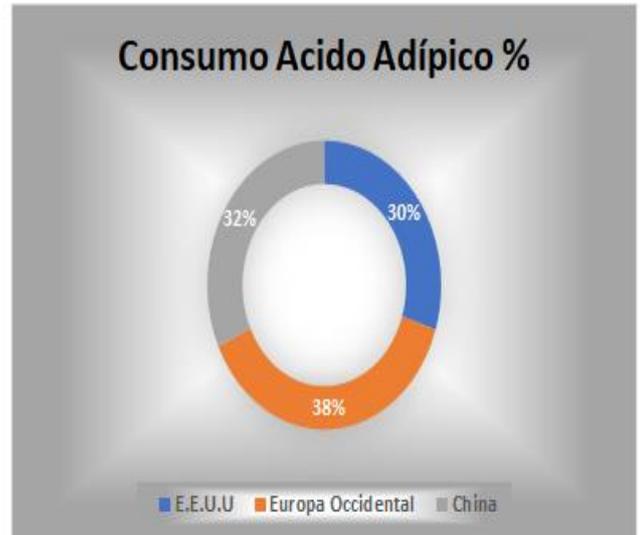
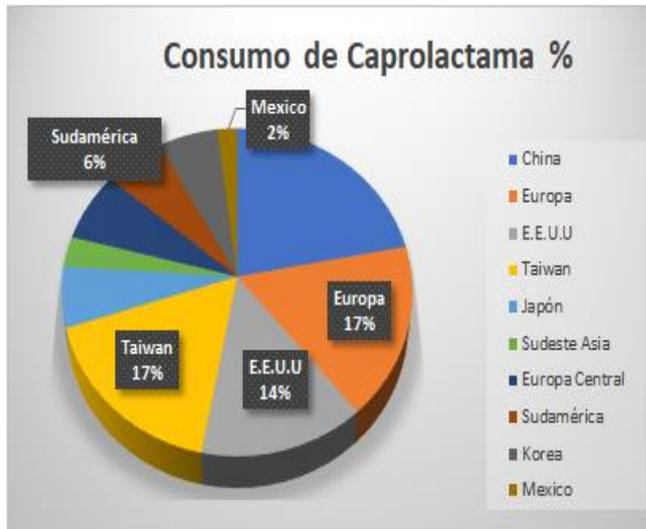


Gráfico: Consumo mundial de los derivados del ciclohexano.  
Fuente: Anuario Petroquímico y Químico Latinoamericano.

### 3.4.1. Consumo en Latinoamérica:

Importación Ciclohexano (Tn/año)						
Año	Brasil	Chile	Colombia	México	Venezuela	Peru
2011	2.063	1.361	15.790	83.102	1.921	
2012	2.458	1.232	12.027	81.355	1.265	
2013	2.535	1.274	6.337	86.702	1.353	
2014	1.990	1.088	2.369	78.879	1.468	
2015	2.407	1.174	4.000	84.078	2.522	
2016	3.013	1.353	18.930	89.582	1.566	2
2017	102.300	1.539	10.540	60.374	2.240	2
2018	104.300	1.627	13.945	80.346	1.632	1
<b>Promedio</b>	<b>27.633</b>	<b>1.331</b>	<b>10.492</b>	<b>80.552</b>	<b>1.746</b>	<b>2</b>

Tabla: importación en Latinoamérica de ciclohexano.  
Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano.

### 3.4.2. Producción de productos derivados del ciclohexano:

Como se indicó, el ciclohexano es el compuesto de partida para la obtención de las fibras de nylon 6 y nylon 6,6. Dichas fibras implican una demanda del 93% de la producción mundial del mismo. Por lo tanto, la demanda está condicionada por el requerimiento de este material en el mercado, ya sea como fibras textiles, industriales o plásticos de ingeniería.

La producción de compuestos derivados del ciclohexano en Argentina, cayó abruptamente sin posibilidad hasta el presente de recuperación. Por lo que el nicho del mercado para este estudio, se concentra en el exterior del país.

En el siguiente gráfico, se reflejan los valores históricos totales de la producción de derivados del ciclohexano correspondientes a los principales países productores en América latina, los cuales son Brasil y México.



Gráfico: Producción en Tn/ año de productos derivados del ciclohexano en Latinoamérica.  
Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano 2010/2012.

### 3.5. Productos sustitutos:

Como productos sustitutos, nos referimos a los productos químicos que de manera alternativa podrían utilizarse como materia prima para la obtención del ácido adípico y la caprolactama. Estos son el ciclohexanol y la ciclohexanona.

También aquí entra en competencia el ciclohexano que puede llegar a producir YPF debido a su holgada capacidad instalada, pero con respecto a esto se prevé, de acuerdo al plan de YPF que, en el período de estudio de este proyecto no decidirá aumentar el volumen de producción de ciclohexano en su planta de Ensenada.

Siendo Argentina actualmente el único país exportador de ciclohexano en América latina, queda una brecha muy importante de demanda de ciclohexano por satisfacer.

#### 3.5.1. Ciclohexanona:

La mayor parte de la producción mundial de ciclohexanona se convierte en ácido adípico para la fabricación de nylon, pero a su vez es material intermedio en la síntesis de otros productos industriales, sobre todo fármacos, herbicidas, insecticidas, colorantes, cauchos y plastificantes.

También es utilizado como disolvente industrial para resinas, ceras, grasas y lacas de celulosa.

Los principales países exportadores de Ciclohexanona en el último año fueron Italia por un valor de \$99,3M, Estados Unidos con \$44,5M, China por \$30,2M y Japón con \$30,1M de dólares.

La configuración del mercado latinoamericano posicionó a Colombia como el principal país exportador con el 62,2% de las toneladas exportadas, luego le siguió Brasil con el 37,8%.

Los países que se destacan como importadores de Ciclohexanona son Alemania (\$29,7M), Reino Unido (\$28,8M), Bélgica (\$28,4M) e India(\$27,1M).

En América del Sur las importaciones fueron de un valor total de 4,17M. El 42,3% de las toneladas de ciclohexanona importada fue por Brasil, luego le siguió Colombia con el 22%, Argentina 18,1% y en menor medida Perú con el 9,16% y Ecuador con el 5,94%.

No se prevén cambios sustanciales en el período de vida del proyecto en estudio, por lo que este producto sustituto no resultará en grandes cimbronazos de producción local de ciclohexano.

*Fuente: <https://oec.world/> (Observatorio de complejidad económica).*

### 3.5.2. Ciclohexanol:

Es el producto número 4028 más comercializado del mundo. Su mayor aplicación es en la manufactura de ácido adípico, pero es utilizado también como solvente y limpiador de materiales, y es importante para la fabricación de jabones y detergentes. Por otro lado, es un producto intermedio en productos farmacéuticos, ciclohexilamina y pesticidas.

Los principales países importadores de ciclohexanol fueron Corea del Sur por un valor estimado de \$65,4M, Alemania con \$18,4M y China con \$2M.

En tanto que en la región de América del Sur se encuentra Brasil con el 72,4% de las toneladas importadas en el último año, seguido se posiciona Argentina con el 21,4%.

En el año 2020, los principales exportadores de ciclohexanol fueron Japón por un valor total aproximado de \$65,7M, Bélgica \$16,7M y Alemania con \$2,54M.

En el plano latinoamericano, Brasil es el único país exportador por un valor estimado de \$1,03M.

En este caso tampoco se prevén cambios en el período de vida del proyecto en estudio.

*Fuente: <https://oec.world/> (Observatorio de complejidad económica).*

### 3.6. Proyecciones de demanda:

En función de la configuración del mercado mundial, el objetivo de nuestra empresa productora será la de satisfacer los requerimientos de ciclohexano en la región latinoamericana.

Según el estudio de mercado, se estima que la producción de productos derivados del ciclohexano como el ácido adípico, caprolactama entre otros, alcanzarían un valor aproximado de 200.000 toneladas para el último periodo, estando esta demanda concentrada principalmente en Brasil, México y Colombia.

YPF S. A, actual productora, exporta 12.000 Tn/año, destinando solo un 3% del benceno producido a la fabricación de ciclohexano. Esto revela que la producción de este compuesto no es primordial para su estructura económica, como si lo es la elaboración de otros productos derivados del benceno, principalmente el etilbenceno y alquillinealbenceno (LAB).

A partir de los datos obtenidos a través de las fuentes del Instituto Petroquímico Argentino y del Anuario Petroquímico Latinoamericano y a su vez estimando un crecimiento del 4% para esta actividad en Latinoamérica, se elabora las proyecciones en la oferta y demanda hasta el año 2035.

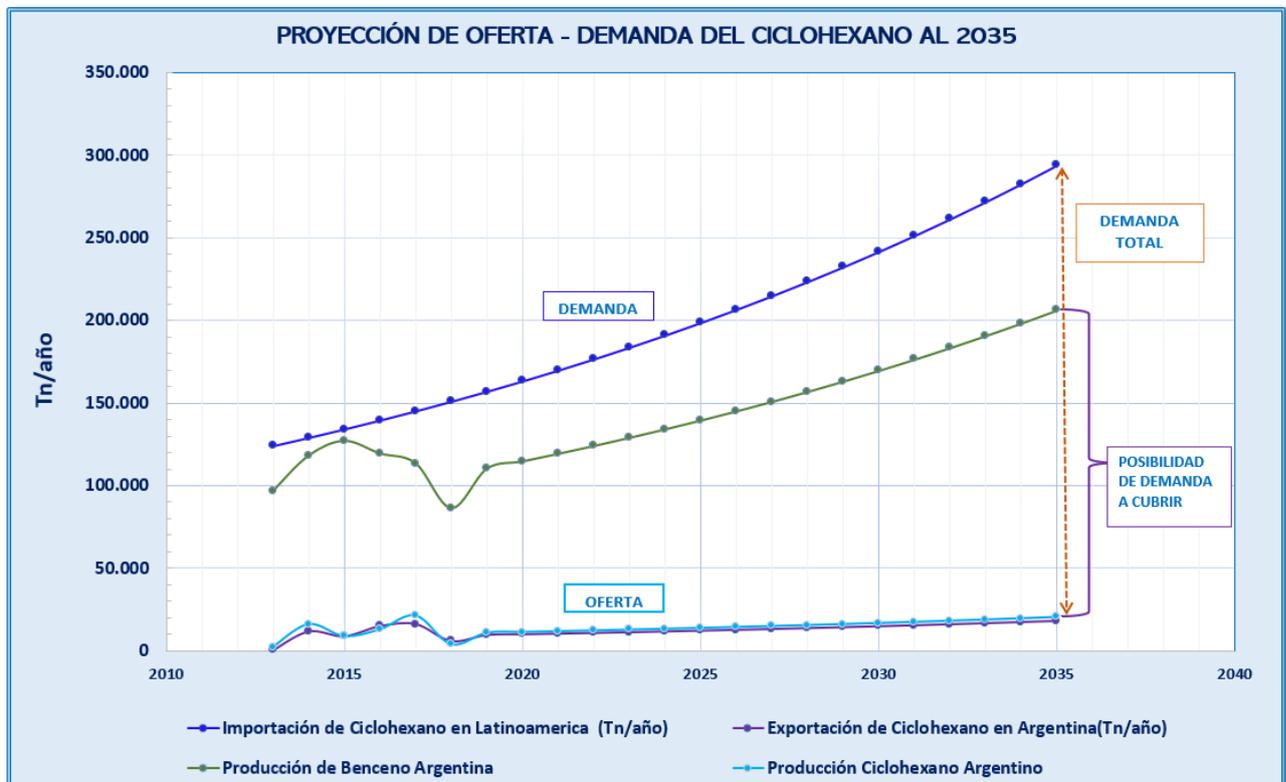


Gráfico: Evolución de la oferta y la demanda de ciclohexano.  
Fuente: elaboración propia, datos del IPA y APLA.

Si se analizan los valores obtenidos a partir de la gráfica, se estima que para el año 2035, el volumen de importación requerido para Latinoamérica será de aproximadamente 290.000 toneladas. Mientras que Argentina en ese mismo periodo, estará exportando unas 20.000 toneladas, cubriendo solo un 7% de la demanda en la región.

Esto respalda lo mencionado, que YPF S. A, solo destina un fragmento muy pequeño de su producción de benceno para la obtención de ciclohexano.

Otra de las variables a tener en cuenta en esta proyección, es la disponibilidad en el abastecimiento de materia prima, puntualmente del benceno. Según los datos informados por el Instituto Petroquímico Argentino, se estima que para el año 2021 la producción de YPF será de 110.000 toneladas, benceno que si se destinara completamente a la fabricación del ciclohexano cubriría el 65% de la demanda.

Resulta evidente que la limitación en la capacidad de producción de la futura planta estará condicionada por la disponibilidad de la materia prima.

De la gráfica de proyección podemos observar para el año 2035 los siguientes valores:

- La importación total en Latinoamérica será de 290.000 toneladas.
- La exportación de ciclohexano por YPF S. A será de 20.000 toneladas.
- La producción de benceno en Argentina será de 205.000 toneladas.
- Brecha de la demanda de ciclohexano a cubrir de 270.000 toneladas.

### 3.7. Determinación de la capacidad de producción de la nueva planta:

En función de las proyecciones observadas en el gráfico anterior, al inicio del proyecto, la demanda de ciclohexano supera ampliamente la oferta de Argentina, pero lo expuesto posee una variable limitante, la disponibilidad de benceno, tanto en el volumen de producción como en la estructura del mercado local para el mismo. Considerando un consumo de aproximadamente el 40% de su producción, más un margen de seguridad del 10%, se concluye diseñar una planta con una capacidad de 65.000 Tn/año de ciclohexano, que iniciará sus operaciones al 100% de la capacidad total instalada.

Se tiene para el año 2021, una demanda aproximada de unas 170.000 toneladas, respecto de las 12.000 toneladas que serían exportadas por Argentina.

Para el año 2024, año que se estima la puesta en marcha de la planta, la brecha entre los valores exportados por YPF S.A. y la demanda será de unas 185.000 toneladas, incrementándose hasta llegar en el año 2035 a las 270.000 toneladas.

La estimación económica inicial para la capacidad propuesta permitiría acortar el tiempo de recuperación del capital de inversión y cubrir aproximadamente el 25% de la demanda del ciclohexano en Latinoamérica, posicionándonos como la principal empresa productora de ciclohexano en Argentina.

Para asegurar el cumplimiento de los compromisos productivos, se realizaría un contrato con la empresa proveedora de las materias primas, benceno e hidrógeno, que garantice el abastecimiento de las mismas.

### 3.8. Materia prima:

#### 3.8.1. Benceno:

Fórmula Química: (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).

El benceno es un hidrocarburo aromático que se obtiene como subproducto de los procesos de refinación del petróleo.

En la industria petroquímica se utiliza como disolvente y como producto químico intermedio para la síntesis de una variedad de productos.

A continuación, se detallan sus principales propiedades físicas, químicas y de seguridad en almacenamiento y transporte del producto:

3.8.2. Propiedades:

2.IDENTIFICACION DEL PELIGRO O PELIGROS			
Pictograma			
Palabra Advertencia	Peligro		
Indicación de Peligro	H225 Líquido y vapores muy inflamables.	H304 Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias. H340 Puede provocar defectos genéticos. H350 Puede provocar cáncer. H372 Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.	H315 Provoca irritación cutánea. H319 Provoca irritación ocular grave.
Consejo de Prudencia	Líquidos inflamables (Categoría 2)	Carcinogenicidad (Categoría 1A) Mutagenicidad en células germinales (Categoría 1B) Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (Categoría 1) Peligro de aspiración (Categoría 1)	Irritación ocular (Categoría 2) Irritación cutáneas (Categoría 2)
Otras regulaciones	-		
<b>OTROS PELIGROS</b>			
<p>Fácilmente inflamable. Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión. Puede causar cáncer. Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.</p> <p>Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar. Irrita los ojos y la piel.</p> <p>Producto no aditivado con anti-estáticos.</p> <p>Acumulador estático: este material es un acumulador estático. Ciertos factores, como la temperatura del líquido, la presencia de contaminantes, la adición de aditivos antiestáticos y la filtración pueden influenciar notablemente la conductividad del líquido y modificar la capacidad de acumular estática.</p>			

Fuente: ficha de seguridad del benceno, YPF.

## 7.MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### Manipulación:

*Precauciones generales:*

Utilizar ropa de protección adecuada y gafas de seguridad para prevenir el contacto con la piel y los ojos y protección respiratoria para evitar la exposición por inhalación. En las áreas de manejo, uso o almacenamiento del producto, mantener alejadas las posibles fuentes de ignición y no fumar. El trasvase de productos se debe hacer mediante conexiones estancas y conectadas a tierra. Utilizar equipos correctamente conectados a tierra y herramientas antideflagrantes.

El material puede acumular cargas estáticas que pueden causar una chispa eléctrica (fuente de ignición). Cuando el material se maneja a granel, una chispa eléctrica puede encender los vapores de líquidos inflamables o residuos que puedan estar presentes (por ejemplo, durante las operaciones de trasvase de carga). Use procedimientos adecuados para conexión a tierra. Sin embargo, las conexiones a tierra pueden no eliminar el peligro de la acumulación de estática. Coloque el recipiente a tierra durante el llenado y mantenga contacto con el mismo. No utilice equipos electrónicos en proximidades de las áreas de llenado, excepto que los mismos estén debidamente certificados como seguros. Consulte las normas locales aplicables para orientación: Instituto Americano del Petróleo 2003, o National Fire Protection Agency 77, o CENELEC CLC / TR 50404.

*Condiciones específicas:* Se deben emplear procedimientos especiales de limpieza y mantenimiento de los tanques para evitar la exposición a vapores. Se debe comprobar que los tanques han sido adecuadamente purgados antes de realizar cualquier operación de limpieza o mantenimiento en ellos.

*Uso Específico:*

### Almacenamiento:

*Temperatura y productos de descomposición:* NP

*Reacciones peligrosas:* Líquido fácilmente inflamable y combustible. Los vapores forman mezclas explosivas con el aire. Los oxidantes fuertes reaccionan con el producto.

*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.

*Materiales incompatibles:* Oxidantes fuertes, ozono, oxígeno líquido, percloratos, ácido nítrico, peróxido de sodio, halógenos, azufre fundido.

Fuente: ficha de seguridad del benceno, YPF.

## 9.PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

<b>Aspecto:</b> Líquido transparente.	<b>pH:</b> NP
<b>Color:</b> Incoloro a amarillo pálido.	<b>Olor:</b> Aromático.
<b>Punto de ebullición:</b> 80 °C (176°F)	<b>Punto de fusión/congelación:</b> 5.5 °C (41.9°F)
<b>Punto de inflamación/Inflamabilidad:</b> -11 °C (11.6°F)	<b>Autoinflamabilidad:</b> 498 °C (928.4°F)
<b>Propiedades explosivas:</b> Límite superior explosivo: 8% Límite inferior explosivo: 1.5%	<b>Propiedades comburentes:</b> NP
<b>Presión de vapor:</b> 0.12 atm a 20 °C	<b>Densidad:</b> 0.8765 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
<b>Tensión superficial:</b> 29 dinas/cm a 20 °C	<b>Viscosidad:</b>
<b>Densidad de vapor:</b> 2.77 (aire: 1)	<b>Coef. reparto (n-octanol/agua):</b> 2.13
<b>Hidrosolubilidad:</b> 0.180 g/100 ml a 25°C	<b>Solubilidad:</b> En disolventes orgánicos.
<b>Otros datos:</b> Peso molecular: 78.12 g/mol Calor de combustión: -40576 KJ/Kg Conductividad Eléctrica: 8 pS/m (Valor Típico: <25 pS/m)	

Fuente: ficha de seguridad del benceno, YPF.

<b>10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>	
<b>Estabilidad:</b> Estable a temperatura ambiente. Líquido fácilmente inflamable y combustible.	<b>Condiciones a evitar:</b> Exposición chispas, calor, altas temperaturas y llamas.
<b>Incompatibilidad:</b> Oxidantes fuertes, ozono, oxígeno líquido, percloratos, ácido nítrico, peróxido de sodio, halógenos, azufre fundido.	
<b>Productos de combustión/descomposición peligrosos:</b> CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en caso de combustión incompleta) y vapores tóxicos/irritantes.	
<b>Riesgo de polimeración:</b> NP	<b>Condiciones a evitar:</b> NP

*Fuente: ficha de seguridad del benceno, YPF.*

<b>14. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE</b>	
<b>Precauciones especiales:</b> Etiquetado como líquido inflamable. Estable a temperatura ambiente y durante el transporte. Almacenar en lugares frescos y ventilados.	
<b>Información complementaria:</b>	
<b>TRANSPORTE TERRESTRE :</b>	
Nombre Apropriado para Embarque :	BENCENO
No UNID :	1114
Clase de Peligro:	Clase 3
Número de Identificación de Riesgo :	33
Grupo de Embalaje :	II
Cantidad Exenta :	333 Kg
<b>TRANSPORTE AÉREO (ICAO/IATA) :</b>	
Nombre Apropriado para Embarque :	BENCENO
No UNID :	1114
Clase de Peligro :	Clase 3
Grupo de Embalaje :	II
CRE :	3H
Aviones de Pasajeros y Carga :	Y341/353
Aviones de Carga solamente :	364
<b>TRANSPORTE MARÍTIMO (IMDG/IMO) :</b>	
Nombre Apropriado para Embarque :	BENCENO
No UNID :	1114
Clase de Peligro :	Clase 3
Grupo de Embalaje :	II
Contaminante Marino :	NO
Estiba y Segregación :	CATEGORIA B
Ems :	F-E,S-D

*Fuente: ficha de seguridad del benceno, YPF.*

### 3.8.3. Disponibilidad:

En la actualidad el benceno es producido por dos empresas productoras de BTX:

-Pampa Energía S.A. ubicada en el Puerto General San Martín, provincia de Santa Fe, con una capacidad instalada de 155.000 Tn/año de BTX (benceno-tolueno-xileno).

-YPF S.A. ubicada en el Polo Petroquímico de Ensenada, provincia de Buenos Aires. Con una capacidad instalada de 526.000 Tn/año de BTX (benceno-tolueno-xileno).

En la empresa YPF, el valor promedio correspondiente a los últimos cinco años de producción de benceno es 113.000 Tn/año, de las cuales se exporta un mínimo de 1.000 toneladas, pero también se importan unas 15.000 Tn/año.

BENCENO			
AÑO	PRODUCCIÓN	IMPORTACIÓN	EXPORTACIÓN
2001	100.624	32.347	0
2002	118.647	31.753	3050
2003	122.544	35.664	6030
2004	141.844	41.914	4734
2005	157.867	58.480	10506
2006	128.071	61.346	27
2007	142.201	64.368	2093
2008	100.805	71.418	0
2009	88.237	38.758	0
2010	88.609	68.677	4101
2011	89.814	50.663	0
2012	98.443	49.542	8383
2013	96.540	37.370	136614
2014	118.108	16.129	0
2015	127.061	9.017	6252
2016	119.429	8.875	0
2017	113.433	22.947	0
2018	86.127	18.718	0

Tabla: Disponibilidad de benceno en Argentina.  
Fuente: Instituto Petroquímico Argentino.

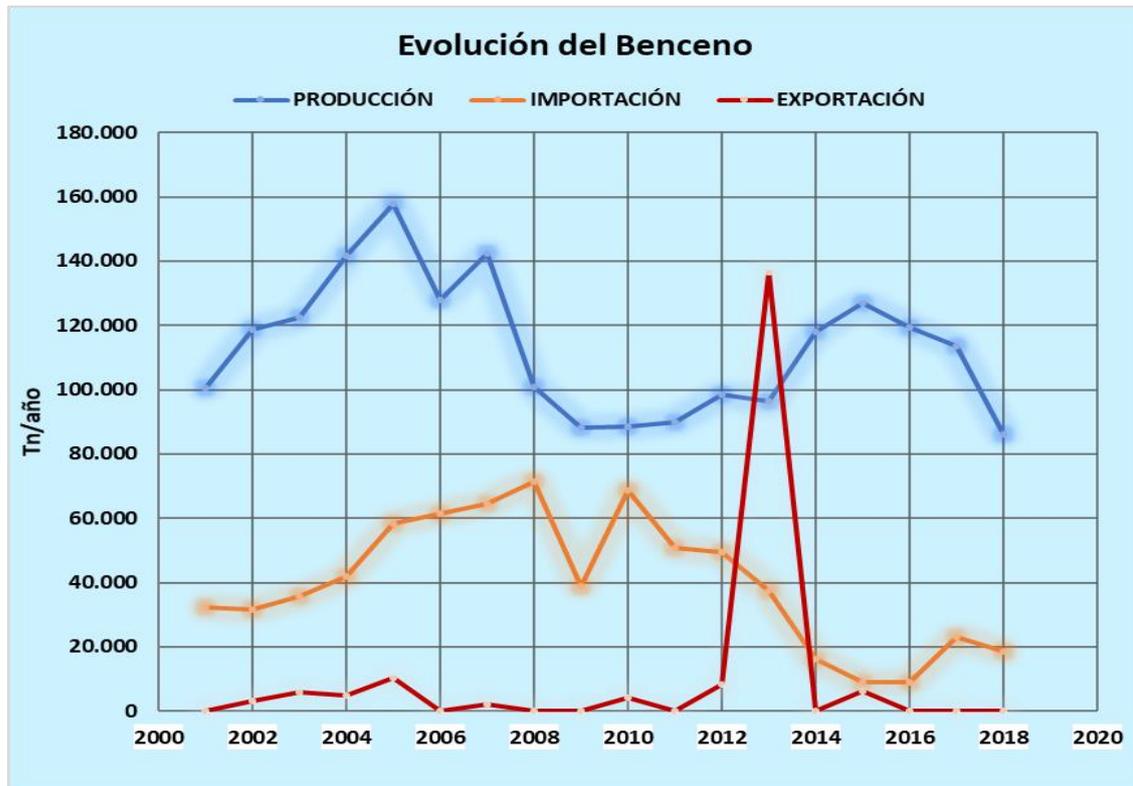


Gráfico: evolución en Argentina del benceno.  
Fuente: datos del IPA y APLA.

En la siguiente tabla se muestra la capacidad instalada para la producción de benceno en Latinoamérica:

PRODUCTO	EMPRESA PRODUCTORA	PAÍS	CAPACIDAD INSTALADA (TN/AÑO)
BENCENO	PETROBRAS/PAMPA ARG	ARGENTINA	31.000
	YPF S.A	ARGENTINA	157.800
	BRASKEM	BRASIL	702.000
	GERDAUACOMINAS	BRASIL	30.076
	ECOPETROL	COLOMBIA	260
	PEMEX PETROQUÍMICA	MÉXICO	240.000
	PEQUIVEN	VENEZUELA	59.000

Tabla: Capacidad instalada en América Latina para la producción de Benceno.  
Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano.

### 3.8.4. Hidrógeno:

Fórmula química: (H<sub>2</sub>).

La forma normal de este elemento es como molécula diatómica.

En presencia de un catalizador, reduce dobles y triples enlaces carbono-carbono a enlaces simples.

A continuación, se detallan sus principales propiedades físicas, químicas y de seguridad del producto:

### 3.8.5. Propiedades fisicoquímicas:

SECCIÓN 9: Propiedades Físicas y Químicas		
PARAMETROS	VALOR	UNIDAD
Estado físico:	Gas comprimido.	
Forma en que se presenta:	Gas comprimido.	
Color:	Gas incoloro	
Olor:	La mezcla contiene uno o más componentes que huelen: Sin olor que advierta de sus propiedades	
PH:	No aplicable.	
Punto de fusión/punto de congelamiento:	-259,2	°C
Punto de ebullición, punto inicial de ebullición y rango de ebullición:	-252,9	°C
Punto de inflamación:	Límite superior: 75% (v) Límite inferior: 4% (v)	v
Límites de explosividad:	Sin datos disponibles.	
Presión de vapor:	No aplicable.	
Densidad relativa del vapor (aire= 1):	0,07	aire = 1
Densidad:	0,0001	g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad(es):	0,0016	g/l
Coeficiente de partición n-octanol/agua:	No aplicable.	
Temperatura de autoignición:	560	°C
Temperatura de descomposición:	Sin datos disponibles.	
Umbral del olor:	No Aplicable	
Tasa de evaporación:	No aplicable.	
Inflamabilidad:	75 %(v) / 4 %(v)	
Viscosidad:	No aplicable.	
Otros:		
Peso molecular	2,02	g/mol
volumen específico	11,9830	m <sup>3</sup> /kg

Fuente: ficha de seguridad del hidrógeno, Air Products.

### SECCIÓN 10: Estabilidad y Reactividad

Estabilidad química:	Estable en condiciones normales.
Reacciones peligrosas:	Sin datos disponibles.
Condiciones que se deben evitar:	Calor, llamas y chispas. Puede formar mezclas inflamables con el aire y agentes oxidantes.
Materiales incompatibles:	Oxígeno. Oxidantes.
Productos de descomposición peligrosos:	En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deben producir productos de descomposición peligrosos.

*Fuente: ficha de seguridad del hidrógeno, Air Products.*

#### 3.8.6. Disponibilidad:

Dentro de los procesos para la síntesis de hidrógeno podemos distinguir dos categorías en función de la naturaleza de la materia prima.

Tenemos procesos químicos basados en combustibles fósiles, y aquellos que emplean como punto de partida fuentes renovables.

En el primer grupo, se destacan los principales procesos:

- Reformado del metano.
- Reformado de naftas.
- Subproductos de otros procesos.
- Oxidación parcial catalítica del metano.
- Reformado con vapor de agua.

En tanto que el segundo grupo se incluyen algunos como:

- Electrólisis del agua.
- Procesos de fermentación de diversa naturaleza: fermentaciones biológicas, bacterianas o procesos de descomposición por medio de la acción de algas.



### 3.9. Clientes y competencia de Productos y Materias Primas:

#### 3.9.1. Clientes de producto:

En este apartado se detallarán las empresas consideradas como clientes directos para la comercialización de ciclohexano. Este producto es demandado por empresas productoras de ácido adípico y caprolactama principalmente:



*Ilustración: Clientes de ciclohexano.  
Fuente: Anuario Petroquímico Latinoamericano.*

#### 3.9.2. Competencia por producto:

Aquí se detallan los valores históricos de producción de ciclohexano de las empresas productoras y sus correspondientes capacidades instaladas en Latinoamérica. Es importante recalcar que actualmente Argentina es el único exportador y que, en Argentina, YPF es el único competidor como se ha expuesto con anterioridad.

Año	Producción Ciclohexano Tn/año	Producción Ciclohexano Tn/año2	Producción Ciclohexano Tn/año3
	Argentina	Brasil	Colombia
2011	67.343	65.296	14.234
2012	63.908	58.252	4.332
2013	68.350	67.191	5.300
2014	38.747	59.942	5.000
2015	6.985	12.197	
2016	14.548	23.327	36.000
2017	17.048		35.000
2018	3.720		34.000

*Tabla: producción de los últimos años de la competencia.  
Fuente: APLA.*

Producto	Empresa Productora	País	Capacidad Instalada (Tn/año)
CICLOHEXANO	YPF	Argentina	95.000
	Braskem	Brasil	72.000
	Rhodia Poliamida	Brasil	300
	Ecopetrol	Colombia	38.000
	Pemex Petroquimica	México	100.000

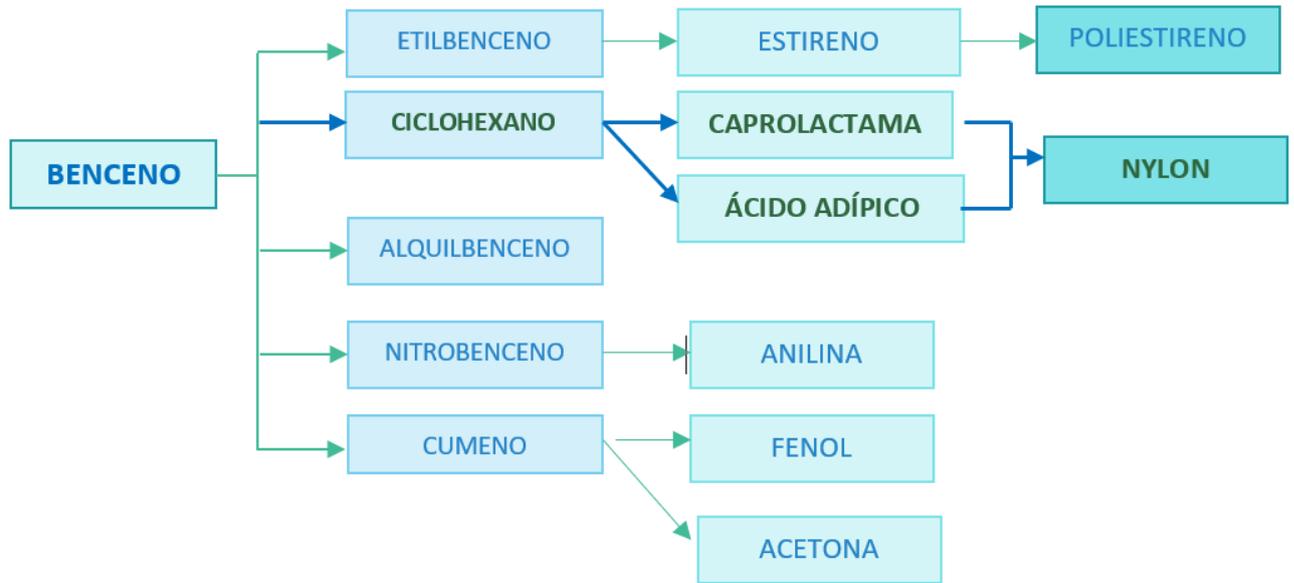
Tabla: Capacidad instalada de la competencia.  
Fuente: APLA.

### 3.9.3. Competencia por materia prima:

El benceno es ampliamente utilizado como disolvente por las industrias de pinturas y de adhesivos, entre otros. A causa de su elevada toxicidad, se le aplican especificaciones cada vez más estrictas en cuanto a su contenido en naftas, por lo que en el último período ha decrecido su contenido en las mismas haciendo aumentar su disponibilidad.

Algunos de sus principales destinos son:

- Etilbenceno: destinado a la fabricación de estireno.
- Cumeno: producto intermedio del fenol, el cual a su vez constituye la materia prima para la fabricación de las resinas fenólicas, del bisfenol y sus resinas derivadas como lo son los poliésteres, epoxi, policarbonatos y polisulfonas.
- Ciclohexano: para obtener ácido adípico y caprolactama.
- Los ácidos alquilbencenosulfónicos: el cual constituye la base de los detergentes lineal alquilbenceno sulfónicos.
- Otros derivados minoritarios, entre los que destacan el nitrobenceno y su derivado, la anilina.



*Ilustración: Diagrama de la competencia de la materia prima.  
Fuente: Cátedra de "Industrialización de hidrocarburos" 2021.*

A continuación, se observa la configuración del mercado local para el benceno:

APLICACIONES		
ETILBENCENO		76%
LAB		21%
CICLOHEXANO		3%

*Tabla: Aplicaciones del benceno en Argentina.  
Fuente: Instituto Petroquímico Argentino.*

En este sentido el principal abastecedor nacional, YPF S.A., en los próximos años aumentará su capacidad de producción de benceno, pero no planea aumentar la producción ni de lineal-alkilbenceno ni de etilbenceno, utilizando el exceso sólo para su comercialización como materia prima de ciclohexano.

Este aumento en la producción será debido a que, en un futuro cercano, se deberán reducir los contenidos de BTX en las naftas comerciales.

### 3.10. Variables macroeconómicas:

#### 3.10.1. Producto bruto interno:

La estimación preliminar del producto interno bruto (PIB) en el cuarto trimestre de 2020, muestra una caída de 4,3% con relación al mismo período del año anterior.

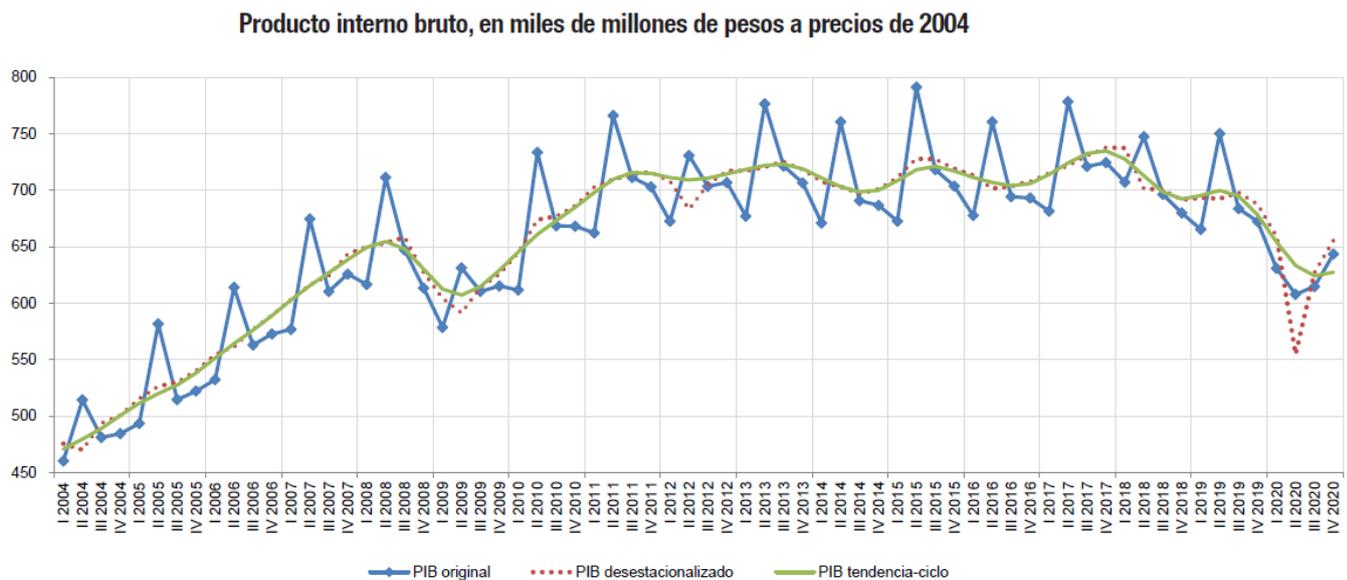


Gráfico: Evaluación del PBI en los últimos años.

Fuente: INDEC.

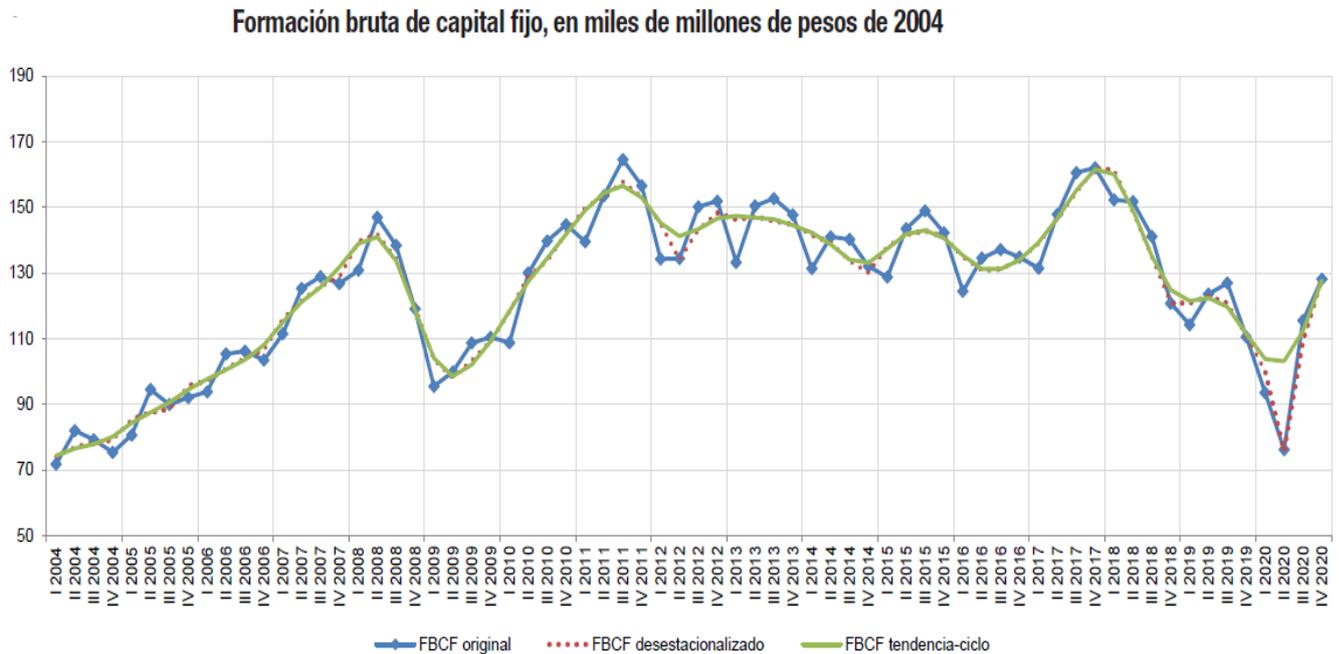
#### 3.10.2. Estimaciones de la oferta y la demanda globales del cuarto trimestre de 2020:

La evolución macroeconómica del cuarto trimestre de 2020 determinó de acuerdo con las estimaciones preliminares, una variación en la oferta global, medida a precios de 2004, de -4,0% con respecto al mismo período del año anterior, debido a la baja de 4,3% del PIB y a la variación de -2,8% en las importaciones de bienes y servicios reales.

En la demanda global se observó un incremento de 15,9% en la formación bruta de capital fijo, el consumo privado cayó 8,1%, el consumo público descendió 2,6% y las exportaciones de bienes y servicios reales registraron un descenso de 32,5%.

En términos desestacionalizados, con respecto al tercer trimestre de 2020, las importaciones crecieron 14,1%. El consumo privado registró un incremento de 4,2%, el

consumo público aumentó 1,3%, la formación bruta de capital fijo tuvo una variación de 17,3%, mientras que las exportaciones se contrajeron 8,7%.



*Gráfico: Evolución de oferta y demanda.  
Fuente INDEC.*

- El valor agregado del sector agricultura, ganadería, caza y silvicultura descendió un 2,1% en el cuarto trimestre de 2020 con respecto a igual lapso del año anterior.
- El valor agregado del sector pesca observó un decrecimiento interanual de 21,8%.
- El valor agregado de explotación de minas y canteras descendió 11,0%.
- La industria manufacturera registró un aumento en el nivel de actividad de 1,6%.
- El nivel de actividad del sector electricidad, gas y agua creció 0,2%.

3.10.3. Tipo de Cambio:

Dolar U.S.A Valor Histórico		
Banco Nación		
Fecha	Compra	Venta
6/1/2015	8,46	8,56
6/7/2015	9,01	9,11
9/12/2015	9,65	9,75
9/12/2015	9,65	9,75
4/1/2016	12,9	13,3
4/7/2016	14,8	15,2
5/12/2016	15,7	16,1
3/7/2017	16,6	17
4/12/2017	20,5	21,5
2/7/2018	27,8	28,8
3/12/2018	35,6	37,4
1/7/2019	41,4	43,4
9/12/2019	58	62,5
6/7/2020	69	74
9/12/2020	81,25	87,25
8/2/2021	87,25	93,25
5/4/2021	91,75	97,75

Tabla: Evolución del precio del dólar.  
Fuente: Banco Francés.

3.10.4. Tipo de interés Oficial:

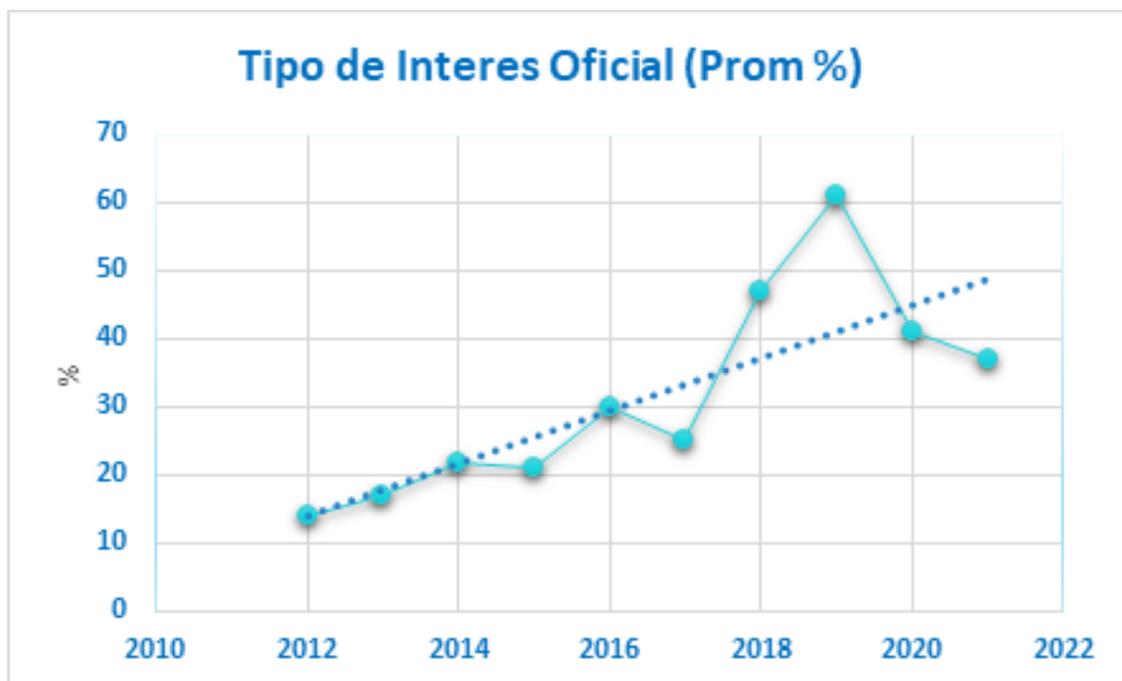


Gráfico: tipo de interés.  
Fuente: Banco Francés.

### 3.10.5. Evolución de la inflación:

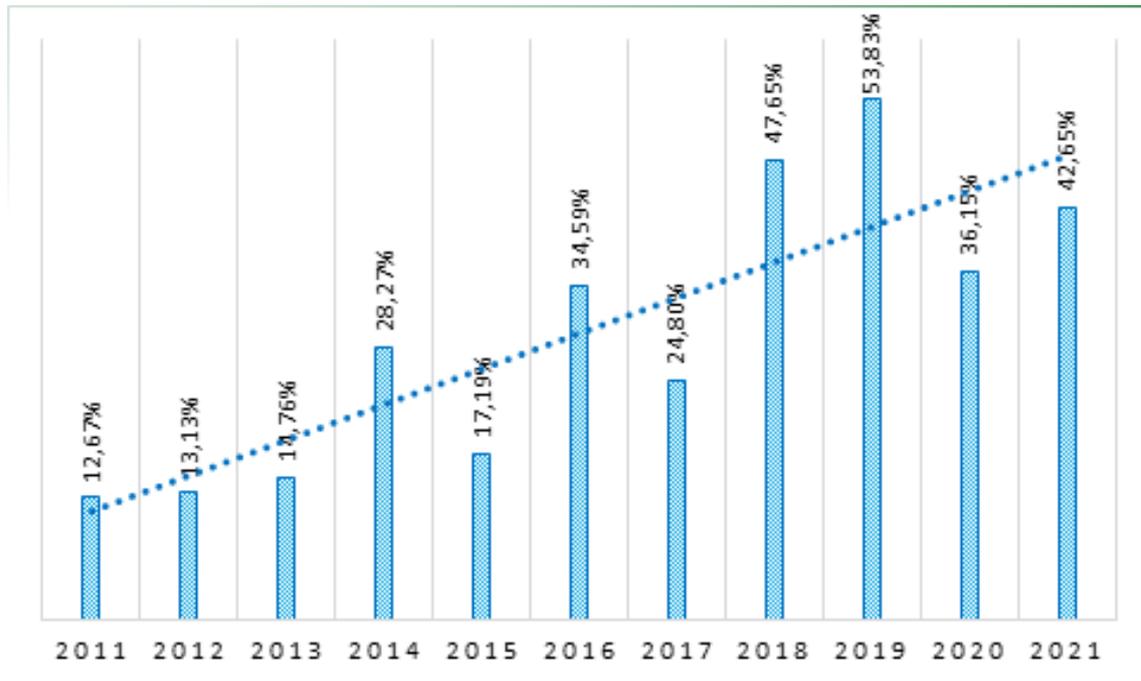


Gráfico: Inflación últimos años.  
Fuente: Indec.

#### 4. UBICACIÓN DE LA PLANTA:

##### 4.1. Factores que influyen en la ubicación de una planta industrial:

Para la ubicación de la planta, en primer lugar, se tendrán en cuenta los siguientes factores: la disponibilidad de materia prima, la disponibilidad de mercados y la disponibilidad de transporte. Luego se seleccionarán las zonas factibles de ubicación de la planta.

En segunda instancia se tendrán en cuenta factores más específicos como infraestructura existente, disponibilidad de mano de obra calificada, beneficios de promoción industrial, clima, suelo, servicios generales, etc. De tal modo, así se seleccionará el sitio que más se adecúe a dichos factores, mediante el método de ponderación.

##### 4.2. Factores primarios:

###### 4.2.1. Disponibilidad de materia prima:

Se analizó la disponibilidad de materia prima en dos provincias mencionadas a partir de datos del anuario del IPA. Como puede observarse, solo dos regiones son productoras de benceno e hidrógeno: Ensenada, provincia de Buenos Aires y San Lorenzo, provincia de Santa Fe. Aunque sólo en Ensenada existe abundancia de hidrógeno para su comercialización.

También se encuentra la ciudad de Bahía Blanca como gran productora de hidrógeno, aunque allí el benceno debe transportarse en camiones desde Ensenada.



*Ilustración: industrias productoras de hidrogeno.  
Fuente: elaboración propia.*

#### 4.2.2. Disponibilidad de mercados:

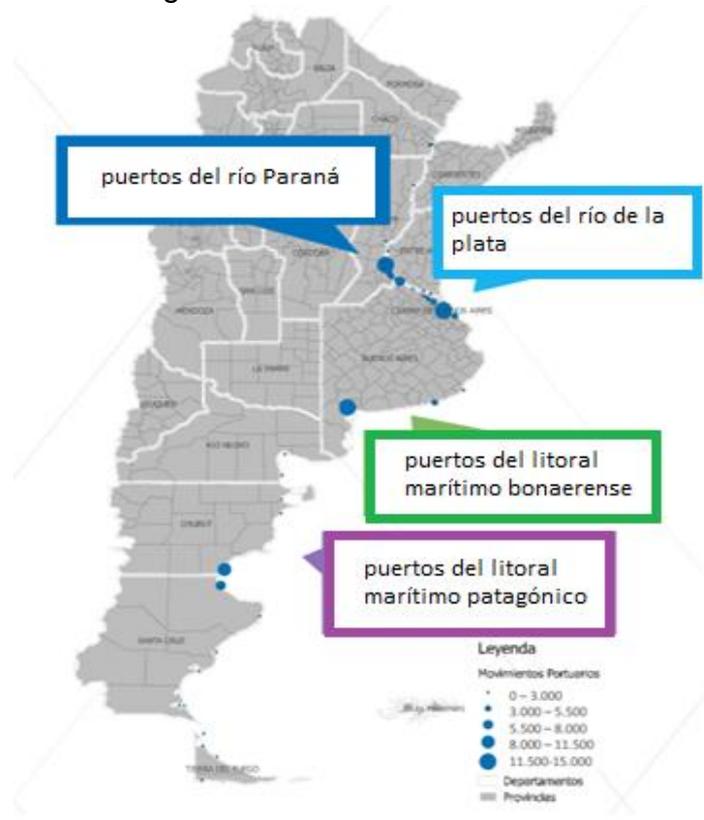
En el siguiente mapa se trata de identificar las zonas en donde más se importa ciclohexano en América latina. En ellas se pueden ver dos países principales, Brasil y México.



*Ilustración: Países que importan ciclohexano.  
Fuente: elaboración propia.*

#### 4.2.3. Disponibilidad de transporte:

En base a la comercialización que se utilizara, la vía marítima, se muestran las zonas con sistemas portuario de Argentina:



*Ilustración: Zonas Portuarias en Argentina.  
Fuente: Sistema Portuario Argentino y participación en el total de las cargas movilizadas 2019.*

#### 4.2.4. Selección de zona factible:

En base a la ubicación y disponibilidad de la materia prima, al mercado del producto y las zonas con sistema portuario se preseleccionan tres zonas para la ubicación del proyecto.

Ellas son Ensenada en la provincia de Bs. As. Bahía Blanca también en Bs.As., y San Lorenzo en la provincia de Santa Fe.



*Ilustración: Zonas factibles para la ubicación de la planta de ciclohexano  
Fuente: elaboración propia.*

#### 4.3. Factores específicos:

##### 4.3.1. Infraestructura existente:

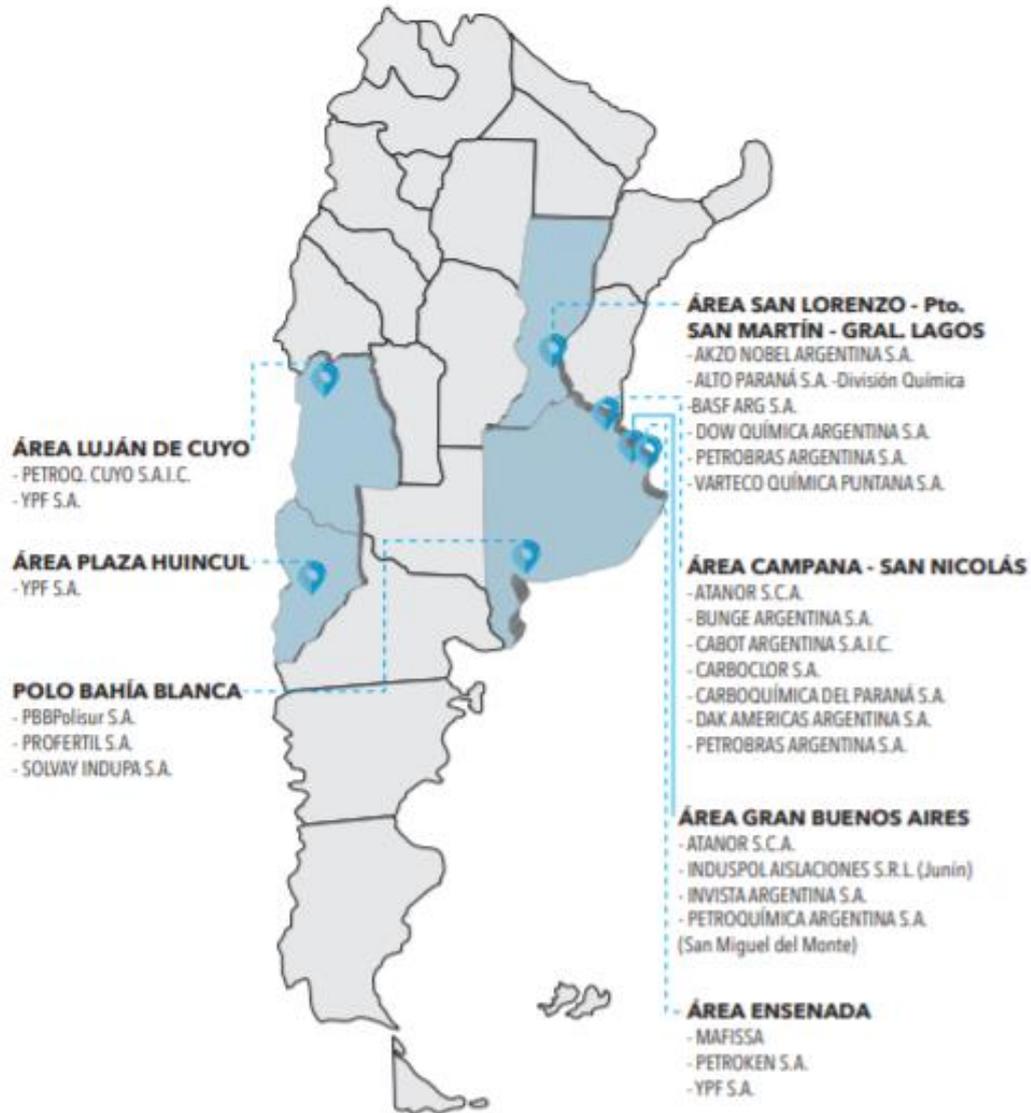
Ensenada a diferencia de San Lorenzo y Bahía Blanca cuenta con la ventaja adicional de poseer una serie de ductos en uso permanente que conectan el complejo petroquímico de YPF con el Puerto La Plata.

Esto evita la necesidad de transporte terrestre, y permite tener a disposición una boca de expendio que estará operativa con una mínima inversión, y que no requerirá de permisos adicionales a los ya existentes.

En San Lorenzo y en Bahía Blanca, toda esta logística tendrá que ser realizada desde cero, aumentando el costo inicial del proyecto.

#### 4.3.2. Disponibilidad de mano de obra:

En este mapa se ilustran las principales áreas del país con actividad petroquímica, con el objetivo de visualizar las zonas con disponibilidad de mano de obra calificada:



*Ilustración: Zonas con disponibilidad de mano de obra calificada*  
Fuente: "La Industria Petroquímica Argentina" – Cámara de la Industria Química y Petroquímica, 2014

La zona de Ensenada, y la zona lindera del gran La Plata poseen abundancia de mano de obra calificada, tanto para el montaje y puesta en marcha, como para la operación normal de la planta.

Esto incluye desde obradores especializados, a técnicos e ingenieros de varias disciplinas, ya que, además es una zona académica muy importante dentro del territorio nacional.

San Lorenzo, por ser zona altamente industrializada y petroquímica, tampoco presenta limitaciones a la hora de la disponibilidad de mano de obra calificada, para ninguna de las fases del presente proyecto.

Bahía Blanca, al igual que Ensenada, es zona académica de trayectoria y cuenta con una gran historia y diversidad industrial, por lo que no se ven limitaciones a la hora de la disponibilidad de mano de obra calificada, para ninguna de las fases del presente proyecto.

#### 4.4. Métodos para determinar la ubicación, preliminares y finales:

##### 4.4.1. Aplicación del método de factores ponderados:

Para definir la localización precisa del proyecto se ponderan distintos ítems. De acuerdo con su importancia, se valorarán los factores que se deben tener en cuenta para la ubicación de la planta, de manera tal que, la sumatoria de todas las ponderaciones se eleve hasta 1.000.

Se utilizarán los siguientes factores de ponderación para evaluar la ubicación:

- Disponibilidad de materias primas (sólo YPF S.A. cuenta con abundancia de hidrógeno para su comercialización): 230.
- Cercanía a los mercados: 130.
- Disponibilidad de transporte: 130.
- Infraestructura existente: 80.
- Disponibilidad de mano de obra calificada: 150.
- Servicios generales: 130.
- Clima: 100.
- Suelo: 50.

Luego se le asignan una puntuación de cada región a cada uno de los factores detallados anteriormente. Este porcentaje se multiplica por las ponderaciones correspondientes y cuyo resultado es una idea del grado de perfección. La sumatoria de los grados de perfección de todos los factores para cada región arroja un valor, el mayor de ellos indica la región más adecuada.

Factor	Importancia	Ensenada		San Lorenzo		Bahía Blanca	
		calif. %	ponder.	calif. %	ponder.	calif. %	ponder.
Disp. de M.P.	230	100	23000	50	11500	50	11500
Cercanía a los mercados	130	70	9100	60	7800	60	7800
Disp. De transporte	130	100	13000	90	11700	90	11700
infraestructura existente	80	80	6400	50	4000	50	4000
Disp de M.O.	150	100	15000	100	15000	100	15000
Servicio generales	130	100	13000	100	13000	100	13000
Clima	100	80	8000	70	7000	60	6000
Suelo	50	70	3500	90	4500	60	3000
<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>		<b>91000</b>		<b>74500</b>		<b>72000</b>

*Tabla: matriz de ponderación para elección del lugar de emplazamiento.  
Fuente: elaboración propia.*

#### 4.4.2. Ubicación seleccionada:

Del análisis realizado anteriormente se concluye que el sitio que mejor cumple con los factores más importante para la ubicación, es el Complejo Industrial Ensenada, ubicado en la localidad de Ensenada, provincia de Buenos Aires, Argentina.

#### 4.4.3. Logística:

La logística de venta principal será vía buques de carga a través del puerto La Plata.

#### 4.4.4. Las comunicaciones vecinas:

El parque industrial Ensenada (CIE) limita al este con el complejo industrial Ensenada química de YPF, y al oeste con la planta Ternium Siderar Ensenada, ambos complejos industriales bien afianzados en la zona desde hace décadas por lo que no se prevén grandes inconvenientes. Por otro lado, al sur se encuentra la localidad de el Dique, Ensenada, cuya distancia tampoco conllevaría impedimentos para el proyecto. El asentamiento más cercano se encuentra al noreste, un predio de viviendas sociales donde residen unas 400 familias, por lo que habrá que tener en cuenta a la hora de planificación y la elección de la tecnología, cumplir con todas las ordenanzas municipales y de convivencia pertinentes.

#### 4.4.5. Servicios generales:

El CIE cuenta con servicios para la industria como gas natural de presión industrial, energía eléctrica para uso industrial, iluminación, pavimentación, agua potable certificada para uso industrial, redes y seguridad privada de ingreso y egreso las 24hs.



*Ilustración: Vista aérea del CIE.*

*Fuente: <https://www.facebook.com/consorcioindustrialensenada>*

En el predio existen en la actualidad sólo dos empresas en funcionamiento, y otra en obra lo que nos da una flexibilidad de elección, tanto en las dimensiones necesarias, como en la posibilidad de expandir el proyecto en un futuro. Las inmobiliarias locales ofrecen parcelas desde los 160mil U\$S.

Se muestra en el siguiente gráfico la ubicación exacta de los lotes seleccionados para el proyecto, los cuales serán los números 2 (con 20.073 m<sup>2</sup>) y número 3 (con 22.008 m<sup>2</sup>), tomando un total de 42,081 m<sup>2</sup> de superficie.



Ilustración: Plano de parcelas del CIE.

Fuente: <https://www.facebook.com/consorcioindustrialensenada>

Servicios que brinda el Complejo Industrial Ensenada:

- Infraestructura adecuada a la industria.
- Inversión eficiente en servicios para la industria dentro de los que se encuentran gas natural de presión industrial, energía eléctrica para uso industrial, iluminación, pavimentación, agua potable certificada para uso industrial, control ambiental de la calidad del aire, suelo y ruido, redes y seguridad privada de ingreso y egreso las 24hs.
- Seguridad Jurídica, física e industrial.
- Exenciones impositivas y de servicios específicas.
- Financiamiento a tasas bajas.
- Mayor capitalización y seguridad jurídica en la inversión.
- Menores costos operativos y economías en red.
- Desarrollo sostenible.
- Mejor calidad de vida laboral con acceso a capacitaciones.
- Comunidad industrial organizada.

4.5. Estudios de clima:

Se analizaron datos obtenidos del servicio meteorológico Nacional, la UNLP y de la página de METEOBLLUE.

Valor medio	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Temperatura(°C)	22,8	21,8	20	16,2	12,7	9,9
Temperatura máxima(°C)	28,9	27,6	25,7	21,8	18	14,7
Temperatura mínima (°C)	17,5	19,6	15,4	11,6	8,4	5,9
Humedad relativa (%)	73,6	78,1	80,6	81,9	83,2	84,2
Velocidad del viento(Km/h)	13,6	13,5	12,3	10,5	10,6	10,6
Nubosidad total (octavos)	3,2	3,2	3,2	3,4	3,8	4,2
Precipitación (mm)	108,8	114,3	124,5	86,8	79,3	52,6
Frecuencia de precipitaciones	8,1	7,2	8	7,4	6	6,2

*Tabla: Datos promedio para la ciudad de La Plata hasta 2010.*

*Fuente: servicio meteorológico Nacional; UNLP y METEOBLLUE.com*

Valor medio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura(°C)	8,9	10,7	12,5	15,7	18,4	21,1
Temperatura máxima(°C)	14	16,3	17,8	21,1	24,1	27,3
Temperatura mínima (°C)	5,1	6,3	7,7	10,7	13,4	15,8
Humedad relativa (%)	83,3	81,1	79,2	79,1	76,4	72,9
Velocidad del viento(Km/h)	11,3	12,6	14,4	13,8	13,9	14,2
Nubosidad total (octavos)	4,1	3,9	3,8	3,8	3,5	3,3
Precipitación (mm)	61,4	61,3	69,8	110,6	103,9	95,2
Frecuencia de precipitaciones	6,3	6,4	6,9	8,8	8,4	7,6

*Tabla: Datos promedio para la ciudad de La Plata hasta 2010.*

*Fuente: servicio meteorológico Nacional; UNLP y METEOBLLUE.com*

Precipitaciones máximas:

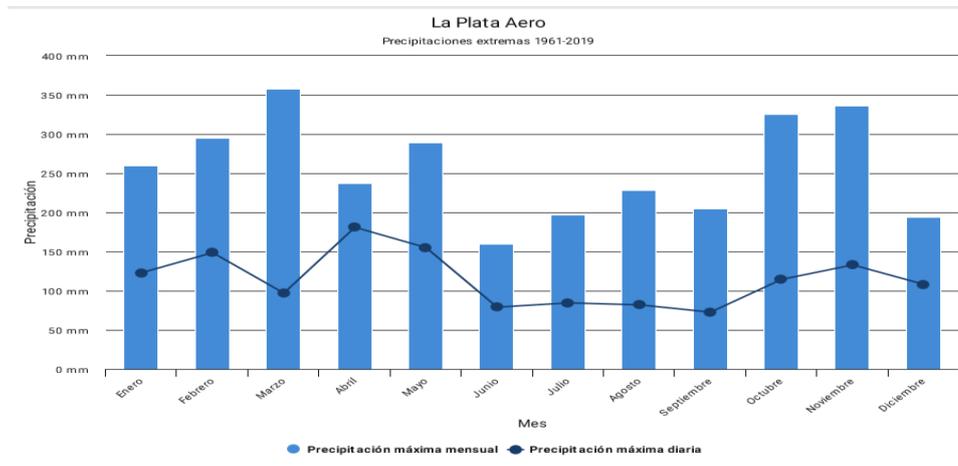


Figura: Precipitaciones en la región.  
Fuente: Servicio meteorológico nacional

Del informe realizado por la UNLP sobre la inundación de 2013 se pueden observar los siguientes datos:

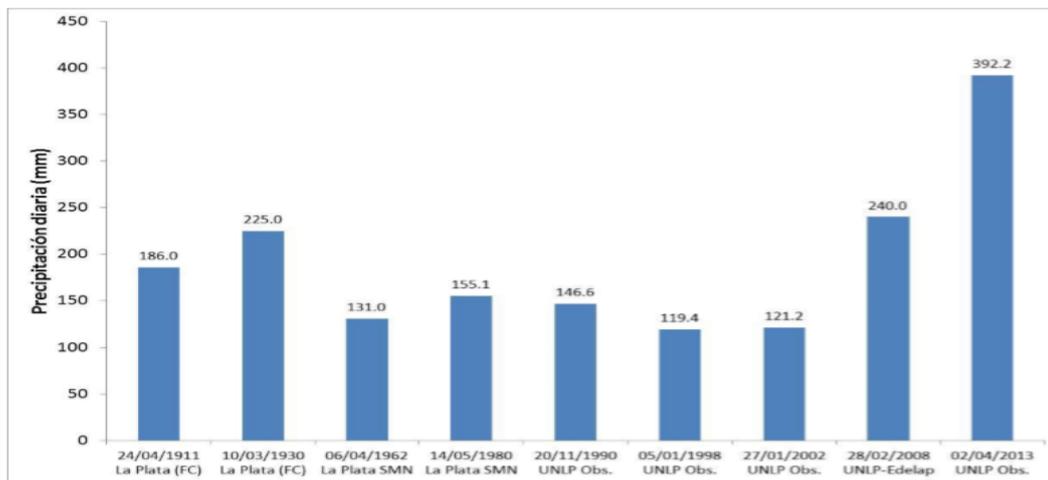


Figura: Precipitaciones en Abril en muestras de distintos periodos anuales.  
Fuente: Servicio meteorológico nacional

Se puede observar el valor de precipitaciones extraordinario del día 02/04/2013 el cual ascendió a 392.2 mm lo cual fue determinante en el evento sucedido en la ciudad y alrededores. Se tendrá en cuenta dicho valor pico como base de cálculo para la capacidad pluvial de la unidad.

Estudio de vientos en ciudad de Ensenada:

La siguiente gráfica muestra la velocidad del viento en la zona de estudio, los valores que se presentaron mes a mes el último año, y cuantos días se registró esa velocidad.

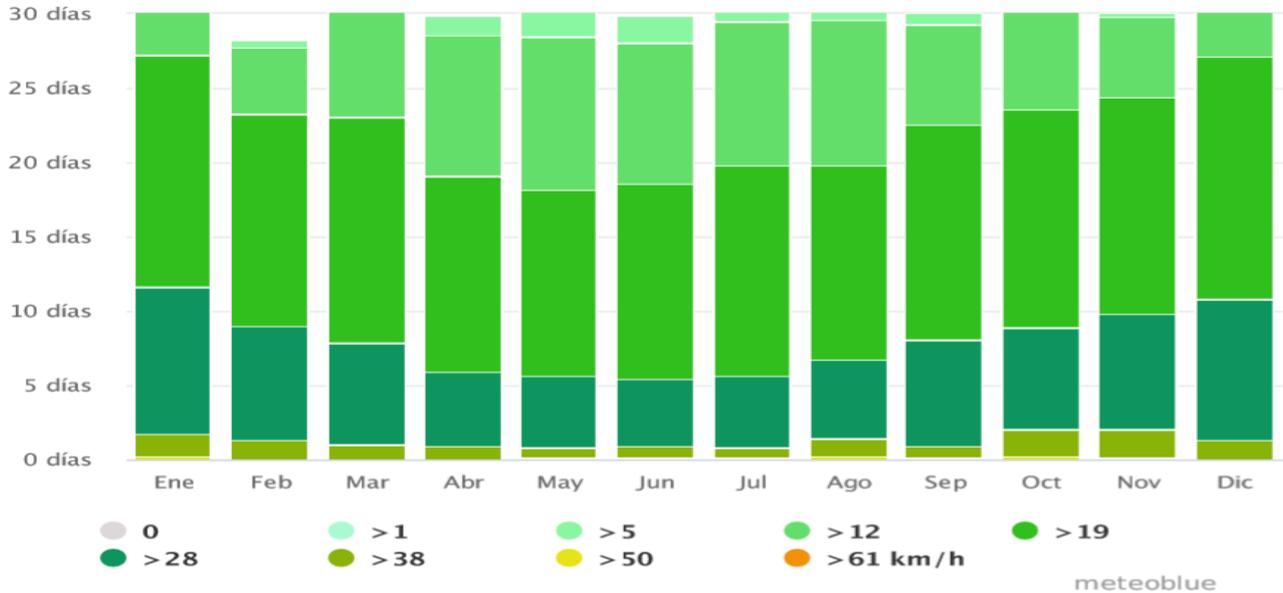


FIGURA: Velocidad de vientos en la zona.

Fuente: Servicio Meteoblue.

La siguiente gráfica muestra la rosa de los vientos, que indica la dirección del viento en la zona de estudio y qué cantidad de días se presentó cada medida de velocidad y dirección.

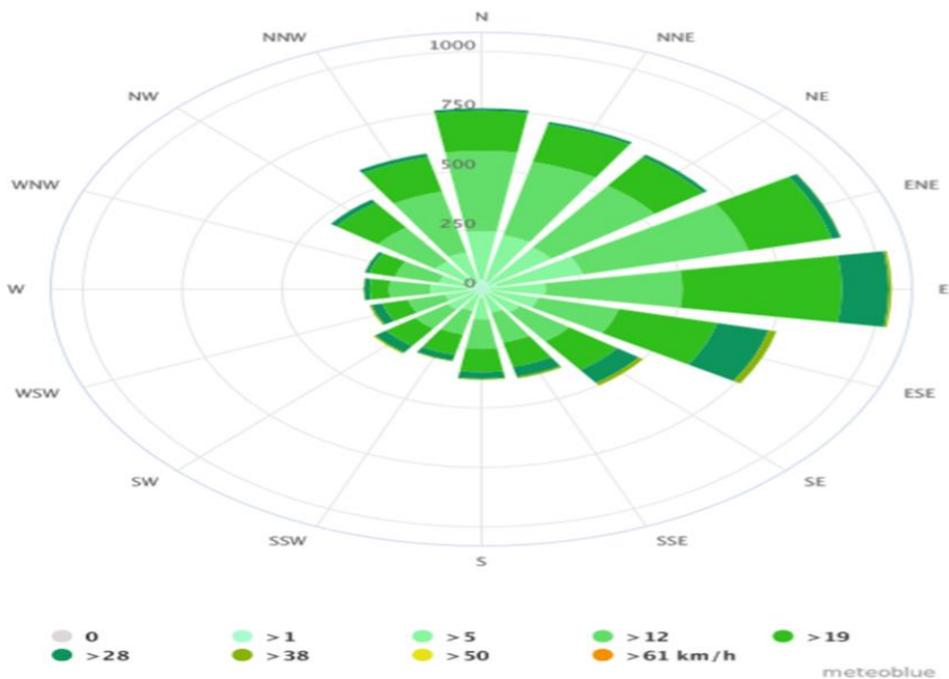


FIGURA: Rosa de los vientos.

Fuente: Servicio Meteoblue.

Para el análisis de la influencia de los vientos en el diseño de las estructuras debemos recurrir al reglamento CIRSOC para la construcción.

El Reglamento 102 tiene por objeto determinar los procedimientos y los medios para obtener los valores de las acciones producidas por el viento sobre las construcciones o sus diferentes partes.

Por otro lado, como se puede observar, la dirección predominante del viento resulta ventajosa para este caso ya que se dirige hacia zonas descampadas, lo que conllevaría mucho menor riesgo para la población en caso de derrame o pérdidas de gases tóxicos a la atmósfera.

En la siguiente tabla se puede ver cuáles son los valores típicos de velocidad de referencia de viento tomados para las diferentes zonas del país.

CIUDAD	$\beta$ (m/s)
Bahía Blanca	28,5
Bariloche	28,0
Buenos Aires	27,2
Catamarca	26,0
Comodoro Rivadavia	37,5
Córdoba	25,0
Corrientes	27,0
Formosa	27,0
La Plata	27,3
La Rioja	25,5
Mar del Plata	31,7
Mendoza	22,5
Neuquén	30,5
Paraná	30,0
Posadas	28,5
Rawson	35,0
Resistencia	27,2
Río Gallegos	32,5
Rosario	30,0
Salta	22,5
Santa Fe	30,0
San Juan	22,5
San Miguel de Tucumán	25,0
Santa Rosa	29,0
Santiago del Estero	25,2
Ushuaia	40,0
Viedma	33,0
San Luis	27,5
San Salvador de Jujuy	23,5

Tabla: Velocidad de vientos en diferentes zonas del país.

Fuente: Servicio Meteoblue.

Mapa de distribución de la velocidad de referencia  $\beta$ , velocidad correspondiente al promedio de velocidad instantánea (pico de ráfaga) sobre intervalos de 3 segundos, en exposición abierta, a una altura normal de referencia de 10 m que tiene un período de recurrencia de un año luego de obtener las velocidades y corregirlas por los diferentes factores, se procede a calcular la presión y por último se realiza el cálculo de la acción de conjunto sobre una construcción.

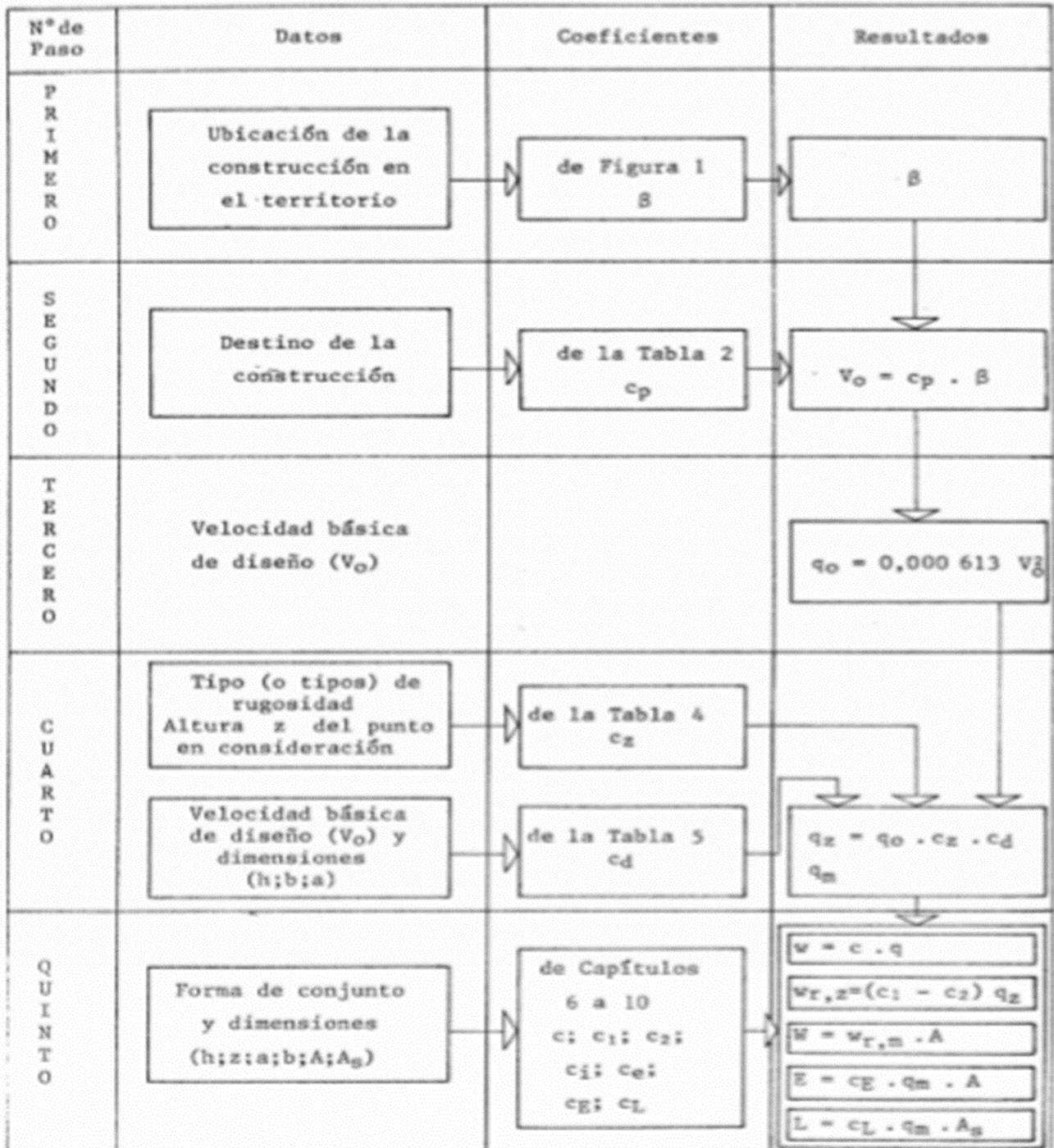


FIGURA: Mapa de distribución de la velocidad de referencia  $\beta$ .  
Fuente: Cátedra de integración 5.

La dirección de la acción de conjunto sobre una construcción no coincide, necesariamente, con la dirección del viento y en general, no puede determinarse en forma directa. Para ciertas construcciones, sin embargo, es posible calcular directamente sus componentes horizontal E y vertical L; mediante las siguientes expresiones que no toman en cuenta las acciones locales:

$$E = c \cdot q \cdot A \quad \text{y} \quad L = s \cdot L_c \cdot q \cdot A =$$

Siendo:

- ✓ E: la fuerza de empuje, expresada en kilonewton (1 kN  $\cong$  100 kgf)
- ✓ L: la fuerza de levantamiento, expresada en kilonewton (1 kN  $\cong$  100 kgf)
- ✓ cE: el coeficiente global de empuje.

4.6. Estudios de requisitos legales (nacionales, provinciales y municipales, incluyendo los medioambientales):

Ley N° 25.675, ley general del ambiente:

Establece que toda actividad u obra que, en territorio de la nación, sea susceptible de degradar el ambiente o afectar la calidad de vida de la población, debe estar sujeta a un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, previo a su ejecución.

Ley N° 11.723. ley integral del medio ambiente y los recursos naturales:

Establece que aquellas obras o actividades que sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, deberán obtener una declaración de impacto ambiental expedida por la autoridad ambiental provincial o municipal.

Ley N° 11.459 de radicación industrial:

Determina que los establecimientos industriales que se encuentren dentro de la jurisdicción de la Provincia de Buenos Aires deberán contar con el pertinente Certificado de Aptitud Ambiental como requisito obligatorio indispensable para que las autoridades municipales puedan conceder las correspondientes habilitaciones industriales.

Decreto N° 531:

Detalla el procedimiento de trámite y expedición del Certificado de Aptitud Ambiental. El mismo va a variar dependiendo de cómo encaje la industria dentro la clasificación desarrollada en el decreto que determina, mediante el nivel de complejidad ambiental, la categoría del establecimiento industrial.

Ley N° 14370 registro de establecimientos industriales:

Instaura que todos los establecimientos industriales radicados o a radicarse en el ámbito territorial de la Provincia de Buenos Aires, deberán empadronarse inscribiéndose en el Registro Ambiental de Establecimientos Industriales de la Provincia de Buenos Aires, que contendrá la totalidad de las declaraciones juradas relativas al empadronamiento, y todo otro dato, documentación e información asociada.

Ley N° 14343. regula la identificación de los pasivos ambientales:

Regula la identificación de los pasivos ambientales, y obliga a recomponer sitios contaminados o áreas con riesgo para la salud de la población, con el propósito de mitigar los impactos negativos en el ambiente (contaminación del agua-suelo-aire).

Ley N° 5965. ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera:

Instaura que ningún establecimiento industrial podrá ser habilitado o iniciar sus actividades sin la previa obtención de la habilitación correspondiente y la aprobación de las instalaciones de provisión de agua y de los efluentes residuales industriales respectivos.

Decreto N° 1074:

Decreta que todos los establecimientos generadores ubicados en el territorio de la provincia de Buenos Aires deberán obtener la Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA), previa presentación de una Declaración Jurada, conforme las pautas establecidas en la normativa vigente ante la Autoridad de Aplicación, que permita evaluar y controlar el impacto sobre la calidad del aire y el ambiente.

Ley N° 25688 régimen de gestión ambiental de aguas:

Determina que para utilizar las aguas objeto de esta ley, se deberá contar con el permiso de la autoridad competente. En el caso de las cuencas interjurisdiccionales, cuando el impacto ambiental sobre alguna de las otras jurisdicciones sea significativo, será

vinculante la aprobación de dicha utilización por el Comité de Cuenca correspondiente, el que estará facultado para este acto por las distintas jurisdicciones que lo componen.

Resolución N° 336/03:

Se establecen tanto las Ramas Industriales cuyos efluentes no deben disponerse en pozos absorbentes como los parámetros de calidad de las descargas límite admisibles.

CODIGO	NIVEL DE RIESGO	RAMA DE ACTIVIDAD
8110	3	Blanqueo, teñido y/o apresto textil ( incluso prendas de vestir)
8201	2	Fabricación de fibras artificiales y sintéticas
8303	0	Preparación de fibras textiles vegetales excepto algodón
8420	2	Lavandería industrial
9106	1	Impregnación de madera
10001	3	Pasta química (celulosa y alfa celulosa) pasta semi-química y pasta mecánica de madera
10101	2	Impresión de diarios y revistas
10104	2	Industrias anexas de las artes gráficas esterotipía, electropía, litografía, fotograbados y operaciones análogas.
10150	2	Imprenta y encuadernación.
11101	3	Saladeros y peladeros de cueros.
11103	4	Curtiembre, teñido, acabado y otras operaciones.
11201	4	Curtiembre, teñido y apresto de pieles
13101	4	Ácidos, bases y sales.
13106	2	Tanino y demás curtiembres de origen vegetal o sintético.
13108	2	Materia prima para la industria plástica.
13210	3	Fábrica de resinas sintéticas.
13301	4	Pintura, pigmentos, barnices, lacas, esmaltes y charoles.
13602	2	Tintas para imprentas.
13603	2	Tintas para escribir.
13606	2	Tintas, betunes, pastas y preparaciones similares para conservar cueros y maderas
13804	2	Jabones, detergentes, velas.
13902	3	Fungicidas, insecticidas, fluidos desinfectantes y raticidas.
13909	3	Productos químicos diversos, no clasificados en otra parte.
14101	4	Refinerías de petróleo.
14501	3	Productos del petróleo y del carbón no elaborado en destilería.

*Tabla: Ramas Industriales cuyos efluentes no deben disponerse en pozos absorbentes.  
Fuente: Cátedra de ing. Ambiental.*

Parámetros de calidad de las descargas límite admisibles:

GRUPO	PARAMETRO	UNIDA D	CODIGO TÉCNICA ANALITICA	LIMITES PARA DESCARGAR A:			
				Colectora Cloacal	Cond. Pluv. o cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo (h)	Mar Abierto
I	Temperatura	°C	2550 B	<45	<45	<45	<45
	pH	upH	4500 H+ B	7,0-10	6,5-10	6,5-10	6,5-10
	Sólidos Sedim 10 Min (2)	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos Sedimen.2 Horas (2)	ml/l	Cono Imhoff	<5,0	□1,0	<5,0	<5,0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	<2,0	<1,0	<5,0	NE (c)
	S.S.E.E. (1)	mg/l	5520 B (1)	<100	<50	<50	<50
	Cianuros	mg/l	4500 CN C y E	<0,1	<0,1	Ausente	<0,1
	Hidrocarburos Totales	mg/l	EPA 418.1 ó ASTM3921- 85	<30	<30	Ausente	<30
	Cloro Libre	mg/l	4500 Cl G (DPD)	NE	<5,0	Ausente	<0,5
Coliformes Fecales (f)	NMP/10 0ml	9223 A	□20000	<2000	<2000	<20000	
II	D.B.O.	mg/l	5210 B	<200	<50	<200	<200
	D.Q.O.	mg/l	5220 D	<700	<250	<500	<500
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	<10	<2,0	<2,0	<5,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	<2,0	<0,5	<0,1	<2,0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	<1000	NE	<1000	NE
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	<10	<2,0	<0,1	<10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	<1,0	□0,5	<0,1	<10
III	Cinc	mg/l	3111 B y C	<5,0	<2,0	<1,0	<5,0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	<3,0	<2,0	<1,0	<2,0
	Cromo Total	mg/l	3111 B y C	<2,0	<2,0	Ausente	NE
	Cromo Hexavalente	mg/l	3500 Cr D	<0,2	<0,2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/l	3111 B y C	<0,5	<0,1	Ausente	<0,1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	<0,02	<0,005	Ausente	<0,005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y C	<2,0	<1,0	Ausente	<2,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y C	<5,0	<2,0	<1,0	<5,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	<0,5	<0,5	<0,1	<0,5
	Bario	mg/l	3111 B	<2,0	<2,0	<1,0	<2,0
	Boro	mg/l	4500 B B	<2,0	<2,0	<1,0	<2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	<2,0	<2,0	<1,0	<2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	<0,1	<0,1	Ausente	<0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	<1,0	<0,1	Ausente	<0,1
Plaguicidas Organoclorados (g)	mg/l	6630 B	<0,5	<0,05	Ausente	<0,05	
Plaguicidas Organofosforados (g)	mg/l	6630 B	<1,0	□0,1	Ausente	<0,1	
IV	Nitrógeno total (d)	mg/l	4500 N org B (NTK)	<105	<35	<105	<105
	Nitrógeno Amoniacal (d)	mg/l	4500 NH3+F	<75	<75	<75	<75
	Nitrógeno Orgánico (d)	mg/l	4500 N org B	<30	<10	<30	<30
	Fósforo Total (d)	mg/l	4500 PC	<10	<1,0	<10	<10

Tabla: Parámetros de calidad de las descargas límite admisibles:  
Fuente: cátedra de ing. Ambiental.

Resolución N° 159/96. Ruidos molestos:

Establece la medición y clasificación de los ruidos productos de los establecimientos industriales, como las sanciones que estos pueden llegar a adquirir en caso de generar mucha polución sonora.

Resolución N° 445/18:

Constituye el reglamento de procedimiento sancionatorio administrativo de multas y sanciones por infracciones a la normativa ambiental.

Las anteriores resoluciones y decretos citados, se presentan como un resumen de la totalidad de leyes existentes, tomando en consideración cuales de ellas forman parte del marco regulatorio en el que se encuentra el desarrollo de las actividades de la planta en estudio.

Se toman en cuenta por la obligatoriedad de llevar a cabo el desarrollo industrial de la planta ubicándonos dentro de dicho marco regulatorio.

Pago de tasas según ordenanza fiscal tributaria de ENSENADA:

Se realizaron consultas al municipio de Ensenada, el cual, a través de la Ordenanza fiscal tributaria, regula quienes deben pagar y cuáles son las tasas para realizar una obra.

En cuanto a la identificación de quiénes o qué actividades, se detectaron los siguientes artículos:

Artículo 130°:

Está dado por el valor de la obra determinada según destinos y tipos de edificación (de acuerdo a la legislación vigente), estableciéndose los valores métricos en la Ordenanza Anual Impositiva. Este valor será ajustado por coeficientes de corrección de acuerdo a la zona y superficie en la que se encuentre la obra en cuestión, aplicándose luego la alícuota que se establezca en la Ordenanza Anual Impositiva.

Tratándose de empresas encuadradas en el inciso a) del artículo 94 de la parte Fiscal de la presente Ordenanza Fiscal e Impositiva vigente, para la construcción de Plantas Procesadoras de Productos, el valor se tomará de los ítems que a continuación se enumeran:

- 1) Ingeniería, que comprende la ingeniería básica y la gestión de compras.
- 2) Construcción y montaje.
- 3) Desmonte, excavaciones, demoliciones, construcción, fundiciones, montajes mecánicos, eléctricos y electrónicos;
- 4) Materiales. Incluye su suministro.
- 5) Equipos varios;
- 6) Tanques;
- 7) Servicios auxiliares tales como: sistemas de conducción y/o alimentación de fluidos y materia prima, descarga de productos y desperdicios;
- 8) Obra civil complementaria entre las que se incluyen: pisos, caminos, rampas, muros.
- 9) Mano de obra indirecta e instalaciones de obra.

El derecho en todos los casos se deberá liquidar y pagar previamente a la iniciación de los trabajos establecidos en el artículo anterior.

Para casos especiales en que no se pueda determinar el valor, se establecerá directamente por la Secretaría de Obras Públicas de la Municipalidad con informe fundado en la valuación determinada.

#### Artículo 94º:

Para la formación de la base imponible de este tributo se tendrá en cuenta las pautas normativas contenidas en los artículos del presente título y la futura reglamentación de la presente, clasificándose los contribuyentes alcanzados por este tributo en las siguientes categorías:

- a) Grandes Contribuyentes: Se consideran grandes contribuyentes a aquellos que:
- Tengan más de 400 empleados en actividad.
  - Cuenten con más de 50 hectáreas de superficie.
  - Facturen más de \$ 1.000.000.000 (un mil millones) anualmente en forma individual o por grupo económico.

En cuanto a las tasas que se deben pagar se detectaron los siguientes artículos en la ordenanza:

#### Derechos de construcción:

#### Artículo 15º:

A los efectos del pago de los derechos de construcción establecidos en el artículo 127 del TITULO XI de la Sección Segunda Parte Especial de la Ordenanza Fiscal, se fija la alícuota del 1,8% sobre el valor de la obra para cualquier tipo de construcción.

Los distintos tipos de construcción que se emplean en la Escala a), corresponden a los determinados por la Ley Provincial 5.738 y 5.739, las que a estos fines se tiene por incorporada en la presente Ordenanza. El valor de la obra será el que resulte de aplicar el valor básico fijado por metro cuadrado en la escala a), por los coeficientes correctores según zona de construcción y metros cuadrados de la misma, de la escala b):

Escala a):

	TIPO	VALOR BASICO	VALOR BASICO
DESTINO	(LEYES 5738/39)	SUPERFICIE CUBIERTA	SUPERFICIE SEMICUBIERTA
VIVIENDA	A	2.348.00	1.174.00
	B	1.892.00	946.00
	C	1.520.00	760.00
	D	1.100.00	550.00
	E	560.00	280.00
COMERCIO	A	1.444.00	722.00
	B	1.328.00	664.00
	C	1040.00	520.00
	D	956.00	478.00
INDUSTRIA	A	1.892.00	946.00
	B	1.496.00	748.00
	C	1.520.00	760.00
	D	560.00	280.00
SALA DE ESPETACULOS	A	1620.00	810.00
	B	1196.00	598.00
	C	976.00	488.00

*Tabla: Escala a).  
Fuente: Municipalidad de Ensenada.*

Escala b):

ZONIFICACION	SUPERFICIE	VIVIENDA	COMERCIO	SALAS DE ESPETACULOS
	M2	COEFICIENTE	INDUSTRIA	COEFICIENTE
			COEFICIENTE	
ZONA 1	HASTA 100	1	1,5	
	MAS DE 100	1,3	1,8	
ZONA 2	HASTA 100	0,7	0,8	1
	MAS DE 100	0,9	1	1
ZONA 3	HASTA 100	0,5	0,5	0,8
	MAS DE 100	0,65	0,65	0,8

*Tabla: Escala b).  
Fuente: Municipalidad de Ensenada.*

En los casos contemplados en el artículo 130, tercer párrafo del TITULO XI de la Sección Segunda Parte Especial de la Ordenanza Fiscal vigente se abonarán los derechos según el valor de la obra, aplicando la alícuota de 1,8 % (uno con cincuenta céntimos por ciento).

Se deberá liquidar y pagar previamente a la iniciación de los trabajos como anticipo, según el presupuesto de obra y se ajustará definitivamente en el momento de la aprobación final.

En los casos de refacciones que no alteren la superficie cubierta realizada en viviendas, comercios o salas de espectáculos se procederá en la forma que se indica, tomando como montos de obras el presupuesto presentado por los interesados.

El valor de la obra será detallado por el contribuyente mediante declaración jurada que al efecto presentará. La misma podrá ser verificada de oficio por la Secretaría de Obras Públicas.

En todos los casos los valores deberán ser corregidos de acuerdo a los coeficientes fijados en la escala b).

*Tasa por inspección de seguridad e higiene del hecho imponible:*

*Artículo 92º:*

Por los servicios de zonificación, localización e inspección destinados a preservar la seguridad, las adecuadas condiciones laborales, productivas y sociales, salubridad e higiene en comercios, industrias, puertos, establecimientos de comercio exterior e interior, depósitos de mercaderías o bienes de cualquier especie, en toda actividad comercial, industrial, de servicios asimilables a tales, de locaciones de bienes, de locaciones de obras y servicios, esparcimiento, servicios públicos explotados por entidades privadas, estatales, autárquicas y/o descentralizadas y/o de capital mixto, sociedades cooperativas que realicen actividades económicas en la jurisdicción municipal, que se desarrollen en forma total o parcial en locales, establecimientos, oficinas, unidades habitacionales y/o cualquier otro lugar, se encuentre o no dentro del partido de Ensenada, aunque el titular del mismo por sus fines fuera responsable exento, se desarrollen en forma accidental, habitual o susceptible de habitualidad o potencial, aun cuando fuere ejercida en espacios físicos habilitados por terceros, y/o toda actividad de carácter oneroso, lucrativas o no, que se ejerza en jurisdicción del municipio, realizada en espacio público o privado, se encuentren habilitados o no, se abonarán en concepto de Tasa por Inspección de Seguridad e Higiene los importes establecidos en la Ordenanza Impositiva, en el modo, forma y plazo reglamentario allí estipulado.

El Departamento Ejecutivo se encuentra facultado para determinar en forma individual, grupal o genérica aquellos contribuyentes individuales, o categorías de los mismos, que por su modalidad operacional desarrollen actividades en jurisdicción del municipio sin tener local o representación legal para su habilitación comercial, en atención a la habitualidad con la que se ejerzan tales actividades, cuando los destinatarios y/beneficiarios de las mismas se encuentren radicados en el Partido de Ensenada.

Contribuyentes comunes y medianos:

Los rubros aquí mencionados, abonarán anualmente, a través de anticipos mensuales, el equivalente por año al porcentaje que se establece seguidamente sobre los Ingresos brutos en concepto de ventas, comisiones, intereses, servicios, etc. correspondientes a los períodos respectivos. En ningún caso los contribuyentes abonarán importes mensuales inferiores a los que se detallan a continuación:

<u>35 - FABRICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS Y DE PRODUCTOS QUÍMICOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO Y DEL CARBÓN, DE CAUCHO Y DE PLÁSTICO</u>		
<u>35.000.01</u>	Fabricación de sustancias químicas, industriales básicas, excepto abonos y plaguicidas	9 6.825
<u>35.000.02</u>	Fabricación de abonos y plaguicidas	9 6.825
<u>35.000.03</u>	Resinas sintéticas	9 6.825
<u>35.000.10</u>	Fabricación de productos plásticos, no clasificados en otra parte	9 6.825
<u>35.000.11</u>	Fabricación de pinturas, barnices y lacas	9 6.825
<u>35.000.12</u>	Laboratorios de especialidades medicinales y farmacéuticas	9 6.825
<u>35.000.13</u>	Laboratorios de jabones, preparados de limpieza, lavandinas, detergentes, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador	9 6.825
<u>35.000.14</u>	Fabricación y/o refinerías de alcoholes	9 6.825
<u>35.000.20</u>	Fabricación de productos químicos no clasificados en otra parte	9 6.825
<u>35.000.21</u>	Refinerías de petróleo	9 6.825
<u>35.000.22</u>	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y carbón	9 6.825
<u>35.000.23</u>	Fabricación de productos de caucho	9 6.825
232.000:	Fabricación de productos de la refinación del petróleo	2 901.820
241.309:	Fabricación de plásticos en formas primarias y de caucho sintético	<u>2 1.002.312</u>

Tabla: Tasa por inspección de seguridad e higiene.  
Fuente: municipalidad de Ensenada.

Derecho por habilitación o transferencia de comercio e industria:

Artículo 9º:

De acuerdo a lo establecido en la Ordenanza Fiscal se abonará el equivalente al siete por mil (7%) sobre el activo fijo declarado en el último balance, certificado por el Consejo Provincial de Ciencias Económicas. Si el mismo se encontrare parcial o totalmente amortizado, la autoridad de aplicación lo determinará de oficio o con la asistencia de profesionales en la materia. Dicha tasa no será inferior a \$ 400.- (Cuatrocientos) en caso de establecimientos comerciales y de \$ 2.000.- (Dos Mil) en caso de establecimientos industriales. Para cuando se otorgue habilitación provisoria se deberá integrar un 100 %

de la tasa. El traslado del comercio o industria se asimila a los efectos de la presente, como una nueva habilitación. Para el supuesto contemplado en el inciso e) del Artículo 89 de la Sección Segunda Parte Especial de Ordenanza Fiscal, se aplicará una alícuota del 7%0 (siete por mil) sobre el activo fijo.

Fuentes del estudio de requisitos legales:

<http://www.ensenada.gov.ar/wp-content/uploads/2012/01/3940.doc>

<http://www.gob.gba.gov.ar/intranet/digesto/PDF/D872-13.PDF>

<https://www.argentina.gob.ar/normativa>

#### 4.7. Estudios de suelos:

Estudio de suelo en zona de la planta en estudio:

Se realizaron los siguientes ensayos:

En el terreno:

- Ensayo Normal de Penetración: valoración cuantitativa de la compacidad relativa de los diferentes estratos atravesados, mediante la determinación del número de golpes N necesario para una hincada de 30 cm del saca muestras normalizado de Terzaghi, en un suelo no alterado por el avance de la perforación, con una energía de impacto de 49 kgm. (ASTM D 1586).
- Recuperación de muestras representativas de suelo: su identificación y acondicionamiento en recipientes herméticos, para conservar inalterables sus condiciones naturales de estructura y humedad.
- Delimitación de la secuencia y espesor de los diferentes estratos por reconocimiento tacto visual de los suelos extraídos.
- Obtención de muestras inalteradas con tubos de pared delgada tipo Shelby.
- Determinación de la posición del nivel freático
- Mediciones de resistividad del terreno por el método de Wenner.

- Nivelación de las bocas de los sondeos referidas a intersección de eje de calles.
- Excavación a una profundidad tal que todos los servicios y estructuras enterradas fueran descubiertas e identificadas y luego se continúa con la perforación correspondiente.

En el laboratorio:

- Contenido natural de humedad, referido a peso de suelo seco en estufa a 110°C. (ASTM D 2216).
- Determinación de la fracción menor de 74  $\mu$  (limo + arcilla) por lavado sobre el tamiz standard N° 200. (ASTM D 1140)
- Clasificación de los suelos, por textura y plasticidad, conforme al Sistema Unificado de A. Casagrande. (ASTM D 2487).
- Observación macroscópica de las muestras: color, textura, concreciones calcáreas, materia orgánica, óxidos, etc.
- Compresión triaxial por etapas múltiples: medición de los parámetros de corte del suelo: frotamiento interno ( $\phi_u$ ) y cohesión ( $C_u$ ), en condiciones de drenaje impedido.
- Peso de la unidad de volumen en estado natural.
- Ensayos de consolidación, únicamente sobre los especímenes obtenidos con tubos de pared delgada tipo Shelby.
- Ensayo de compactación Próctor Standard (AASHTO T 99).
- Ensayos de Valor Soporte, VSR, sobre probetas moldeadas estáticamente a la densidad y humedad obtenidas en el ensayo Próctor Standard.

Sobre muestras del agua freática y suelos de diferentes profundidades:

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

Se adjunta Croquis de Ubicación de los sondeos, y planillas en las que se expresa, gráfica y numéricamente, la totalidad de los resultados obtenidos.

### Estratigrafía del subsuelo:

De la simple observación de los gráficos de sondeos, donde se condensa la totalidad de los ensayos de campo y laboratorio realizados, se deduce que el perfil investigado presenta cierta homogeneidad en cuanto a las características de textura y plasticidad de los sedimentos que lo forman y también en su densidad relativa medida a través de los ensayos penetrométricos.

### En lo general el perfil del terreno responde a las siguientes características:

- De 0,00 m a 1,50 m aproximadamente aparecen rellenos arcillo limosos o limo arcillosos, de coloración predominantemente castaña, pertenecientes a los subgrupos CL, CL-ML y ML del sistema de clasificación unificado de suelos.
- Del piso del estrato anterior y hasta -5,00 m se encuentran arcillas de elevada plasticidad, de coloración gris con matices oscuros y verdosos. Son CH en el sistema de clasificación de suelos ideado por Arturo Casagrande. En algunos niveles se ven surcados por lentes de arena fina y conchillas.
- De -5,00 m a -17,00 m alumbran limos arcillosos de plasticidad baja a media, definitivamente ML y de alta plasticidad MH del sistema de clasificación de suelos Unificado, son de coloración castaña con tonalidades claras y/o verdosas. Estos suelos se ven enriquecidos con la presencia de carbonato de calcio difundido en su masa o concentrado en forma de nódulos litificados.
- De -17,00 m a -20,00 m: aparecen arcillas limosas castañas con tintes amarillentos CL y CL-ML del sistema mencionado de clasificación de suelos.

### Ensayos Penetrométricos:

De acuerdo a los menores números de golpes (N) obtenidos en los ensayos normales de penetración (SPT), interpretados en la escala de valoración cualitativa de Terzagui los sedimentos descriptos deben tratarse como:

- Hasta -5,00 m: medianamente compactos a blandos.
- Entre -5,00 m y -20,00 m: compactos a muy compactos, con picos duros (N > 40 golpes)

### Capa Freática:

La posición de la capa freática fue detectada a profundidades que oscilan entre 2,00 m y 2,50 m, medidas a partir de las respectivas bocas de sondeos.

Por las mediciones realizadas para estudios en zonas vecinas a la obra de referencia y en distintas fechas, se cree probable que pueda ascender aproximadamente a 1,50 m, durante condiciones climáticas extremas y en un determinado lapso de tiempo.

### Análisis Químicos:

Los análisis químicos sobre muestras representativas de la misma arrojan el resultado que las muestras de suelo analizadas, no son potencialmente agresivas al hormigón de cemento Pórtland fraguado.

### Ensayos de resistividad:

Objetivo: determinar la resistividad de los suelos superficiales y sub superficiales. Se trata de establecer las condiciones naturales de resistividad de suelos in situ, que pueda influir sobre el ataque corrosivo a estructuras metálicas o, a los efectos de proyectar puesta a tierra, de protección o servicio.

### Conclusiones:

Los suelos investigados son conductores en respuesta al carácter arcilloso calcáreo de los mismos, y a la poca profundidad del agua subterránea freática contaminada fuertemente con hidrocarburos. Por lo expuesto son buenos para puestas a tierra de protección o servicio, fundamentalmente debajo de los 10 m de profundidad.

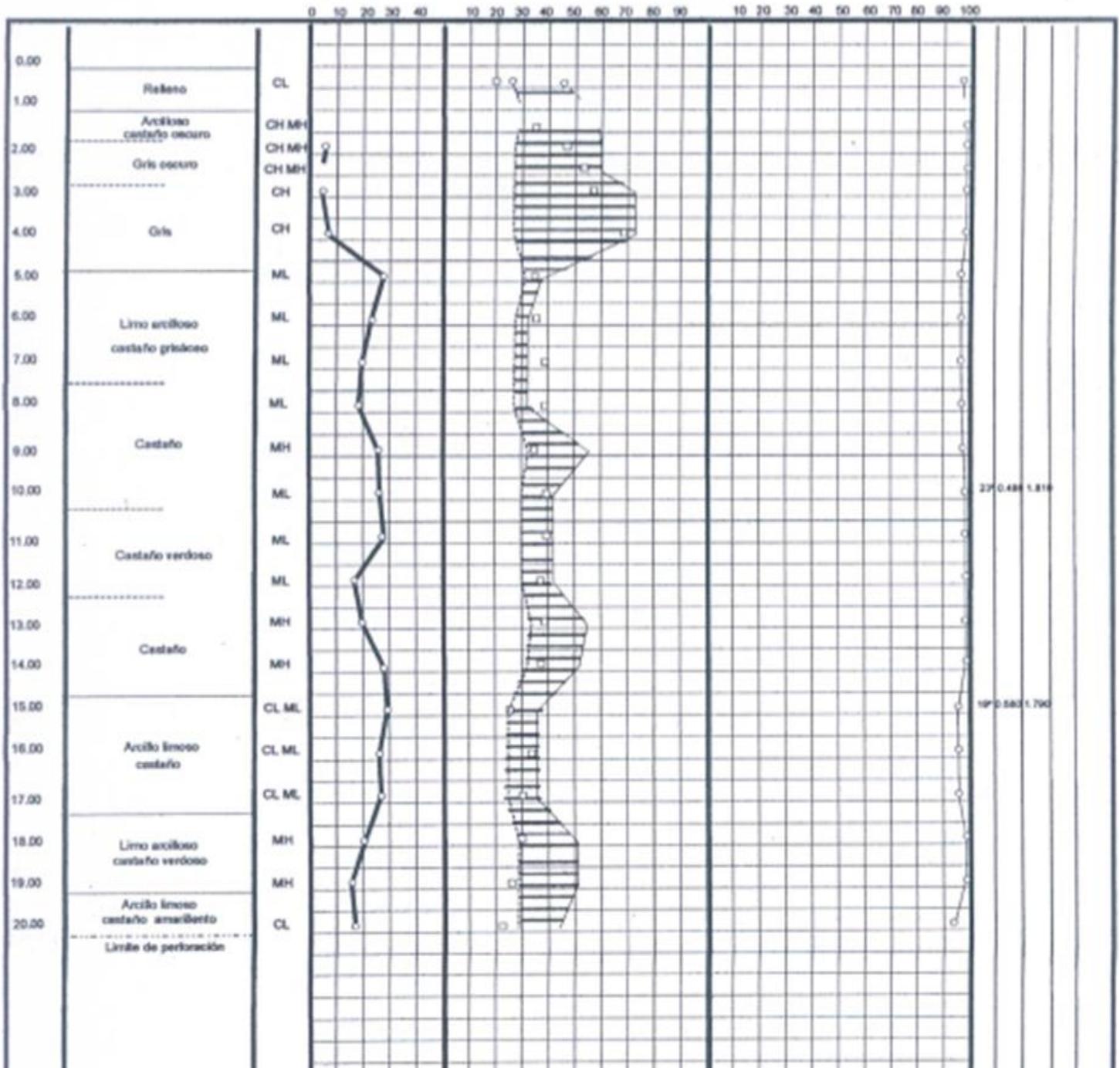
Según las tablas de corrosividad potencial, permiten calificar a estos suelos como medianamente a muy agresivos ya que sus resistividades son menores de 10  $\Omega$ .m., por lo que se deberá prever protección especial a estructuras metálicas en contacto con él.

Ensayos de consolidación:

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN				
Muestra	Profundidad:	2,05 m - 2,50 m		
	Altura Inicial (H <sub>0</sub> ):	2,550 cm		
	Sección (A)=	27,800 cm <sup>2</sup>		
	Peso Seco (Ps)=	88,830 g		
	Peso Específico (γ <sub>s</sub> )=	2,440 g/cm <sup>3</sup>		
	Hs	1,310 cm		
	e <sub>0</sub>	0,947		
<b>Ensayo</b>				
Carga	Presión [kg/cm <sup>2</sup> ]	L(x)	Δe = Lx/Hs	e = e <sub>0</sub> - Δe
	0,125	0,0130	0,010	0,937
	0,250	0,0245	0,019	0,929
	0,500	0,0560	0,043	0,904
	1,000	0,1115	0,085	0,862
	2,000	0,1790	0,137	0,811
	4,000	0,2535	0,194	0,754
	8,000	0,3485	0,266	0,681
Descarga	4,000	0,3490	0,267	0,681
	1,000	0,3320	0,254	0,694
	0,250	0,3180	0,243	0,704

PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	CLASIFICACION	RESISTENCIA A LA PENETRACION	HUMEDAD NATURAL	0	0	0	FASA TAMIZ N° 2"	.....	FASA TAMIZ N° 1"	.....	FASA TAMIZ N° 1/2"	.....	FASA TAMIZ N° 3/8"	.....	FASA TAMIZ N° 4	.....	FASA TAMIZ N° 10	.....	FASA TAMIZ N° 40	.....	FASA TAMIZ N° 200	.....	Granos	C	U <sub>c</sub>	U <sub>g</sub>	U <sub>g</sub>	U <sub>g</sub>	NAN
			N° de golpes	LIMITE LIQUIDO	-----																									
				LIMITE PLASTICO	-----																									

Fuente: Cátedra de integración 5.



Fuente: Cátedra de integración 5.

#### 4.8. Conclusiones:

En base a los estudios de suelos, clima y de requisitos legales realizados, se concluye:

- No hay impedimento legal para la radicación de la unidad en la zona seleccionada.
- Desde el punto de vista climatológico, en función de la velocidad máxima registrada de los vientos (~100 km/h) y el máximo registro de precipitaciones en el período considerado (392 mm), se deben tomar como base estos valores para la realización de la ingeniería civil de la planta en estudio (seguridad estructural y capacidad pluvial).
- La fundación/cimentación más apropiada en base al tipo de suelo requerirá del reemplazo de tierra por tosca y el empleo de cimentación profunda (pilotes), en cumplimiento con lo establecido en el 'Código de Edificación para el Partido de la Ensenada.

## 5. ELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA:

El ciclohexano en un principio se obtenía directamente por destilación fraccionada de determinadas fracciones de la bencina bruta con una pureza del 85%.

Como consecuencia de la simultánea isomerización del metilciclopentano a ciclohexano, fue posible en las instalaciones de Humble Oil, Shell y Atlantic Richfield, en Estados Unidos, mejorar la calidad del producto a casi el 98% de pureza.

En la actualidad existen dos grupos de métodos de obtención de ciclohexano. El primero consiste en una destilación simple o fraccionada de la nafta cruda, logrando obtener un producto de pureza entre 85-98% en peso, y el segundo constituye el método más ampliamente utilizado y estudiado en la actualidad, que se basa en la hidrogenación catalítica del benceno, con el cual se logra una pureza final del 99,8% en peso, requerimiento que exige el mercado petroquímico actual.

El alto nivel de pureza que se obtiene mediante la hidrogenación catalítica del benceno, constituye el motivo por el cual sea el método de obtención de ciclohexano más difundido a nivel industrial, constituyendo entre 80-85% de la vía seleccionada.

A causa de la creciente demanda de este hidrocarburo como producto básico para la obtención del nylon 6 y nylon 6,6, desde el siglo pasado se han desarrollado diferentes procesos industriales para la obtención del mismo, que se basan en la mencionada hidrogenación catalítica de benceno.

Cabe destacar que la hidrogenación de benceno no es sólo de gran interés en la industria del petróleo sino también del área medio ambiental.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) de conformidad con la Ley de Aire Limpio requiere que la gasolina contenga menos de 1,0% en volumen de benceno a partir de la década de 1990.

En nuestro país rige también esta norma desde el mismo período.

Dicha norma ha sido adoptada por muchos países de todo el mundo lo que derivó en que las refinerías hallan puesto en práctica diversas técnicas para reducir los niveles de benceno en la gasolina.

Este exceso de benceno, supo ser el puntapié para la fabricación de productos petroquímicos intermedios de alto valor agregado como son el ciclohexano, lineal

alquilbenceno, y etilbenceno, utilizados para la fabricación de múltiples productos de consumo masivo, como nylon, detergentes, etc.

Como consecuencia de la importancia económica del ciclohexano, los diversos procesos de hidrogenación han evolucionado y derivado en nuevas tecnologías respecto a equipos, como así también en el desarrollo de los catalizadores empleados, mejorando sustancialmente la optimización de los recursos para obtener el máximo beneficio posible.

Desde mediados del siglo XX, se han desarrollado numerosas patentes para procesos de obtención de ciclohexano a través de la hidrogenación catalítica de benceno.

La reacción se puede llevar a cabo en fase vapor, líquida o mixta, utilizando un lecho fluidizado o fijo.

A continuación, se citarán algunas patentes existentes en la actualidad:

La primera de 1945 en Estados Unidos. Dicho proceso ocurre en fase líquida empleando como catalizador una aleación de níquel y aluminio (40-60%).

Otra patente es la número 8.026.402, que describe un proceso de hidrogenación en fase líquida, que incorpora un dispositivo mecánico capaz de disminuir las limitaciones de transferencia de masa, mejorando así el rendimiento obtenido.

La patente norteamericana n°4.626.604 describe un proceso en donde la reacción de hidrogenación catalítica se completa luego de pasar por tres reactores en serie adiabáticos.

Otra patente de EE.UU. la número 3.341.613 permite obtener una pureza del 99% empleando tres reactores en serie con intercambiadores de calor luego de cada uno de ellos.

El mismo proceso sugiere la utilización de una amplia variedad de catalizadores como el níquel, platino, hierro y níquel Raney, los cuales se ubicarán sobre un soporte poroso como portador.

En la patente de EE.UU. número. 2.373.501, se describe un procedimiento en fase mixta, en el que se mantiene una diferencia de temperaturas entre la parte superior del lecho del catalizador, y la salida de la que se extrae el producto puro.

La patente de EE.UU. número 4.731.496, describe un procedimiento en fase vapor sobre un catalizador específico. El catalizador que se indica es níquel soportado sobre una mezcla de dióxido de titanio y dióxido de zirconio.

Existen numerosas patentes en la que la reacción ocurre a través de una destilación reactiva o catalítica, como la número 2.282.137.

El proceso Arco/Engelthard que es el utilizado por la empresa YPF corresponde a la patente número 5.720.231.

#### 5.1. Descripción de los distintos procesos posibles:

Si bien existen diferentes caminos para llevar a cabo la hidrogenación, todos se basan en la realización de la reacción y posterior purificación y acondicionamiento del producto final.

Las principales diferencias entre estos procesos se basan en las siguientes características:

- *Las condiciones de operación:* referente a si las reacciones se llevan a cabo en fase líquida, vapor o mixtos líquido vapor.
- *Naturaleza del catalizador:* siendo los más utilizados el Níquel y el Platino, aunque también se hace uso de otros metales del grupo VIII.
- *Método utilizado para disipar el calor generado debido a la exotermicidad de la reacción.*
- *Diseño del reactor.*

A continuación, se describirán las características relevantes de los principales procesos industriales acompañados de su diagrama de flujo. Describiendo en primer lugar los procesos de fase líquida, luego fase vapor y por último los principales procesos en fase mixta.

### 5.1.1. Procesos en fase líquida:

#### Proceso Hydrar/HB Unibon:

Este fue el primer proceso industrial disponible para la hidrogenación del benceno. Está basado en un catalizador de platino soportado por una sal de litio en lecho fijo, el cual puede tolerar contenidos de sulfuro de hasta 300 ppm en benceno.

Aquí el hidrógeno pasa por un pretratamiento, en el que se elimina  $H_2S$ ,  $CO_2$  y  $CO$ . El benceno alimentado y el ciclohexano recirculado se mezclan con el hidrógeno fresco y el recirculado después de que este último es comprimido a la presión requerida.

Se precalienta e introduce la carga en una serie de dos a tres reactores. Estos reactores operan a temperaturas entre 200 y 300°C y 31,6 Kgf/cm<sup>2</sup>. Mientras que la relación molar de hidrogeno/hidrocarburo se mantiene 2:1.

Después de esto, la conversión del benceno es prácticamente completa. El efluente del reactor se enfría mediante un intercambiador de calor junto al precalentamiento de la alimentación. Posteriormente, éste pasa a un separador flash de alta presión. Luego los gases son recirculados y parte del líquido es recirculado como un diluyente para facilitar el control de la temperatura en el reactor. El resto pasa a un separador flash para separar los compuestos gaseosos del producto final.

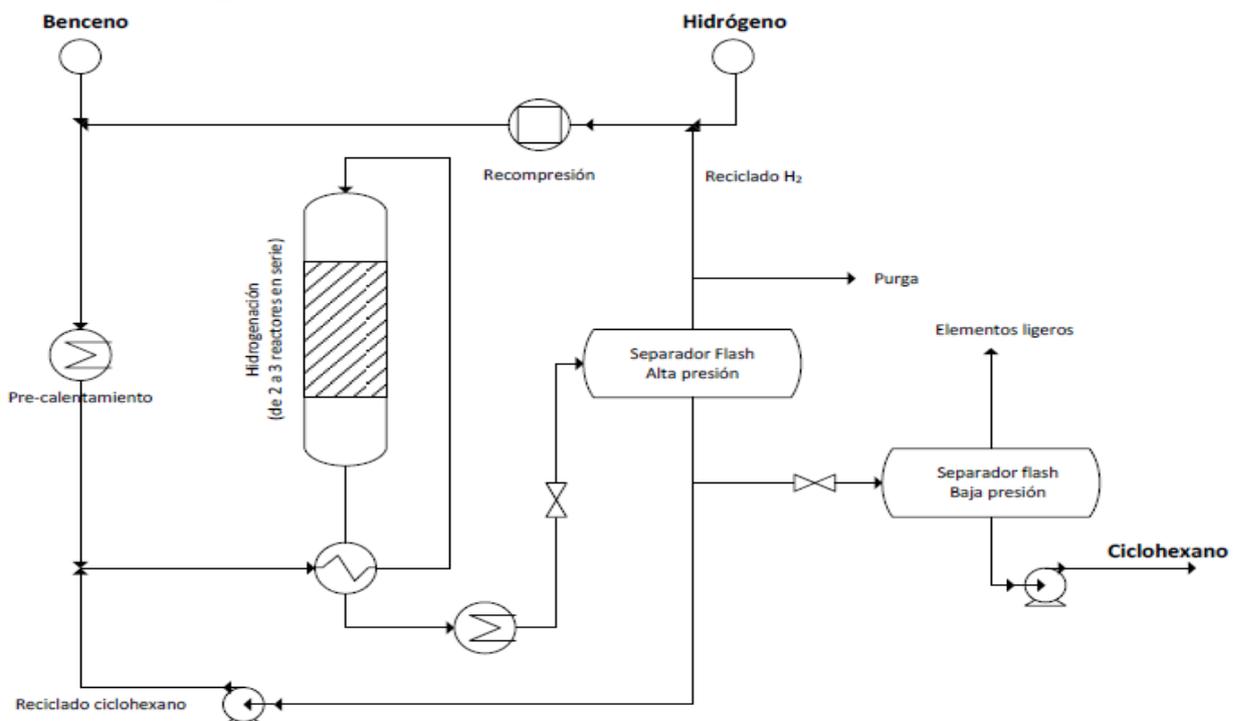


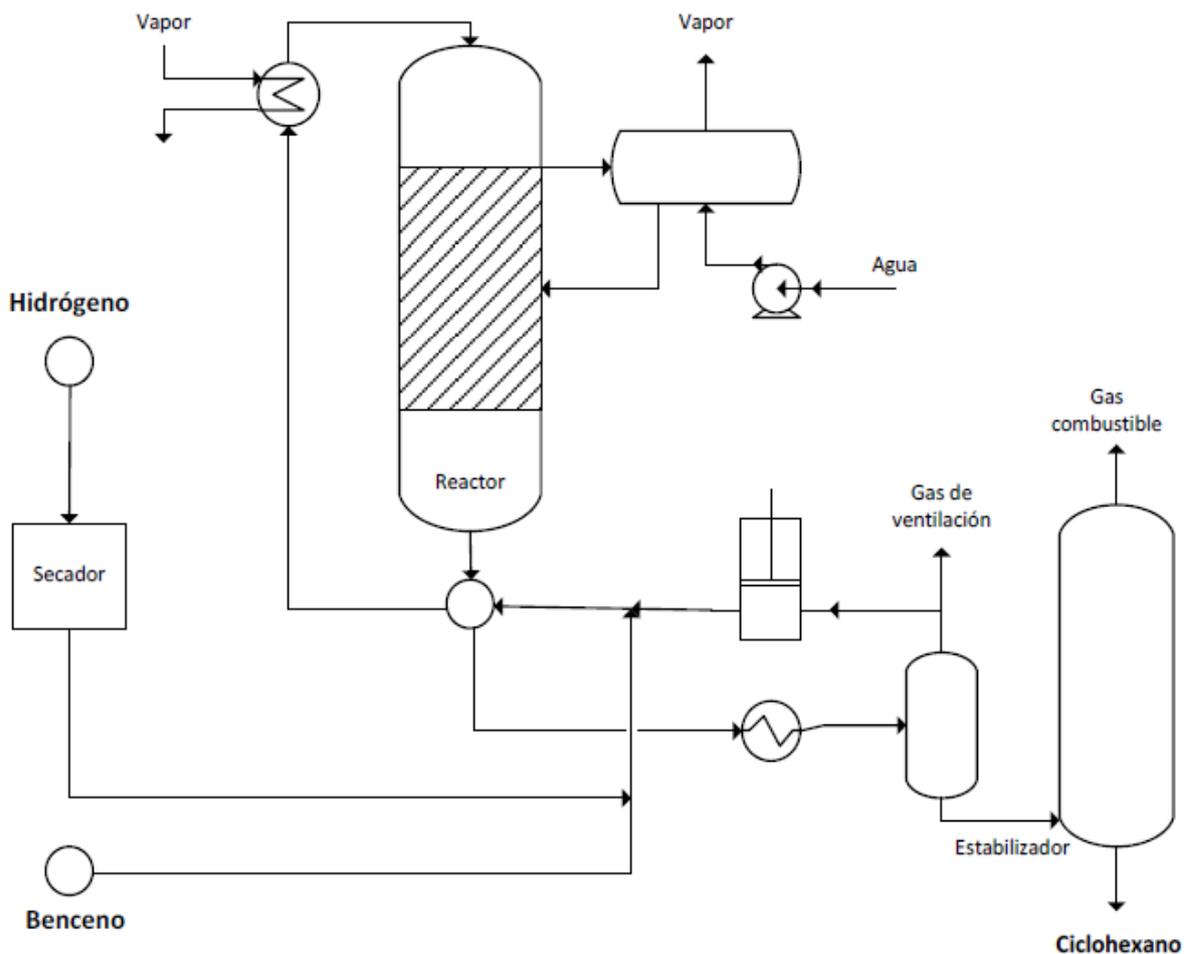
Ilustración: Proceso Hydrar/HB Unibon.

Proceso Sinclair/Engelthard:

El proceso Sinclair también conocido como HA 84 emplea solo un reactor operando con un catalizador de metal noble en un lecho fijo.

El calor se elimina in situ mediante un haz de tubos con producción de vapor, sin necesidad de recirculación de ciclohexano. Sin embargo, requiere una alta tasa de flujo de hidrógeno para prevenir una reacción descontrolada. La temperatura de operación es de 250°C a una presión de 20,4 Kg/cm<sup>2</sup>.

En el diagrama se observa que el benceno fresco, junto al hidrógeno fresco y recirculado se precalientan a la temperatura de reacción mediante el intercambio primero con el efluente del reactor, y después con vapor. Los reactantes ingresan al único reactor, donde se realiza la hidrogenación del benceno con un catalizador en lecho fijo y donde también se emplea el calor disipado para generar vapor.



*Ilustración: proceso Sinclair/Engelthard.*

Proceso Institut Français du Petrole (IFP):

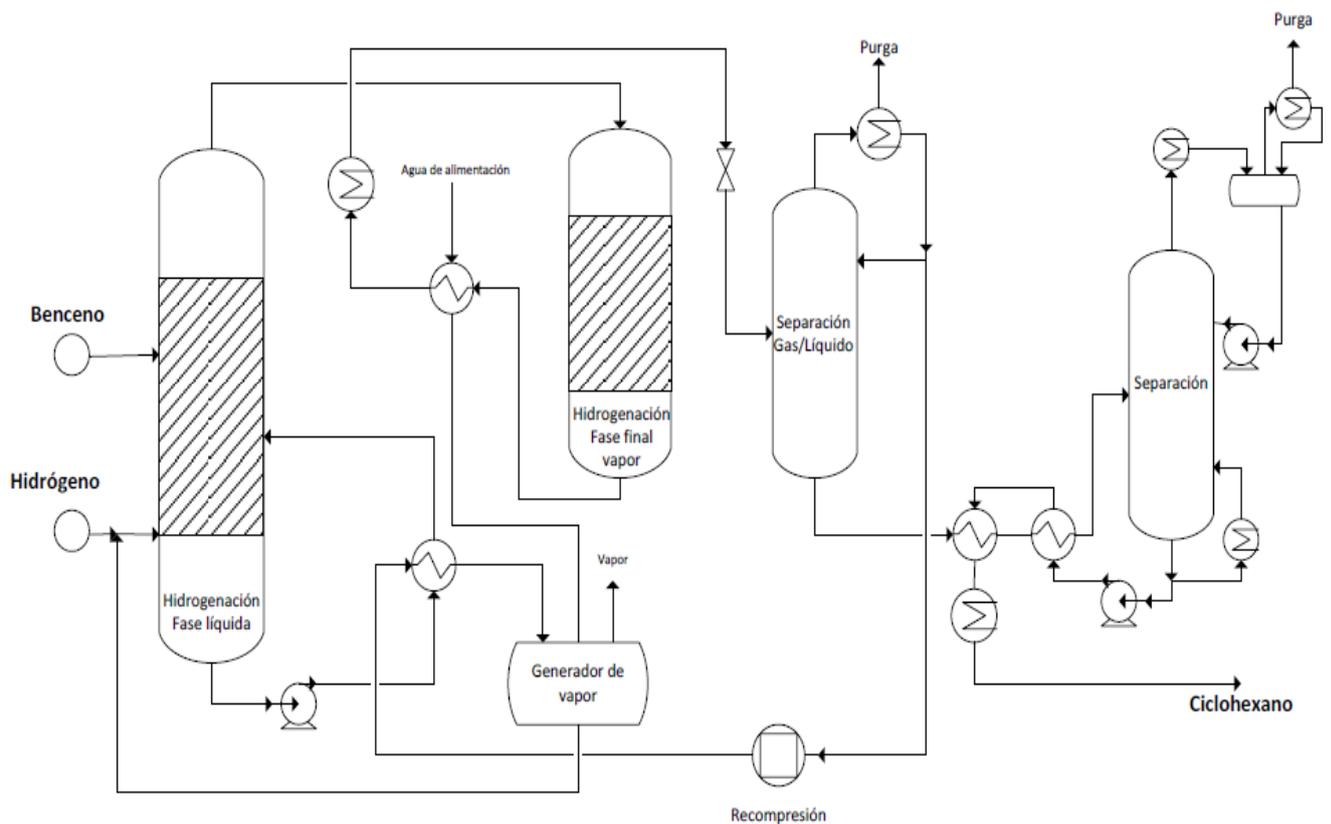
Este proceso tiene lugar en fase líquida, operando a 200°C y 40,8 Kgf/cm<sup>2</sup>, en presencia de Níquel Raney en suspensión por agitación mediante circulación externa.

El producto hidrogenado sale del reactor en fase vapor, por lo que facilita la eliminación de calor. El resto del calor generado se recupera por un intercambiador en un circuito externo y se emplea para producir vapor a baja presión.

En un segundo reactor se procesa el efluente gaseoso, garantizando la calidad.

Después de la condensación, el efluente del reactor es enviado al separador flash y una estabilizadora elimina el hidrógeno y otros gases ligeros disueltos.

Además, dependiendo de la composición y precio del gas rico en hidrógeno, el gas flasheado del separador se puede recircular al reactor principal para obtener un mejor uso del hidrógeno fresco.



*Ilustración: Proceso Institut Français du Petrole (IFP).*

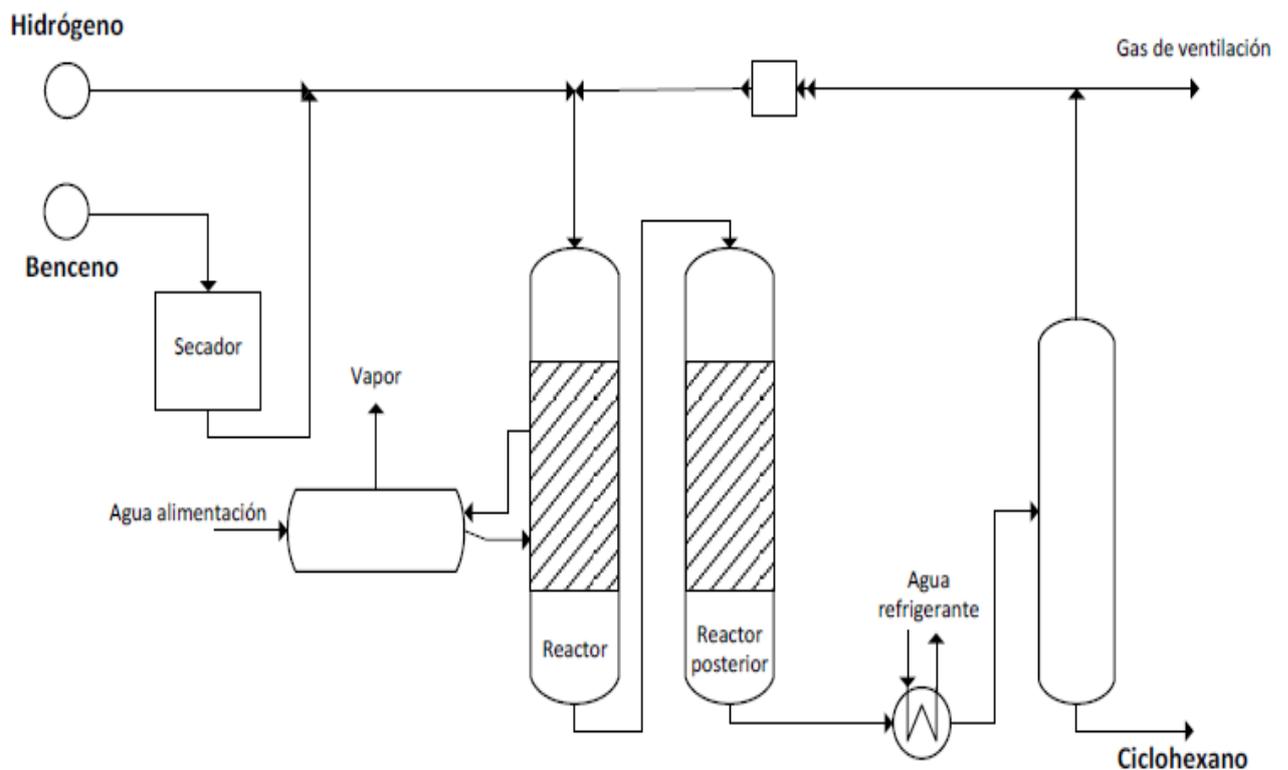
5.1.2. Procesos en fase vapor:

Proceso Bexane/DSM:

El proceso DSM, también conocido como Bexane opera a 370-400°C y 30,6 Kgf/cm<sup>2</sup>. El benceno es casi completamente convertido a ciclohexano con una eficiencia superior al 99%, empleando dos reactores multitubulares conteniendo el primero, un catalizador de Platino, y el segundo uno de Níquel.

El calor de la reacción es utilizado para producir vapor a 10,3 Kgf/cm<sup>2</sup> de presión. Para prevenir el deterioro del catalizador de Platino, el benceno empleado no debe de contener agua, por lo que deberá secarse previamente.

Se puede utilizar hidrógeno con presencia de inertes.

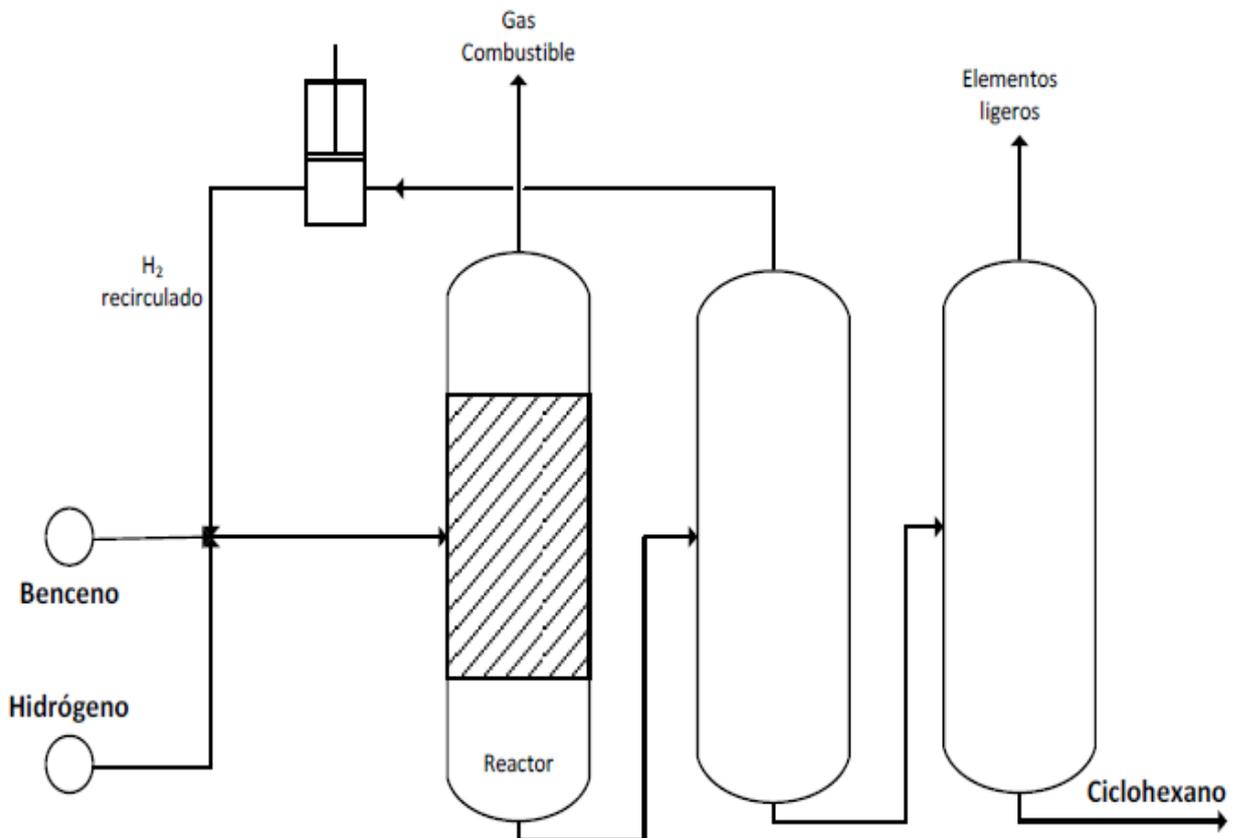


*Ilustración: Proceso Proceso Bexane/DSM.*

Proceso Hytoray:

En este proceso se emplea un reactor adiabático con un catalizador basado en un metal noble. Se requiere un consumo de hidrógeno bajo en comparación con otros procesos.

Aquí se necesita un acondicionamiento del efluente del reactor, separándolo de la fase gaseosa. Finalmente, el producto se somete a una purificación en una columna estabilizadora.



*Ilustración: Proceso Hytoray.*

Proceso Arco:

El proceso opera a temperaturas entre 200 y 400°C, a presión entre 25,5 y 40,8 Kgf/cm<sup>2</sup>, empleando una hidrogenación catalítica en fase vapor sobre un catalizador de metal noble.

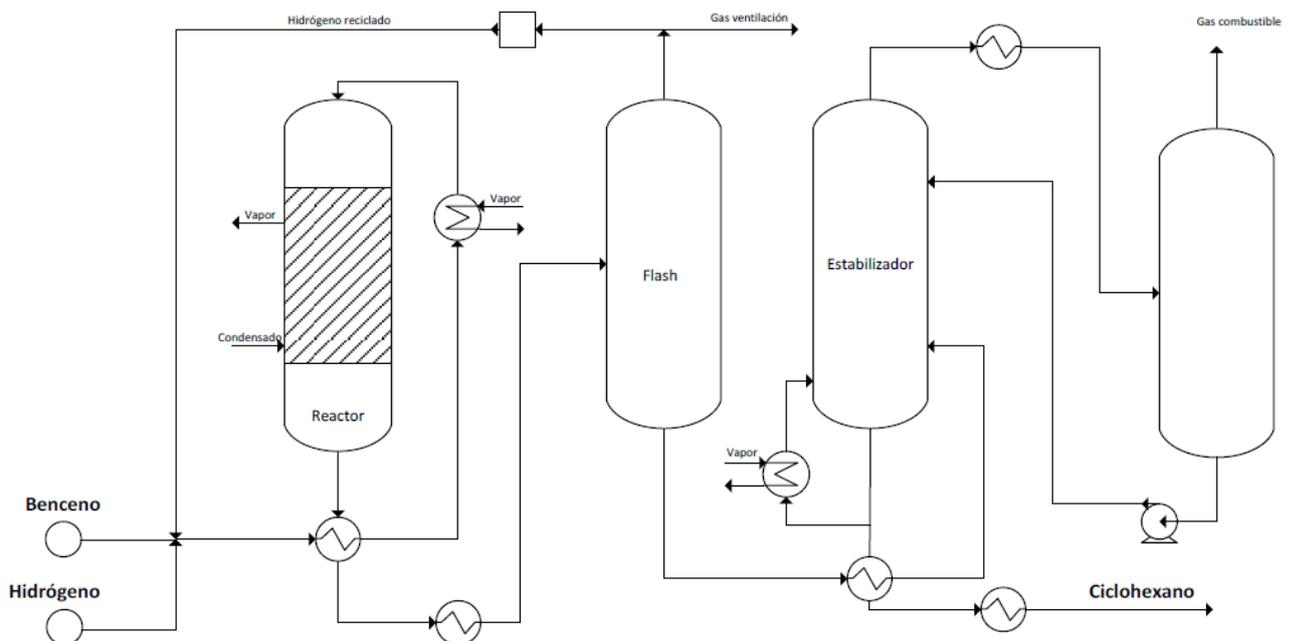
Como se observa en su diagrama, el benceno fresco es combinado con el hidrógeno fresco y el recirculado, siendo precalentados antes de entrar al reactor.

El diseño del reactor asegura la conversión completa del benceno empleando un reactor de flujo pistón. Se elimina también la necesidad de recircular ciclohexano para el control de calor producido en el reactor, ya que para ello se utilizan camisas refrigerantes generadoras de vapor.

A continuación, el efluente del reactor intercambia calor con la alimentación, y se enfría antes de entrar en el separador flash líquido-vapor. La mayoría del gas de hidrógeno es recirculado y el resto purgado para controlar el nivel de impurezas.

El líquido separado es enviado a una torre estabilizadora donde los ligeros se separan y la corriente de fondo es producto puro.

Se estima que la vida útil del catalizador a través de este proceso puede ser como mínimo de 3-4 años.



*Ilustración: Proceso Arco.*

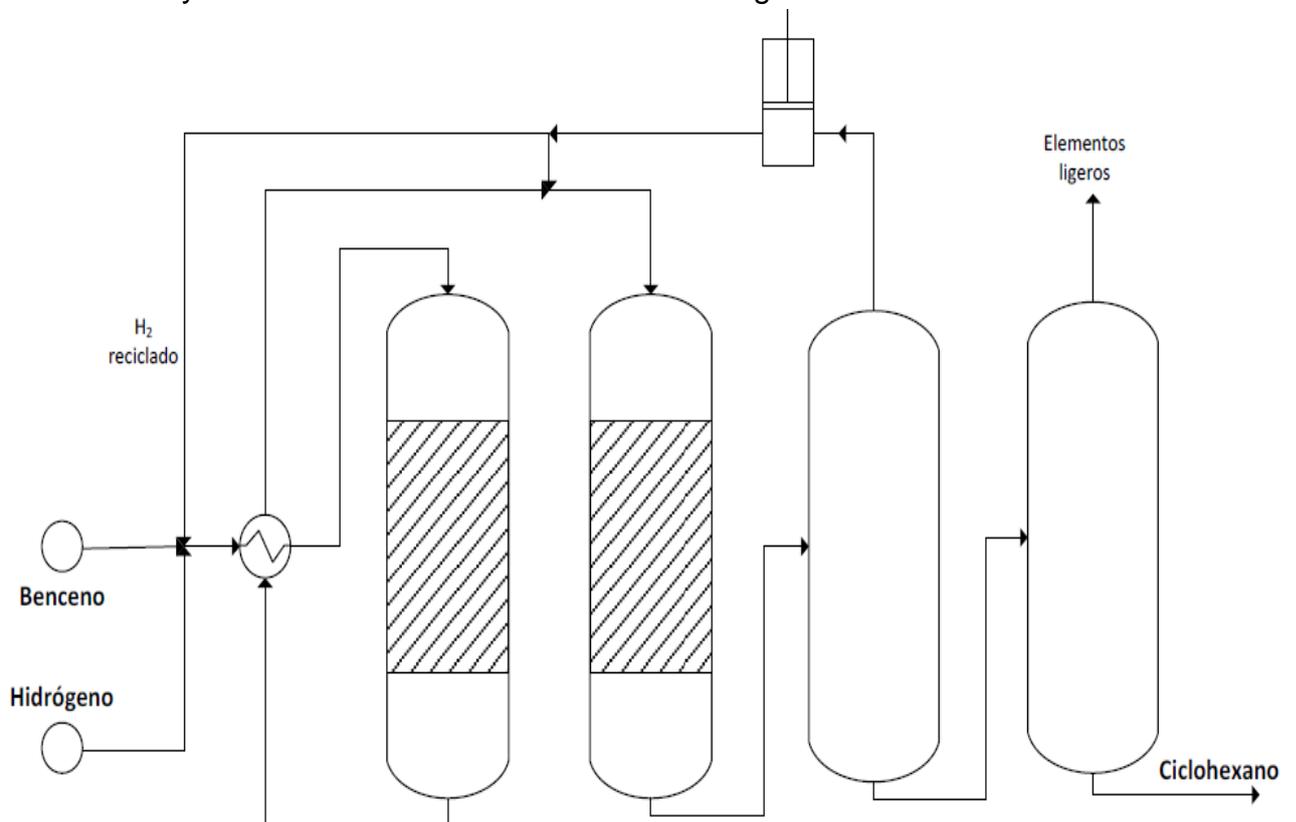
### 5.1.3. Procesos fase mixta líquido-vapor:

#### Proceso BP (British Petroleum):

Este proceso de hidrogenación contiene dos etapas con reactores de lecho fijo.

La reacción en la primera etapa es controlada por líquido y vapor reciclado de la segunda etapa, lo que ofrece una buena integración energética, con el beneficio añadido de que la tasa de recirculación del ciclohexano está entre unos límites aceptables.

El efluente resultante en esta primera etapa alcanza un 95% de conversión a ciclohexano, mientras que en el segundo se completa, siendo prácticamente del 100% gracias a la inyección de una nueva corriente de hidrógeno.



*Ilustración: Proceso BP (British Petroleum).*

Proceso Arosat:

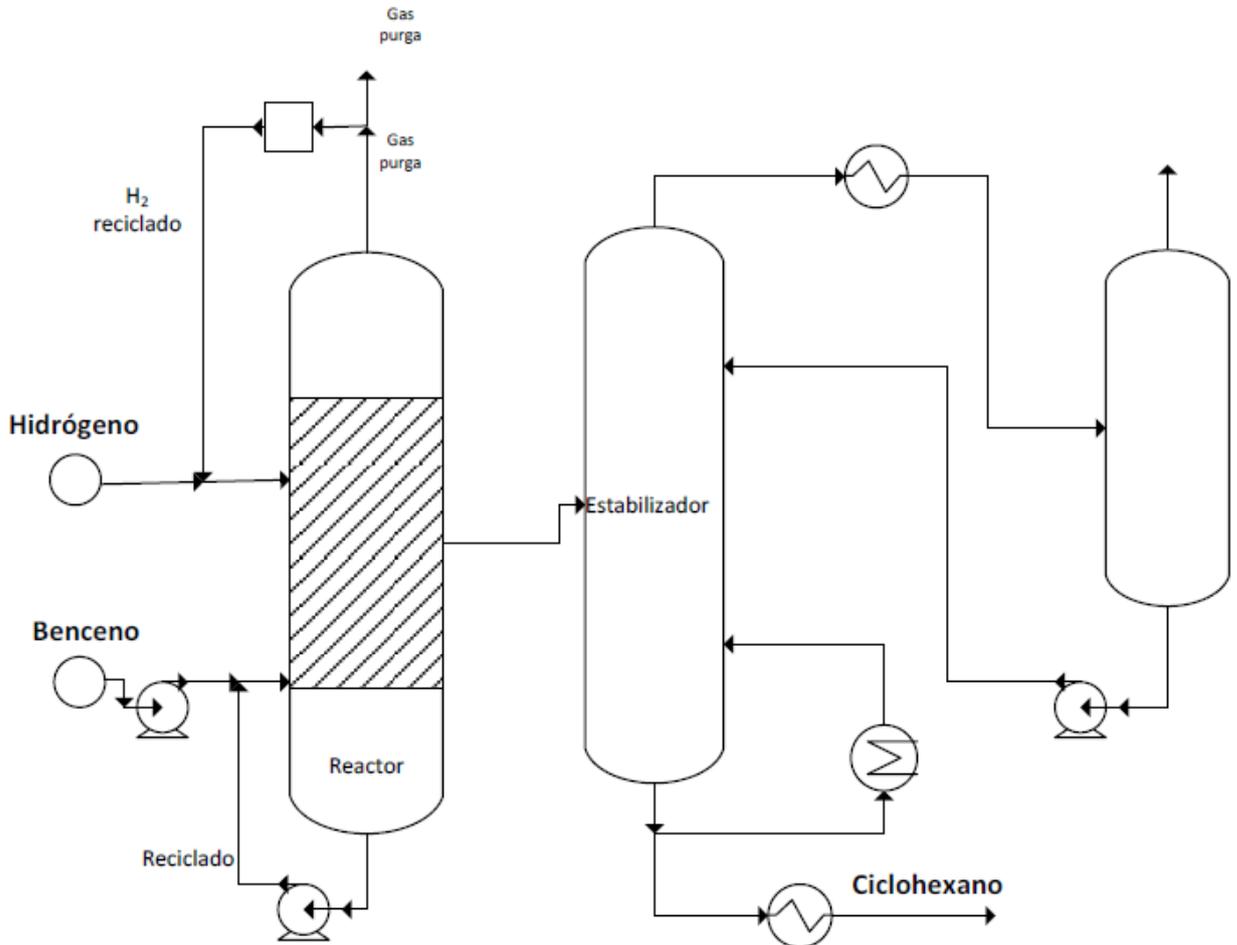
Como se puede observar en su diagrama, la alimentación fresca es mezclada con la recirculación interna de hidrógeno y benceno, siendo posteriormente cargados al reactor.

El gas purgado con alto contenido en hidrógeno de elevada pureza puede ser usado como corriente de gas pre tratada de la unidad.

La purga desde el bucle de reciclado de gas controla la acumulación de componentes ligeros en el sistema pudiendo ser estos enviados a la unidad de fuel gas de la planta.

Una mayor porción del calor de reacción es recuperable con el consiguiente subproducto de vapor.

El producto es estabilizado para eliminar hidrocarburos ligeros introducidos por el hidrógeno, previo a ser enfriado y enviado para su almacenaje.



*Ilustración: Proceso Arosat.*

## 5.2. Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos:

Para definir el proceso de obtención del ciclohexano más conveniente, se realizará un análisis de las características del sistema de reacción, ponderando con valores de 1 a 3 los aspectos más importantes a considerar, y realizando una suma de estos valores a cada tipo de tecnología, se llegará a la mejor opción siendo esta la del valor más alto.

A continuación, se detallarán los aspectos a considerar:

- Estado de agregación de la mezcla reaccionante.
- Diseño del sistema de reacción.
- Comportamiento del lecho catalítico.
- Sistema de disipación de calor generado.
- Purificación y acondicionamiento del producto.

### Estado de agregación de la mezcla reaccionante:

La hidrogenación del benceno puede llevarse a cabo en fase líquida, en fase vapor o mixta, y dependiendo del estado de agregación, cambiarán las condiciones del proceso. Los procesos desarrollados en fase vapor, más actuales, presentan las siguientes ventajas frente a los que se desarrollan en fase líquida:

- ✓ Favorecen la separación de sustrato y catalizador.
- ✓ Requieren menores tiempos de residencia para alcanzar una misma conversión.
- ✓ Estos tiempos menores permiten que pese a las altas temperaturas, se evite la isomerización del ciclohexano a metilciclopentano.

Debido a lo descripto a los procesos en fase vapor de se le otorgará valor 3, fase mixta 2, y fase líquida 1.

### Diseño del sistema de reacción:

En este apartado se evaluará la complejidad del sistema de reacción ponderando la cantidad de reactores necesarios, la necesidad de recircular el efluente del mismo, la forma de disipación del calor generado, etc. siendo el sistema más favorable aquel que sea más simple de instalar y controlar, por lo que se otorgará valor 3 a los sistemas de un solo reactor sin recirculación, 2 a los de dos reactores o más, y 1 a los sistemas con recirculación y más de un reactor.

Comportamiento del lecho catalítico:

Lo que aquí se ponderará es las ventajas que posean los lechos fluidizados sobre los lechos fijos y/o viceversa. En los primeros las condiciones de reacción son más suaves, en los segundos son más bruscas, pero se puede diluir el catalizador por etapas para contrarrestar esta desventaja. Por otro lado, los lechos fijos son más fáciles de controlar por lo que se le otorgará 3 y a los fluidizados 2.

Sistema de disipación de energía:

Un aspecto muy importante es la elección del sistema más adecuado para disipar el calor que se desprende durante el proceso de reacción. Se dará prioridad a aquellos que no necesiten recirculación del efluente del reactor para lograrlo, es decir aquellos refrigerados por agua, y que conlleven a un sistema simple de control, se les otorgará valor 3, 2 a los que posean sistema externo de refrigeración y 1 a los que necesiten recirculación del efluente al reactor.

Fase de purificación y acondicionamiento del producto:

Desarrollado el proceso de reacción, se obtiene una corriente de producto que es necesario purificar.

Básicamente son procesos de separación de livianos a través de equipos flash, torres estabilizadoras o combinaciones de ellos. Esta etapa no se tendrá en cuenta en la ponderación ya que resultaría muy inexacta debido a que cada sistema posee varias ventajas y desventajas frente a los otros, y esto es sin contar las combinaciones posibles.

Se procede a la ponderación:

Proceso	Hydrar/HB Unibon:	Sinclair/Engelthard:	(IFP):	Bexane/DSM:	Hytaray:	Arco:	BP:	Arosat:
Estado de agregación	Líquido	Líquido	Líquido	Vapor	Vapor	Vapor	Mixta	Mixta
Valor asignado	1	1	1	3	3	3	2	2
Diseño del sistema de reacción	3 Reactores	1 Reactor	2 Reactores	2 Reactores	1 Reactor	1 Reactor	2 Reactores	Reactor con recirc.
Valor asignado	1	3	2	2	3	3	2	2
Comportamiento del lecho	Lecho fijo	Lecho fijo	Agitado y recirc.	Lecho fijo	Lecho fijo	Lecho fijo	Lecho fijo	Lecho fijo
Valor asignado	3	3	1	3	3	3	3	3
Sistema de Refrigeración	Recirc. Producto	Interna con agua	Externa con agua	Interna con agua	Adiabático	Interna con agua	Externa con agua	Externa con agua
Valor asignado	1	3	2	3	1	3	2	2
Total	6	10	6	11	10	12	9	9

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Selección del método óptimo:

Del cuadro se concluye que el proceso que ofrece una mayor serie de beneficios técnicos y económicos, es el denominado proceso Arco (patente número 5.720.231), el cual utiliza un reactor bajo condiciones suaves en fase vapor, obteniéndose una conversión del benceno de casi el 100%, a través de una reacción de hidrogenación del mismo.

Esta tecnología trae los beneficios de los reactores en fase vapor con respecto a los de fase líquida, combinada con la eliminación de los inconvenientes de reciclos del resto de los reactores de fase vapor, obteniéndose además como subproducto vapor de media presión, que puede ser integrado energéticamente según sea el caso.

El tipo de reactor a emplear como ya se mencionó, será un reactor multitubular de lecho fijo, axial, de flujo descendente, el cual brinda una mayor área de transferencia para la disipación de calor generado por la reacción altamente exotérmica.

El catalizador elegido es el basado en platino cuya denominación es LD 412 R, por su alta selectividad a la reacción deseada y a su vez, su alta inhibición a reacciones no deseadas. Además, se tuvo en cuenta la calidad de las materias primas que serán utilizadas en el proceso, ya que contienen baja cantidad de impurezas como azufre o agua, los cuales resultan dañinos para dicho catalizador.

Por otro lado, esta tecnología se basa en el agotamiento del catalizador y posterior reemplazo total del mismo, evitando un sistema de regeneración que elevaría los costos de construcción.

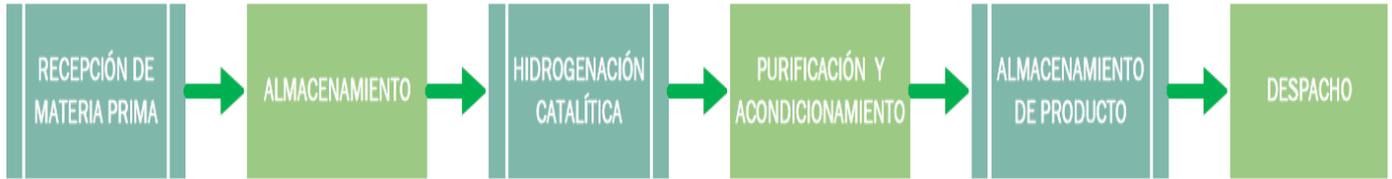
Como se ha mencionado, otro punto a tener en cuenta fue el período de vida útil de dicho catalizador, el cual ronda entre los tres a cuatro años, dependiendo del buen funcionamiento del proceso y la calidad de las cargas. Esto implica que durante el período de estudio del proyecto podría ser reemplazado solo dos, a tres veces máximo.

La elección del proceso no solo se respalda en los diversos procesos, publicaciones científicas o patentes publicadas, sino también en la experiencia que existe del empleo de tecnologías similares a nivel local y mundial, que le confieren gran robustez técnica.

Por último, cabe destacar que esta misma configuración de trabajo es la que utiliza la empresa YPF S.A. lo cual puede llegar a ser un buen flujo de información técnica de ida y vuelta, en caso de ser necesario.

#### 5.4. Diagrama de bloques de producción:

A continuación, se ilustra el diagrama de bloques de producción:



*Fuente: elaboración propia.*

#### 5.5. Descripción detallada del proceso seleccionado:

El benceno que alimenta esta unidad se toma con la bomba P-102 la cual funciona en tándem con la bomba P-101, encargada de tomar del tanque de almacenamiento la materia prima a temperatura ambiente, pasando luego por la válvula V-101 para en caso de ser necesario, regular la presión de dicha corriente.

El hidrógeno de make up se toma de la unidad purificadora de hidrógeno de YPF, a través del compresor C-101.

La corriente de alimentación fresca de benceno, hidrógeno de make up y reciclo de hidrógeno, combinados en la corriente 4, intercambian calor con el efluente del reactor R-101 en el intercambiador de calor E-101 subiendo la temperatura desde 43°C hasta una temperatura que, dependiendo de la carga oscilará entre 163°C a 204 °C.

Como se mencionó, cuando se opera a baja carga se necesita adicionar calor a la alimentación, lo que se logra por medio del precalentador de carga E-102 que lleva la corriente 4A hasta los 204°C, temperatura requerida de ingreso al reactor R-101.

El efluente de dicho reactor (corriente 5) que sale a 233°C es enfriado por intercambio de calor con la corriente 4 de alimentación en el intercambiador de calor E-101 y luego con dos equipos en serie más, el aroenfriador EA-101 y el intercambiador de calor E-103 intercambiando con agua de enfriamiento en este último. La corriente resultante, la 5C, posee una temperatura de 40°C.

Luego esta corriente pasa por la válvula V-102 para, en el caso de ser necesario, regular la presión de ingreso al separador flash F-101.

La mayor parte de los gases del separador flash F-101 que conforman la corriente 6, son enviados a través del compresor C-102 a reciclo de hidrógeno (corriente 6B), previa purificación (corriente 6C). Una pequeña parte se purga a través de la corriente 6A, para evitar acumulación de impurezas en dicho reciclo.

El líquido del separador flash F-101 que conforma la corriente 7, es ingresado a la válvula V-103 para estabilizar la presión y es ingresado al intercambiador de calor E-104, donde eleva su temperatura desde ambiente, hasta 135°C, intercambiando allí con la corriente (9) proveniente de los fondos de la torre estabilizadora.

La torre T-101 es calefaccionada con un reboiler, el equipo E-106 que utiliza el vapor generado en el reactor más un adicional estimado para satisfacer su requerimiento energético. La corriente de tope es refrigerada con agua en el equipo E-105, recirculando a la torre los condensables, y enviando a través de la corriente 8 los incondensables a antorcha.

El producto de fondo, corriente 9, que es ciclohexano de alta pureza es enfriado en una serie de equipos en tándem. Como se mencionó el primero de ellos es el intercambiador de calor E-104 donde su temperatura baja de 189°C a 93°C. Luego está el aerofriador EA-102 donde baja desde los 92°C a 60°C, y por último el intercambiador de calor E-107 donde intercambia calor con agua de enfriamiento bajando su temperatura hasta los 35°C.

Finalmente, el producto frío es bombeado con la bomba P-103 a través de la corriente 10, hacia tanque de almacenamiento de producto final, o a tanque de producto fuera de especificación según sea el caso.

## 6. DISEÑO BÁSICO:

### 6.1. Determinación de las bases de diseño principales en los límites de la batería:

MP, benceno: la obtención del mismo se realizará a través de la compra a la empresa YPF ubicada en la zona aledaña al C.I.E. (Consortio Industrial Ensenada), el cual llegará a través de ducto propio, al tanque de almacenamiento de materia prima en las siguientes condiciones:

Producto:	Benceno
Temperatura (°C)	40,6
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	1
Caudal (Kg/h)	7800
Composición	
Benceno	0,997
CH	0,002
Hexano	0,001

Fuente: YPF.

El control de calidad de dicha materia prima, se realizará desde los tanques de almacenamiento de la empresa YPF S.A.

Hidrógeno de make up: el gas hidrógeno purificado necesario se obtendrá a través del mismo canal comercial y llega desde el CIE a través de una línea propia en las siguientes condiciones operativas:

Producto:	Hidrógeno de make up
Temperatura (°C)	25
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20
Caudal (Kg/h)	1508
Composición	
H <sub>2</sub>	0,92
Metano	0,04
Etano	0,02
Propano	0,01
Butano	0,005
I-Butano	0,005

Fuente: YPF.

Posteriormente, las materias primas entran a planta en la sección 100 donde se generará la síntesis de ciclohexano y posterior purificación del mismo.

Producto final, ciclohexano: este producto es almacenado en tanques de producto final y una vez pasado el control de calidad, es conducido a la salida de planta a través de ductos propios que conectan con el sistema de ductos de la empresa YPF, en las siguientes condiciones, para despacho en puerto.

Producto:	Ciclohexano
Temperatura (°C)	35
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	12
Caudal (Kg/h)	8222
Composición	
Benceno	0,001
CH	0,999

*Fuente: Software por II.*

Agua DEMI del reactor: El agua de enfriamiento del mismo, será provista por la planta desmineralizadora de agua ubicada dentro del complejo PAO de la empresa YPF, llegará a través de ductos propios, y será devuelta al mismo complejo en forma de vapor luego de ser utilizado para aportar calor al reboiler E-106, ya que del reactor sale a 260° y 6kg/cm<sup>2</sup>, en las siguientes condiciones de entrada y salida de planta:

Producto:	agua enfriamiento en el reactor
Temperatura (°C)	29
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	6
Caudal (Kg/h)	7135
Concentración (%molar)	100

*Fuente: YPF.*

Producto:	vapor generado en el reactor
Temperatura (°C)	170
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	6
Caudal (Kg/h)	7135
Concentración (%molar)	100

*Fuente: elaboración propia.*

Agua de enfriamiento: para los equipos de intercambio de calor E-103, E-107 y el condensador de la torre E-105, esta será provista por la planta desmineralizadora de agua ubicada dentro del complejo PAO de la empresa YPF como en el caso del reactor, llegando a la planta en estudio para su utilización y posterior devolución a través de ductos propios en las siguientes condiciones de entrada y salida de planta:

Producto:	entrada agua de enfriamiento	salida agua de enfriamiento
Temperatura (°C)	29	45
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	6	5.8
Caudal total (Kg/h)	76021	76021
Concentración (%molar)	100	100

Fuente: YPF

Vapor del reboiler: parte del calor requerido por la torre estabilizadora T-101 llega a través de todo el vapor generado en el reactor, a su reboiler tipo Kettle logrando una integración energética en el proceso. Por otro lado, se requerirán 700 kg/h de vapor adicional de media presión provenientes de la empresa YPF. El mismo es devuelto, al complejo PAO, a través de ductos propios. Las condiciones de entrada del vapor adicional y la salida de la totalidad del vapor del reboiler a planta son las siguientes:

Producto:	entrada vapor reboiler	Producto:	salida de vapor del reboiler
Temperatura (°C)	300	Temperatura (°C)	170
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	6	Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	6
Caudal (Kg/h)	700	Caudal (Kg/h)	7835
Concentración (%molar)	100	Concentración (%molar)	100

Fuente: elaboración propia.

Vapor de media presión: como se detalla en el PFD, la corriente que ingresa al reactor requiere ser precalentada en forma intermitente, y lo hace a través de vapor de media presión en el intercambiador de calor E-102, cuyas propiedades de entrada y salida son:

producto	entrada vapor E-102	salida vapor E-102
Temperatura (°C)	300,0	205,5
Presión Kgf/cm <sup>2</sup> )	17,0	16,5
Caudal total (Kg/h)	2016,0	2016,0
composición (%)	100,0	100,0

Fuente: YPF.

Gases a antorcha: por último, los gases de tope de la torre T-101 serán enviados a antorcha, al igual que las purgas generadas en el equipo flash F-101, servicio que será contratado a la empresa YPF S.A. Se indican a continuación las condiciones de estas corrientes gaseosas a la salida de planta:

Producto:	purga del flash F-101	salida de tope torre T-101
Temperatura (°C)	30	52,4
Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	31,6	6,6
Caudal total (Kg/h)	955	312
Composición		
H <sub>2</sub>	0,705	0
Metano	0,275	0
Etano	0,008	0
Propano	0,003	0,087
Butano	0,001	0,095
I-Butano	0,001	0,631
Benceno	0	0
CH <sub>4</sub>	0,007	0,186
Hexano	0	0
H <sub>2</sub> O	0	0

*Fuente: software pro II.*

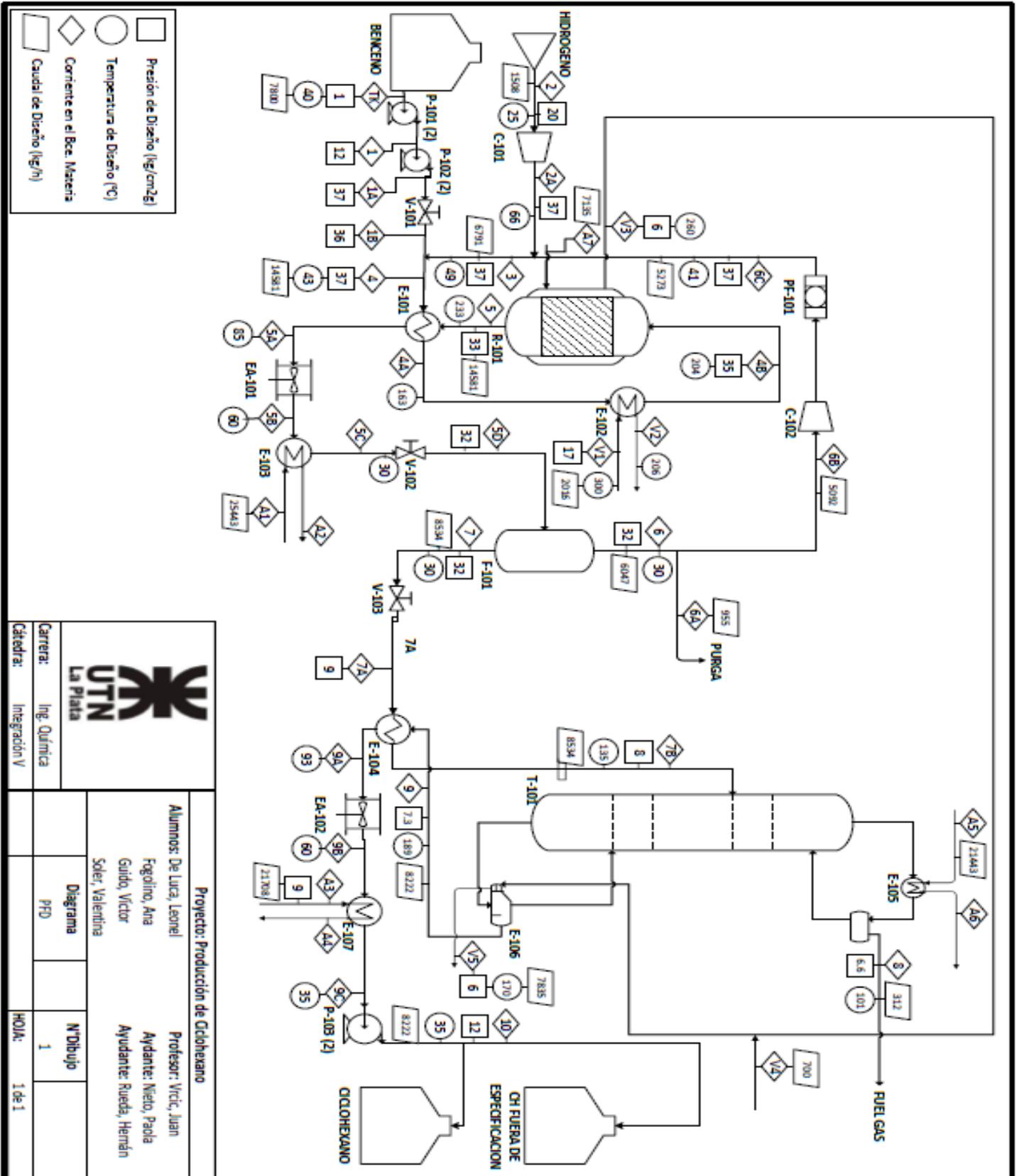
La energía eléctrica se toma desde la red de alta tensión, para ser transformada en la subestación propiedad de este proyecto. Cabe mencionar que para el cálculo total del consumo se tuvieron en cuenta también los dos aerofriadores AE-101 y AE-102 cuyos deltas de temperatura del aire de entrada y salida a ellos se estima en 20 a 30 °C.

## 6.2. Balance de masa y energía:

El balance de masa y energía se realizó mediante el simulador Pro II, a través de todas las corrientes del proyecto en estudio.

## 6.3. Construcción del diagrama de flujo (PFD):

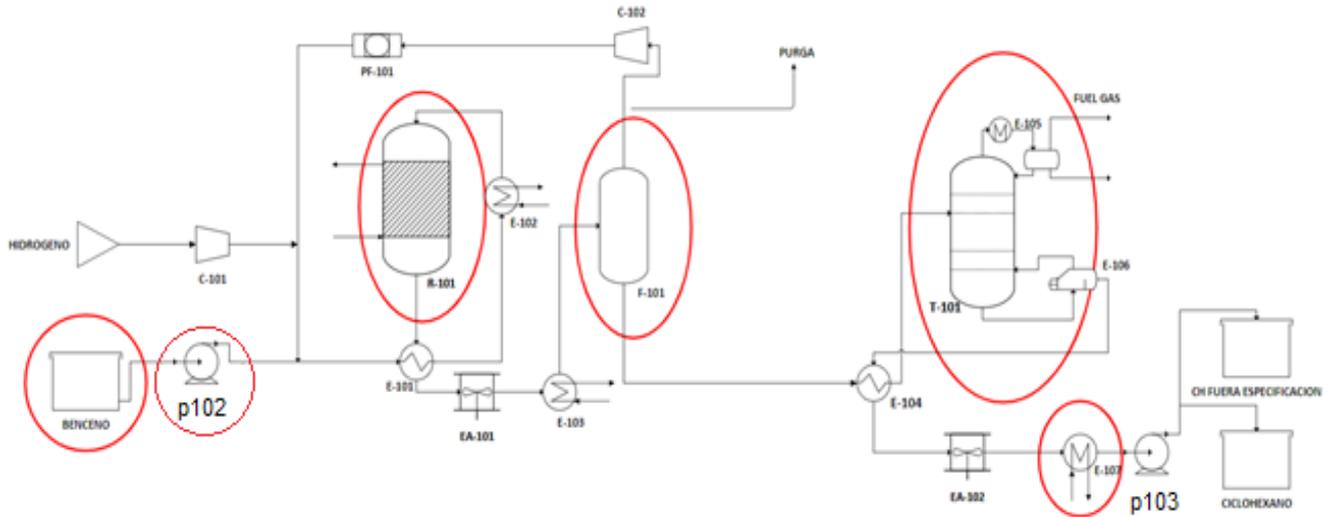
Stream Name	1	1A	1B	2	2A	3	4	4A	4B	5	5A	5B	5C	5D	6	6A	6B	6C	7	7A	7B	8	9	9A	9B	9C	10			
Stream Description	BENENO RESCO	Ingreso Valvula V001	Salida Valvula V001	INGRESO VAPOR	Salida del compresor C101	gas H2 para E101	Ingreso a Intercomb E101	Ingreso a Intercomb E102	INGRESO R101	SALIDA R101	Salida de Intercomb. E101	Salida de Intercomb. E101	Salida de Intercomb. E103	Aliment a Flash F101	SALIDA purga F101	purga F101	H2 a purificador	ingreso H2 fondo Flash a proceso F101	Liquid F101	Ingreso a Intercomb. E104	INGRESO T101	HEL GAS T101	SALIDA de azeotri. E102	Ingreso a Intercomb. E107	salida Intercomb. E107	salida Ch a T1.				
Phase	Liquid	Liquid	Liquid	Vapor	Vapor	Vapor	Mixed	Vapor	Vapor	Vapor	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Vapor	Vapor	Vapor	Vapor	Liquid	Mixed	Mixed	Vapor	Liquid	Liquid	Liquid	Liquid	Liquid			
Total Stream																														
Rate	KGMOLHR	99.94	99.94	366.03	366.03	1177.03	1275.87	1275.87	977.25	977.25	977.25	977.25	977.25	977.25	871.28	137.67	733.61	800.00	105.97	105.97	8534.06	8534.06	8534.06	3121.04	8222.02	977.70	977.70	977.70	977.70	
	KGHR	7300.07	7300.07	1508.00	1508.00	6191.46	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	6047.19	955.43	5391.70	5293.10	8534.06	8534.06	8534.06	3121.04	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02
Temperature	C	40.80	41.74	25.00	65.30	48.92	43.08	42.80	294.00	232.80	65.49	60.00	30.00	23.99	29.83	29.82	29.83	41.28	29.83	30.76	163.00	101.16	188.72	92.33	80.00	35.00	35.11			
Pressure	KGCM2	12.00	37.26	36.56	20.00	36.50	36.50	36.50	34.74	33.40	32.34	32.04	31.74	31.64	31.64	31.64	31.64	36.56	31.64	31.64	9.00	7.94	6.83	7.27	6.97	6.77	6.47	12.00		
Molecular Weight		78.13	78.13	78.13	41.2	41.2	57.77	114.9	114.9	114.9	14.92	14.92	14.92	14.92	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	80.53	80.53	37.73	84.16	84.16	84.16	84.16	84.16			
Enthalpy	MKCALHR	0.16	0.16	0.16	0.10	0.21	0.59	0.75	2.85	3.37	3.45	1.35	0.93	0.52	0.38	0.59	0.32	0.38	0.14	0.14	0.59	0.04	0.82	0.37	0.24	0.15	0.15			
Mole Fraction Liquid	KCALUG	2027	2145	2145	65.04	137.49	88.45	51.71	195.18	239.29	238.29	92.81	63.46	35.58	62.41	58.75	62.41	72.06	16.35	16.35	69.19	125.07	99.29	44.45	28.84	17.95	18.05			
Sat. Liquid Density	KGM3	882.07	882.07	882.07	128.74	128.74	210.50	292.73	292.73	292.73	337.62	337.62	337.62	337.62	188.65	190.20	188.65	190.00	1.00	0.98	0.95	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Sat. Liq. Rate	M3HR	8.94	8.94	8.94	11.71	11.71	30.75	49.81	49.81	49.81	43.19	43.19	43.19	43.19	34.60	28.99	27.75	11.13	11.13	11.13	11.13	0.81	10.52	10.52	10.52	10.52	10.52			
Total Mol Comp. Perc.																														
H2		0.00	0.00	92.00	92.00	77.57	71.59	71.59	71.59	62.91	62.91	62.91	62.91	62.91	70.46	70.46	70.46	71.20	0.87	0.87	0.87	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
METHANE		0.00	0.00	4.00	4.00	20.82	19.01	19.01	19.01	24.82	24.82	24.82	24.82	24.82	27.48	27.48	27.48	28.14	2.91	2.91	2.91	37.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
ETHANE		0.00	0.00	2.00	2.00	0.62	0.57	0.57	0.57	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.78	0.78	0.78	0.00	0.48	0.48	0.48	6.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
PROPANE		0.00	0.00	1.00	1.00	0.31	0.29	0.29	0.29	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.34	0.34	0.34	0.00	0.68	0.68	0.68	8.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
BUTANE		0.00	0.00	0.50	0.50	0.15	0.14	0.14	0.14	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.11	0.11	0.11	0.00	0.82	0.82	0.82	10.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
BUTANE		0.00	0.00	0.50	0.50	0.15	0.14	0.14	0.14	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.13	0.13	0.13	0.00	0.69	0.69	0.69	8.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
BENZENE		99.80	99.80	99.80	0.00	0.00	7.81	7.81	7.81	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.09	0.09	0.03	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09			
CH		0.20	0.20	0.00	0.00	0.45	0.44	0.44	0.44	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	0.70	0.70	0.70	0.67	93.46	93.46	93.46	7.30	99.91	99.91	99.91	99.91	99.91			
H2O		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
HEXANE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Total Mass Rate	KGHR	7300.07	7300.07	7300.07	1508.00	1508.00	6191.46	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	4581.25	6047.19	955.43	5391.70	800.00	8534.06	8534.06	8534.06	3121.04	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02	8222.02			
Sección: Corrientes de Servicio	Unidad																													
N° Corriente	E103	E107	E107	Condensador E105	E102	E102	E102	E102	E106	Reactor E106																				
Equipo	AGUA1	AGUA2	AGUA3	AGUA4	AGUA5	AGUA6	VAPOR1	VAPOR2	AGUA7	VAPOR3	VAPOR3	VAPOR4	VAPOR5																	
Temperatura	°C	29.0	45.0	29.0	34.0	29.0	45.0	300.0	205.5	29.0	280.0	280.0	300.0	170.0																
Presión	kg/cm²g	6.0	5.7	9.0	8.7	6.0	5.7	17.0	16.7	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0																
Fase		Liquid	Liquid	Liquid	Liquid	Liquid	Vapor	Mixed	Liquid	Vapor	Vapor	Vapor	mixed																	
Caudal Mésico	kg/hr	25443.0	25443.0	21708.0	21708.0	21443.0	21443.0	2016.0	2016.0	7135.0	7135.0	7135.0	700.0	7835.0																
Caudal Molar	kg-mol/hr	1413.5	1413.5	1206.0	1206.0	1191.3	1191.3	111.9	111.9	386.4	386.4	386.4	38.9	435.3																



		<b>Proyecto: Producción de Ciclohexano</b>	
		Alumnos: De Luca, Leonel Fogolini, Ana Guido, Victor Soler, Valentina	Profesor: Vrcic, Juan Ayudante: Nieto, Paula Ayudante: Rueda, Hernán
Carrera: Ing. Química	Catedra: Integración V	Diagrama PFD	N° Dibujo 1
		HOJA: 1 de 1	

6.4. Diseño básico de los equipos principales y auxiliares (NORMAS):

Se procederá al diseño riguroso de los equipos seleccionados en el siguiente diagrama:



Fuente: elaboración propia.

6.4.1. Reactor Multitubular (R-101):

Consideraciones de diseño:

En primer lugar, se eligió el tipo de reactor de acuerdo con las propiedades del sistema. Posteriormente se evaluarán los costos de construcción, operación y mantenimiento.

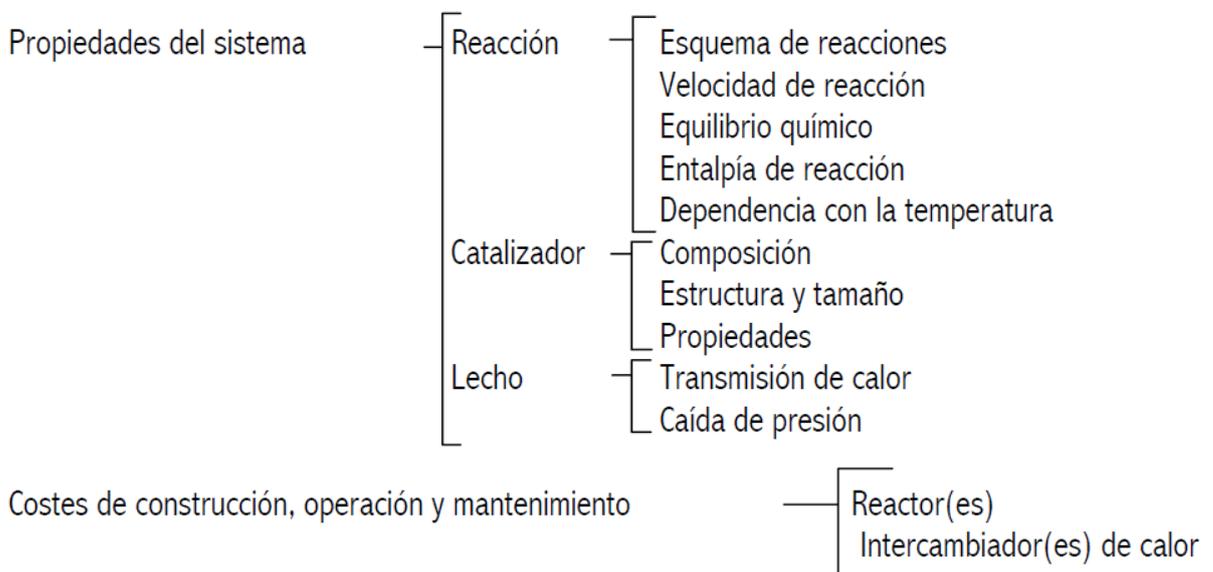


Ilustración: Propiedades del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del reactor se puede basar desde dos posturas:

Diseño empírico:

El cual consiste en verificar experimentalmente los fenómenos que se van a dar en el reactor. Apoyándose en datos experimentales, obtenidos a diferentes escalas como las siguientes:

- Laboratorio
- Planta piloto
- Semi industrial

Diseño Científico:

Se realiza a partir de expresiones matemáticas, que tienen en cuenta los distintos fenómenos que ocurren en el reactor como son:

- Reacción química
- Transporte de materia, de energía y cantidad de movimiento.

Para llevar a cabo el diseño, se deberá encontrar la masa de catalizador mínima para alcanzar la conversión deseada del reactivo, con la selectividad requerida hacia el producto dadas las condiciones de la alimentación a tratar (caudal, composición, presión y temperatura). Naturaleza del catalizador, dimensiones, estructura y propiedades.

El diseño del reactor se inició con un trabajo de investigación para conocer el mecanismo por el cual se lleva a cabo la hidrogenación del benceno a ciclohexano. Analizando diferentes publicaciones científicas en busca de una ecuación cinética que se ajuste con los datos experimentales y permita determinar la masa mínima de catalizador requerida para el proceso.

Conociendo la cantidad de catalizador, planteando y resolviendo simultáneamente las ecuaciones de balance de materia, energía y caída de presión (puesto que la velocidad lineal de paso, la concentración y la temperatura interaccionan mutuamente), se determinarían los parámetros constructivos del reactor, es decir, su longitud, diámetro del reactor (coraza) como el número y diámetro de tubos internos.

Lamentablemente entre las diversas publicaciones científicas consultadas no se encontró una ecuación cinética que permitiese arribar a resultados óptimos en la masa del catalizador.

En consecuencia, se decidió seleccionar otro camino para emprender el diseño del reactor, el cual se basa en datos empíricos de plantas pilotos, como así también de valores de plantas industriales operativas actualmente.

A continuación, se describen los aspectos relevantes para el diseño:

Reacción de Hidrogenación del Benceno:



Principales características de reacción:

- Exotérmica.
- No isotérmica, con un  $\Delta T=29^\circ\text{C}$  (Máximo  $\Delta T$  permitido para el tipo reacción, entre  $15^\circ/45^\circ\text{C}$ ).
- Transcurre con disminución de volumen.
- Reacción competitiva; formación de metilciclopentano, importante en el rango de temperatura de  $250^\circ\text{C}$ - $310^\circ\text{C}$ .

Proceso de obtención seleccionado:

Proceso Arco que opera entre  $200^\circ\text{C}$  –  $400^\circ\text{C}$  en presiones de 25 – 40 atm, empleando hidrogenación catalítica en fase vapor sobre un catalizador a base de platino denominado LD 412 R.

Condiciones Operativas del Reactor:

- Tipo de reactor: vertical multitubular.
- Disposición del flujo: Flujo axial. Por el lado de tubos circula el hidrocarburo en flujo descendente. Por el lado camisa circula agua de refrigeración en flujo ascendente.
- Tipo de contacto entre el fluido y un catalizador sólido: Lecho Fijo.
- Operación no adiabática. Se intercambia calor con el lecho para controlar la temperatura.
- Es esencialmente un intercambiador de carcasa y tubos, con el catalizador en el interior de los tubos.
- Rango de temperatura Operativa:  $204^\circ\text{C}$ -  $233^\circ\text{C}$ .
- Rango de Presión Operativa:  $34,74 \text{ kg/cm}^2\text{g}$  - $33,40 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ .
- Tipo de catalizador: a base metal noble, platino (LD 412 R).
- Fluido refrigerante: agua desmineralizada.

Corriente	Unidad	4B	5
Descripción		INGRESO REACTOR	SALIDA REACTOR
Fase		Vapor	Vapor
Temperatura	C	204,00	232,80
Presión	kg/cm2g	34,74	33,40
Composición Molar	Fracción		
H2		0,72	0,63
Metano		0,19	0,25
Etano		0,01	0,01
Propano		0,00	0,00
Butano		0,00	0,00
Isobutano		0,00	0,00
Benceno		0,08	-
Ciclohexano		0,00	0,11
H2O		-	-
n-Hexano		-	-
Flujo Molar Total	kg-mol/hr	1.275,87	977,25
Flujo Másico Total	kg/hr	14.581,25	14.581,26
Caudal Volumétrico	m3/hr	1.446,65	1.217,40

Tabla: Datos de entrada de composición en el simulador PRO II.

Fuente: elaboración propia.

Valores de procesos industriales de referencia para el diseño:

Descripción	Unidad	Datos 1	Datos 2	Datos del Proceso
Temperatura alimentación reactor	°C	204	220	204,00
Presión alimentación a reactor	kg/cm2g		25	34,74
Alimentación Benceno	m3/hs	10		9,08
Veloc. espacial (Basado en catalizador activo, solamente).	hr-1	4.5	5.1	
Hidrógeno de reposición:				
Caudal	Nm3/hr	10.000		16.774,19
Pureza H2	%vol.	95		
Concentración SH2	ppm	<1		
Gas de reciclo				
Caudal	Nm3/hr	11.500		11.590,09
Pureza H2 (% vol.): 80 %	%vol.	80		71
Presión recipiente succión del comp. de reciclo	kg/cm2g	31.5		36.56
Relación H2/H	Nm3 (H2)/m3 carga		>1.500	1.848,19

Tabla: Datos de entrada de reactores existentes.

Fuente: Cátedra de ing. de reacciones químicas avanzadas.

A partir del cuadro, se puede observar que los valores de referencia se encuentran en el orden de los valores del proceso en estudio. Por lo tanto, los mismos se consideran óptimos para realizar una estimación satisfactoria del volumen del catalizador. Se utilizará como base para el cálculo del mismo, una velocidad espacial de  $4,5 \text{ hr}^{-1}$ .

Velocidad espacial (LHSV, Liquid Hourly Space Velocity):

Se define como la cantidad de carga que se procesa en un periodo de tiempo determinado por volumen de catalizador. Las unidades en las que se expresa comúnmente el LHSV es h<sup>-1</sup>.

$$\text{LHSV} = \frac{(\text{Q carga})}{\text{Volumen Cat.}}$$

$$\text{LHSV} = 4.5 \text{ h}^{-1}$$

$$Q = 9,08 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Volumen de catalizador} = 2,02 \text{ m}^3$$

Se calcula el volumen de catalizador requerido realizando un sobre dimensionamiento del 20%, como factor de seguridad:

$$V_{\text{cat}} = 1,20 \cdot 2,02 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cat}} = 2,42 \text{ m}^3$$

Catalizador LD 412 R:

El catalizador seleccionado para llevar a cabo la reacción de hidrogenación tiene como metal noble al platino reducido y activado sobre alúmina de alta pureza.

Este catalizador ha sido especialmente formulado para mantener una alta actividad de hidrogenación e inhibir completamente la reacción lateral por la cual el ciclohexano es isomerizado a metilciclopentano. Además, el mismo no requiere regeneración y es simplemente reemplazado cuando pierde actividad.

En el siguiente cuadro se detallan algunas de sus principales características:

Catalizador LD 412 R		Unidad
Platino	0,35	% en peso
Forma	cilíndrica	
Longitud	3,6	mm
Diámetro	1,2	mm
Densidad de catalizador	791	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Lecho ( carga liviana)	600	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Lecho (carga densa)	690	kg/m <sup>3</sup>
Porosidad del Lecho ε	0,33	

*Tabla: Características del catalizador LD 412 R.*

*Fuente: Cátedra ing. de reacciones químicas avanzadas.*

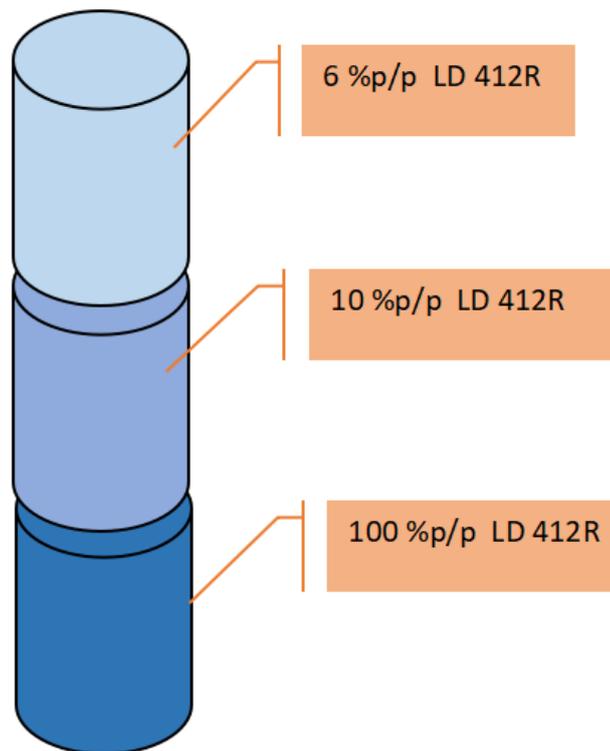
A partir de los datos del catalizador, se estima un requerimiento de una masa de catalizador activo de 1914 kg.

Como se indicó con anterioridad, debido a que la reacción de hidrogenación es altamente exotérmica se requiere un reactor especialmente diseñado para eliminar el calor de reacción. El mismo es removido generando vapor en la camisa del reactor.

El catalizador está contenido dentro de los tubos a través de los cuales pasa la alimentación (benceno e hidrógeno).

La distribución de catalizador dentro de los tubos ha sido determinada a los efectos de evitar temperaturas locales excesivas que podrían ocasionar reacciones laterales, con consecuente pérdida de rendimiento en el producto y su pureza.

Por ello el catalizador en los tubos del reactor se distribuye según tres zonas claramente diferenciadas. En la primera de ellas se encuentra diluido al 6 %p, en la segunda al 10 %p y la última porción consta de catalizador puro. Esta distribución responde a la necesidad de mantener el perfil de temperatura dentro de ciertos límites, dada la gran exotermicidad de la reacción. La dilución se lleva a cabo con un material inerte (alúmina) de características similares en cuanto a la forma al catalizador.



*Ilustración: Tubos del reactor.*

*Fuente: Elaboración propia.*

mm (tomadas desde el plano del reactor)	Concentración del Catalizador	Kg Catalizador	Kg Inerte	Volumen por Sección (m3) (mazo de tubos)	Volumen por Tubo de catalizador (LD 412 R)	Volumen por sección de catalizador (LD 412 R)	Densidad de lecho calculada (kg/m3)
0							
300	Alúmina	0	0	0,25			
1850	6 % p/p. LD 412 R	55,00	847	1,25	0,000147	0,065268	688,89
3350	10 % p/p. LD 413 R	81,00	792	1,21	0,0002249	0,0998556	689,90
6400	100% p/p. LD 414 R	1778	0	2,45	0,00508	2,25552	690,43
<b>Total</b>		<b>1914</b>	<b>1639</b>	<b>5,15</b>	<b>0,00545</b>	<b>2,42</b>	

Tabla: Catalizador LD 412 R.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla podemos ver que se requiere una masa total entre el catalizador activo (LD 412 R) y el material inerte de 3553 Kg.

Se opta por una carga de catalizador densa en cada tubo, para lograr uniformidad la cual permite una mejor distribución del flujo durante la operación, reduciendo de este modo, la formación de punto calientes.

Por lo tanto, para calcular el volumen total del mazo de tubos que contendrá esta masa de mezcla catalizador-inerte se utilizará el valor de la densidad del lecho para carga densa:

$$\delta_{\text{lecho}} = 690 \text{ Kg.m}^{-3}$$

$$V_{\text{total}} = \frac{3.553 \text{ kg}}{690 \text{ Kg.m}^{-3}}$$

$$V_{\text{total}} = 5,15 \text{ m}^3$$

### Selección del material:

El material se elige según las características de los fluidos desde el punto de vista de la corrosión. El material de los tubos está en contacto con ambos fluidos y por lo tanto debe ser resistente a los dos medios.

El material seleccionado debido a la naturaleza no corrosiva de reactivos y producto será acero al carbono, clasificado según las normas ASTM como acero ASTM A 53 (B177). El grado B es conveniente para aplicaciones estructurales, tubos para la conducción de fluidos y gases de uso frecuente en petroquímica, pesca, minería e industria en general.

Tipo	Propiedades mecánicas (valores mínimos)		
	Esf. Fluencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	% Alargamiento
ASTM A-53 GR-A	2100	3400	23
ASTM A-53 GR-B	2500	4200	18
ASTM A-106 GR-B	2500	4200	18

Tabla: Propiedades mecánicas de los diferentes tipos de aceros.

Fuente: Elaboración propia.

Nomenclatura		F <sub>y</sub> (3)		F <sub>u</sub> (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

- (1) Norma Mexicana.  
 (2) American Society for Testing and Materials.  
 (3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.  
 (4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.  
 (5) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.  
 (6) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.  
 (7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Tabla: Esfuerzos F<sub>y</sub> y F<sub>u</sub> de aceros estructurales.

Fuente: Cátedra mecánica eléctrica 2017, UTN frlp.

### Tubos:

Los tubos empleados para estos reactores son los mismos que se utilizan para intercambiadores, los cuales responden a las normas dimensionales BWG, la cual normaliza los tubos por su diámetro exterior.

Para el largo de los tubos no resulta aconsejable la utilización de tubos de más de 6m de longitud ya que la construcción se hace más dificultosa como así también la limpieza de los mismos.

Consultando distintas publicaciones científicas de construcción de reactores similares, no se recomienda trabajar con longitudes superiores a los 7m.

Para la selección de la longitud de tubos se consideraron los siguientes aspectos:

- Traslado-Montaje.
- Operación.
- Desmontaje.
- Fuerza del viento/sismo.
- Tensiones consecuencia de su peso.

Por lo tanto, se concluye utilizar tubos de una longitud de 6,40m.

En cuanto a su espesor del tubo este se elige de acuerdo con el cálculo mecánico según la presión y temperatura de operación.

Descripción de Tubos:

Características	Valor	Unidad
Longitud	6,4	m
Diámetro nominal	50,08	mm
Diámetro externo	60,3	mm
Espesor Schedule 80	5,54	mm
Diámetro Interno	49,22	mm
Peso Nominal	7,48	kg/m
Presión de Prueba	175	Kg/cm2
Volumen de tubo	0,01218	m3

*Tabla: Tubos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Respecto a la disposición geométrica de los tubos en la placa tubular, es decir, el arreglo de estos dentro del reactor se ha seleccionado un arreglo en triangulo rotado (60°C), ya que estos permiten lograr mayores coeficientes de transferencia, mucho mayor que los arreglo en cuadrado.

Definido el tubo y considerando el volumen total requerido entre el catalizador activo y el material inerte para su dilución, se procede a calcular la cantidad de tubos:

$$V_{\text{tubo}} = \pi \times \left(\frac{D_{\text{int}}}{2}\right)^2 \times L$$

$$V_{\text{tubo}} = \pi \times \left(\frac{0,04922 \text{ m}}{2}\right)^2 \times 6,40 \text{ m}$$

$$V_{\text{tubo}} = 0,0122 \text{ m}^3$$

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{V_{\text{total}}}{V_{\text{tubo}}}$$

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{5,41 \text{ m}^3}{0,0122 \text{ m}^3}$$

$$N^{\circ} \text{ tubos} = 443,44$$

Entonces el número de tubos para el diseño será de 444.

Determinación de diámetro de coraza:

Cálculo del área de transferencia geométrica:

$$A_T = N_t \times \pi \times d_{\text{ext}} \times L$$

Donde:

$N_t$  = n° de tubos.

$d_{\text{ext}}$  = diámetro externo de los tubos.

$L$  = longitud de los tubos.

$$A_T = 444 \times \pi \times 0,0603 \text{ m} \times 6,40 \text{ m}$$

$$A_T = 538,30 \text{ m}^2$$

De acuerdo con las normas TEMA se recomienda una relación de paso entre 1,25 - 1,50.

$$R_p = \frac{P_t}{d_{\text{ext}}} \quad (1,25 - 1,50)$$

Donde:

Paso ( $P_t$ ): Es la separación entre los ejes de dos tubos y  $c$  que es la distancia entre tubos.

Considerando una relación de paso de 1,25 obtenemos el valor del paso entre tubos

$$P_t = d_{\text{ext}} \times R_p$$

$$P_t = 60,3 \text{ mm} \times 1,25.$$

$$P_t = 75,375 \text{ mm}$$

Diámetro de coraza ( $D_s$ ):

$$D_s = 0,637 \times \left( \frac{CL}{CTP} \right)^{1/2} \times \left( \frac{A_T \times R_p^2 \times d_{\text{ext}}}{L} \right)^{1/2}$$

Donde:

$$R_p = 1,25$$

$$D_{ext} = 0,0603m$$

CL=0,87 (para arreglo triangular rotado).

CTP =0,87 (para un paso por coraza).

$$D_s = 0,637 \times \left(\frac{0,87}{0,93}\right)^{1/2} \times \left(\frac{538,30 \text{ m}^2 \times 1,25^2 \times 0,0603m}{6,40m}\right)^{1/2}$$

$$D_s = 1,73m.$$

Se deja un espaciado entre el mazo de tubos y la coraza de 7cm, por lo tanto, el diámetro final del reactor es de 1,80m.

En la práctica conseguir un frente plano de velocidades, es decir flujo en pistón, depende de las relaciones geométricas  $L/d_p$  y  $D/d_p$  entre la longitud y diámetro del reactor (tubo) y el diámetro de partícula (o diámetro efectivo, si es el caso). De forma empírica se ha establecido (Rase, 1977) que si  $L/d_p > 100$  y  $D/d_p > 10$  (30 para más seguridad) – la desviación respecto al flujo en pistón es despreciable.

Entonces para el nuestro reactor en cuestión estas relaciones se cumplen ampliamente.

### Caída de Presión:

Los métodos más comunes para calcular la caída de presión a través de lechos de sólidos se basan en estimar el rozamiento total del fluido sobre las superficies sólidas, al pasar por los canales tortuosos formados por el lecho de partículas.

Los canales reales son de forma irregular, tienen una sección transversal y orientación variables y están altamente interconectados. De cualquier manera, para calcular el diámetro de un canal equivalente, se supone que el lecho tiene un conjunto de canales circulares uniformes, los cuales tienen un área total de superficie y un volumen de espacio vacío que concuerda con aquellos del lecho. El área total de la superficie es el área de la superficie de cada partícula por el número de partículas, pero es más conveniente basar el cálculo de acuerdo con las partículas en la fracción de volumen en el lecho y la relación superficie-volumen para las partículas.

Una ecuación que abarca todo el intervalo de velocidades de flujo se obtiene suponiendo que las pérdidas de viscosidad y energía cinética son aditivas. El resultado se conoce como la ecuación de Ergun:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \times V_g \times \mu}{\phi^3 \times D_p^2} \times \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + \frac{1.75 \times \delta \times V_g^2}{\phi^3 \times D_p} \times \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3}$$

*Expresión tomada del texto operaciones unitarias en ingeniería química Mc.Cabe-Smith-Harriot sexta edición.*

Ergun demostró que la ecuación es adecuada para datos obtenidos con esferas, cilindros y sólidos triturados, sobre un intervalo amplio de velocidades de flujo.

Donde:

$\varepsilon$ : Porosidad del lecho.

$\mu_g$ : Viscosidad del gas.

$\rho_g$ : Densidad del gas.

$D_p$ : Diámetro de partícula.

$\phi$ : Esfericidad de las partículas.

$V_g$ : Velocidad del gas.

#### Cálculo del diámetro equivalente de una partícula:

El diámetro equivalente de una partícula no esférica se define como el diámetro de una esfera que ocupa el mismo volumen que la partícula en cuestión. Para calcular el mismo se obtiene en primera instancia el volumen de una pastilla de catalizador:

$$V_{cat} = \pi \left( \frac{D_{cat}}{2} \right)^2 h$$

Donde:

$D_{cat}$ =diámetro de la pastilla de catalizador.

$h$ =altura de la pastilla de catalizador.

$$V_{cat} = \pi \times \left( \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2 \times 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$V_{cat} = 4,071 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

Cálculo del diámetro equivalente de la partícula ( $D_p$ ):

$$r_p = \sqrt[3]{\frac{3V_{cat}}{4\pi}}$$

$$r_p = \left( \frac{3 \times 4,071 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3}{4 \times \pi} \right)^{1/3}$$

$$r_p = 9,905 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$D_p = 2 \times 9,905 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$D_p = 1,981 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Esfericidad de la partícula ( $\phi_p$ ):

Definida como la relación superficie volumen para una esfera de diámetro  $D_p$ , dividida entre la relación superficie-volumen para la partícula cuyo tamaño nominal es  $D_p$ .

$$\phi_p = \frac{S_p / D_p}{U_p}$$

Donde:

$S_p = \pi \times D_p^2$  (Superficie de la esfera).

$U_p = \frac{1}{6} \times \pi D_p^3$  (Superficie real de la partícula).

Habiendo calculado previamente el diámetro equivalente de la partícula determinamos:

$$S_p = 1,233 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$U_p = 4,09 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$\phi_p = \frac{S_p / D_p}{U_p} = \frac{1,233 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / 1,981 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{4,09 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3}$$

$$\phi_p = 0,999$$

Cálculo de velocidad lineal:

Se calcula la velocidad lineal del gas ( $V_g$ ) dividiendo el caudal volumétrico del mismo por el área transversal que ofrece el mazo de tubos:

$$V_g = \frac{Q_{\text{gas}}}{N^{\circ}(\text{tubos}) \times A(\text{tubo})}$$

Donde:

$Q_{\text{gas}}$  = Caudal volumetrico del gas de ingreso al reactor.

$N^{\circ}$  = número total de tubos.

$A(\text{tubo})$  = Área transversal de un tubo.

$D_{in}$  = Diámetro interno del tubo.

$$A_{\text{tubo}} = \pi \left( \frac{D_{in}}{2} \right)^2$$

$$A_{\text{tubo}} = \pi \times \left( \frac{0,04922 \text{ m}}{2} \right)^2$$

$$A_{\text{tubo}} = 1,903 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Caudal volumétrico de alimentación al reactor:

Como el sistema de reacción es de flujo variable, el caudal se define como:

$$Q_{\text{gas}} = q_{\circ} \cdot (1 + \epsilon \cdot X) \cdot \left( \frac{P_0}{P} \right) \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

$$\epsilon = (\gamma^{ben}). \gamma$$

Donde:

$\gamma^{ben}$ : fracción molar inicial del benceno.

$\gamma$ : relación entre el cambio en el número total de moles y los moles de benceno que reaccionan).

$$\epsilon = (0.078) \times (-3)$$

$$\epsilon = -0.234$$

Para una conversión  $X=0.991$  (dato de simulación).

$$Q_{\text{gas}} = q_o \times (1 + \epsilon \cdot X) \cdot \left(\frac{P_o}{P}\right) \cdot \left(\frac{T}{T_o}\right)$$

$$Q_{\text{gas}} = 1.446,651 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot [1 + (-0,234 \times 0,999)] \cdot \left(\frac{34,623}{33,326}\right) \cdot \left(\frac{505,95}{477,15}\right)$$

$$Q_{\text{gas}} = 1221,12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V_g = \frac{1221,12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{444 \times 1,903 \cdot 10^{-3} \text{m}^2}$$

$$V_g = 1.445,23 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$V_g = 0,401 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Parámetro	valor	Unidad
Vg	0,401	m.s <sup>-1</sup>
Dp	1,981.10 <sup>-3</sup>	m
ε	0,33	
φp	0,999	
δ <sub>gas</sub>	10,079	Kg.m <sup>-3</sup>
μ <sub>gas</sub>	1,343.10 <sup>-5</sup>	Kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>1</sup>

Tabla: Resumen de los parámetros.

Fuente: elaboración propia.

Reemplazando en la ecuación de Ergún:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \times 0,401(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})1,343 \cdot 10^{-5}(\text{Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^1)}{(0,999)^2 \times (1,981 \cdot 10^{-3}\text{m})^2} \times \frac{(1 - 0,33)^2}{(0,33)^3} + \frac{1,75 \times (10,079\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}) \times [0,401(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})]^2}{0,999 \times (1,981 \cdot 10^{-3}\text{m})} \times \frac{(1 - 0,33)}{(0,33)^3}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 20.380,66 [\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}]$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 20.380,66 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 0,2078 \frac{\text{Kg}/\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Se calcula la pérdida de carga total:

$$\Delta p_{\text{total}} = 6,40\text{m} \times 0,2078 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{m}}$$

$$\Delta p_{\text{total}} = 1,33 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Para este tipo de reactor la pérdida de carga admisible se encuentra entre 1 y 2 Kg/cm<sup>2</sup>. por lo tanto, la pérdida de carga se encuentra entre los valores que están dentro de especificación.

### Casquetes o cabezales:

Son las tapas empleadas para cerrar la coraza o envolvente cilíndrica del reactor.

El tipo de casquetes seleccionado será cabezal semiesférico, cuyas principales características son:

- Soportar mayor presión manométrica a igualdad de espesor que un semielíptico.
- Se utilizan exclusivamente para soportar presiones críticas.
- No hay límite dimensional para su fabricación.
- Costo alto.

Altura del Reactor:

$$h_{\text{react}} = h_{\text{tubos}} + h_{\text{casquetes}}$$

Donde:

- $h_{\text{tubos}}$  = Longitud de tubos
- $h_{\text{casquetes}}$  = Longitud de casquetes

$$h_{\text{casquetes}} = \frac{D_{\text{reactor}}}{2}$$

$D_{\text{reactor}}$ : diámetro del reactor

$$h_{\text{casquetes}} = \frac{1,80 \text{ m}}{2} = 0,90 \text{ m}$$

La Altura total del reactor se obtiene sumando la altura de los dos casquetes a la longitud de los tubos:

$$h_{\text{react}} = 6,4 \text{ m} + 1,80 \text{ m}$$

$$h_{\text{react}} = 8,20 \text{ m}$$

Calculo del volumen del reactor:

$$V_{\text{react}} = \pi \times \left(\frac{D_{\text{reactor}}}{2}\right)^2 \times h_{\text{react}}$$

Donde:

$D_{\text{rec}}$  = diámetro interno del reactor

$h_{\text{rec}}$  = altura del reactor

$$V_{\text{react}} = \pi \cdot \left(\frac{1,80 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 8,20 \text{ m}$$

$$V_{\text{react}} = 20,87 \text{ m}^3$$

Cálculo de espesor de la coraza:

Utilizando la norma ASME sección VIII se calcula el espesor de la coraza:

$$t = c + \frac{P_d \times R_{\text{react}}}{S \times E - 0,6 \times P_d}$$

Donde:

*R<sub>react</sub>*: Radio del reactor

*S*: Tensión máxima admisible del material

*E*: Eficiencia de soldadura

*c*: Espesor por corrosión

*P<sub>d</sub>*: Presión de diseño

La tensión máxima admisible (S) del Acero al carbono ASTM A53 es de 1054,60 kg/cm<sup>2</sup>. (Tensiones admisibles típicas para el material de tubería según código ASME, Sección II, parte D).

$$S = 1054,60 \text{ Kg/cm}^2$$

La eficiencia (E) a la soldadura considerada es de 0,85 ya que es recomendable utilizar este valor para recipientes sometidos a presión con estas características.

$$E = 0,85$$

Se considerará un espesor por corrosión (C) de 3mm.

$$C = 3\text{mm.}$$

La práctica recomendada y/o bibliografía especializada sugiere adoptar una *P<sub>d</sub>* calculado de acuerdo con el valor de la presión operativa (*P<sub>o</sub>*):

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ lb/in}^2 \quad P_d = P_o * 1,1$$

$$\text{Si } P_o < o = 300 \text{ lb/in}^2 \quad P_d = P_o + 30 \text{ lb/in}^2$$

Pop < 10kg/cm2g  
10 kg/cm2g < Pop < 100kg/cm2g  
100 kg/cm2g < Pop

Pd => Pop + 1kg/cm2  
Pd => Pop + 0.10 \* Pop  
Pd => Pop + 0.05 \* Pop + 5kg/cm2

Presión Operativa (Po):

Se toma el valor promedio entre la presión de ingreso y salida del reactor.

$$P_o = 34,07 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_d = 34,07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 0,10 \times 34,07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_d = 37,48 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo de espesor (segundo método de verificación):

Cálculo de presión de diseño:

$$P_d = 1,1x(P_o + PH)$$

Donde:

*Po* = Presión manométrica del recipiente

*PH* = Presión hidrostática de líquido

*PH* = *h*<sub>liq</sub> ρ<sub>liq</sub> *g*

*h*<sub>liq</sub> = Altura del líquido

ρ<sub>liq</sub> = Densidad del líquido (se toma el valor promedio entre valor de entrada y salida)

*g* = Aceleración de la gravedad

$$P_d = 1,1x(P_o + PH)$$

$$PH = 6,40\text{m} \times 11,028 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$PH = 691,676 \text{ Pa}$$

$$PH = 7,053 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Pd=1,1 \times [34,07 \frac{Kg}{cm^2} + 7,053 \cdot 10^{-3} \frac{Kg}{cm^2}]$$

$$Pd=45,23 \frac{Kg}{cm^2}$$

Entonces determinados los valores requeridos se procede a calcular el espesor:

$$t=c + \frac{Pd \times R_{\text{react}}}{S \times E - 0,6 \times Pd}$$

$$t=3 \cdot 10^{-3} \text{m} + \left[ \frac{45,23 \frac{Kg}{cm^2} \times 0,9 \text{m}}{(1054,60 \frac{Kg}{cm^2} \times 0,85) - (0,6 \times 45,23 \frac{Kg}{cm^2})} \right]$$

$$t=0,047 \text{m}$$

Considerando un 25% de sobre dimensionamiento como margen de seguridad, el espesor final de la coraza del reactor será de 0,059m = 59mm.

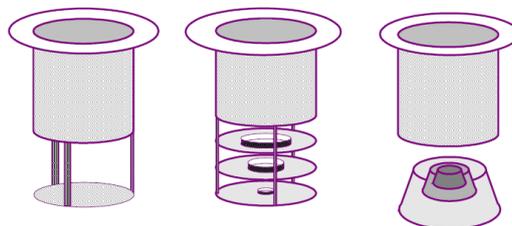
#### Elementos Adicionales en el reactor:

Predistribuidor:

Los predistribuidores tienen por función distribuir el flujo de entrada al reactor para evitar que choque de forma brusca sobre las capas de cerámicos que protegen al lecho de catalizador y provoque movimientos indeseados del mismo.

Se encuentran ubicados en la boca de entrada de los reactores y sus dimensiones son en general entre 20–30cm de largo y del mismo diámetro de la boca de entrada al reactor (45-50cm).

Existen diferentes diseños de los predistribuidores. Algunos de ellos son:



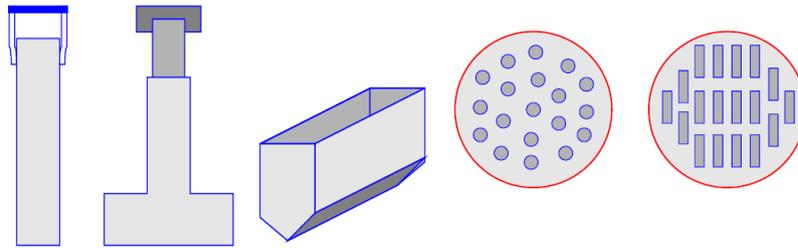
*Ilustración: Predistribuidores.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### Canasto:

El objetivo de la instalación de canasto en el lecho del catalizador es aumentar el área de contacto entre el hidrocarburo y el catalizador.

Están formados por un esqueleto metálico recubierto con una malla. Se insertan en el lecho catalítico con diferentes distribuciones. Al igual que los predistribuidores, existen varios diseños.



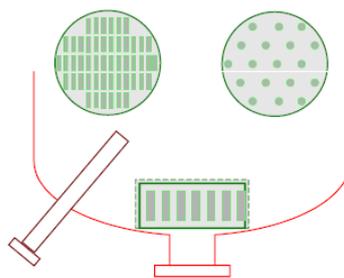
*Ilustración: Canasto.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### Colectores:

Los colectores son dispositivos internos del reactor que tienen por objetivo básicamente evitar que partículas de catalizador y/o cerámicos se escapen del reactor y provoquen obturaciones en las líneas de salida del reactor y en los equipos aguas abajo del reactor.

Cuentan con ranuras en los laterales y agujeros o ranuras en la tapa superior, para un buen pasaje de las dos fases. Generalmente están recubiertos de una malla metálica.



*Ilustración: Colectores.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### Capas de cerámica:

Las capas cerámicas se utilizan en la parte superior del lecho catalítico y en la parte inferior. Los de la parte superior aseguran una distribución uniforme del flujo en el lecho. Los de la parte inferior se utilizan como soporte del catalizador.

En la parte inferior se coloca primero una capa de mayor diámetro (hasta 15 cm aprox.) por encima del colector y otro u otros más pequeños como base del catalizador.

En la parte superior, se colocan sobre éste 7 cm aproximadamente de cada uno de los cerámicos teniendo en cuenta que el de menor tamaño es el que está en contacto con el catalizador.

### Calor Intercambiado:

A continuación, se detalla el calor intercambiado por los tubos con el fluido refrigerante que recorre la coraza.

Primero se calcula el BE de la reacción, esta se tomó en estado estacionario (modelo FP) e isotérmica.

$$\text{BE: Acumulación} + \text{Generación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Calor} - \text{Trabajo}$$

El término de acumulación se anula debido a Estado Estacionario al igual que el Trabajo (trabajo de mezclado) por tratarse de un Reactor FP.

Desarrollando la ecuación de BE:

$$\Delta H_R r dV = q_0 \rho_0 \widehat{c_p}_0 T_0 - q \rho \widehat{c_p} T + \dot{Q}$$

$$\Delta H_R F_{A0} x_A = q_0 \rho_0 \widehat{c_p}_0 T_0 - q \rho \widehat{c_p} T + \dot{Q}$$

La estequiometría de la reacción, con su valor de calor de formación, es la siguiente:



$$\Delta H_R F_{A0} x_A = -214 \frac{\text{KJ}}{\text{molb}} * 0,239 \frac{\text{Kcal}}{\text{KJ}} * 1000 \frac{\text{mol}}{\text{Kmol}} * 99,639 \frac{\text{Kmol}}{\text{hr}} * 0,999$$

$$\Delta H_R F_{A0} x_A = -5091040,16 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

A continuación, se detallan los datos obtenidos de la simulación del reactor:

$$q_0 \rho_0 = q \rho = 14581,25 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \quad \widehat{c_p}_0 = 0,8883 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \quad \widehat{c_p} = 0,844 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$T_0 = 204^{\circ}\text{C} \quad T = 233^{\circ}\text{C}$$

Energía que ingresa al reactor con la alimentación:

$$q_0 \rho_0 \widehat{c}_p T_0 = 14581,25 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} * 0,8883 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 204^{\circ}\text{C}$$

$$q_0 \rho_0 \widehat{c}_p T_0 = 2642314,98 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

Energía que egresa del reactor con los productos:

$$q \rho \widehat{c}_p T = 14581,25 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} * 0,844 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 233^{\circ}\text{C}$$

$$q \rho \widehat{c}_p T = 2868655,05 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

Volviendo al BE para despejar el calor a intercambiar obtenemos que:

$$\begin{aligned} \Delta H_R F_{A_0} x_A &= q_0 \rho_0 \widehat{c}_p T_0 - q \rho \widehat{c}_p T + \dot{Q} \\ -5091040,16 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} &= 2642314,98 - 2868655,05 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} + \dot{Q} \\ \dot{Q} &= -4864700,09 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

ConReactor (Summary)	UOM	R101
Name		R101
Description		REACTOR
Thermodynamic System		PR01
Reactor Type		Isothermal
Feed Streams		4B
Product Streams		5
<b>Product Stream Phases</b>		
5		Vapor
Reactor Duty Calculated	kcal / hr	-4791650,862
Pressure drop Calculated	kg/cm2	1,339999933
Total Heat Of Reaction	kcal / hr	-4901840,176
Inlet Pressure	kg/cm2	35,77322685
Inlet Temperature	C	203,9999939
Feed Total Molar Rate	kg-mol / hr	1275,866376
Outlet Pressure	kg/cm2	34,43322692
Outlet Temperature	C	232,7999931
Product Total Molar Rate	kg-mol / hr	977,248319
Feed Total Mass Rate	kg / hr	14581,25414
Feed Total Enthalpy	kcal / hr	3372522,982
Product Total Mass Rate	kg / hr	14581,25391
Product Total Enthalpy	kcal / hr	3445353,156

Tabla: Sumario del reactor.

Fuente: Software PRO II.

La cantidad de fluido refrigerante a utilizar, en el caso agua, se puede obtener aproximadamente con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = m_{H_2O} * (H_v - H_l)$$

Donde:

$m_{H_2O}$ : la masa de agua.

$H_v$ : entalpía del vapor de agua a la salida del intercambiador.

$H_l$ : entalpía del agua a la entrada del intercambiador.

Los valores de las distintas entalpías se obtienen conociendo la presión y temperatura del refrigerante en cada uno de los puntos de control, así obtenemos:

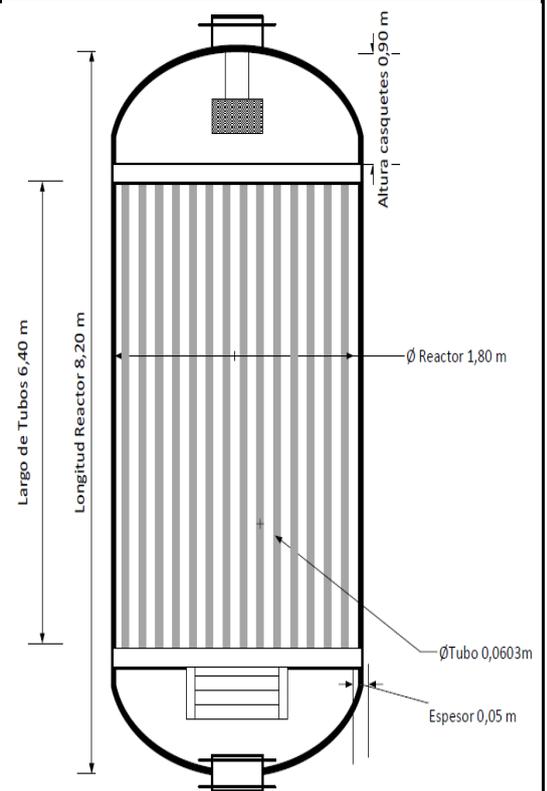
$$H_{l(6 \frac{kg}{cm^2}; 20^\circ C)} = 20,145 \frac{Kcal}{kg}$$

$$H_{v(6\frac{kg}{cm^2}; 260^{\circ}C)} = 675,19 \frac{Kcal}{kg}$$

$$m_{H_2O} = \frac{\dot{Q}}{(H_v - H_l)} = \frac{4864700,09 \frac{Kcal}{hr}}{(675,19 - 20,145) \frac{Kcal}{Kg}} = 7135 \frac{Kg}{hr}$$

A continuación, se encuentra la hoja de especificación del equipo diseñado:

UTN FRLP		HOJA DE DATOS		INTEGRACION V	
DENOMINACION: REACTOR AXIAL DE LECHO FIJO MULTITUBULAR			FECHA: 29/09/2021		
UNIDAD: R -101			REVISION: 1		
SERVICIO: REACCIÓN DE HIDROGENACIÓN DEL BENCENO			LOCACION: Unidad 100		
DATOS DE OPERACIÓN					
CAUDAL MÁSIKO	Kg/h	14.581,25			
CAUDAL MOLAR	kmol/h	1.275,86			
TEMPERATURA	°C	204			
PRESIÓN	Kg-cm2	34,7			
DENSIDAD IN/OUT	kg/m3	10,073/11,977			
VISCOSIDAD OUT	CP	0,01387			
FASE		VAPOR			
DATOS CONSTRUCTIVOS					
MATERIAL		ACERO AL CARBONO ASTM A 53			
N° TUBOS		444			
LONGITUD	m	6,40			
OD	mm	60,30			
ID	mm	49,22			
ARREGLO		TRIANGULAR ROTADO (60°)			
PASO	mm	75,375			
CORAZA					
MATERIAL		ACERO AL CARBONO ASTM A 53			
GEOMETRÍA DEL CUERPO		CILÍNDRICA			
GEOMETRÍA CASQUETES		SEMIESFÉRICA			
ALTURA DEL CASQUETE	m	0,9			
ALTURA TOTAL	m	8,2			
DIÁMETRO INTERNO	m	1,8			
ESPESOR DEL CUERPO	m	0,05			
ESPESOR DEL CASQUETE	m	0,05			
CONEXIONES					
ALIMENTACIÓN		PARTE SUPERIOR			
SALIDA DE PRODUCTO		PARTE INFERIOR			
CATALIZADOR					
NOMBRE COMERCIAL		LD 412R			
TIPO		PLATINO REDUCIDO SOBRE ALÚMINA			
GEOMETRÍA		CILÍNDRICA			
POROSIDAD	ε	0,33			
DENSIDAD	kg/m3	791			
DIÁMETRO INTERNO	mm	3,6			
LONGITUD	mm	1,2			
LECHO DEL CATALIZADOR					
DENSIDAD CARGA DENSA	kg/m3	690			
MASA DEL CATALIZADOR ACTIVO	Kg	1.914			
VOLUMEN DEL CATALIZADOR	m3	5,15			
TIPO MATERIAL INERTE		ALÚMINA			
MASA MATERIAL INERTE	Kg	1.639			
DATOS DE DISEÑO					
TEMPERATURA	°C	212			
PRESIÓN	Kg/cm2	37,48			
PÉRDIDA DE CARGA	Kg/cm2	1,33			
PERDIDA DE CARGA ADMISIBLE	Kg/cm2	2/3			



Fuente: elaboración propia.

Revisado por: Ing. María Primavera Monsalvo.

#### 6.4.2. Intercambiador de calor de tubo y coraza (E107):

##### Ubicación de los fluidos:

Agua de enfriamiento por tubos (por ser fluido más sucio). Ciclohexano por coraza.

Datos	Agua Enfriamiento (tubos)	Ciclohexano (coraza)
Caudal másico [Kg/s]	5,8520	2,2800
Temp. Entrada [°C] ; [°F]	29 ; (84)	60 ; (140)
Temp. Salida [°C] ; [°F]	33 ; (91,4)	35 ; (95)
Presión operación man.[Kgf/cm2]g	9,3	9,84
Densidad [kg/m3]	995,71	779
Calor específico [J/kg°C]	4174,3768	1765,648
Conductividad térmica [W/m°C]	0,58000	0,84800
Viscosidad [Pa.s]	4,97E-04	8,64E-04
Pérdida de carga máx.	15%	15%

*Tabla: Características de los fluidos.*

*Fuente: Software Pro II.*

##### Cálculo de la Temperatura media para evaluar las propiedades físicas:

Cálculo de Fc:

$$\frac{\Delta t}{\Delta T} = 0.16$$

$$c = \frac{\Delta T - \Delta t}{\Delta T} = 0.83$$

Del siguiente gráfico se obtiene el Fc:

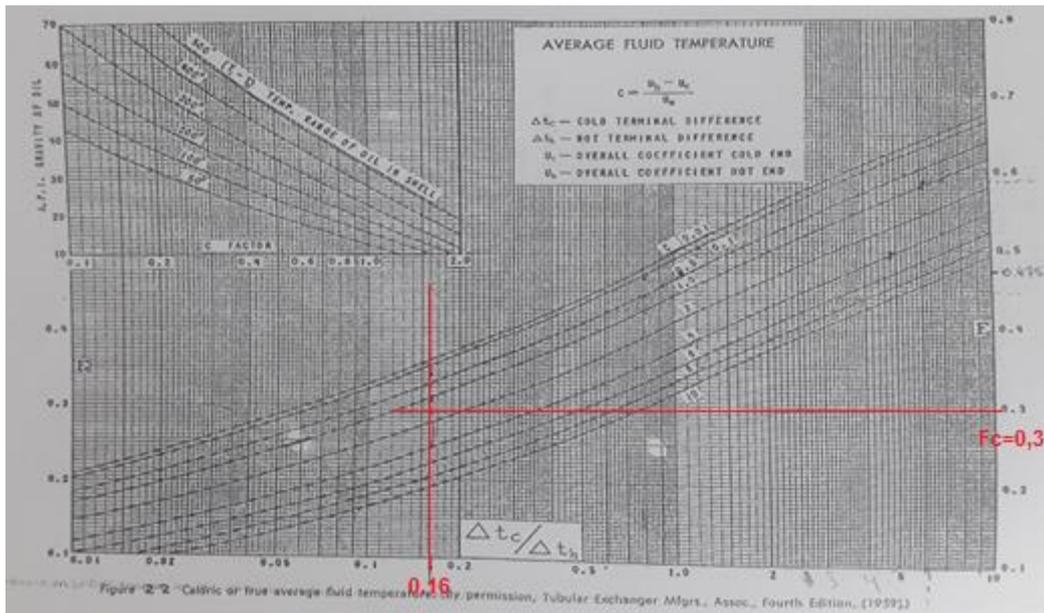


Gráfico: Fc.

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

$$F_c = 0.3$$

Una vez obtenido el Fc calculamos la T calórica del fluido frío y la T calórica del fluido caliente:

$$T_c = 95 + 0.3(140 - 95) = 108.5^\circ F = 42.5^\circ C$$

$$t_c = 84 + 0.3(91.4 - 84) = 86.22^\circ F = 30.1^\circ C$$

### Determinación de las propiedades físicas:

Se especifican las siguientes: viscosidad ( $\mu$ ), calor específico (cp), conductividad térmica (k) y la densidad ( $\rho$ ).

Ver tabla de datos.

### Cálculo de la Temperatura media efectiva, $\Delta T_e$ :

Cálculo de la MLTD:

$$\Delta T_{mlcc} = \frac{[(140 - 91.4) - (95 - 84)]}{\ln[(140 - 91.4)/(95 - 84)]} = 25.3^\circ F$$

Cálculo de Ft:

Se empieza suponiendo el equipo de menor cantidad de pasos, 1 paso por coraza y 2 pasos por tubos.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 6.08$$

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0.13$$

Con estos valores se alimenta la siguiente gráfica y se obtiene Ft:

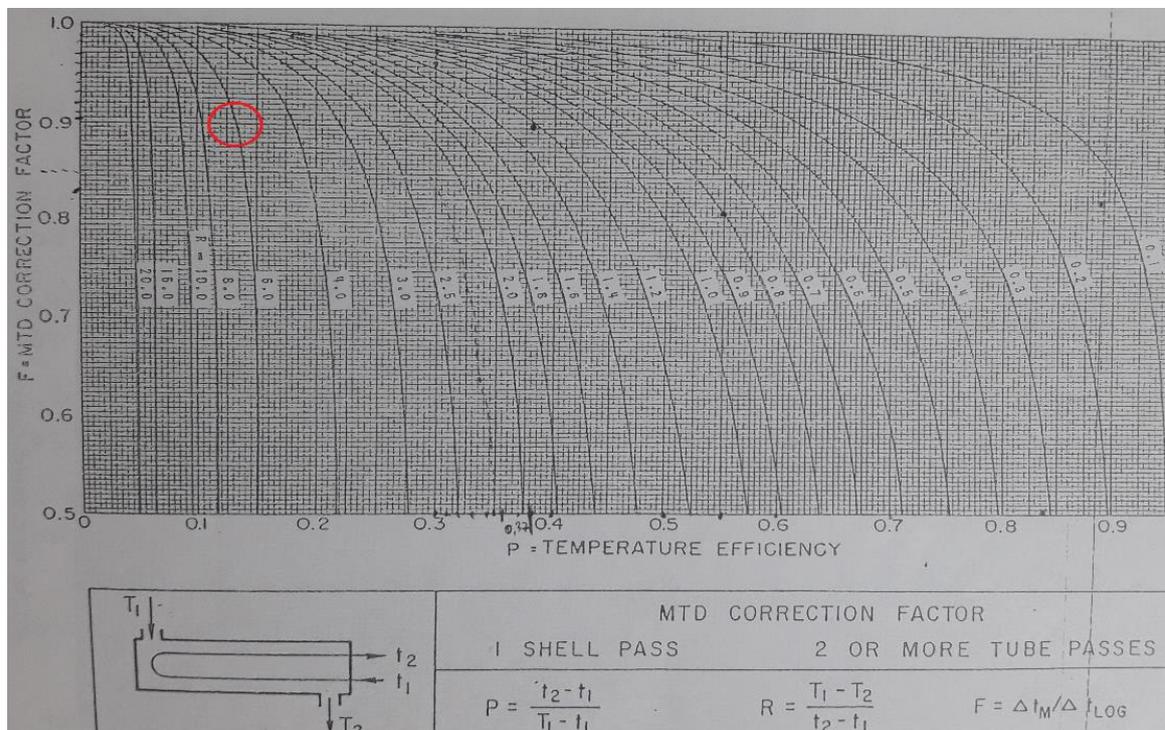


Gráfico: Ft.

Fuente: Catedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

$$F_t = 0.90$$

El Ft es aceptable cuando se encuentra entre 0,85 y 1.0.

Cálculo la ΔTe:

$$\Delta T_e = F_t * \Delta T_{mlcc} = 22.77^\circ F$$

$$\Delta T_e = 12.65^\circ C$$

Balance de Calor:

Ciclohexano:

$$Q_c = Q_h = 2,28 \text{ Kg/s} * 1765,648 \text{ J/kg}^\circ\text{C} * 25^\circ\text{C} = 100641.9 \text{ J/s}$$

Agua:

$$m. \text{ agua} = \frac{100641.9 \text{ J/s}}{4174,3768 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 4^\circ\text{C}} = 5,852 \text{ Kg/s}$$

Seleccionar dimensiones y características de los tubos de la tabla:

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup>		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
3/8	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
3/4	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
1	15	0.072	0.606	0.289	0.2618	0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
	8	0.165	0.670	0.355		0.1754	1.61
1	9	0.148	0.704	0.389	0.2618	0.1843	1.47
	10	0.134	0.732	0.421		0.1916	1.36
	11	0.120	0.760	0.455		0.1990	1.23
	12	0.109	0.782	0.479		0.2048	1.14
	13	0.095	0.810	0.515		0.2121	1.00
	14	0.083	0.834	0.546		0.2183	0.890
	15	0.072	0.856	0.576		0.2241	0.781
	16	0.065	0.870	0.594		0.2277	0.710
	17	0.058	0.884	0.613		0.2314	0.639
	18	0.049	0.902	0.639		0.2361	0.545
1 1/4	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75

Tabla: Datos de tubos para condensadores e intercambiadores de calor.

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

14 BWG

Longitud=8ft

OD=3/4"

ID=0.584" = 0.04866ft = 0.01483m

Estimación del coeficiente global de transferencia de servicio,  $U_d$  (sucio):  
De la siguiente Tabla:

Enfriadores		
Fluido caliente	Fluido frío	$U_d$ total
Agua	Agua	250-500 <sup>4</sup>
Metanol	Agua	250-500 <sup>4</sup>
Amoniaco	Agua	250-500 <sup>4</sup>
Soluciones acuosas	Agua	250-500 <sup>4</sup>
Sustancias orgánicas ligeras <sup>1</sup>	Agua	75-150
Sustancias orgánicas medias <sup>2</sup>	Agua	50-125
Sustancias orgánicas pesadas <sup>3</sup>	Agua	5-75
Gases	Agua	2-50
Agua	Salmuera	100-200
Sustancias orgánicas ligeras	Salmuera	40-100
Calentadores		
Fluido caliente	Fluido frío	$U_d$ total
Vapor de agua	Agua	200-700 <sup>4</sup>
Vapor de agua	Metanol	200-700 <sup>4</sup>
Vapor de agua	Amoniaco	200-700 <sup>4</sup>
Vapor de agua	Soluciones acuosas:	
Vapor de agua	menos de 2.0 cp	200-700
Vapor de agua	Más de 2.0 cp	100-500 <sup>4</sup>
Vapor de agua	Sustancias orgánicas ligeras	50-100
Vapor de agua	Sustancias orgánicas medias	100-200
Vapor de agua	Sustancias orgánicas pesadas	6-60

Tabla: Valores aproximados de los coeficientes totales para diseño. Los valores incluyen un factor de obstrucción total de 0.003 y caída de presión permisible de 5 a 10 LB/PLG<sup>2</sup> en la corriente que controle.

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

Se utiliza el  $U_d$  más alto del rango que aparece en la tabla ya que mejora la transferencia y el área es menor.

$$U_d = 125 \frac{BTU}{hft^2 \circ F} = \frac{2555228.5J}{hm^2 \circ C}$$

Cálculo del área mínima,  $A_{mín}$  :

$$Q = A_{mín} \cdot U_d \cdot \Delta T_e$$

$$A_{mín} = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T_e} = \frac{100641.9 \frac{J}{s} * 3600s/h}{2555228.5J/(hm^2 \circ C) 12.65 \circ C} = 11.2m^2 = 120.65ft^2$$

Cálculo de la longitud equivalente,  $L_e$  :

$L_e = \text{longitud de los tubos} - \text{espesor de la placa porta tubo}$

Como el espesor es igual a 3 pulgadas = 0,25 ft.

$$L_e = 8ft - 0.25ft = 7.75ft$$

Cálculo del área aproximada de los tubos:

$$A_t = \pi \cdot OD \cdot L_e = \pi * 0.0625ft * 7.75ft = 1.52ft^2$$

Cálculo del número de tubos aproximados,  $N_t$ :

$$N_t = \frac{A_{min}}{A_t} = \frac{120.65ft^2}{1.52ft^2} = 77$$

Selección de la unidad o equipo standard en la siguiente tabla:

Tubos de 3/4" DE, arreglo en cuadro de 1 plg						Tubos de 1" DE, arreglo en cuadro de 1 1/4 plg				
Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P
8	32	26	20	20		8	21	16	14	
10	52	52	40	36		10	32	32	26	24
12	81	76	68	68	60	12	48	45	40	38
13 1/4	97	90	82	76	70	13 1/4	61	56	52	48
15 1/4	137	124	116	108	108	15 1/4	81	76	68	68
17 1/4	177	166	158	150	142	17 1/4	112	112	96	90
19 1/4	224	220	204	192	188	19 1/4	138	132	128	122

Tabla: Disposición de los espejos de tubos (arreglo en cuadrado).

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

- IDs (diámetro interno de coraza) = 12"
- Nt=76
- N° de pasos por tubo =2
- N° de pasos por coraza=1

Tubos:

Arreglo: cuadrado 90°.

Paso: Pt = 1".

Relación de paso: RP = (Pt / do) =1.33.

Distancia entre tubos (ligament)(c)=1/4".

$Sft = 0.00186ft^2$ .

Cálculo de velocidad media del fluido que circula dentro del tubo,  $v_t$ :

$$a_t = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} \frac{N_t}{n} = \pi \cdot \frac{(0.04866ft)^2}{4} \frac{76}{2} = 0.07ft^2$$

$$v_t = \frac{w_t}{a_t \cdot \rho} = \frac{\frac{5.8520Kg}{s}}{0.07ft^2 * \frac{28.19Kg}{ft^3}} = 3.1ft/s$$

Donde:

$a_t$  = área de flujo.

$n$  = pasos por tubo por cada coraza.

$w_t$  = caudal por tubos original.

ID (diámetro interno de los tubos) = con OD  $\frac{3}{4}$ " y BWG 14.

$$3 \text{ pie/seg} \leq v_t \leq 5 \text{ pie/seg}$$

Por lo tanto, la velocidad media del fluido que circula por tubos se encuentra dentro de los límites de especificación recomendados.

Cálculo de la pérdida de carga en tubos:

Número de Re en tubos, Ret:

$$Gt = \frac{n * w_t}{Nt * Sft} = 2 * \frac{\frac{5.8520Kg}{s}}{76 * 0.00186ft^2} = \frac{82.79Kg}{sft^2} = \frac{891.14Kg}{sm^2}$$

$$Re = \frac{GtID}{\mu} = \frac{891.14Kg}{sm^2} * \frac{0.01483m}{\frac{0.000497Kg}{ms}} = 26590.9$$

Régimen turbulento  $Re > 10.000$ .

Cálculo de ft de la gráfica, con Re turbulento para tubos:

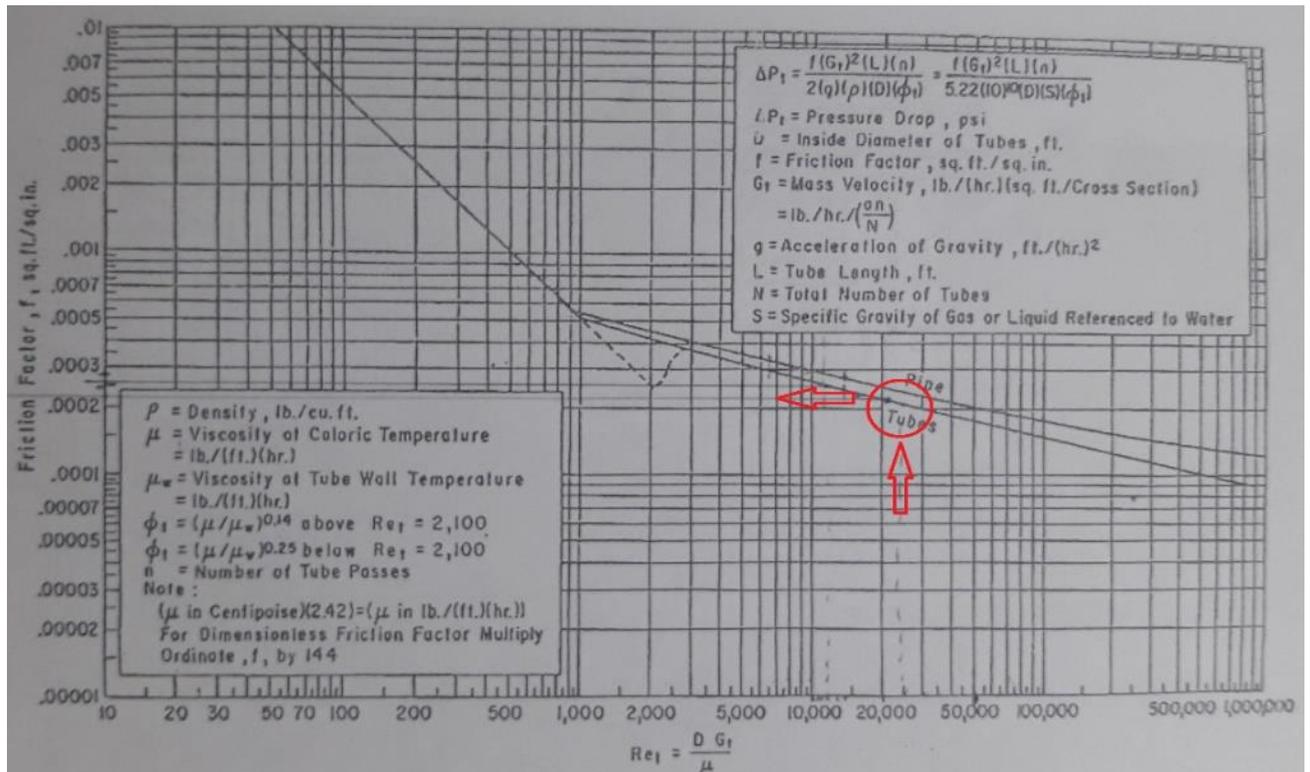


Gráfico: Ft.

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

$$Ft=0.00715$$

ΔP en tubos rectos:

$$\Delta P t = 4ft * \left(\frac{L}{ID}\right) * \left(\frac{Gt^2}{2\delta}\right) * n^{\circ}pasos = 4 * \frac{0.00715 \left(\frac{2.4m}{0.01483m}\right) \left(\frac{891.14Kg}{sm^2}\right)^2}{2 * \frac{995.71Kg}{m^3}} * 2 = 3694.2Pa$$

ΔP en retorno:

$$\Delta P cab = 4 * n \frac{pasos(Gt^2)}{2\delta} = 4 * 2 * \frac{\left(\frac{891.14Kg}{sm^2}\right)^2}{2 * \frac{995.71Kg}{m^3}} = 3190Pa$$

$$\Delta P total = 6884.2Pa = 0.07 \frac{Kg}{cm^2} < \Delta P admisible$$

Cálculo de  $h_{i0}$  (coeficiente de transferencia de calor interior del tubo referido al exterior del tubo):

Cálculo de  $h_i$  (coeficiente de transferencia de calor interior del tubo):

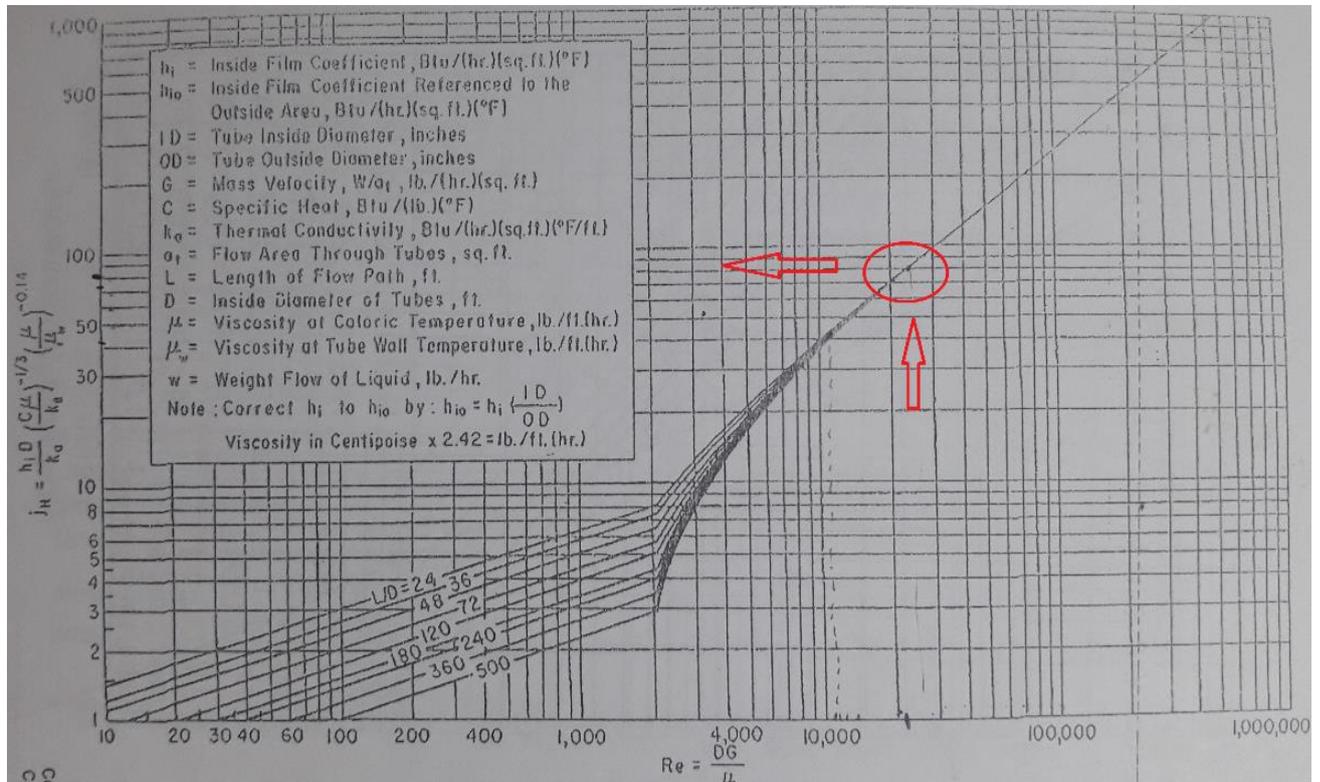


Gráfico:  $jH$  (Tubos).

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

Con  $Re$  de tubos se ingresa en la gráfica y se obtiene  $jH=80$ , por lo tanto:

$$jH = \left( h_i * \frac{OD}{Kt} \right) \left( \frac{Cpt * \mu}{Kt} \right)^{-1/3} = 80$$

$$h_i = \left( 80 * \frac{Kt}{OD} \right) \left( \frac{Cpt * \mu}{Kt} \right)^{\frac{1}{3}} = 80 * \frac{0.58W}{0.019m} \left( \frac{4174.37J}{kg^{\circ}C} * 0.000497 \frac{kg}{ms} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{4388.2W}{m^2^{\circ}C}$$

Cálculo de hio:

$$h_{io} = h_i \left( \frac{ID}{OD} \right) = 3416.9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Cálculo de  $\Delta P_s$ :

Se estima el espaciado entre baffles (B) como  $1/5$  IDs =  $B=2.4''$ , por criterio general.

El corte de baffle puede variar entre el 20 y 33%, y el valor frecuente que se usa para una primera opción es del 25%, por lo tanto, se tomará este último.

$$\text{Número de baffles} = \frac{\text{long de equipo}}{B} = 96'' / 2.4'' = 40$$

Cálculo del número de tubos centrales, ntc:

Del gráfico:

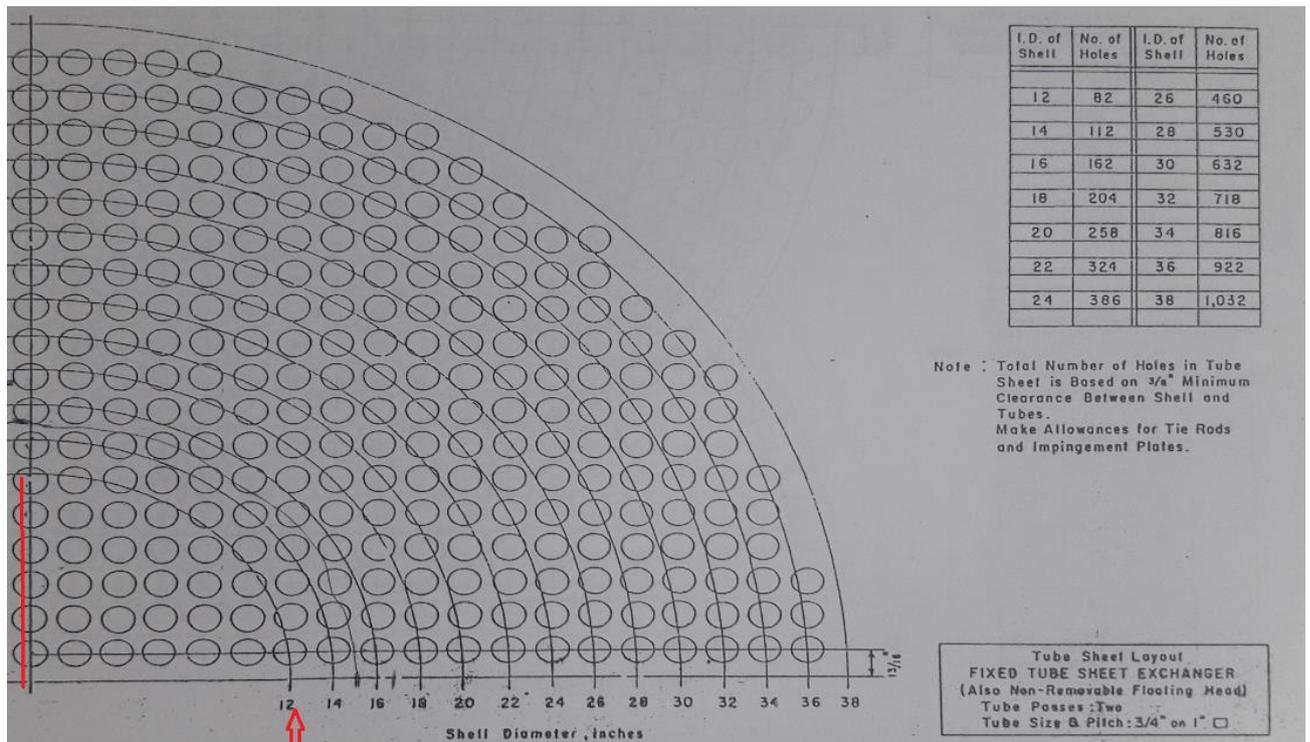


Gráfico: NTC.

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

Ntc=número de tubos en la fila central=6\*2=12

Cálculo de área de flujo de coraza,  $A_s$ :

$$A_s = (ID_s - Ntc * OD) * B = (12 - 12 * 0.75") * 2.4" = 7.13 \text{ pul}^2 = 0.0046 \text{ m}^2$$

Cálculo de  $G_s$ :

$$G_s = \frac{w_s}{A_s} = 2.28 \frac{\frac{Kg}{s}}{0.0046 \text{ m}^2} = 490,83 \frac{Kg \text{ m}^2}{s}$$

Cálculo del diámetro equivalente; método de Kern para arreglo cuadrado:

$$De = \frac{4 \left( P_t^2 - \frac{\pi OD^2}{4} \right)}{\pi OD} = \frac{4 \left( 1''^2 - \frac{\pi 0.75''^2}{4} \right)}{\pi 0.75''} = 0,95'' = 0,024 \text{ m}$$

Cálculo del Re en coraza Res:

$$Re = \frac{G_s De}{\mu} = \frac{\left( 490,83 \frac{Kg \text{ m}^2}{s} 0,024 \text{ m} \right)}{0.000864 \text{ Kg/ms}} = 13634$$

Régimen turbulento  $Re > 10.000$

Cálculo de  $f_s$ :

Con Res y la siguiente fórmula empírica se obtiene el  $f_s$ , luego se lo divide por 1,2 para tubos lisos:

$$f_s = 1,728 * \frac{Res^{-0,183}}{1,2} = 0,2884$$

Cálculo de  $\Delta P_s$ :

Donde:

$N_c+1 = (L_e/B)$  es el número de cruces del flujo con el haz de tubos.

$$\Delta P_s = \frac{f_s \cdot G_s^2 \cdot I D_s (N_c + 1)}{D_e \cdot 2 \cdot \delta} = \frac{0.2884 \cdot \left(490,83 \frac{Kg m^2}{s}\right)^2 \cdot 0.3048m \cdot 40}{0.024m \cdot 2 \cdot \frac{770kg}{m^3}} = 23172.6Pa$$

$$= 0.236 \frac{kg}{cm^2} < \Delta P_s \text{ admisible}$$

Cálculo de  $h_o$  para coraza (hs):

Entrando al siguiente gráfico con  $Re_s=13634$ :

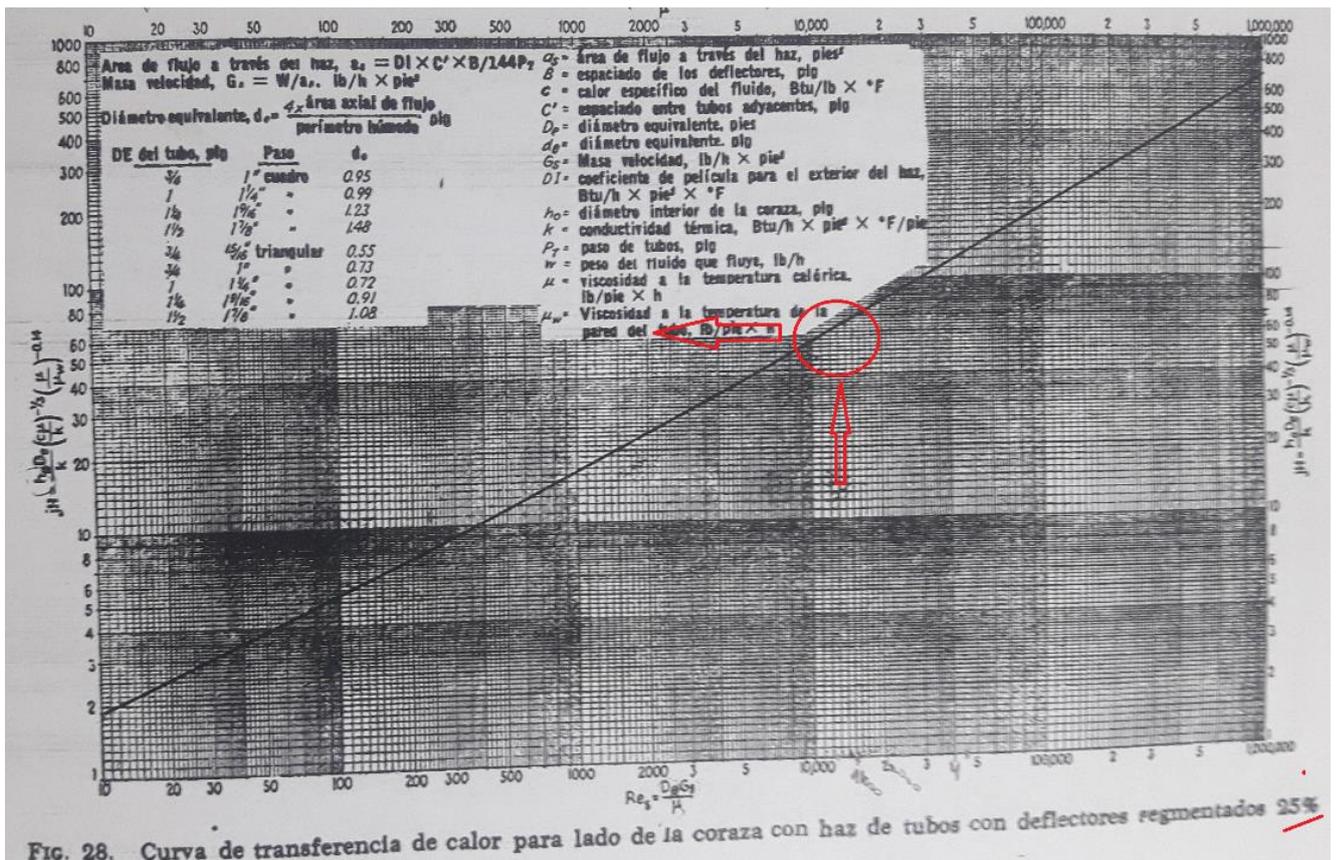


Gráfico:  $jH$  Coraza.

Fuente: Cátedra de Tecnología de la energía térmica 2019, UTN frlp.

Donde se obtiene el jH:

$$jH=78$$

Cálculo de  $h_s$  por fórmula:

$$jH = \left( h_s * \frac{De}{K_s} \right) \left( \frac{Cps * \mu s}{K_s} \right)^{-\frac{1}{3}} = 78$$

$$h_s = \left( 78 * \frac{K_s}{De} \right) \left( \frac{Cps * \mu s}{K_s} \right)^{\frac{1}{3}} = 78 * \frac{0.848W}{0.024m} \left( \frac{\frac{1765.64J}{kg^{\circ}C} * 0.000864 \frac{kg}{ms}}{\frac{0.848W}{m^{\circ}C}} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{2904.7W}{m^{\circ}C}$$

Cálculo del coeficiente global limpio,  $U_c$ :

$$U_c = \frac{1}{\frac{1}{h_{i0}} + \frac{1}{h_s}} = \frac{1}{\frac{1}{3416.9 \frac{W}{m^{\circ}C}} + \frac{1}{2904.7 \frac{W}{m^{\circ}C}}} = 1570.02 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

Cálculo del coeficiente global sucio,  $U_d$ :

El fouling se toma el 70 u 80 % por encima de la media. Además, se deben tener en cuenta el fouling de los dos fluidos para sumarlos.

$$r_d = r_0 + r_{i0} = 0.0003$$

$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + 1.8 * r_d} = \frac{1}{\frac{1}{1570.02 \frac{W}{m^{\circ}C}} + 1.8 * 0.0003} = 849.7 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

Cálculo del área mínima requerida:

$$A_{min} = \frac{Q}{U_d * \Delta T_e} = \frac{100642.5W}{849.7 \frac{W}{m^2 \cdot C} * 12.65^\circ C} = 9.36m^2$$

Cálculo del área disponible:

$$A_{disp} = Nt * Let * \frac{sup}{ft tubo} = 76 tubo * (2.4m - 0,07m) * \frac{0.05983m^2}{m tubo} = 10.59m^2$$

Calculo del exceso de área:

$$\%ExcArea = \left( \frac{A_{disp} - A_{min}}{A_{min}} \right) * 100 = 13.1\%$$

El exceso de área deberá estar entre el 10 y 15%, por lo tanto el equipo cumple con la especificación.

Diseño hidráulico:

Se utilizará como base de diseño hidráulico al código ASME para recipientes a presión; sección VIII; división I y II. Se calcula espesor de la coraza, de los cabezales, el peso vacío de la misma y el peso llena con agua. Se realiza el diseño por presión interna. Además, se calcula el peso del mazo de tubos.

T diseño= 156°F.

Diámetro interno=12 pulgadas.

Longitud=2.4m.

P. diseño= máxima presión de trabajo\*factor de seguridad (15%) = 164psi.

El siguiente cuadro contiene los datos necesarios de construcción:

Variable	dato
Presión de diseño	164 psi
Temperatura de diseño	156°F
Material	ASTM A516 Gr.70
Diámetro interno	12"
Longitud	2.4 m
Esfuerzo admisible S	15000 psi
Eficiencia de junta E	1
Tolerancia por corrosión C	0,0625"
Espesor de tubos	0.0021 m.
Diámetro tubo	0.019 m.
Número de tubos	76
Tipo de cuerpo	cilíndrico
$\delta$ cuerpo	7850 kg/m <sup>3</sup>
$\delta$ agua	1000 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: código ASME para recipientes a presión.

La eficiencia de junta corresponde a la de soldadura a tope con doble cordón radiografiada 100%.

Se determinan los esfuerzos circunferenciales y longitudinales para proseguir con el mayor de ellos:

$$Esf\ circ = \frac{P * radio}{(S * E - 0.6P)} = \frac{164psi * 6pul}{(15000psi * 1 - 0.6 * 164psi)} = 0.07pul$$

$$Esf\ long = \frac{P * radio}{(S * E + 0.4P)} = \frac{164psi * 6pul}{(15000psi * 1 + 0.4 * 164psi)} = 0.065pul$$

Por lo tanto, se toma el espesor para esfuerzo circunferencial y se le agrega la tolerancia por corrosión:

Espesor total = 0.07pul + 0.0625pul = 0.1325 pul, cuyo valor comercial superior más próximo es: 0.1875 pul. (3/16") = 4,76 mm.

Cálculo de espesor mínimo de los cabezales:

$$Esp\ cab = \frac{P * D}{(2 * S * E - 0.2P)} = \frac{164psi * 12pul}{(2 * 15000psi * 1 - 0.2 * 164psi)} = 0.65pul$$

Al igual que el espesor del cuerpo se le suma la tolerancia por corrosión y se busca el espesor comercial superior más próximo:

Esp cab=0.1875 pul. (3/16") = 4,76 mm.

Peso aproximado de los cabezales:

$$peso\ cab = 1.728\pi r^2 esp\ cab * \delta ac = 1.728\pi(0.1524m)^2 0.00476m \frac{7850kg}{m^3} = 5\ kg$$

Peso del recipiente vacío (con factor de 20% debido al peso de accesorios):

$$Peso\ vacío = 1.2 * \delta ac * \frac{\pi}{4} * L((D + 2 * esp)^2 - D^2) + 2 * peso\ cab$$

$$Peso\ vacío = 1.2 \frac{7850kg}{m^3} \frac{\pi}{4} 2.4m((0.3048m + 2 * 0.00476m)^2 - (0.3048m)^2) + 2 * 5\ kg$$

$$Peso\ vacío = 115\ kg$$

Peso del recipiente lleno con agua:

$$Peso\ lleno = \delta w * \frac{\pi D^2}{4} * L + peso\ vacío$$

$$Peso\ lleno = \frac{1000kg}{m^3} * \frac{\pi(0.3048m)^2}{4} * 2.4m + 115\ kg$$

$$Peso\ lleno\ con\ agua = 290\ kg$$

Peso aproximado del mazo de tubos:

$$Peso\ del\ mazo = \delta ac * \frac{\pi}{4} * Lt((Dt + 2 * espt)^2 - Dt^2) * Nt$$

$$Peso\ del\ mazo = \frac{7850kg}{m^3} \frac{\pi}{4} 2.4m((0.019m + 2 * 0.0021m)^2 - (0.019m)^2) * 76 = 199\ Kg$$

Resultados del simulador pro II:

UNIT 12, 'E105'			
OPERATING CONDITIONS			
DUTY, M*KCAL/HR	8.953E-02		
LMTD, C	13.920		
F FACTOR (FT)	0.890		
MTD, C	12.390		
U*A, KCAL/HR-C	7225.716		
HOT SIDE CONDITIONS			
		INLET	OUTLET
-----			
FEED	9C		
LIQUID PRODUCT		9D	
LIQUID, KG-MOL/HR	97.700	97.700	
K*KG/HR	8.222	8.222	
CP, KCAL/KG-C	0.452	0.419	
TOTAL, KG-MOL/HR	97.700	97.700	
K*KG/HR	8.222	8.222	
CONDENSATION, KG-MOL/HR			0.000
TEMPERATURE, C	60.000	35.000	
PRESSURE, KG/CM2G		9.840	9.540
COLD SIDE CONDITIONS			
		INLET	OUTLET
-----			
FEED	AGUA3		
WATER PRODUCT		AGUA4	
WATER, KG-MOL/HR	1206.000	1206.000	
K*KG/HR	21.726	21.726	
CP, KCAL/KG-C	0.998	0.998	
TOTAL, KG-MOL/HR	1206.000	1206.000	
K*KG/HR	21.726	21.726	
CONDENSATION, KG-MOL/HR			0.000
TEMPERATURE, C	29.000	33.131	
PRESSURE, KG/CM2G		8.000	6.800

Fuente: datos de simulador pro II.

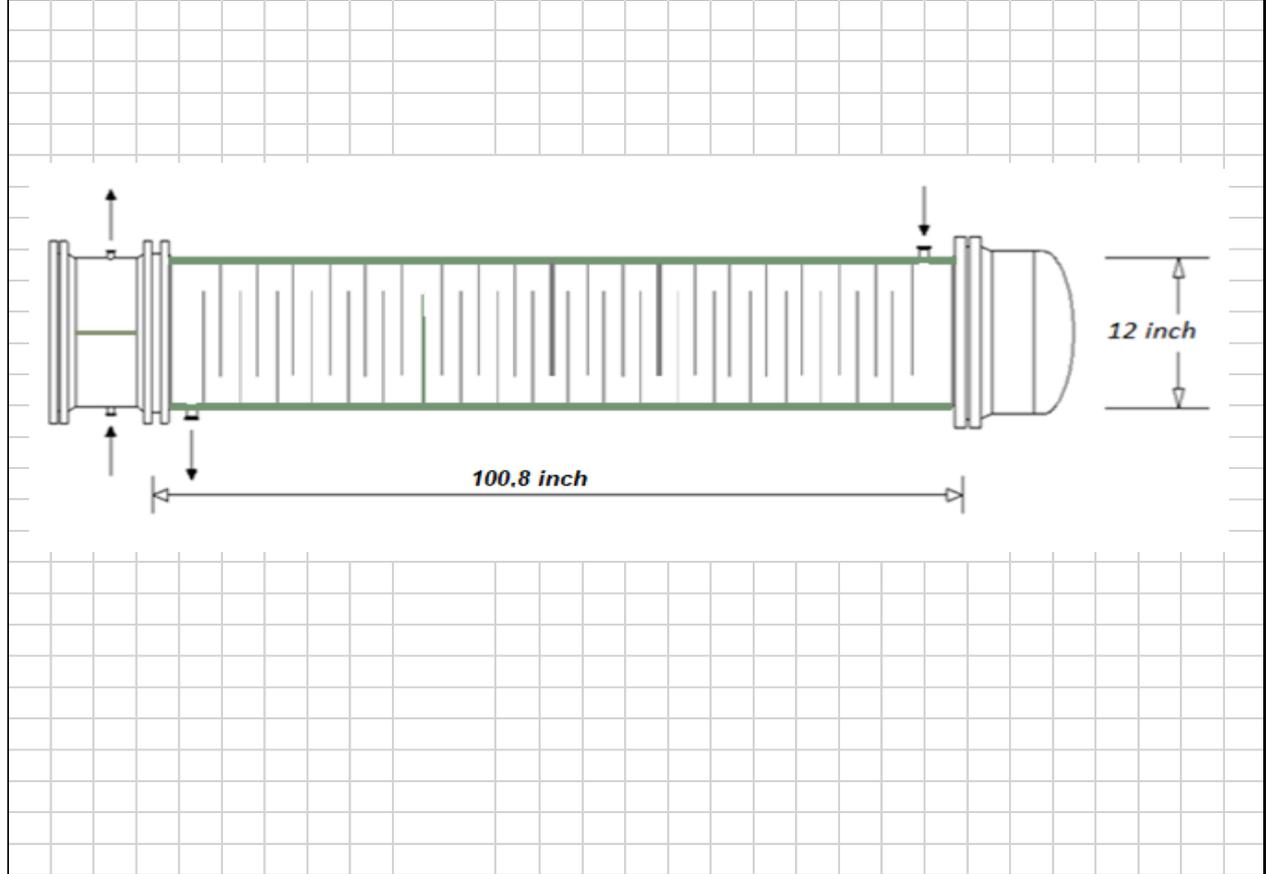
Hoja de especificación del equipo:

UTN FRLP		INTEGRACION V				Página	1 de 2		
<b>HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR</b>									
1									
2	CLIENTE: Planta ciclohexano								
3	DIRECCION: CIE							COTIZACION 17000u\$s	
4	LOCALIZACION: Planta ciclohexano						FECHA 29/11/2021		
5	SERVICIO: Enfriamiento de producto final hasta temperatura de almacenaje.								
6	TAMAÑO 12 X 100,8 pulg	TIPO: CASCO Y TUBO			CONECTADO EN:		-	-	SERIE
7	Sup./Unidad (Tot./Ef.)	114 / 101	ft2	Corazas/Unidad	1	Sup./Coraza	31	ft2	
8	<b>PERFORMANCE DE LA UNIDAD</b>								
9	COLOCACION DEL FLUIDO		LADO CORAZA			LADO TUBO			
10	NOMBRE DEL FLUIDO		ciclohexano			agua de enfriamiento			
11	CAUDAL	kg/s		2,28			5,85		
12	GAS		-			-			
13	LIQUIDO (EDA/SDA)		2,28			5,85			
14	VAPOR (EDA/SDA)		-			-			
15	NO CONDENSABLE		-			-			
16	FLUIDO CONDENSADO O VAPORIZADO								
17	DENSIDAD STD LIQUIDO	kg/m <sup>3</sup>		779			995,7		
18	VISCOSIDAD LIQUIDO	CP		0,864			0,497		
19	CALOR ESPESIFICO LIQUIDO	J/kg °C		1765,6			4174,4		
20	COND. TERMICA LIQUIDO	W/ m °C		0,85			0,58		
21	PESO MOLECULA		82,15			18			
22	VISCOSIDAD VAPOR		CP			-			
23	CALOR ESPESIFICO VAPOR		-			-			
24	COND. TERMICA VAPOR		-			-			
25	TEMPERATURA (EDA/SDA)		°C		60 / 35		29 / 34		
26	PRESION DE OPERACION		Kgf/cm2		9,8		9,30		
27	VELOCIDAD		ft/s		1,5		3		
28	PERDIDA DE CARGA		Kgf/cm2		0,24		0,07		
29	RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO		m2 °C / W		0,0002		0,0001		
29	CALOR INTERCAMBIADO	100641.9	J/s		LMTD (Corregida)		17	°C	
30	COEFICIENTE DE TRANSMISION/SERVICIO		850		W/ m2 °C		Limpio	1550	W/ m2 °C
31	<b>CONSTRUCCION DE UNA CORAZA</b>								
32				CORAZA			TUBOS		
33	PRESION DE DISEÑO		Kg/cm2		11,3		10,7		
34	TEMP. DE DISEÑO (MAX/MIN)		°C		69,0		40,0		
35	N° DE PASOS				1		2		
36	CORROSION PERMITIDA		pulg		0,0625		0,0625		
37	CONEXIONES		ENTRADA		1,0		1,0		
38			SALIDA		1,0		1,0		
39			INTERMEDIA		,		,		
40	N° de tubos	76	DE	BWG	14	Longitud:	8 ft	Pitch:	1 pulg
41	Tipo de tubo	LISO		Material		ACERO AL CARBONO			
42	Coraza		OD 12 pulg						
44	Canal o casquete		NO						
44	Espejo estacionari		NO		Placa tubular flotante		0,08 pulg		
45	Cubierta del cabezal flotante		NO		Protección contra choques		SI		
46	Baffles-transversales	SI	Tipo simple segmentado		%Corte	25	Espaciado	2,4 pulg	
47	N° de Baffles-transversales		40						
48	Baffles-longitudinales		NO						
49	Sellado sólido		SI		Junta placa tubular - Tubo		SI		
50	Junta de expansión		SI		Tipo longitudinal				
51	Cabezal flotante		SI						
52	Requerimientos del Código:				Clase TEMA				
53	Peso/Coraza	115 Kg	Llena de agua		290 Kg	Haz tubular	199 Kg		
54	Observaciones								NO

<b>UTN FRLP</b>	<b>INTEGRACION V</b>	Página	2 de 2
-----------------	----------------------	--------	--------

HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR										
1										
2	CLIENTE: Planta ciclohexano									
3	DIRECCION: CIE								COTIZACION : 17000u\$s	
4	LOCALIZACION: Planta ciclohexano								FECHA 29/11/2021	
5	SERVICIO: Enfriamiento de producto final hasta temperatura de almacenaje.									
6	TAMAÑO: 12 X 100,8 pulg	TIPO: CASCO Y TUBO			CONECTADO EN: -			SERIE		
7	Sup./Unidad (Tot./Ef.)	114 / 101	ft2	Corazas/Unidad	1	Sup./Coraza	31	ft2		

**ESQUEMA**



Parte del intercambiador	Clasificación TEMA	Descripción
Cabezal	C	Tapa frontal y mazo de tubos removible.
Coraza	E	Un paso en la coraza
Cabezal posterior	M	Mazo de tubos fijos.

*Fuente: elaboración propia.  
Revisado por Ing. Paola Nieto.*

### 6.4.3. Bomba de carga (P102):

Será utilizada con el objetivo de trasladar un caudal de benceno de 7800 kg/h, el cual se encuentra a 40,6°C, y deberá descargar a una presión de 38,3 Kg/cm<sup>2</sup>.

Propiedades		
Flujo Masico	7800,0	kg/hr
Caudal Volumetrico	9,08	m <sup>3</sup> /hr
Entalpia	20,3	kcal/kg
CP	0,4	kcal/kg-C
Densidad	859,4	kg/m <sup>3</sup>
Tensión superficial	26,2	dyne/cm
Conductividad	0,1	kcal/hr-m-C
Viscosidad	0,000508	Pa.s
Viscosidad	0,492260	CP

*Tabla: Propiedades operativas de la corriente de benceno.  
Fuente: Software pro II.*

En este apartado se detallarán los parámetros de la misma.

#### Preselección:

Se opta por utilizar una bomba centrífuga, en éstas, el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.

La bomba centrífuga es la más utilizada a nivel industrial y presenta una amplia gama de usos. Están especialmente indicadas para el manejo de productos de baja viscosidad, en tanto no requieran un tratamiento particularmente suave. Además, se ha optado por ella debido a que es la más barata en cuanto a compra, operación y mantenimiento, y también la más adaptable a diferentes condiciones de operación.

#### Cálculo de la altura de bombeo:

Se procede al cálculo de la carga total de la bomba, para junto con el caudal proceder con su selección, mediante la ecuación general de la energía:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - Pc + Hb = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

La zona de aspiración, que es la brida de salida de la bomba P-101 se encuentra a una P<sub>1</sub>=16,5 Kg/cm<sup>2</sup>, y se necesita una presión de salida de 38,3 Kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, no existe diferencia de altura apreciable por lo que se descartan Z<sub>1</sub> y Z<sub>2</sub>. Como la sección de la tubería y el caudal son iguales, también se anulan los términos de velocidad ya que

también serán iguales, por lo tanto, la ecuación reordenada luego de las simplificaciones será:

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + P_c$$

Como se puede apreciar, habrá que calcular la pérdida de carga ya que los otros factores son datos conocidos.

Pérdida de carga:

Para analizar la pérdida de carga existente es necesario conocer la longitud de las cañerías, así como la longitud equivalente de sus accesorios ya que la mayor pérdida de carga del sistema se encuentra allí, en las separaciones en T, las válvulas y los codos.

Para empezar el cálculo es necesario conocer el diámetro de las cañerías y para ello se calcula la velocidad óptima recomendada a la que debe circular el fluido.

$$V_{op} = 12 \frac{m^{0.1}}{\rho^{0.36}}$$

Donde:

12 es un factor corrector de unidades, para obtener velocidad lineal.

m: caudal másico= 7800kg/h o = 4,78 lb/s

Y  $\rho$  la densidad del fluido, el cual es benceno, por lo que:

$$\rho = 859,4 \text{ kg/m}^3 = 53,6 \text{ lb/ft}^3$$

$$V_{op} = 12 * \frac{4,78^{0.1}}{53,6^{0.36}}$$

$V_{op} = 3,34 \text{ ft/s}$

Con este valor se calculará el diámetro interno de los tubos:

$$Di = \left( \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot V_{op}} \right)^{0.5}$$

Siendo q el caudal volumétrico (*caudal másico/densidad*)

$$q = \frac{4,78 \text{ lb/s}}{53,6 \text{ lb/ft}^3}$$

$$q = 0,09 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

$$Di = \left( \frac{4 * 0,09 \frac{ft^3}{s}}{\pi * 3,34 ft/s} \right)^{0.5}$$

Di = 0,185 ft = 2,22”

El diámetro interno aproximado de la cañería es de 2,22”, por lo tanto, se seleccionará una cañería con el diámetro nominal por encima de este, más cercano, para luego verificar si cumple con la especificación de velocidad establecida.

Para ello a continuación, se comparte la tabla con información de las cañerías ASTM A53 a partir de la cual se especificarán las dimensiones reales para el caso en estudio:

Diámetro Nominal Cubierta IPS <sup>a</sup>	Identificación		Dimensiones			Pesos		Superficies		Secciones Transversales		Momento Inercia	Módulo Resistente	Radio Giro	Presión Prueba A	Presión Prueba B
	IPS <sup>b</sup>	Número Schedule	Diámetros		Espesor	Cubierta <sup>c</sup> kg/m	Agua en la Cañería <sup>c</sup> kg/m	Exterior <sup>c</sup> m <sup>2</sup> /m	Interior <sup>c</sup> m <sup>2</sup> /m	Fluido <sup>d</sup> cm <sup>2</sup>	Metal <sup>d</sup> cm <sup>2</sup>	m <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
			Exterior	Interior												
1/8	STD	40	10.3	6.84	1.73	0.37	0.037	0.0324	0.0215	0.367	0.466	0.045	0.0864	0.309	49.3	49.3
	XS	80	10.3	5.48	2.41	0.47	0.024	0.0324	0.0172	0.236	0.597	0.051	0.0987	0.292	59.9	59.9
1/4	STD	40	13.7	9.22	2.24	0.63	0.067	0.0430	0.0290	0.668	0.806	0.137	0.2007	0.413	49.3	49.3
	XS	80	13.7	7.66	3.02	0.8	0.046	0.0430	0.0241	0.461	1.013	0.156	0.2278	0.392	59.9	59.9
3/8	STD	40	17.1	12.48	2.31	0.84	0.122	0.0537	0.0392	1.223	1.073	0.301	0.3516	0.529	49.3	49.3
	XS	80	17.1	10.7	3.2	1.1	0.090	0.0537	0.0336	0.899	1.397	0.355	0.4156	0.504	59.9	59.9
1/2	STD	40	21.3	15.76	2.77	1.27	0.195	0.0669	0.0495	1.951	1.613	0.708	0.6644	0.662	49.3	49.3
	XS	80	21.3	13.84	3.73	1.62	0.150	0.0669	0.0435	1.504	2.059	0.830	0.7796	0.635	59.9	59.9
	XXS	160	21.3	11.74	4.78	1.95	0.108	0.669	0.0369	1.082	2.481	0.917	0.8612	0.608	63.4	63.4
		21.3	6.36	7.47	2.55	0.032	0.669	0.0200	0.318	3.246	1.002	0.9412	0.556	70.4	70.4	
3/4	STD	40	26.7	20.96	2.87	1.69	0.345	0.0839	0.0658	3.450	2.149	1.547	1.16	0.849	49.3	49.3
	XS	80	26.7	18.88	3.91	2.2	0.280	0.0839	0.0593	2.800	2.799	1.871	1.40	0.818	59.9	59.9
	XXS	160	26.7	15.58	5.56	2.9	0.191	0.0839	0.0489	1.906	3.693	2.205	1.65	0.773	66.9	66.9
		26.7	11.06	7.82	3.64	0.096	0.0839	0.347	0.961	4.638	2.421	1.81	0.723	70.4	70.4	
1	STD	40	33.4	26.64	3.38	2.5	0.557	0.1049	0.0837	5.574	3.188	3.636	2.18	1.068	49.3	49.3
	XS	80	33.4	24.3	4.55	3.24	0.464	0.1094	0.0763	4.638	4.124	4.397	2.63	1.033	59.9	59.9
	XXS	160	33.4	20.7	6.35	4.24	0.337	0.1094	0.0650	3.365	5.396	5.208	3.12	0.982	66.9	66.9
		33.4	15.22	9.09	5.45	0.182	0.1094	0.0478	1.819	6.942	5.845	3.50	0.918	70.4	70.4	
1 1/4	STD	40	42.2	35.08	3.56	3.39	0.967	0.1326	0.1102	9.665	4.322	8.134	3.85	1.372	84.5	91.5
	XS	80	42.2	32.5	4.85	4.47	0.830	0.1326	0.1021	8.296	5.691	10.09	4.78	1.332	126.8	133.8
	XXS	160	42.2	29.5	6.35	5.61	0.683	0.1326	0.0927	6.835	7.152	11.85	5.62	1.287	133.8	140.8
		42.2	22.8	9.7	7.77	0.408	0.1326	0.0716	4.083	9.904	14.24	6.75	1.199	154.9	162.0	
1 1/2	STD	40	48.3	40.94	3.68	4.05	1.316	0.1517	0.1289	13.164	5.159	12.93	5.35	1.583	84.5	91.5
	XS	80	48.3	38.14	5.08	5.41	1.142	0.1517	0.1198	11.425	6.898	16.33	6.76	1.539	126.8	133.8
	XXS	160	48.3	34.02	7.14	7.25	0.909	0.1517	0.1069	9.090	9.233	20.14	8.34	1.477	137.3	144.4
		48.3	27.98	10.16	9.56	0.615	0.1517	0.0879	6.149	12.174	23.71	9.82	1.395	154.9	162.0	
2	STD	40	60.3	52.48	3.91	5.44	2.163	0.1894	0.1649	21.63	6.927	27.66	9.18	1.998	162.0	176.1
	XS	80	60.3	49.22	5.54	7.48	1.903	0.1894	0.1546	19.03	9.531	36.09	12.0	1.946	176.1	176.1
	XXS	160	60.3	42.82	8.74	11.11	1.440	0.1894	0.1345	14.40	14.16	48.40	16.1	1.849	176.1	176.1
		60.3	38.16	11.07	13.44	1.144	0.1894	0.1199	11.44	17.12	54.49	18.1	1.784	176.1	176.1	
2 1/2	STD	40	73	62.68	5.16	8.63	3.086	0.2293	0.1960	30.86	11.00	63.63	17.4	2.405	176.1	176.1
	XS	80	73	58.98	7.01	11.41	2.732	0.2293	0.1853	27.32	14.53	80.00	21.9	2.346	176.1	176.1
	XXS	160	73	53.96	9.52	14.9	2.287	0.2293	0.1695	22.87	18.99	97.78	26.8	2.269	176.1	176.1
		73	44.96	14.02	20.39	1.588	0.2293	0.1412	15.88	25.98	119.3	32.7	2.143	176.1	176.1	

Tabla: tubos ASTM A53.

Fuente: cátedra de operaciones unitarias / 2019 UTN frlp.

Características		Valor	Unidad
Material		Acero al carbono	
Diámetro Nominal		2 1/2	
Dimensiones	Diámetro Externo	73	mm
	Diámetro Interno	62,68	mm
Espesor Schedule 40		5,16	mm
Peso del tubo		8,63	Kg/m
Presión Prueba ASTM A53 Grado A		176,1	kg/cm2

Tabla: tubo seleccionado para el proceso.  
Fuente: elaboración propia.

Deberá recalcularse la velocidad con el nuevo diámetro para asegurarse de que se encuentre en los parámetros recomendados:

$$V_{op} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot Di^2}$$

$$V_{op} = \frac{4 * 0,09 \frac{ft^3}{s}}{\pi * (0,205 ft)^2}$$

Por lo que la nueva velocidad operativa es:

$$V_{op} = 2,72 ft/s = 0,829 m/s$$

Para retomar el cálculo de la pérdida de carga, es necesario determinar el tipo de flujo del sistema y para ello se calculará el número de Reynolds:

$$Re = \frac{Di \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

$$d_i = 62,68 \text{ mm} = 0,0623 \text{ m}$$

$$v = 2,72 \text{ ft/s} = 0,83 \text{ m/s}$$

$$\rho = 859,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,000508 \text{ Pa/s}$$

$$Re = \frac{0,0623 \text{ m} * 0,83 \frac{m}{s} * 859,4 \text{ kg/m}^3}{0,000508 \frac{Kg}{m \cdot s}}$$

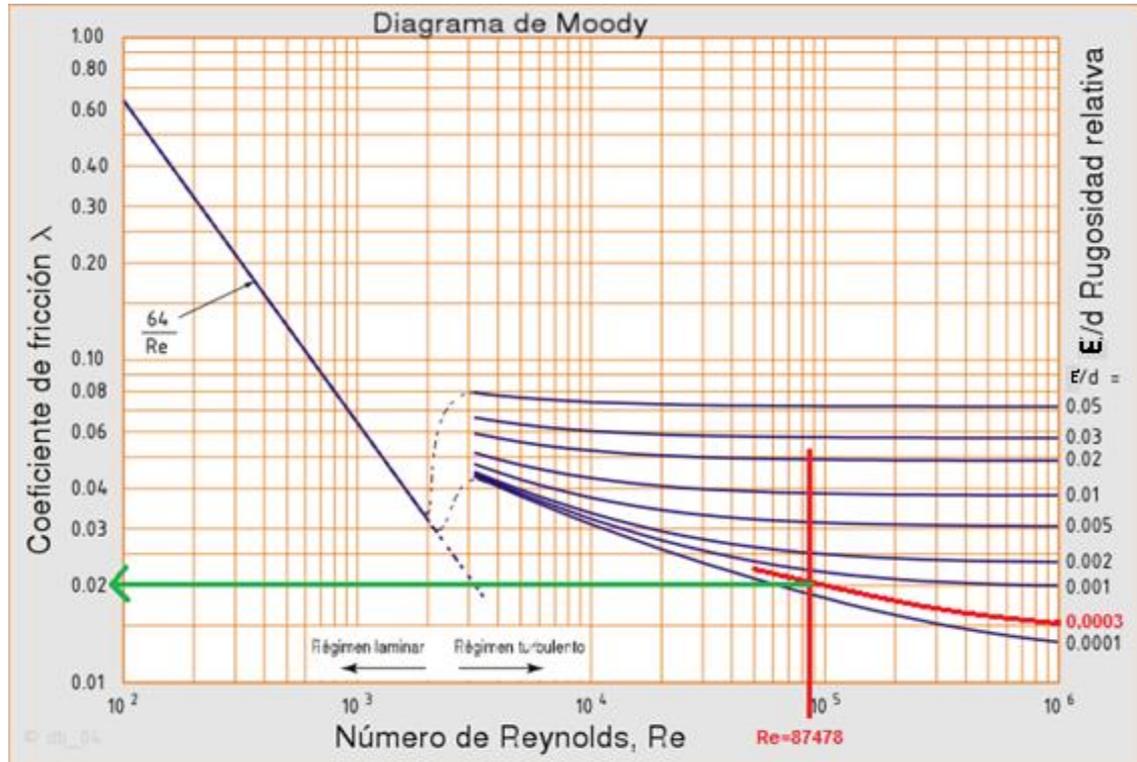
$$Re = 87478$$

Al ser un fluido altamente turbulento se debe calcular el factor de fricción con el diagrama de Moody, que expresa la relación entre “λ”, el número de Reynolds y un parámetro conocido como rugosidad relativa de la conducción, que se representa como ε/Di, siendo

$\epsilon$  conocido como la rugosidad absoluta y que se encuentra tabulado para distintos materiales.

La tubería seleccionada tiene una rugosidad absoluta  $\epsilon = 0.018 \text{ mm}$  o  $0.000018\text{m}$ .

$\epsilon/D_i = 0.0003$



Coeficiente de fricción.

Fuente: [www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)

Por lo que el coeficiente de fricción tomará el siguiente valor:

$$\lambda = 0.02$$

Se procede al cálculo de las pérdidas de carga mediante la ecuación de Fanning:

$$P_c = \left( \frac{4 \cdot \lambda \cdot L}{D_i} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

$P_c$ : es la pérdida de carga en metros de columna de agua (m.c.a).

$\lambda$ : coeficiente de fricción (adimensional).

$L$ : es la longitud de la tubería total (m).

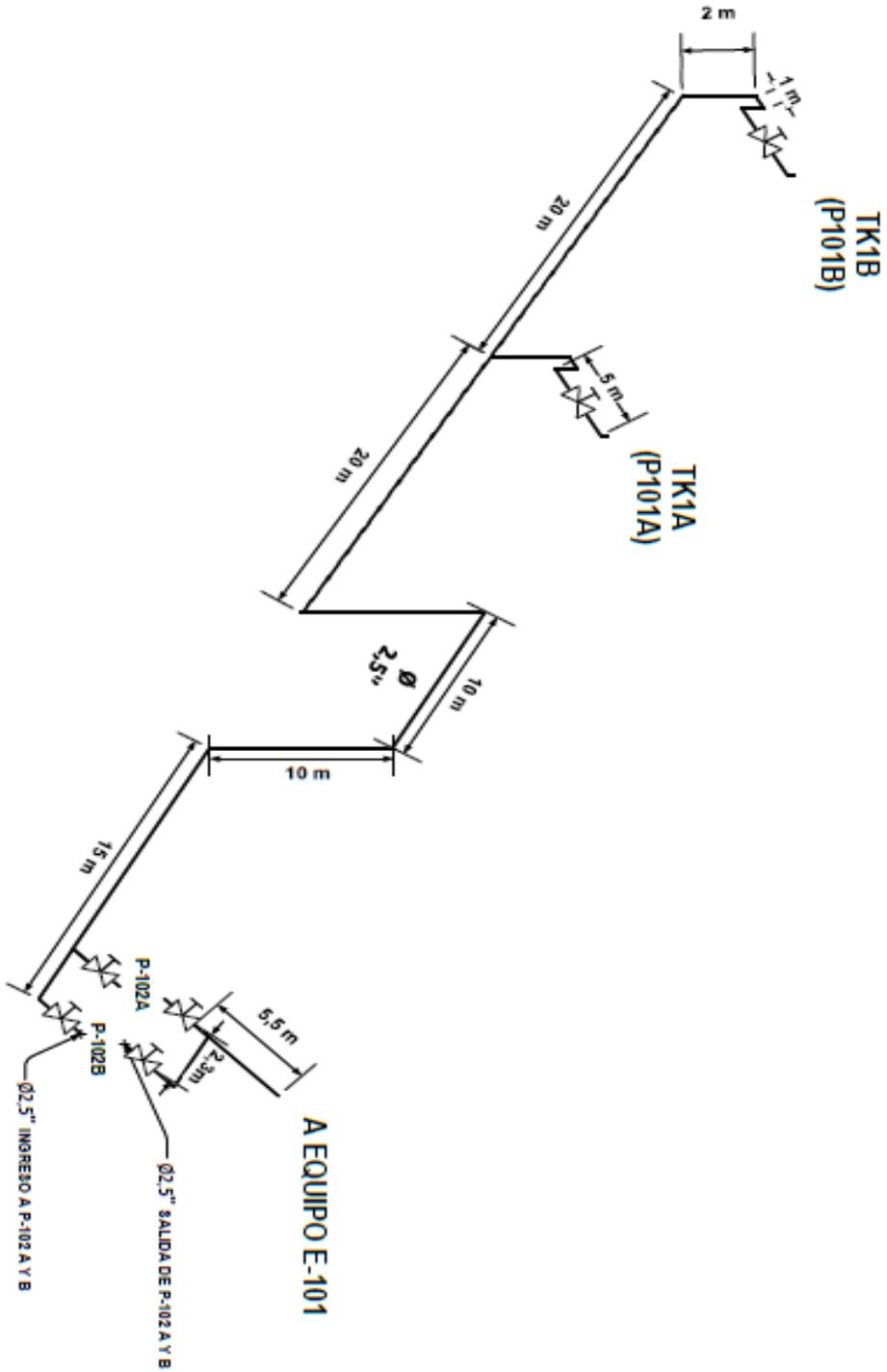
$D_i$ : es el diámetro interior de la tubería (m).

$v$ : es la velocidad del fluido (m/s).

$g$ : es la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

La longitud de los tramos rectos se calculó a partir del plano isométrico arrojando un valor de  $L=102,8m$ .

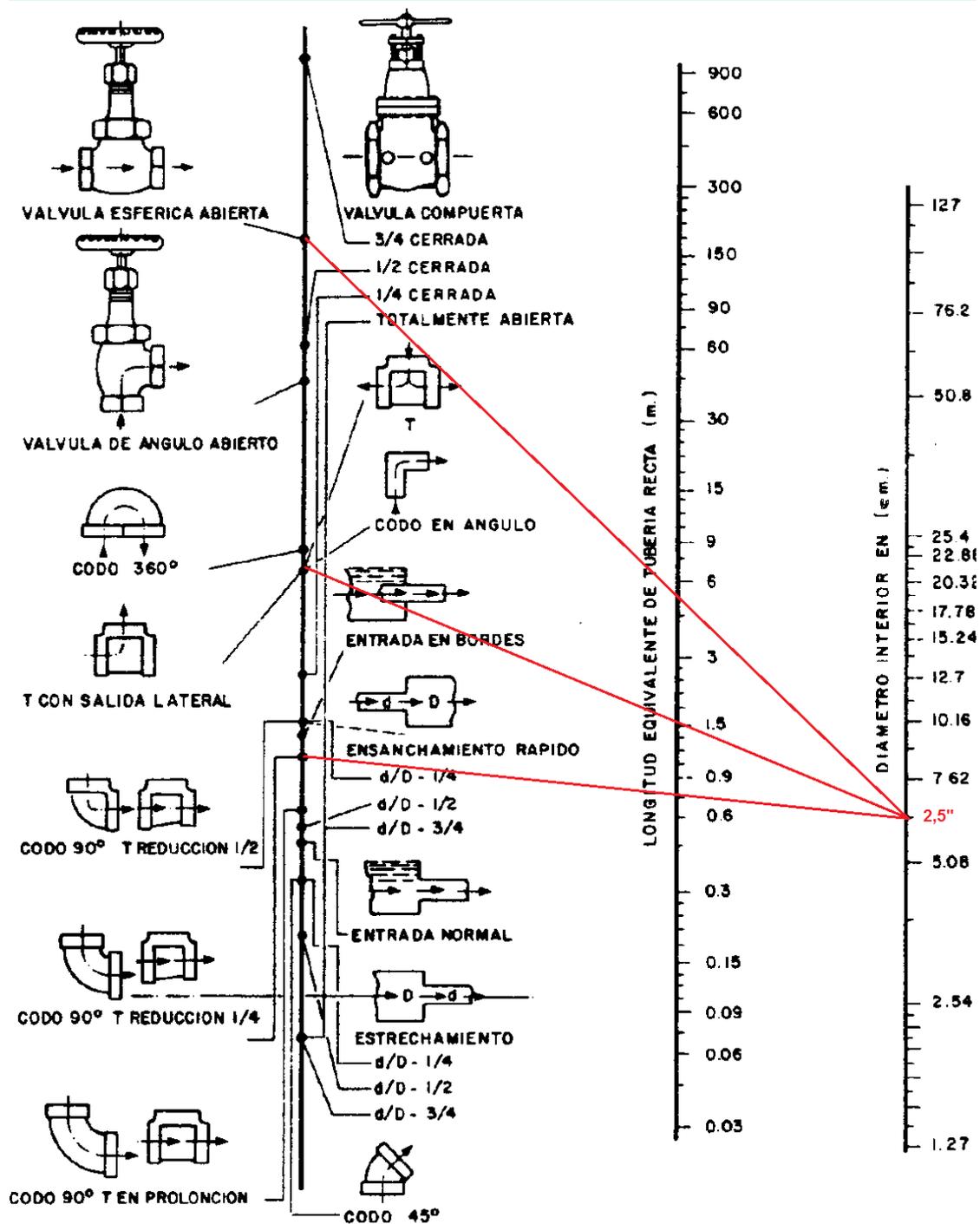
A continuación, se presenta el plano isométrico de la bomba P-102, donde se diagraman la tubería.



		<b>Proyecto: Producción de Ciclohexano</b>	
Carrera:	Ing. Química	Alumnos:	De Luca, Leonel Fogolini, Ana Guido, Víctor Soler, Valentina
Cátedra:	Integración V	Profesor:	Vrcic, Juan
		Ayudante:	Nieto, Paola
		Ayudante:	Rueda, Hernán
		Diagrama	C-101/P180
		Nº Dibujo	2
		HOLA:	1 de 1

Otros elementos que forman parte de la línea de proceso y que provocan elevadas caídas de presión son los codos a 90°, los tubos en T y las válvulas.

Para ello se utilizará un gráfico, el cual permite transformar estas pérdidas de carga en longitud de tubo equivalente, la cual se le sumará a la longitud de tubos para así calcular la pérdida de carga total.



Longitud equivalente por pérdidas de carga.  
Fuente: Wikipedia.

Como se observa en la figura, para un tubo de diámetro de 2,5", los valores de longitudes equivalentes del sistema son:

- 3 válvulas esféricas:  $3 \times 5\text{m} = 15\text{ m}$ .
- 10 codos a  $90^\circ$ :  $10 \times 0,8\text{m} = 8\text{ m}$ .
- 2 tubos T:  $2 \times 1,5\text{m} = 3\text{ m}$ .

Por lo que la longitud de tramos rectos más la longitud equivalente de los accesorios será de:

$$\text{Long. total} = 128,8\text{m}$$

Retomando la pérdida de carga:

$$P_c = \left( \frac{4 \cdot \lambda \cdot L}{D_i} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$P_c = \left( \frac{4 \cdot 0,02 \cdot 128,8\text{m}}{0,0623\text{m}} \right) * \frac{\left( \frac{0,829\text{m}}{s} \right)^2}{2 * 9,81\text{m/s}^2}$$

$$P_c = 5,8\text{m}$$

Retomando el cálculo de la carga total de la bomba:

$$H_b = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + P_c$$

$$H_b = \frac{383000\text{Kg/m}^2 - 165000\text{Kg/m}^2}{859,4\text{Kg/m}^3} + 5,8\text{m}$$

$$H_b = 259,4$$

Selección de la bomba:

Ya determinado que se tratará de una bomba centrífuga, se elige por medio de gráficos conociendo el caudal de operación y la altura de bombeo o carga total:

- Altura de bombeo: 259,4 m.
- Caudal de operación:  $9,08\text{ m}^3/\text{h}$ .

## Performance Curve Model 3316

3560 R.P.M. Except as noted.

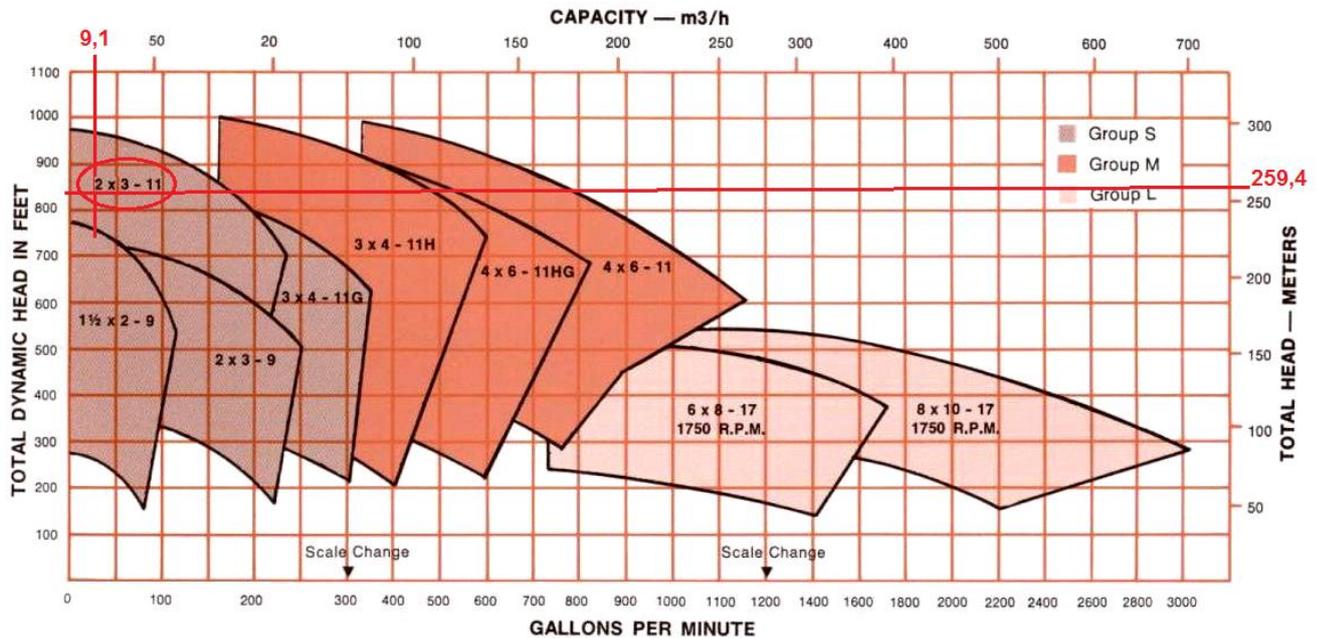


Gráfico de elección de la bomba.  
Fuente: <https://www.gouldspumps.com>

Se observa que los parámetros de selección se encuentran en la zona de la bomba centrífuga GP S 3316 2x3-11, por lo cual será la seleccionada.

### Datos de la bomba:

- Presión de trabajo Max 3922Kpa = 40Kg/cm<sup>2</sup>.
- Soporta temperaturas de hasta 177°C, temperatura operativa 40,6°C.
- Altura máxima de 305m. Altura desarrollada 259,4 m.
- caudal máximo de 250 m<sup>3</sup>/h. Caudal operativo 9,08 m<sup>3</sup>/h.
- 3560 rpm.
- Tamaño (ancho x alto x largo) 0,584 x 0,635 x 1,384 m.
- $\eta$  = eficiencia de la bomba=80%, datos del fabricante.

### Cálculo de la potencia útil requerida:

$$W_b = \rho * q * H_b$$

Con q: caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s):

$$q=9,08 \text{ m}^3/\text{h}=0,0025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W_b = 859,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 259,4 \text{ m}$$

$$W_b = 557,32 \frac{Kgm}{s} = 5465,4W = 7,33hp$$

Potencia al freno:

Es la potencia suministrada al eje de la bomba.

$$BHP = \frac{W_b}{\eta}$$

Donde:

Wb: es la potencia útil.

$\eta$  = eficiencia de la bomba.

$$BHP = \frac{7,33 \text{ hp}}{0,8}$$

$$BHP = 9,16 \text{ hp}$$

Parámetro ANPA:

Para que una bomba opere satisfactoriamente es necesario que el líquido no vaporice dentro de la bomba o en la línea de succión, ya que provocaría un desgaste prematuro del impulsor, fenómeno conocido como cavitación.

El parámetro que permite determinar si la cavitación se producirá o no, es la altura neta positiva de aspiración (ANPA), la cual se define como la presión por encima de la presión de vapor un líquido medida en el punto de succión.

De manera práctica se definen dos valores de ANPA, la requerida y la disponible:

- *ANPA REQUERIDO*, es una característica de la bomba y por tanto un dato proporcionado por el proveedor, que en este caso es de 60m.
- *ANPA DISPONIBLE*, es una característica del sistema.

Para evitar la cavitación se debe cumplir que:

ANPA DISPONIBLE  $\geq$  ANPA REQUERIDO

El cálculo del ANPA DISPONIBLE, se realiza en la brida de aspiración por ser el ojo del impulsor el punto de menor presión en la bomba:

$$\text{ANPA} = \frac{P_a - P_v}{\rho} + Z_a + \frac{V_a^2}{2 \times g}$$

Se desprecia la diferencia de altura entre las bridas de aspiración y succión, por lo tanto el cálculo del ANPA DISPONIBLE se reduce a:

$$\text{ANPA} = \frac{P_a - P_v}{\rho} + \frac{V_a^2}{2 \times g}$$

Donde:

$P_a$  = presión en la brida de aspiración.

$P_v$  = presión de vapor del benceno.

La presión en la brida de aspiración será la de descarga de la bomba P-101, menos las pérdidas de carga de las tuberías, es decir:

$$P_a = P_1 - P_c = 12 \text{ Kg/cm}^2$$

Cálculo de la presión de vapor de benceno mediante la ecuación de Antoine:

$$\text{Log}_{10} P_v = A - \frac{B}{T+C} \quad (P_v \text{ en mm Hg, } T \text{ en } ^\circ\text{C})$$

El valor de las constantes del benceno para el rango de temperaturas de 14,5 °C a 80,9°C son los siguientes:

A=6,89272.

B=1203,531.

C=219,888.

Para el valor de la temperatura se considerará un valor de 45°C (un 20 % mayor que la temperatura máxima promedio en verano):

$$\text{Log}_{10} P_v = 6,89272 - 4,5436$$

$$P_v = 223,357 \text{ mm Hg} \times \frac{1,35 \cdot 10^{-3}}{1 \text{ mmHg}} \times \frac{1 \text{ cm}^2}{1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$P_v = 3036,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Por lo tanto:

$$\text{ANPA DISPONIBLE} = \frac{120.000 \text{ Kg/m}^2 - 3036,5 \text{ Kg/m}^2}{859,4 \text{ Kg/m}^3} + \frac{(0,829 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$\text{ANPA DISPONIBLE} = 136,1 \text{ m}$$

El valor del ANPA requerido otorgado por el proveedor es de 60m.

Por lo tanto, como se cumple:

$$\text{ANPA DISPONIBLE} \geq \text{ANPA REQUERIDO}$$

La bomba no cavita y cumple con las exigencias requeridas.

Hoja de especificación de bomba P-102:

UTN FRLP		HOJA DE DATOS		INTEGRACION V	
DENOMINACION: BOMBA CENTRIFUGA DOBLE ETAPA			FECHA: 25/08/2021		
UNIDAD: P-102 (A y B)			REVISION: 1		
SERVICIO: ALIMENTACIÓN DE BENCENO A LA UNIDAD DE PROCESO			LOCACION: Unidad 100 - CICLOHEXANO		
ESPECIFICACIONES					
CAUDAL	m <sup>3</sup> /h	9,1			
POTENCIA REQUERIDA	HP	9,2			
ALTURA DE DISEÑO	m	260			
ANPA DISPONIBLE	m	136			
DATOS DE DISEÑO					
FLUIDO	-	BENCENO			
TEMPERATURA	°C	40,6			
VISCOSIDAD	Pa.s	5,08E-04			
TENSIÓN SUPERFICIAL	Dina/cm	26,20			
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	859,4			
CP	kcal/Kg-C	0,4			
DATOS CONSTRUCTIVOS					
MODELO/PROVEEDOR		GP S 3316 2x3-11			
POTENCIA DEL MOTOR	HP	15			
DIAMETRO DE ENTRADA	pulg	2,5			
DIAMETRO DE SALIDA	pulg	2,5			
TIPO DE IMPULSOR		CETRIFUGO CERRADO			
CAUDAL MAXIMO	m <sup>3</sup> /h	250			
ALTURA MAXIMA	m	305			
TIPO DE CONEXIÓN		BRIDA ANSI			
TEMPERATURA MAX	°C	177			
MATERIALES DE CONSTRUCCION		Cuerpo: fundición de hierro.	Eje de acople: SAE 4340	Rotores: Bronce	
FRECUENCIA	Hz	50			
VELOCIDAD	rpm	3560			
ANPA REQUERIDO	m	60			
EFICIENCIA	%	80			

*Hoja de especificación bomba P-101.  
Revisado por Ing. Juan Vrcic.*

#### 6.4.4. Tanque de almacenamiento de Benceno:

Los tanques TK101 A y B servirán como tanques de almacenamiento para el insumo principal de la planta.

Los materiales recomendados para contener este producto químico se detallan en la siguiente ilustración:

Metálico

C: Cobre  
 A: Aluminio      S: Acero al Carbono  
 M: Monel        SS4: Acero Inoxidable 304  
 N: Niquel       SS6: Acero Inoxidable 316

● Recomendado  
 ▲ Regular  
 ■ No Recomendado

SERVICIO	C	A	M	N	S	SS4	SS6
Aceite de maíz	-	●	●	-	●	●	●
Aceites Lubricantes	●	●	●	-	●	●	-
Aceites Minerales	●	●	●	-	●	●	●
Acetato de Amilo	▲	▲	●	-	-	●	●
Acetato de Butilo	●	●	-	-	-	●	●
Acetato de Etilo	●	▲	●	-	●	●	●
Acetileno	-	●	●	-	●	●	●
Acetona	●	●	●	●	●	●	●
Ácido acético (puro)	▲	●	●	▲	■	▲	▲
Ácido bórico	▲	●	●	●	■	●	●
Ácido bromhídrico	-	■	-	-	■	-	-

SERVICIO	C	A	M	N	S	SS4	SS6
Alúmina	▲	-	▲	-	■	▲	▲
Amoníaco	-	●	●	-	●	●	●
Anhidrido acético	■	●	●	-	-	▲	▲
Anilina	■	■	●	-	●	●	●
Asfalto	●	-	●	-	●	●	-
Benceno	●	●	●	-	●	●	●
Bencina	●	●	●	-	●	●	●
Bicarbonato de sodio	-	■	●	●	-	●	●
Bisulfuro cíclico	■	-	■	-	■	●	●
Bisulfuro de carbono	■	●	●	-	●	●	●
Bórax	▲	▲	●	●	●	●	●

Tabla: Materiales para contener productos químicos.

Fuente: [https://calvosealing.com/wp-content/uploads/docES\\_quia\\_de\\_resistencia\\_quimica.pdf](https://calvosealing.com/wp-content/uploads/docES_quia_de_resistencia_quimica.pdf).

En el caso de estudio de este proyecto, se seleccionará el acero inoxidable AISI 304, y el diseño de los tanques se realizará bajo la norma API 650 de montaje y construcción de tanques soldados de acero.

Este proyecto define una capacidad de almacenamiento de 5 días para el benceno (materia prima) y de 13 días para el ciclohexano (producto terminado). Para este caso se procederá con el del benceno.

El volumen de esta materia prima se fraccionará en 2 tanques con el fin de utilizarlos alternados, así mientras uno se carga con material fresco, el otro alimenta a la línea de producción. Por otro lado, se asegura que habrá un tanque disponible para que el otro pueda ser puesto fuera de línea por mantenimiento y/o limpieza.

Para comenzar con el diseño se debe conocer la cantidad de benceno a almacenar:

$$V_{benceno} = \frac{Q_{benceno}}{\rho_{benceno}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * 5 \text{ días}$$

$$V_{benceno} = \frac{7800 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{876 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * 5 \text{ días} = 1068,5 \text{ m}^3$$

Se aplica un 20% extra de volumen a los tanques por margen de seguridad:

$$V_{total} = V_{benceno} * 1,2 = 1068,5 \text{ m}^3 * 1,2 \cong 1282 \text{ m}^3$$

Como el volumen total de benceno será repartido en dos tanques de igual dimensiones, debemos dividir el volumen total por 2:

$$V_{tk} = \frac{V_{total}}{2} = \frac{1282 \text{ m}^3}{2} \cong 640 \text{ m}^3$$

La norma API 650 no especifica una relación de altura y diámetro de los tanques, pero si establece que una relación  $D/H < 1,33$  genera tanques inestables que requieren anclajes, lo que aumenta el costo de montaje y fabricación, por esta razón se opta por una relación  $D/H = 1,5$ .

Seguidamente se calcula el diámetro y la altura del tanque (se hace el cálculo para uno ya que el otro será idéntico):

$$D = \sqrt[3]{\frac{(D/H) * 4 * V_{tk}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,5 * 4 * 640 \text{ m}^3}{\pi}} \cong 10,7 \text{ m}$$

$$H_{tk} = \frac{D}{1,5} = \frac{10,7 \text{ m}}{1,5} \cong 7,15 \text{ m}$$

Para finalizar el cálculo del volumen, se utilizan los datos obtenidos de diámetro y altura:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * D^2 * H_{tk}}{4} = \frac{\pi * (10,7m)^2 * 7,15m}{4} \cong 643 m^3$$

La envolvente o cuerpo cilíndrico del tanque se forma mediante soldaduras de láminas de acero. Las dimensiones estándares de estas son 1,5m. x 6 m., lo que resulta en una altura máxima de virola de 1,5 m.

El siguiente paso entonces, es calcular el número de virolas que serán necesarias para alcanzar la altura del tanque establecida:

$$H_{tk} = N_{virolas} * M_v$$

$$M_v = anchodechapa - 2 * escuadrado + soldadura$$

$$M_v = 15000mm - 2 * 10mm + 3mm = 1483 mm$$

$$N_{virolas} = \frac{H_{tk}}{M_v} = \frac{7150mm}{1483mm} = 4,82 = 5 virolas$$

Según norma, se debe restar 10 mm de cada lado del ancho de la lámina debido al corte que se realiza por escuadre. El número de virolas debe ser un número entero, por este motivo se utilizarán 5 niveles.

El siguiente paso es calcular el número de chapas necesario para generar la circunferencia:

$$N_{chapsxvirola} = \frac{\pi * D}{M_c}$$

$$M_c = Long_{chapa} - 2 * escuadrado + soldadura$$

$$M_c = 6000mm - 2 * 10mm + 3mm = 5983 mm$$

$$N_{chapsxvirola} = \frac{\pi * 10700mm}{5983mm} = 5,61 = 6 chapas por virola$$

La última etapa es calcular la cantidad de chapas necesarias para todo el cuerpo cilíndrico del tanque:

$$N_{chapas\ total} = N_{chapsxvirola} * N_{virolas} = 6 * 5 = 30 \text{ chapas}$$

Se calcula la tensión admisible del acero:

$$S_{adm} = 0,7 * S_f = 0,7 * 2192,4 \frac{kg}{cm^2} = 1534,7 \frac{kg}{cm^2}$$

Según la Norma IRAM 503, si  $S_{adm}$  es mayor a  $1476 \text{ kg/cm}^2$ ; se debe utilizar el valor de referencia para los cálculos siguientes de espesores.

Para el cálculo de los espesores se utiliza el método del pie. Según norma, para un determinado diámetro de tanque se debe utilizar una chapa de espesor mínimo requerido, por este motivo se comienzan a realizar los cálculos de espesores de cada virola desde abajo (es la que mayor presión debe soportar) y se van calculando hasta alcanzar el primer exceso del espesor mínimo requerido. Desde este nivel en adelante se utilizarán chapas con el espesor mínimo permitido según API 650.

Diámetro nominal del tanque (Ver nota 1)		Espesor nominal de lámina (Ver nota2)	
(m)	(ft)	(mm)	(in)
< 15	< 50	5	3/16
15 hasta < 36	50 hasta < 120	6	1/4
36 hasta 60	120 hasta 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

Notas:

1. A menos que se especifique otra cosa por el comprador, el diámetro nominal del tanque deberá ser el diámetro de la línea media de las láminas del anillo inferior del cuerpo.
2. El espesor nominal de la lámina se refiere al cuerpo del tanque como es construido. Los espesores especificados están basados en los requerimientos de montaje.
3. Cuando sea especificado por el comprador, lámina con un espesor nominal mínimo de 6 mm puede substituir lámina de ¼ de pulgada.

*Ilustración: Norma API 650.*

*Fuente: Fragmento Norma API 650.*

A continuación, se calcula el espesor del acero a utilizar en la 7° virola del tanque:

$$t_d = \frac{\rho_{benceno} * (H_{tk} - 30) * D}{2 * S_{adm} * E} + c$$

Donde:

$\rho_{benceno}$ : densidad del benceno.

$H_{tk}$ : altura del tanque.

$S$ : tensión admisible del material.

$E$ : eficiencia de soldadura (0,85 debido a que el control de las soldaduras se realiza por radiografiado por puntos debido a su gran tamaño).

$C$ : espesor por corrosión (3 mm).

$$t_{d5} = \frac{0,876 \frac{g}{cm^3} * (715 - 30)cm * 1070cm}{2 * 1476 \frac{kg}{cm^2} * 0,85} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{10mm}{1cm} + 3mm = 5,56mm$$

El espesor requerido es de 5,56 mm, la medida estándar más cercana es de ¼ pulgada, por lo tanto, en esta virola se utilizará esta medida.

Para el cálculo del espesor de la siguiente virola, se debe restar el  $M_v$  (ancho útil de chapa) a la  $H_{tk}$ :

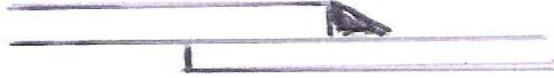
$$t_{d4} = \frac{0,876 \frac{g}{cm^3} * (715 - 30 - 148,3)cm * 1070cm}{2 * 1476 \frac{kg}{cm^2} * 0,85} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{10mm}{1cm} + 3mm = 4,83 mm$$

El espesor de diseño de chapa de la sexta virola nos da 4,83 mm, este espesor es menor al mínimo permitido por la Norma Api 650; por lo tanto, para las virolas 4, 3, 2 y 1 se deben utilizar chapas de 5 mm de espesor.

El fondo de los tanques es plano y estos se colocan sobre una base de hormigón perimetral. El terreno debe ser previamente asentado y su tensión admisible no será menor a 1465 kg/m<sup>2</sup>. El material que lo constituye también será acero inoxidable AISI 304 de 6,35 mm de espesor (la norma API 650 recomienda utilizar el mismo acero que el cuerpo para facilitar la soldadura). El diámetro del fondo será dos pulgadas mayor que

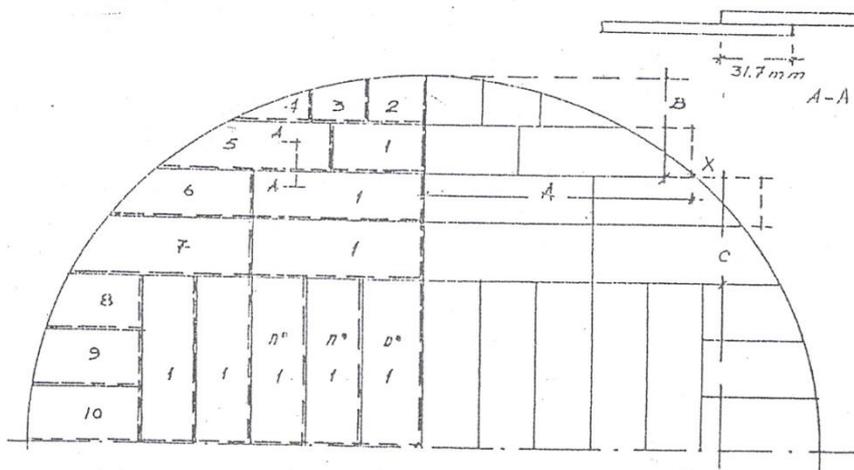
el diámetro exterior del tanque. Para facilitar el drenaje, el fondo debe tener una pendiente de 1% hacia las paredes.

Generalmente se utiliza soldadura a solapa para la unión de las láminas:



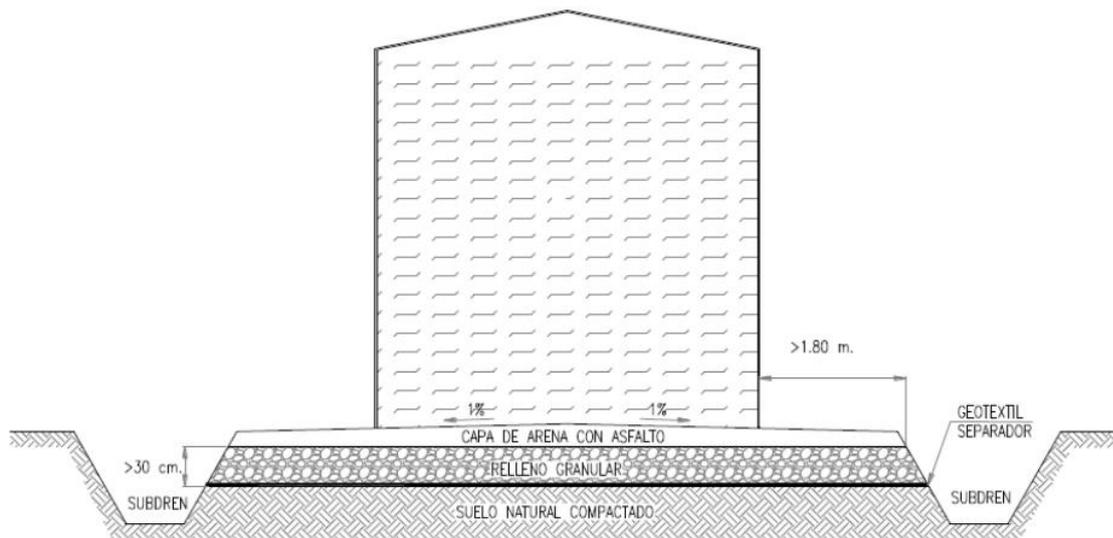
*Ilustración: Soldadura a Solapa, el traslape será de 32mm y son soldadas con un filete continuo a lo largo de toda la unión.*

*Fuente: Fragmento diapositivas de Ingeniería de las Instalaciones, UTN BA.*



*Ilustración: Distribución típica de las láminas del fondo de un tanque de almacenamiento.*

*Fuente: Fragmento diapositivas de Ingeniería de las Instalaciones, UTN BA.*



*Ilustración: Corte vertical de tanque de almacenamiento donde se puede apreciar los sustratos que comprende el fondo.*

*Fuente: Fragmento diapositivas de Ingeniería de las Instalaciones, UTN BA.*

El techo, según Norma API 650, puede contener como mínimo un espesor de 3/16 pulgada. Como en este caso el diámetro es mayor a 6 m, el techo deberá estar sostenido por una columna central. El ángulo mínimo es de 4°, pero para zonas geográficas donde puede nevar el ángulo de inclinación debe ser de 8° (la planta está ubicada en el partido de Ensenada donde se ha registrado una nevada en el año 2007) por lo tanto, se utilizará esta medida angular por prevención.

Es importante saber si se debe armar un polígono como viga; este punto se define con la siguiente ecuación:

$$N_{poligono} = \left(\frac{D}{2} * \frac{1}{10}\right) - 1 = \left(\frac{10,7}{2} * \frac{1}{10}\right) - 1 = -0,465$$

Como el resultado es negativo, no se tendrán que armar polígonos de vigas circunferenciales.

La norma específica que el espaciado máximo entre las columnas radiales es de 2 m, pero se debe averiguar si esta distancia no es menor:

$$L = t_{techo} * \sqrt{\frac{2 * S_f}{P}}$$

Donde:

$T_{techo}$ : espesor de la chapa, por Norma API 650 el mínimo es de 3/16 pulgada.

$S_f$ : carga máxima admisible de tensión por fluencia, pero se utiliza la  $S_{adm}$ .

$P$ : carga por unidad de área.

$$P = W + S_1 = (37,37 + 80) \frac{kg}{m^2} = 117,37 \frac{kg}{m^2} * \frac{1m^2}{100^2 cm^2} = 0,0117 \frac{kg}{cm^2}$$

$W$ : peso de la chapa.

$S_1$ : sobrecarga, se toma 80 kg/m<sup>2</sup>.

$$l = 0,5cm * \sqrt{\frac{2 * 1476 \frac{kg}{cm^2}}{0,0117 \frac{kg}{cm^2}}} = 251 cm = 2,5 m$$

Como se puede observar en la fórmula anterior, la distancia calculada es mayor al máximo permitido por la Norma API 650 por ende, la distancia entre las columnas

radiales será de 2 m. Teniendo en cuenta este último valor, se puede conocer el número mínimo de vigas radiales del techo:

$$N_{vigasrad} = \frac{\pi * D}{l} = \frac{\pi * 10,7m}{2m} = 16,8 \Rightarrow 17 \text{ vigas radiales}$$

Por último, se averigua qué tipo de viga se utiliza para la estructura del techo, por lo tanto se comienza a comparar los momentos flectores máximos:

$$M_{f\acute{m}ax} = 0,1235 * Q * L_v$$

Donde:

Q: Peso que soporta la viga.

L<sub>v</sub>: longitud de la viga, como el techo no cuenta con polígonos radiales en su estructura, este valor es el radio del techo.

$$Q = P * A$$

$$A = \frac{L_v * l}{2} = \frac{535cm * 200cm}{2} = 53500 \text{ cm}^2$$

$$Q = P * A = 0,0117 \frac{kg}{cm^2} * 53500cm^2 = 625,95 \text{ kg}$$

$$M_{f\acute{m}ax} = 0,1235 * 625,95kg * 535cm = 41358,08 \text{ kg} * cm$$

El módulo de resistencia de la viga se calcula con la siguiente fórmula:

$$W_x = \frac{M_{f\acute{m}ax}}{S_{adm}} = \frac{41358,08kg * cm}{1600 \text{ kg/cm}^2} = 25,89 \text{ cm}^3$$

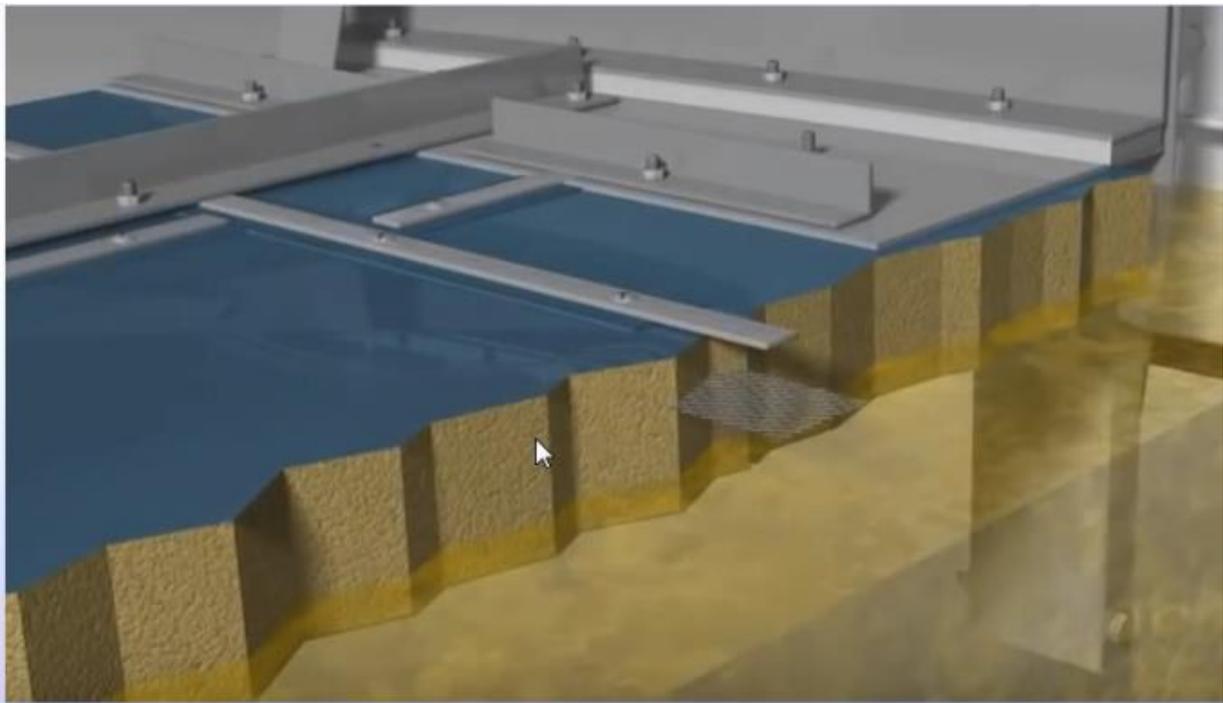
S<sub>adm</sub>: generalmente se utiliza S<sub>t</sub> 37 como material de la viga que son perfiles laminados de acero tipo I (perfil normal).

Con el valor obtenido de W<sub>s</sub> se debe seleccionar el perfil que tenga el próximo valor mayor a este. Para el caso en estudio se seleccionará un perfil I "PIN 10".

El tanque de almacenamiento de benceno cuenta con un techo flotante. Esto se debe a que el benceno es un producto volátil. Su función principal es impedir el ingreso de aire, y que se forme una cámara de volátiles y aire debido al salto térmico entre el día y la noche. Estos techos se fabrican también con planchas de acero, pero para que puedan flotar sobre el espejo del líquido se fabrican sobre pontones, o sobre una espuma de polímero inerte. Entre estos dos la diferencia principal es que en los techos con pontones aún queda una cámara mínima, pero con la espuma esta se elimina completamente.



*Ilustración: Ilustración de un techo flotante con pontones.  
Fuente: Ingeniería de las instalaciones, UTN BA.*



*Ilustración: Ilustración de un techo flotante con espuma.  
Fuente: Ingeniería de las instalaciones, UTN BA.*

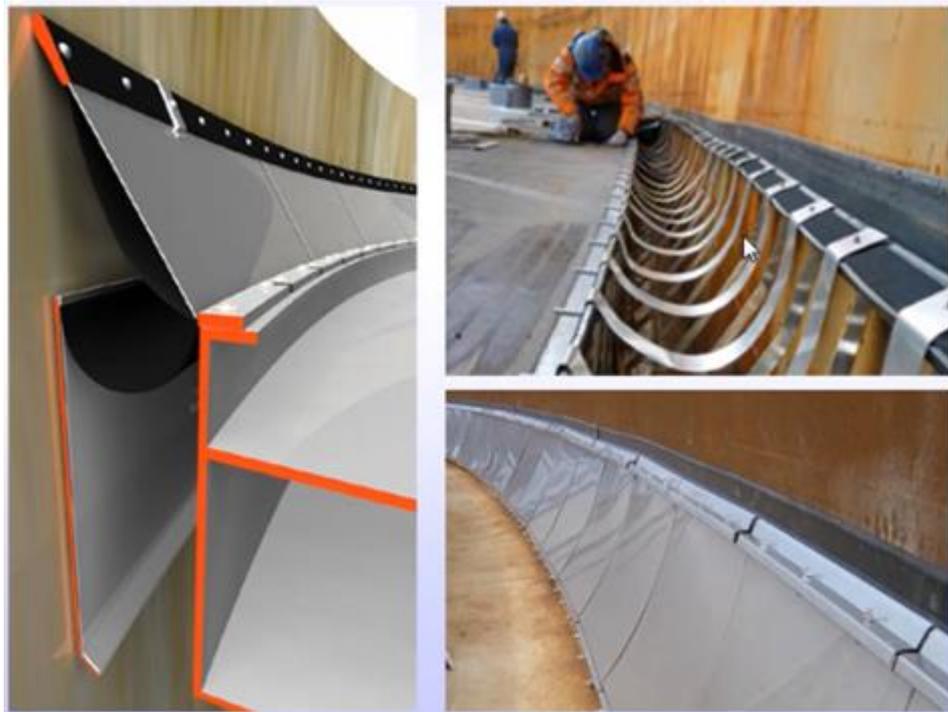


Ilustración: Vista del sello del techo flotante de un tanque de almacenamiento.  
Fuente: Ingeniería de las instalaciones. UTN BA.

## Conexiones y componentes

- Boquillas de entrada y salida
- Rebalse / Robsadero
- Boca de hombre
- Venteo / Cuello de cisne
- Drenaje / Sumidero
- Blanketing
- Válvula de presión y vacío
- Venteo de emergencia
- Boca de sondeo
- Instalaciones contra incendios
- Enfriador / Calefactor
- Agitador
- Escaleras
- Plataformas
- Dique de contención
- Instrumentación
  - Transmisor de nivel (control y seguridad)
  - Indicador de nivel (regla invertida)
  - Transmisor de presión (control y seguridad)
  - Manómetro
  - Transmisor de temperatura (control y seguridad)
  - Termómetro

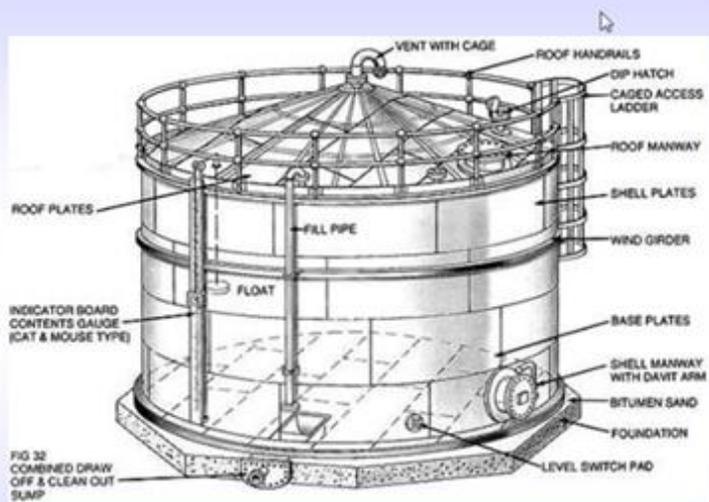
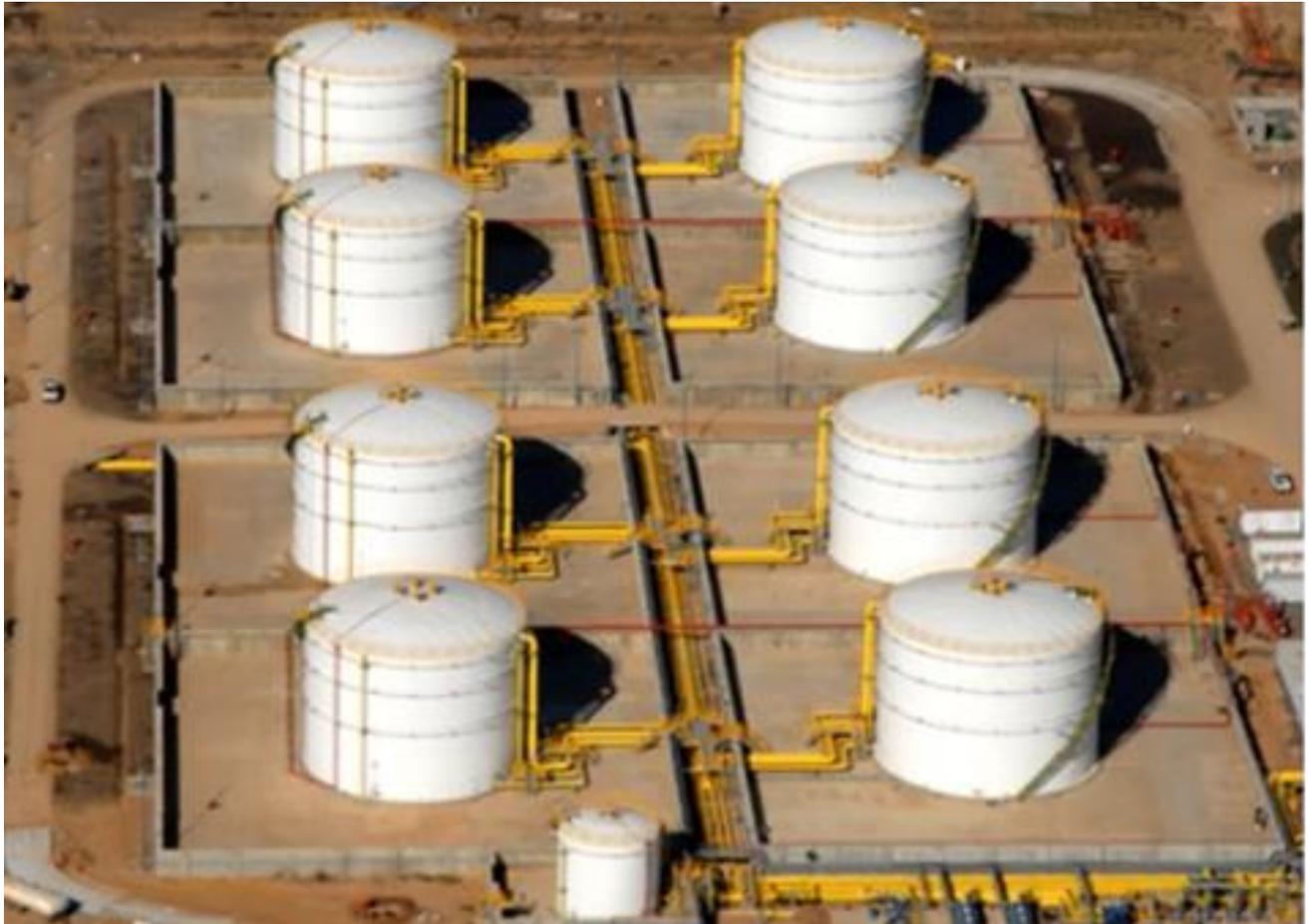


Ilustración: Conexiones y componentes de un tanque API 650.  
Fuente: ingeniería de las instalaciones. UTN BA.

Por último, la Norma API 650 exige que todo tanque de almacenamiento este contenido por una pileta antiderrame. El volumen de estas piletas de contención debe estar comprendido entre el 110% a 125% el volumen del tanque de almacenamiento. Deben estar construidas de hormigón, acero o mampostería, impermeabilizados con recubrimientos resistentes al químico que deban contener ante una posible eventualidad. La altura de las paredes del dique debe ser como mínimo 0,6m y con un máximo de 2m.

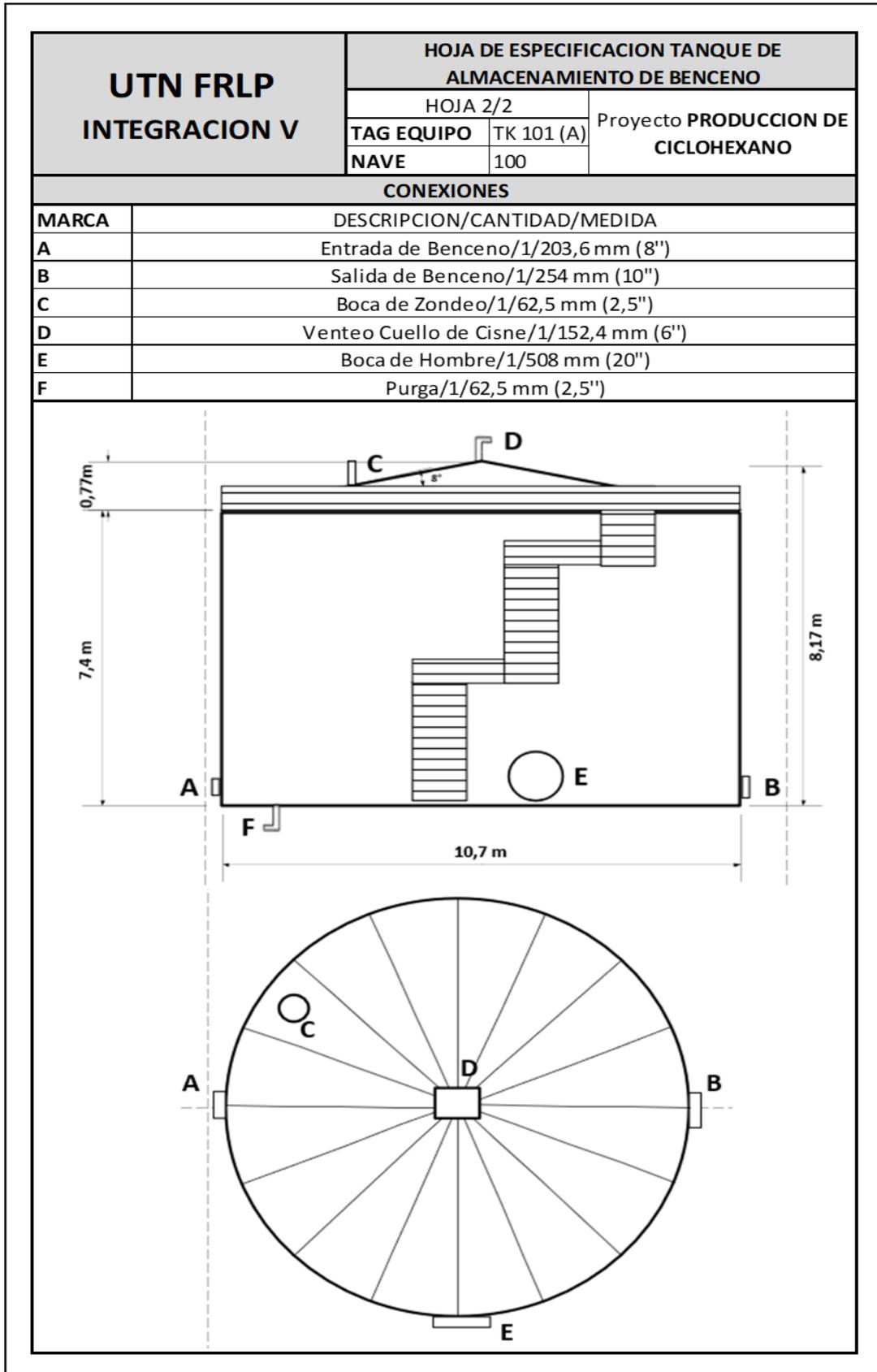


*Ilustración: Tanques API 650 con sus diques de contención.*

*Fuente: Ingeniería de las instalaciones, UTN BA.*

Se adjunta a continuación la hoja de especificación del tanque TK101 A/B:

UTN FRLP INTEGRACION V		HOJA DE ESPECIFICACION TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BENCENO			
		HOJA 1/2		Proyecto PRODUCCION DE CICLOHEXANO	
		TAG EQUIPO	TK 101 (A)		
CLIENTE	Planta de Producción de CH	NAVE	100	FECHA	XX/XX/XXXX
DIRECCION	CIE, Ensenada, Buenos Aires.				
DATOS GENERALES					
DENOMINACION DEL EQUIPO	Tanque de almacenamiento de benceno.				
FUNCION	Almacenamiento de benceno.				
DATOS DE OPERACIÓN					
FLUIDO	Benceno				
TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)	Ambiente (Máx. 50°C)				
PRESIÓN EN OPERACIÓN (atm)	Ambiente				
DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	876				
VOLUMEN UTIL (%)	80				
DATOS DE DISEÑO					
VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	643	DIAMETRO (m)	10,7		
ALTURA (m)	8,17	POSICIONAMINETO	Vertical		
DIMENSIONES DE CHAPAS DE CUERPO Y FONDO					
DIMENSIONES DE CHAPAS	ANCHO (mm)	1500			
	LARGO (mm)	6000			
NUMERO DE VIROLAS	5				
ESPEORES DE CHAPA DE CADA VIROLA					
1 (mm)	5				
2 (mm)	5				
3 (mm)	5				
4 (mm)	5				
5 (mm)	6,35				
ESPEORES DE CHAPA DE FONDO (mm)	6,35				
TIPO DE FONDO	Plano	BASE	Hormigón		
PESO VACIO (kg)	1951		PESO CON AGUA (kg)	644951	
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	Ambiente		PRESION DE DISEÑO (atm)	Ambiente	
MATERIAL DE COSNTRUCCION	Acero AISI 304		NORMA DE DISEÑO	API 650	
DENSIDAD DE MATERIAL DE COSNTRUCCION (kg/m <sup>3</sup> )	800				
ESPECIFICACIONES DEL CABEZAL					
TIPO DE CABEZAL	Cónico				
ESPEOR DE CHAPA DEL CABEZAL (mm)	4,76				
ANGULO DE INCLINACION	8°	COLUMNA CENTRAL	Si		
NUMERO DE VIGAS	17	DISTANCIA E/VIGAS (m)	2		
LONGITUD DE VIGA (mm)	5350	VIGAS RADIALES	Si		
TIPO DE PERFIL DE LA VIGA	Pefil I-PIN 10	TECHO FLOTANTE	Si, Interno		
GAS INHERTE	No	TIPO	N/A		
OBSERVACIONES	Techo Flotante Interno con material polimérico inerte.				
EFICIENCIA DE SOLDADURA	0,85				
TIPO DE SOLDADURA	Soldadura a Solapa				
PINTURA DE TANQUE	Si, según arte PRODUCCION DE CICLOHEXANO.				



*Fuente: elaboración propia.  
Revisado por Ing. Juan Domingo Vrcic.*

#### 6.4.5. Separador flash vertical (F101):

##### Densidad de la fase líquida:

(dato directo; densidad de ciclohexano):

$$\delta L = \delta CH = 779 \text{Kg/m}^3$$

##### Densidad de la fase vapor:

(XH2=0,7 y XCH4=0,3 datos de la simulación; se desestiman componentes en muy bajas proporciones):

$$\delta V = XH2 * \delta H2 + XCH4 * \delta CH4 = 9,6 \text{Kg/m}^3$$

datos	F	V	L
caudal molar(Kmol/h)	977,25	871,27	105,97
fracción gas	0,8916	0,993	0,0654
fracción líquido	0,1084	0,007	0,9346
PM	14,92	6,94	80,53
Densidad (Kg/cm3)		9,6	779
Qv(m3/h)		629,85	10,95
Presión Kg/cm2	32	32	32
Temperatura K	302	302	302

Tabla: Datos de corrientes del proceso.

Fuente: Software Pro II

Se utilizará la siguiente guía de diseño:

<https://www.red-bag.com/engineering-guides/249-bn-eg-ue109-guide-for-vessel-sizing.html>

##### Cálculo de velocidad permisible del vapor:

(con Kt=0,05 recomendado por guía de diseño para separador vertical sin demister):

$$V_{perm} = Kt \sqrt{(\delta L - \delta V) / \delta V} = 0,447 \text{ m/s}$$

##### Determinación del diámetro del equipo:

$$D_{ves} = \sqrt{4Q_{vv} / \pi V_{perm}} = 0,71 \text{m} \sim 0,8 \text{m}$$

##### Determinación de x1:

Distancia desde la línea tangente inferior al primer indicador de nivel establecida por la guía de diseño:

$$x_1 = 0,2m$$

Cálculo de x2:

Nivel de líquido contenido (tr: tiempo de retención= 300seg. establecido por guía de diseño para alimentación de columnas):

$$x_2 = 4 * QvL * tr / \pi Dves^2 = 2,37m$$

Determinación de x3:

Distancia desde el segundo indicador de nivel hasta la alimentación:

$$x_3 = 0,3 * Dves = 0,24m$$

Determinación de x4:

Distancia desde la alimentación a la tangente superior:

$$x_4 = 0,7 * Dves = 0,56m$$

Diámetro de alimentación:

Para la presión de trabajo del equipo la guía recomienda 12 pulgadas:

$$DF = d_1 = 12" = 0,3048m$$

Cálculo de la altura total:

$$h_{total} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + DF = 3,12m$$

Cálculo del volumen del tanque:

$$V_{ves} = \frac{\pi * D_{ves}^2 * h_{total}}{4} = 1,57m^3$$

Verificación de relación de aspecto:

Para una presión de entre 17 a 35 bares, la relación deberá estar comprendida entre 3 y 4, según guía de diseño:

$$\frac{L}{D} = \frac{3,12m}{0,8m} = 3,9$$

Altura de los cabezales:

$$h_c = \frac{1}{4} * D_{ves} = 0,2m$$

Material seleccionado y características:

- Hastelloy C-2765B-575.
- Resistencia a la tracción (smáx)=172,3Mpa.
- Eficiencia de soldadura E=0,85 (recomendado en el manual Perry).
- Espesor adicional mínimo recomendado por ASME (por corrosión), Esp<sub>asme</sub>=0,00476m.
- $\delta_{mat}$ =8890 Kg/m<sup>3</sup>.
- Presión de diseño, 15% superior a la presión de operación  $P_{dis}=1,15*32Kg/cm^2 = 36,8Kg/cm^2 = 3,61Mpa$ .

Espesor del tanque:

$$Esp = \frac{Prsión\ diseño * D_{ves}}{2 * smáx * E - 1,2 * Presión\ diseño} + Esp_{asme} = 0,0148m = 14,8mm = 0,58''$$

Espesor de los cabezales:

Factor geométrico para cabezales elípticos 2 a 1,  $K = \frac{1}{6} * (2 + \left(\frac{Dves}{2*hc}\right)^2) = 1$

$$Esp\ cab = \frac{Presión\ diseño * Dves * K}{2 * smáx * E - 0,2 * Presión\ diseño} + Esp\ asme = 0,0146m = 14,6mm = 0,57''$$

Masa del tanque:

$$mtk = \pi * Esp * (Dves + Esp) * h\ total * \delta mat = 999,4Kg$$

Masa de los cabezales:

$$m\ cab = 1,375 * \pi * Dves^2 * \frac{1}{4} * Esp\ cab * \delta mat * 2cabezales = 179,4Kg$$

Masa total:

A la suma, se le agrega un 20% de accesorios y tuberías:

$$m\ total = (mtk + m\ cab) * 1,2 = 1414,6Kg$$

Este valor será necesario para el cálculo del costo aproximado del equipo.

Diámetro de salida de líquido:

La velocidad sugerida de líquido por la guía de diseño es de 1m/s, por lo tanto, como:

$$Qvl = vel\ l * \pi * Dl^2 * \frac{1}{4}$$

Despejando se obtiene:

$$Dl = d2 = 0,0618m$$

Diámetro de salida de gases:

La guía establece para volúmenes de tanque de hasta 17m<sup>3</sup>, un diámetro de salida de gases igual a 2 pulgadas:

$$D_g = d_3 = 2" = 0,0508m$$

Resultado del simulador pro II:

FLASH ID	F101	
NAME		
FEEDS	5D	
PRODUCTS VAPOR	6	
LIQUID	7	
TEMPERATURE, C	29.825	
PRESSURE, KG/CM2G	31.640	
PRESSURE DROP, KG/CM2	0.000	
MOLE FRAC VAPOR	0.89156	
MOLE FRAC TOTAL LIQUID	0.10844	
MOLE FRAC H/C LIQUID	0.10844	
MOLE FRAC FREE WATER	0.00000	
MOLE FRAC MW SOLID	0.00000	
DUTY, M*KCAL/HR	-0.00198	
FLASH TYPE	SPEC-P	

*Fuente: simulador pro II.*

Hoja de especificación del equipo:

UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE SEPARADOR FLASH			
DENOMINACION: SEPARADOR FLASH LÍQUIDO VAPOR.		FECHA: 11/10/2021			
UNIDAD: F-101		REVISION:			
SERVICIO: PREPARAR CARGA DE FRACCIONADORA		LOCACION: CIE EDA			
DATOS GENERALES					
DENOMINACION DE EQUIPO		Separador vertical líquido vapor		Hoja	1 de 1
FUNCION		Separa las fases del proceso (líquida y gaseosa) para alimentación de fraccionadora.			
DATOS DE OPERACIÓN					
FLUIDO	ENTRADA	SALIDA TOPE		SALIDA FONDO	
	Carga	gas H2	gas CH4	CICLOHEXANO	CONTAMINANTES
DESTINO	FRACCIONADORA	Redclo	Antorcha	PRODUCTO	ANTORCHA
CAUDAL [kg/h]	91939,7	1841,7	5986,3	77153,7	152,4
FASE VAPOR [%]	89,2	100		0	
TEMPERATURA [°C]	29	29	29	29	29
PRESION [Kg-cm2]	32	32	32	32	32
DENSIDAD [Kg/m3]	94,08	3	25	779	22
DATOS CONSTRUCTIVOS					
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero al Carbono				
PRESION DE DISEÑO	kg-cm2	36,8			
TEMP. DISEÑO	°C	30			
GEOMETRIA CUERPO	Cilíndrica				
GEOMETRIA CABEZALES	Semi Esféricos				
PESO VACÍO	kg	1178,8			
PESO EN OPERACIÓN	kg	1966,8			
ALTURA DEL CUERPO	m	3			
ALTURA DEL CABEZALES	m	0,2			
ALTURA TOTAL	m	3,4			
DIAMETRO INTERNO	m	0,7704			
ESPESOR CUERPO	m	0,0148			
ESPESOR DEL CABEZAL	m	0,0146			
CONEXIONES BRIDADAS	3				
ACCESORIOS					
- La unidad cuenta con dispositivo de entrada conductor de flujo y dos indicadores de nivel, entre otros.					

Fuente: elaboración propia.  
Revisado por Ing. Hernán Rueda.

#### 6.4.6. Torre fraccionadora T-101:

##### Corriente de alimentación:

Para facilitar el diseño, se toma una corriente de alimentación sin incondensables, además sus concentraciones pueden estimarse despreciables:

	F	
QW	106	Kmol/h
Composicion molar		
C3	0,0068	
C4	0,0082	
iC4	0,0495	
CH	0,9346	
BC	0,0008	
C6	0,000004	

*Tabla: Composición de la corriente de alimentación.*

*Fuente: Software Pro II.*

##### Datos de la columna:

Fop = 1,1 Rmin	
T. Agua enfriamiento	30°C
Condensador Total	

*Fuente: cátedra de Integración V.*

##### Especificación:

Fondos con 99.8% molar de ciclohexano.

##### 1. Distribución Tope - Fondo de la columna:

##### Tope:

- C3 = Todo lo que entra con F
- C4 = Todo lo que entra en F
- iC4 = Lo que entra con F - lo que sale por fondo
- CH=lo que entra en F- lo que sale en fondo (especificación)

Fondo:

- iC4 = Lo que entra en F- lo que sale en D
- CH = Lo que entra en F- Lo que sale por D (especificación)
- BC = Lo que entra en F
- C6 = Lo que entra en F

Base de cálculo=100Kmol/h:

Resultados de los balances de masa por componentes preliminares, y elección de los componentes claves:

destilado			fondo		
Comp.	Kmol/h	XD	Comp.	Kmol/h	XD
C3	0,68	0,100	iC4	0,106	0,001138
C4	0,82	0,120	CH	92,99	0,997999
iC4	4,844	0,711	BC	0,08	0,000859
CH	0,4673	0,069	C6	0,0004	0,000004
total	6,8113	1,000	Total	93,1764	1,000000

Fuente: elaboración propia.

Datos de caudales del simulador del balance global:

Caudales en operación	
D =	8,3 Kmól/h
B =	97,7 Kmól/h

Fuente: simulador pro II.

2. Condiciones de operación:

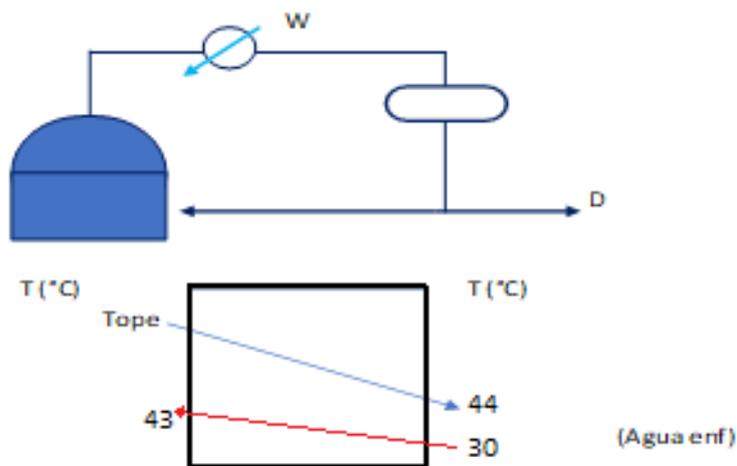


Ilustración: elaboración propia.

a) Condensador Total enfriado por agua:

$\Delta t$  operativo:

$\Delta t = 14^\circ\text{C}$ . estimativo.

T máxima del agua =  $43^\circ\text{C}$ , ya que regresa a circuito de enfriamiento.

Se fija la temperatura:

$$T \text{ burbuja} = 44^\circ\text{C}$$

Luego de iterar varias presiones se concluye que a  $P = 650\text{Kpa}$ , se cumple satisfactoriamente:

$$y_i = 1 \text{ y } y_i = k_i x_i$$

por lo tanto:

Condensador	$x_i$	$k_i$	$y_i$
C3	0,100	2,250	0,225
C4	0,120	0,690	0,083
iC4	0,710	0,980	0,696
CH	0,070	0,044	0,003
total	1,000		1,007
T Cond.	44	$^\circ\text{C}$	
P Cond.	650	Kpa	

*Tabla: iteración 1.  
Fuente: elaboración propia*

b) Tope:

Se fija una presión 10% superior a la de D, que es el máximo admisible para equipos de intercambio:  $\Delta p = 10\%$ , por ende:

$$P \text{ Tope} = 715\text{Kpa}$$

Se presupone que es la misma concentración en tope (en fase gas):

Se iteran varias temperaturas y se concluye que a  $T = 83^\circ\text{C}$ , se cumple satisfactoriamente:

$$x_i = y_i / k_i$$

por lo tanto:

tope	yi	ki	xi
C3	0,100	3,400	0,029
C4	0,120	1,300	0,092
iC4	0,710	1,700	0,418
CH	0,070	0,152	0,461
total	1,000		1,000
T tope=	83	°C	
P tope=	715	Kpa	

*Tabla: iteración 2.  
Fuente: elaboración propia.*

c) Fondo:

Aquí se vuelve a fijar la presión; se establece con buen grado de certeza una caída de presión en la columna de 10psi, o 69Kpa, por lo tanto, se fija:

$$P \text{ Fondo} = 784 \text{ Kpa}$$

Luego de iterar se concluye que una  $T = 168^\circ\text{C}$ , cumple con:

$$y_i = k_i x_i$$

fondo	xi	ki	yi
CH	0,998	0,993	0,991
Benceno	0,001	1,047	0,001
iC4	0,000	1,250	0,000
C6	0,001	1,150	0,001
total	1,000		0,993
T fondo	168	°C	
P fondo	784	Kpa	

*Tabla: iteración 3.  
Fuente: elaboración propia*

d) Reboiler:

Se fija una presión 10% inferior por pérdida de carga que, con un efecto de compresión en la línea de retorno, permite ingresar los vapores a la torre, por lo tanto, se fija:

$$P \text{ Reboiler} = 713 \text{ Kpa.}$$

Se iteran temperaturas hasta lograr:

$$y_i = k_i x_i$$

por lo tanto:

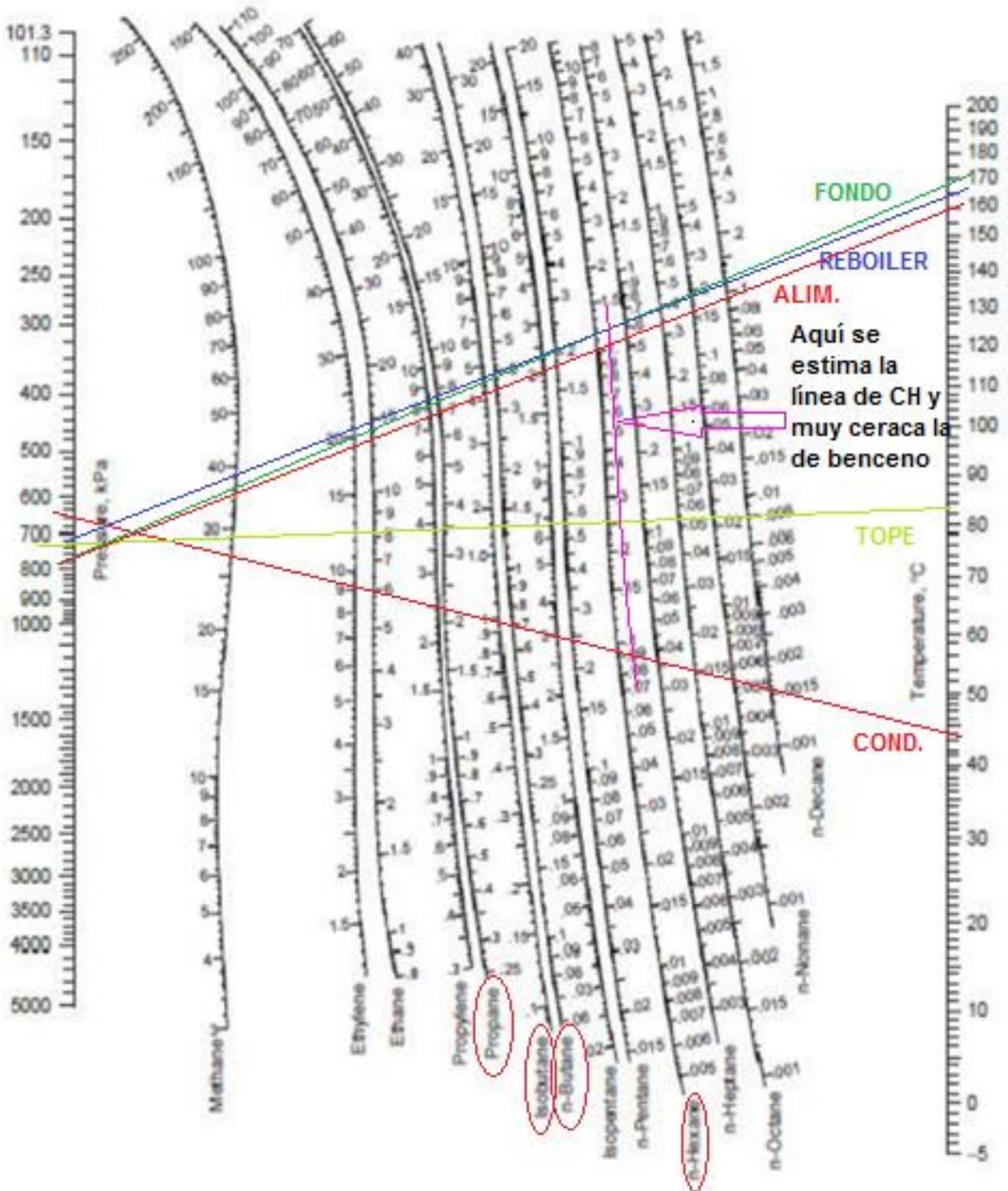
$$T = 165^{\circ}\text{C}.$$

reboiler	$y_i$	$k_i$	$x_i$
CH	0,998	1,013	0,986
Benceno	0,001	1,075	0,001
iC4	0,000	4,200	0,000
C6	0,001	1,100	0,001
total	1,000		0,997
T reboiler	165	$^{\circ}\text{C}$	
P reboiler	713	Kpa	

*Tabla: iteración 4.  
Fuente: elaboración propia*

Para todas las iteraciones se utilizó la siguiente gráfica, y la ecuación de Antoine (cuyos factores A, B y C se encuentran tabulados para cada componente):

$$\log_{10} P_{\text{vap}} = A - [B / (T^{\circ}\text{C} + C)] \text{ mmHg}$$



Fuente: cátedra de operaciones unitaria II.

### 3. Determinación de la condición térmica de la alimentación:

Temperatura de burbuja (ya que entra como líquido saturado). Se fija una presión igual a la más alta de operación que es:

$$P = 784 \text{Kpa}$$

Se iteran temperaturas hasta  $T = 160^\circ\text{C}$ , que cumple la condición de líquido saturado, por lo tanto:

alimentacion	xi	ki	yi
C3	0,007	6,900	0,047
C4	0,008	3,500	0,029
iC4	0,050	4,000	0,198
CH	0,935	0,814	0,761
benceno	0,001	0,863	0,001
C6	0,000	1,000	0,000
total	1,000		1,036
T Alim.	160	°C	
P Alim.	784	Kpa	

*Tabla: iteración 5.  
Fuente: elaboración propia*

### 4. Cálculo de volatilidades relativas:

Se calculan a la temperatura de alimentación y se concluyen las siguientes relaciones de factores  $K_i$  respectivos al más pesado. Se toma el Ciclohexano por ser clave y además las concentraciones de C6 y Benceno son irrelevantes.

alimentacion	ki	$\alpha$
C3	6,90	8,63
C4	3,50	4,38
iC4	4,00	5,00
CH	0,81	1,02
benceno	0,86	1,08
C6	1,00	1,25
$\alpha(\text{HK/LK}) =$	4,91	

*Fuente: elaboración propia.*

5. Determinación de NTSM (Reflujo Total):

Para ello se aplica la ecuación de Fenske:

$$NTSM + 1 = \frac{\log \left( \frac{X_{lk, D} * X_{hk, B}}{X_{hk, D} * X_{lk, B}} \right)}{\log(\alpha_{hk, lk})_{av}}$$

Y como se utiliza condensador total más Kettler,  $NTSM + 1 =$  Etapas de la columna más Kettler (1), obteniéndose como resultado:

$$NTSM + 1 = 6,7265 \approx 7$$

6. Determinación de reflujo mínimo (Underwood):

Se evalúa la alimentación (x y volatilidades) en condición de condensador (P y T).

- $\alpha(LK/HK)_{av} = 0,204$
- $q = 1$  (Se aproxima a 1 por suponerse condensador total)
- $1 - q = 0$

Ecuación 1:

$$\sum [(\alpha_i z_{Fi}) / (\alpha_i - \phi)] = 1 - q$$

Ecuación 2:

$$\sum (\alpha_j x_{Dj}) / (\alpha_j - \phi) = Rm + 1$$

Se itera el valor del parámetro ( $\Phi$ ), hasta que cumpla con la ecuación 1. Utilizando una hoja de cálculo se concluye:

underwood (iteraciones)			
alimentacion	$x_i$	$\alpha_i$	$x_i \cdot \alpha_i / \alpha_i - \Theta$
C3	0,007	8,875	0,012
C4	0,008	4,500	0,080
iC4	0,050	5,250	0,215
CH	0,935	1,000	-0,307
benceno	0,001	0,988	0,000
C6	0,000	1,313	0,000
$\Theta$	4,041	suma	4,2767E-05

Fuente: elaboración propia.

El valor del parámetro  $\Phi$  debe cumplir:

$$\alpha(HK/HK) < \Phi < \alpha(Hk/LK)$$

por lo tanto, para este caso:

$$(\Phi) > 1 \text{ y } (\Phi) < 4,91$$

de la hoja de cálculo se observa que:

$$(\Phi) = 4,041$$

Ahora se reemplaza el valor de  $(\Phi)$  en la ecuación 2, se itera la misma y se despeja el valor de  $R_m$ ; aquí también se utiliza una hoja de cálculo:

Destilado	$x_j$	$\alpha_j$	$x_{dj} \cdot \alpha_j / \alpha_j - \Theta$
C3	0,100	8,875	0,184
C4	0,120	4,500	1,176
iC4	0,710	5,250	3,083
CH	0,070	1,000	-0,023
$\Theta$	4,041	suma	4,420

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto,

$$R_{min} = (L/D)_{min} = 4,42 - 1 = 3,42$$

Luego se calcula el reflujo operativo con  $fop = 1,1$ :

$$Rop = fop * Rmin.$$

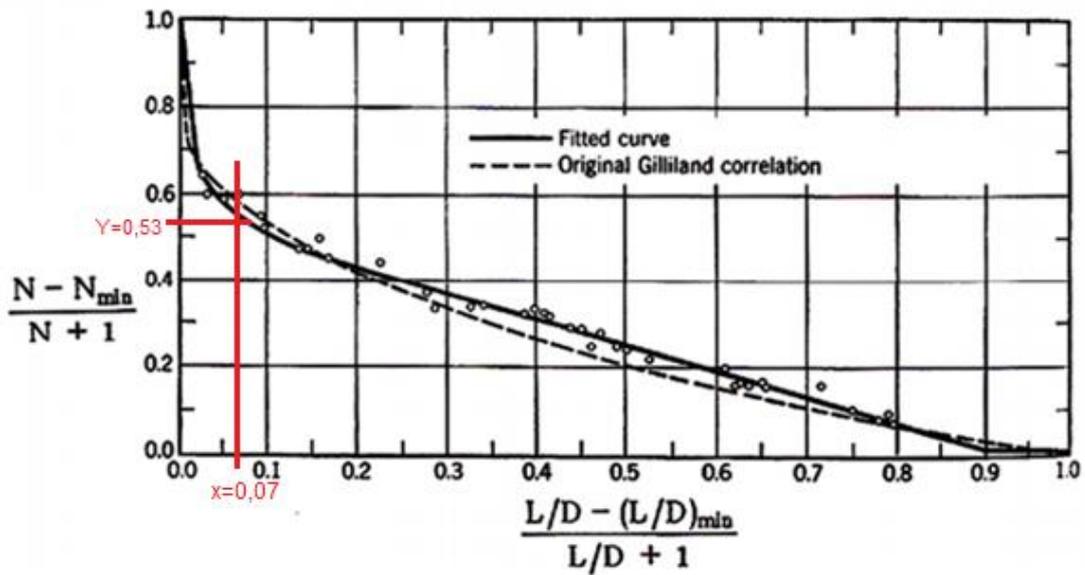
$$Rop = 3,76$$

7. Determinación NTS (Guilliland):

El método de cálculo del NTS se basa en la utilización del siguiente gráfico, alimentado por abcisas con los datos ya obtenidos y como:

$$x = (Rop - Rmin) / (Rop + 1):$$

$$x = 0,07$$



Fuente: Cátedra operaciones unitarias II.

Se concluye del gráfico:

$$y = 0,53$$

luego con:

$$y = (NTS - NTSM) / (NTS + 1)$$

despejando:

$$NTS = \frac{y + NTSM}{1 - y}$$

$$NTS = 16$$

Por usos históricos de este método, se agregan 3 etapas para contrarrestar las suposiciones hasta aquí planteadas, por lo tanto:

$$NTS = 19$$

8. Determinación de la etapa de alimentación (Kirkbride):

Esta ecuación relaciona de manera logarítmica las etapas en la zona de rectificación (m), con las etapas en la zona de agotamiento (p):

$$\log \frac{NTS_{ZR}}{NTS_{ZA}} = 0,206 \log \left[ \frac{B z_{hk}}{D z_{lk}} \left( \frac{x_{lk,B}}{x_{hk,D}} \right)^2 \right]$$

$$NTS = NTS_{ZR} + NTS_{ZA}$$

Reemplazando todos los datos se concluye:

$$\text{Log } (m/p) = -0,629$$

$$m/p = 0,235$$

Sabiendo que:

- m + p = NTS - Reboiler
- m + p = 18

despejando p de la ecuación:

$$p = NTS / (1 + (m/p))$$

y reemplazando para calcular m en:

$$m + p = 18$$

se obtienen:

$$p = 15$$

$$m = 3$$

por lo tanto, alimenta en plato 3.

Se procede al cálculo de la eficiencia teórica (se tienen en cuenta sólo las etapas):

$$E_t = (NTSM - 1) / (m + p) = 33\%$$

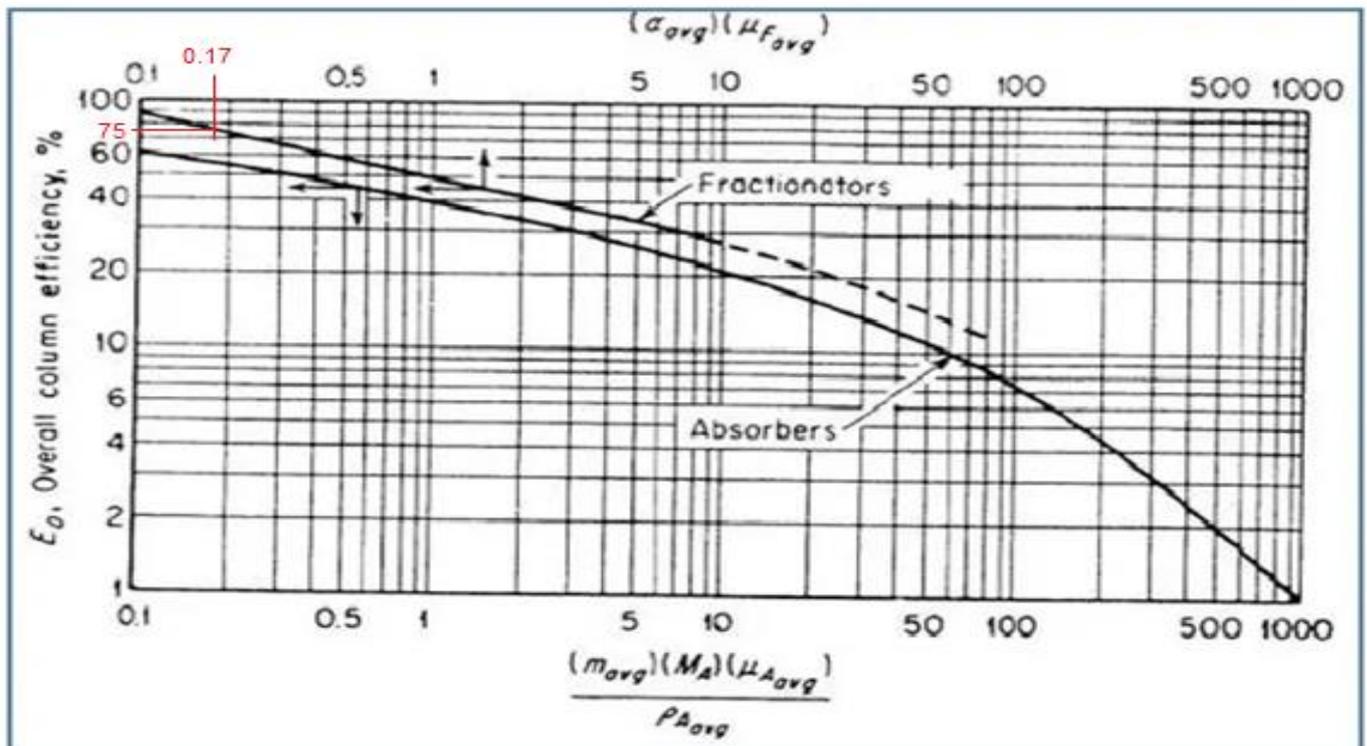
Para la eficiencia real se utilizará una correlación empírica para hidrocarburos. La relación de O'Connell:

$$\epsilon_o = 0.492 (\mu_{\text{liquido prom.}} * \alpha_{(LK/HK)})^{-0.245}$$

Resuelta en la siguiente gráfica, donde como se trata de una destiladora se ingresa por la parte superior con el dato obtenido de volatilidad relativa promedio, y la viscosidad cinemática del líquido, la cual se toma convenientemente como la de ciclohexano por estar en alto porcentaje en todo el equipo (0,86cp), por lo tanto:

$$\mu_{\text{avg}} * \alpha_{(LK/HK)} = 0.86 * 0.204 = 0.17$$

**Gráfica de la correlación de O'Connell para columnas de destilación y de Absorción.**



Fuente: Cátedra operaciones unitarias II

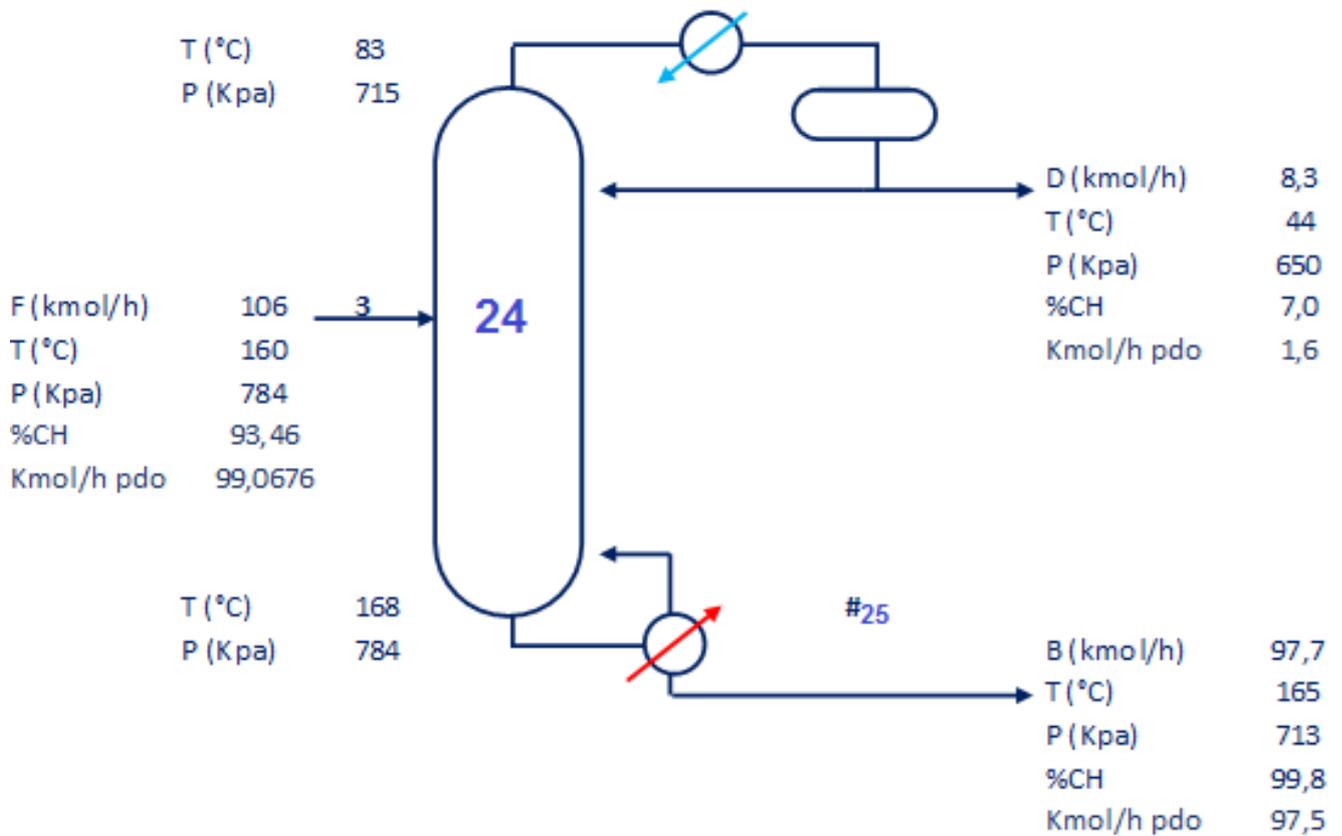
Se concluye que:

$$\text{Eficiencia Real} = 75\%$$

Por lo tanto, el número de etapas reales será:

$$\text{NRS} = (m+p)/0,75 = 24$$

Esquema del equipo:



*Ilustración: elaboración propia.*

9. Diseño hidráulico:

Se utilizará como base de diseño hidráulico al código ASME para recipientes a presión; sección VIII; división I. Se calcula espesor del cilindro, de los cabezales, el peso vacío del equipo y el peso lleno con agua. Se realiza el diseño por presión interna.

Del simulador se recogen los siguientes datos:

- T diseño = 335°F
- Diámetro interno=1.0 m.
- Espaciado entre platos=0.61m.
- NRS=24
- Longitud del cuerpo:  $NRS \cdot 0.61m + 2 \cdot 0.61 = 15.86m$ .
- P.diseño= máxima presión de trabajo más un factor de seguridad del (15%)=901.6kpa=9.2Kg/cm<sup>2</sup>=131psi

El siguiente cuadro contiene los datos necesarios de construcción:

Variable	Dato
Presión de diseño	131 psi
Temperatura de diseño	335°F
Material	ASTM A516 Gr.70
Diámetro interno	1 m=39.37"
Longitud	15,86 m
Esfuerzo admisible S	20000 psi
Eficiencia de junta E	1
Tolerancia por corrosión C	0,0625"
Tipo de cabezal	elipsoidal 2:1
Tipo de cuerpo	cilíndrico
δ cuerpo	7850 kg/m <sup>3</sup>
δ agua	1000 kg/m <sup>3</sup>

*Fuente: código ASME para recipientes a presión.*

La eficiencia de junta corresponde a la de soldadura a tope con doble cordón radiografiada 100%.

Se determinan los esfuerzos circunferenciales y longitudinales para proseguir con el mayor de ellos:

$$Esf\ circ = \frac{P * radio}{(S * E - 0.6P)} = \frac{131psi \cdot 19.68pul}{(20000psi * 1 - 0.6 * 131psi)} = 0.129pul$$

$$Esf\ long = \frac{P * radio}{(S * E + 0.4P)} = \frac{131psi * 19.68pul}{(20000psi * 1 + 0.4 * 131psi)} = 0.128pul$$

Por lo tanto, se toma el espesor para esfuerzo circunferencial y se le agrega la tolerancia por corrosión:

Espesor total=0.129pul+0.0625pul=0.1915 pul, cuyo valor comercial superior más próximo es:

$$\text{Espesor del cuerpo}=0.25\ pul=0.00635m.$$

Cálculo de espesor mínimo de los cabezales:

$$Esp\ cab = \frac{P * D}{(2 * S * E - 0.2P)} = \frac{131psi * 39.37pul}{(2 * 20000psi * 1 - 0.2 * 131psi)} = 0.129pul$$

Al igual que el espesor del cuerpo se le suma la tolerancia por corrosión y se busca el espesor comercial superior más próximo:

$$\text{Esp cab}=0.25\ pul=0.00635m.$$

Peso de los cabezales:

$$peso\ cab = 1.728 * \pi * r^2 * esp\ cab * \delta ac = 1.728\pi(0.5m)^2 * 0.00635m * \frac{7850kg}{m^3} = 67.6kg$$

Peso del recipiente vacío (con factor de 20% debido al peso de accesorios):

$$Peso\ vacío = 1.2 * \delta ac * \frac{\pi}{4} * L((D + 2 * esp)^2 - D^2) + 2 * peso\ cab$$

$$Peso\ vacío = 1.2 * \frac{7850kg}{m^3} * \frac{\pi}{4} * 15m((1m + 2 * 0.00635m)^2 - (1m)^2) + 2 * 67.6kg$$

$$Peso\ vacío = 2971.9kg$$

Peso del recipiente lleno con agua:

$$\text{Peso lleno} = \delta w * \frac{\pi D^2}{4} * L + \text{peso vacío}$$

$$\text{Peso lleno} = 1000\text{kg/m}^3 * \frac{\pi(1\text{m})^2}{4} * 15\text{m} + 2971.9\text{kg}$$

$$\text{Peso lleno} = 14752.9\text{kg}$$

Resultados del simulador pro II para diseño de internos con válvulas V1:

AUMENTACION				TOPE				FONDO			
TOTAL		VAPOR	LIQUID	TOTAL		LIQUID	TOTAL		LIQUID		
RATE, KG-MOL/HR	105.9998	30.1189	75.8810	RATE, KG-MOL/HR	8.3000	8.3000	RATE, KG-MOL/HR	97.6999	97.6999		
TEMPERATURE, C	160.00	160.00	160.00	TEMPERATURE, C	52.38	52.38	TEMPERATURE, C	168.41	168.41		
PRESSURE, KPA	784.00	784.00	784.00	PRESSURE, KPA	650.00	650.00	PRESSURE, KPA	784.00	784.00		
MOLECULAR WEIGHT	82.3830	79.9784	83.3374	MOLECULAR WEIGHT	61.7620	61.7620	MOLECULAR WEIGHT	84.1348	84.1348		
FRACTION	0.2841	0.7159		FRACTION	1.0000		FRACTION	1.0000			
ENTHALPY, J/KG-MOL	3.4862E+07	5.0880E+07	2.8505E+07	ENTHALPY, J/KG-MOL	7.6901E+06	7.6901E+06	ENTHALPY, J/KG-MOL	3.0405E+07	3.0405E+07		
CP, J/KG-C	2415.0108	2046.8966	2555.2345	CP, J/KG-C	2431.9098	2431.9098	CP, J/KG-C	2601.1993	2601.1993		
MOLAR FLOWRATES, KG-MOL/HR				MOLAR FLOWRATES, KG-MOL/HR				MOLAR FLOWRATES, KG-MOL/HR			
1 - CH	99.0377	25.5441	73.4937	1 - CH	1.5451	1.5451	1 - CH	97.4926	97.4926		
2 - BENZENE	0.0848	0.0259	0.0588	2 - BENZENE	2.1319E-03	2.1319E-03	2 - BENZENE	0.0826	0.0826		
3 - H2O	0.0000	0.0000	0.0000	3 - H2O	0.0000	0.0000	3 - H2O	0.0000	0.0000		
4 - PROPANE	0.7206	0.5537	0.1669	4 - PROPANE	0.7206	0.7206	4 - PROPANE	6.8757E-10	6.8757E-10		
5 - IBUTANE	5.2454	3.4477	1.7977	5 - IBUTANE	5.2401	5.2401	5 - IBUTANE	5.3008E-03	5.3008E-03		
6 - BUTANE	0.8689	0.5337	0.3352	6 - BUTANE	0.7908	0.7908	6 - BUTANE	0.0781	0.0781		
7 - HEXANE	0.0424	0.0137	0.0287	7 - HEXANE	1.1941E-03	1.1941E-03	7 - HEXANE	0.0412	0.0412		
MOLAR COMPOSITIONS				MOLAR COMPOSITIONS				MOLAR COMPOSITIONS			
1 - CH	0.9343	0.8481	0.9685	1 - CH	0.1862	0.1862	1 - CH	0.9979	0.9979		
2 - BENZENE	7.9976E-04	8.6101E-04	7.7545E-04	2 - BENZENE	2.5686E-04	2.5686E-04	2 - BENZENE	8.4588E-04	8.4588E-04		
3 - H2O	0.0000	0.0000	0.0000	3 - H2O	0.0000	0.0000	3 - H2O	0.0000	0.0000		
4 - PROPANE	6.7980E-03	0.0184	2.1990E-03	4 - PROPANE	0.0868	0.0868	4 - PROPANE	7.0376E-12	7.0376E-12		
5 - IBUTANE	0.0495	0.1145	0.0237	5 - IBUTANE	0.6313	0.6313	5 - IBUTANE	5.4256E-05	5.4256E-05		
6 - BUTANE	8.1975E-03	0.0177	4.4174E-03	6 - BUTANE	0.0953	0.0953	6 - BUTANE	7.9969E-04	7.9969E-04		
7 - HEXANE	3.9988E-04	4.5486E-04	3.7806E-04	7 - HEXANE	1.4387E-04	1.4387E-04	7 - HEXANE	4.2163E-04	4.2163E-04		

Tabla: datos de corrientes del proceso.

Fuente: simulador pro II.

TRAY SELECTION FOR TRAY RATING

VALUE DIAMETER 0.048 M

SECTION	DESIGN TRAY NUMBER	DIAMETER M	NP	NUMBER OF VALVES OR CAPS	SIDE M	DOWNCOMER WIDTHS	
						CENTER M	OFF-CENTER M
1	16	1.	1	28	0.232	N/A	N/A

TRAY RATING AT SELECTED DESIGN TRAY

TRAY	VAPOR M3/S	LIQUID M3/S	ULOAD M3/S	DIAM M	FF	NP	PRES DROP KPA	WEIR RATE CM3/S/MM	DOWNCOMER BACKUP, PCT TRAY SPACING
2	0.088	0.00226	0.015	1.	53.3	1	0.549	3.221	25.60
3	0.042	0.00473	0.007	1.	30.0	1	0.430	6.752	24.15
4	0.043	0.00477	0.007	1.	30.5	1	0.430	6.797	24.21
5	0.043	0.00479	0.007	1.	30.9	1	0.431	6.833	24.27
6	0.044	0.00481	0.007	1.	31.2	1	0.431	6.865	24.32
7	0.044	0.00483	0.007	1.	31.6	1	0.432	6.895	24.36
8	0.044	0.00486	0.008	1.	31.9	1	0.432	6.926	24.41
9	0.045	0.00488	0.008	1.	32.3	1	0.433	6.958	24.45
10	0.045	0.00490	0.008	1.	32.7	1	0.434	6.994	24.51
11	0.046	0.00493	0.008	1.	33.1	1	0.435	7.034	24.57
12	0.047	0.00497	0.008	1.	33.7	1	0.436	7.083	24.64
13	0.048	0.00501	0.008	1.	34.5	1	0.437	7.147	24.73
14	0.049	0.00507	0.009	1.	35.6	1	0.439	7.234	24.86

UNIT 1, 'T1', 'columna' (Cont)

TRAY	VAPOR M3/S	LIQUID M3/S	ULOAD M3/S	DIAM M	FF	NP	PRES DROP KPA	WEIR RATE CM3/S/MM	DOWNCOMER BACKUP, PCT TRAY SPACING
15	0.051	0.00516	0.009	1.	37.1	1	0.443	7.357	25.05
16	0.054	0.00528	0.010	1.	39.2	1	0.448	7.526	25.31
17	0.057	0.00543	0.010	1.	41.9	1	0.454	7.741	25.64
18	0.061	0.00560	0.011	1.	44.9	1	0.461	7.983	26.03
19	0.064	0.00576	0.012	1.	47.8	1	0.478	8.216	26.69
20	0.067	0.00590	0.012	1.	50.1	1	0.503	8.409	27.53
21	0.069	0.00600	0.013	1.	51.8	1	0.521	8.552	28.17
22	0.070	0.00607	0.013	1.	53.0	1	0.534	8.651	28.60
23	0.071	0.00611	0.013	1.	53.7	1	0.542	8.718	28.89
24	0.072	0.00615	0.014	1.	54.2	1	0.547	8.764	29.08

Tabla: parámetros de diseño.

Fuente: simulador pro II



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE COLUMNA DE PLATOS	
DENOMINACION: DESTILADORA DE HIDROCARBUROS		FECHA: 29/11-2021	
UNIDAD: T-101		REVISION:	
SERVICIO: PURIFICACION DE CICLOHEXANO		LOCACION:	PLANTA CH
DATOS GENERALES			
DENOMINACION DE EQUIPO	Columna de platos		Hoja 2 de 2
FUNCION	Purifica el producto final (ciclohexano) hasta especificación.		
DISEÑO DISPOSITIVO DE CONTACTO (INTERNOS)			
N° DE PLATOS	24		
TIPO DE PLATO	Platos con Valvulas		
ESPESOR	m	0,00635	
AREA TOTAL	m2	0,78	
DIAMETRO DE VALVULAS	m	0,048	
ESPACIADO ENTRE PLATOS	m	0,61	
PASOS	1		
FACTOR DE INUNDACION (FF)	%	45	
TIPO DE VALVULAS	Valvula tipo "A"		
N° DE VALVULAS	28		
% apertura	%	25	
ALTURA ESTIMADA DE APERTURA	m	0,01	
PROVEEDOR	Koch-Flexitrays		
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero al Carbono		
ESQUEMA DE			
OBSERVACIONES			

Fuente: Elaboración propia.  
Revisado por Ing. Hernán Rueda

## 6.5. Requerimientos de servicios auxiliares:

### 6.5.1. Vapor:

Vapor de media: El precalentador de carga al reactor, el equipo de intercambio de calor E-102, consumirá la cantidad de 2016 Kg/h de dicho vapor. El vapor a la salida será devuelto al complejo (los 2016 Kg/h).

Por otro lado, el reboiler E-106 requerirá de 700 Kg/h de vapor adicional al del generado en el reactor.

Por lo tanto, el contrato total de vapor para el proyecto en estudio será de 2716 Kg/h de vapor de media.

### 6.5.2. Agua y aire de enfriamiento:

El servicio de enfriamiento en el condensador de la columna T101, se realizará con agua desmineralizada que se contratará al complejo industrial PAO de YPF cuyas condiciones de entrada se estiman en 29°C y 6 kg/cm<sup>2</sup>. El condensador de la mencionada columna requerirá de 21443 Kg/h de agua de enfriamiento.

El intercambiador de calor E103 que enfría la corriente de producto proveniente del reactor para alimentar al separador flash, requerirá de 25443 Kg/h de agua de enfriamiento.

Por otro lado, el intercambiador de calor E107 que enfría el producto purificado proveniente de la torre, para su almacenaje en tanques, requerirá de 21708 Kg/h de dicha agua. La presión de operación es de 9 Kg/cm<sup>2</sup> por recomendación de la cátedra.

El agua a la salida de los tres equipos será devuelta al complejo a 45°C y 5,8 Kg/cm<sup>2</sup> de presión.

El reactor, por tratarse la reacción en él, de una sumamente exotérmica, también será enfriado a través del serpentín del mismo con agua DEMI de enfriamiento, y requerirá 7135 Kg/h de la misma.

El consumo total de agua de enfriamiento y según la capacidad de diseño será entonces de 75729 Kg/h.

El vapor que se obtiene a la salida del reactor, cuyas condiciones se indican más arriba en los límites de baterías, será utilizado como fluido calefactor del reboiler de la torre y devuelto al complejo PAO de YPF.

Aire de enfriamiento: este será tomado en condiciones atmosféricas típicas por los equipos aeroenfriadores AE-101, y AE-102. El primero para acondicionar la corriente de entrada al intercambiador E-103 cuyo consumo de aire se estima en 70470 Kg/h, y el

segundo acondiciona la corriente de entrada al intercambiador E-107 y se estima su consumo en 21120 Kg/h de aire.

Por lo tanto, el consumo total de aire de enfriamiento se estima en 91590 Kg/h. Para este cálculo se estipula en los balances de energía de estos equipos una diferencia de temperatura total de 35°C (entrada de aire) a 58°C (salida de aire), es decir la condición más desfavorable para el intercambio.

### 6.5.3. Energía eléctrica:

Se estimó el consumo eléctrico de todos los compresores, bombas y aroenfriadores del proceso (incluyendo corrientes principales y utilities).

EQUIPO	CAUDAL MASICO kg/h	CAUDAL VOLUM m <sup>3</sup> /h	TEMPERATURA °C	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	TRABAJO KW
P101	7804	9	40	12	5
P102	7804	9	40	38	8
P103	8340	10,4	35	12	1
AE101	70470	57526	35	1	5
AE102	21119	17240	35	1	5

*Fuente: elaboración propia.*

La potencia total instalada será de aproximadamente 146 kW.

## 7. DIAGRAMAS Y PLANOS:

### 7.1. P&ID. Análisis de fallas. Sistemas de parada de emergencia.

A continuación, se describirán los aspectos más relevantes para el control de cada operación junto a los P&ID de los dos equipos seleccionados (reactor R-101 y columna de destilación de ciclohexano T-101)

#### 7.1.1. Reactor:

Análisis de falla y parada de emergencia del reactor R-101:

Las principales variables por controlar en el reactor, como se indica más abajo, son la temperatura de reacción y la presión del vapor generado en la envolvente.

La reacción se lleva a cabo en el interior de los tubos donde se encuentra el lecho catalítico. La reacción de hidrogenación es muy exotérmica por lo cual a medida que se produce el ciclohexano se libera calor, el cual es disipado por la envolvente mediante agua de refrigeración que lo absorbe produciendo vapor como efluente del refrigerante.

La temperatura en los tubos es controlada por una serie de sensores ubicados en distintos puntos de los mismos, para obtener un mapeo de este parámetro con el fin principal de garantizar la mayor conversión de reactivo a producto, y controlar el estado del catalizador en el interior del lecho ya que, a medida que este se agote se debería observar un  $\Delta T$  más pronunciado en el punto de entrada de los reactivos con el punto de salida de los productos.

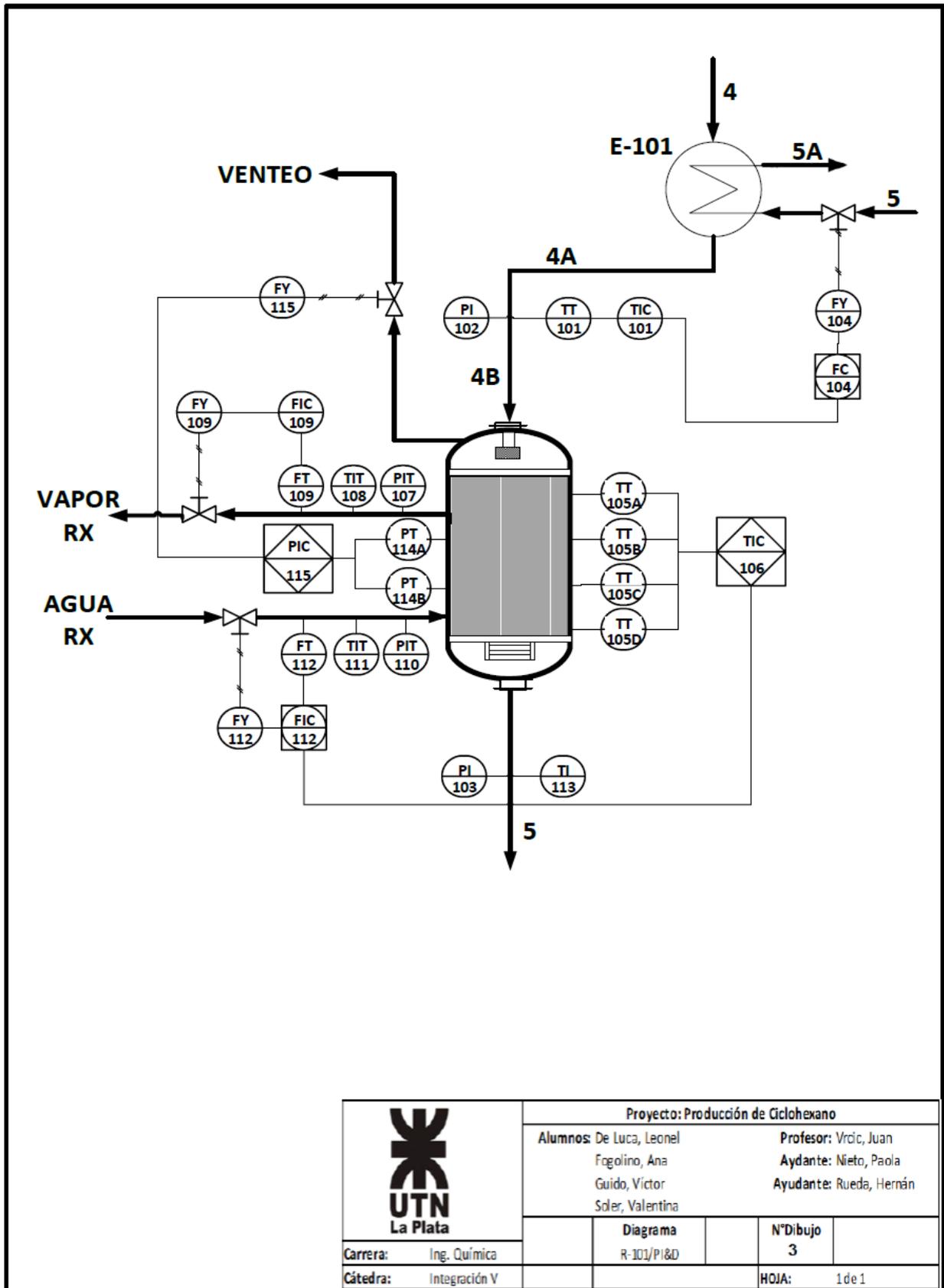
El controlador TIC 106 cumple la función de mantener la temperatura en el lecho en la óptima de reacción y, para lograrlo, controla el caudal de agua de refrigeración. En caso de que la reacción se descontrole se emite una señal de shut down que, abre la llave de agua de refrigeración inundando la envolvente para disipar el calor rápidamente, disminuyendo la velocidad de reacción y por consiguiente la generación de calor.

La presión de la envolvente es controlada por el PIC 115. Su función es asegurar la correcta refrigeración del reactor, ya que esta si no es óptima podría arruinar la operación. Si se estuviera cerca de un valor de presión máximo, el controlador abrirá la válvula de venteo para eliminar el vapor y despresurizar el equipo; dicha válvula despediría el vapor a la atmósfera a una altura que no pueda ocasionar daños al personal, equipos e infraestructura de la planta.

Por último, el reactor cuenta con un sistema de seguridad a través de la mencionada señal de shut down ante un corte de energía eléctrica en la planta. El sistema de seguridad corta la alimentación e inyecta gas nitrógeno barriendo los gases en el interior de los tubos, para proteger al catalizador de una eventual coquización del mismo.

Por lo tanto, las variables controladas del proceso son la temperatura del lecho, y la presión del lecho y coraza.

Por otra parte, las variables manipuladas del proceso son el caudal de agua de refrigeración, el cual es fundamental para poder controlar la temperatura, y el caudal de vapor de precalentamiento de la carga, que controla la temperatura de la misma con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del reactor, y puesta fuera de servicio en caso de emergencia.



### 7.1.2. Columna:

El desafío del control de columnas:

Las columnas de destilación desde el punto de vista del control se definen como un sistema de 5x5, esto es, sistemas en los que se deben controlar cinco variables mientras se lleva a cabo la manipulación de otras variables.

Las variables que normalmente se deben controlar son las composiciones de tope y fondo, la presión de trabajo, los niveles del acumulador de cabeza y el de fondo.

Las dos primeras, es decir, las composiciones nos aseguran la calidad de los productos, mientras que el resto de estas son variables que están relacionadas con la estabilidad de la operación asegurando que se cumplen los balances de materia y energía.

A continuación, se describirá con un poco de más detalle las variables que intervienen en el proceso de destilación.

#### Variables controladas:

La presión, los niveles de líquido en el fondo de la columna y en la cámara de reflujo, la composición de destilado y producto de fondo.

A su vez estas variables se pueden dividir en dos tipos:

Variables que deben ser controladas:

Aquí se incluyen la presión y los niveles. Dichas variables son controladas con vistas a conseguir el primero de los objetivos de control, por tanto, sus puntos de consigna son establecidos únicamente teniendo en cuenta consideraciones de seguridad y estabilidad de la operación, ignorando las especificaciones de los productos.

Por tanto, es necesario mantener la presión y los niveles de líquido constantes para prevenir la acumulación de vapor y de líquido respectivamente. Si esta acumulación (positiva o negativa) no se previene, un sistema continuo no puede operar de manera estable ni alcanzar el régimen permanente.

Variables que pueden ser controladas:

En este tipo se incluyen las composiciones de destilado y producto de fondo. Estas variables se controlan para cumplir con el segundo objetivo de control, por lo tanto, sus puntos de consigna se establecen solamente por las especificaciones de pureza de los productos.

Estos controles de composición pueden ser directos, es decir, utilizando medidores de composición en las corrientes de productos o indirectos, midiendo una propiedad representativa de la composición del producto, como por ejemplo la densidad, presión de vapor, punto de congelación, y el más común, la temperatura de un plato.

En resumen, de las cinco variables controladas, tres de ellas (niveles de líquido y presión) se utilizarán para cumplir el primer objetivo de control (seguridad y estabilidad) mientras que dos de estas variables (composición de los productos) permitirán cumplir con el segundo objetivo del control que es el control de la composición.

### Variables manipuladas:

Las variables manipuladas son aquellas que se manipulan variando sus magnitudes a través del elemento final de control (generalmente válvulas/caudales).

Es manipulando estas corrientes que se consiguen controlar las variables deseadas. Las variables manipuladas son:

- Caudal de destilado (D).
- Caudal de producto de fondo (B).
- Caudal de reflujo (L).
- Caudal de fluido de refrigeración (W).
- Caudal de fluido calefactor (V).

### Perturbaciones:

Las perturbaciones son variables que afectan a la operación trayendo como consecuencia el apartamiento de la variable controladas de su valor de referencia o set point. Las perturbaciones más habituales son:

- Caudal de alimentación.
- Composición de la alimentación.
- Temperatura de la alimentación.
- Presión de suministro del vapor calefactor.
- Temperatura del agua de refrigeración.
- Presión de suministro del agua de refrigeración.

A continuación, se describirán los esquemas de control general y estrategias específicas para la destilación (columna T-101):

La presión en el tope es controlada por el PC104 que acciona la válvula de agua de refrigeración del condensador, para variar su caudal. Por otra parte, en caso de llegar a presiones críticas, se accionará la válvula de purga de seguridad que equipa a esta columna.

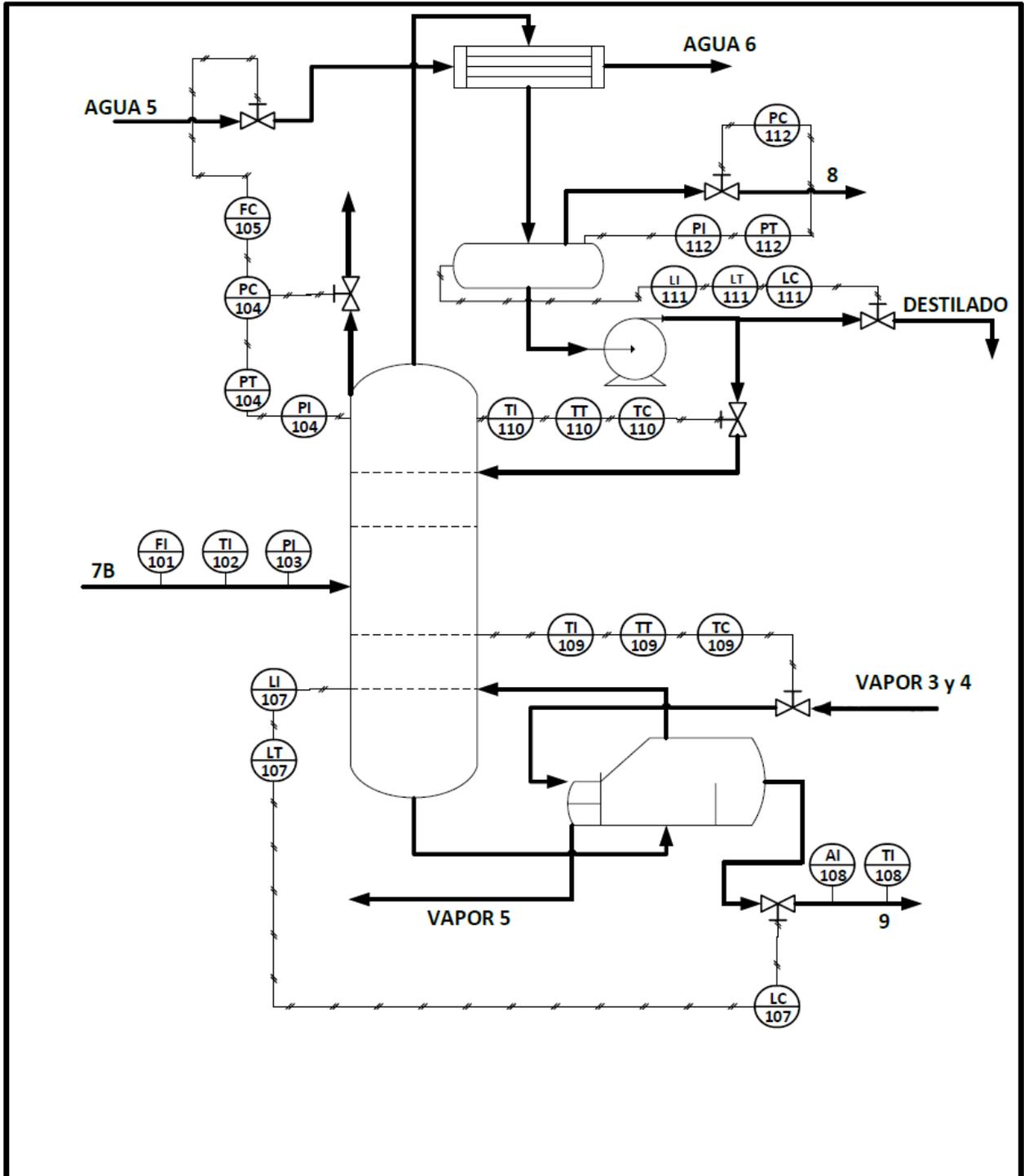
La temperatura de tope, por su parte, es estabilizada por el controlador TC110 quien acciona la válvula del caudal de reflujo de condensado.

El nivel de líquido del condensador es controlado por el LC111 a través de la válvula de corriente de producto destilado, y la presión del mismo por el controlador PC112 quien acciona la válvula de productos gaseosos que, en este caso por tratarse de contaminantes, son enviados a antorcha.

La temperatura de fondo es estabilizada por el controlador TC109 a través del accionamiento de la válvula de vapor que ingresa al reboiler, para que varíe su caudal y por lo tanto su tasa de calentamiento.

El nivel de líquidos del fondo de la columna es controlado por el LC107 que actúa directamente en la válvula de producto de fondo que, en este caso, es el producto final.

La corriente de alimentación consta de indicadores de caudal, presión y temperatura.



 <b>UTN</b> La Plata	<b>Proyecto: Producción de Ciclohexano</b>		
	<b>Alumnos:</b> De Luca, Leonel Fogolini, Ana Guido, Víctor Soler, Valentina		<b>Profesor:</b> Vrcic, Juan <b>Ayudante:</b> Nieto, Paola <b>Ayudante:</b> Rueda, Hernán
<b>Carrera:</b> Ing. Química	<b>Diagrama</b> C-101/PI&D	<b>N°Dibujo</b> <b>4</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>Cátedra:</b> Integración V			

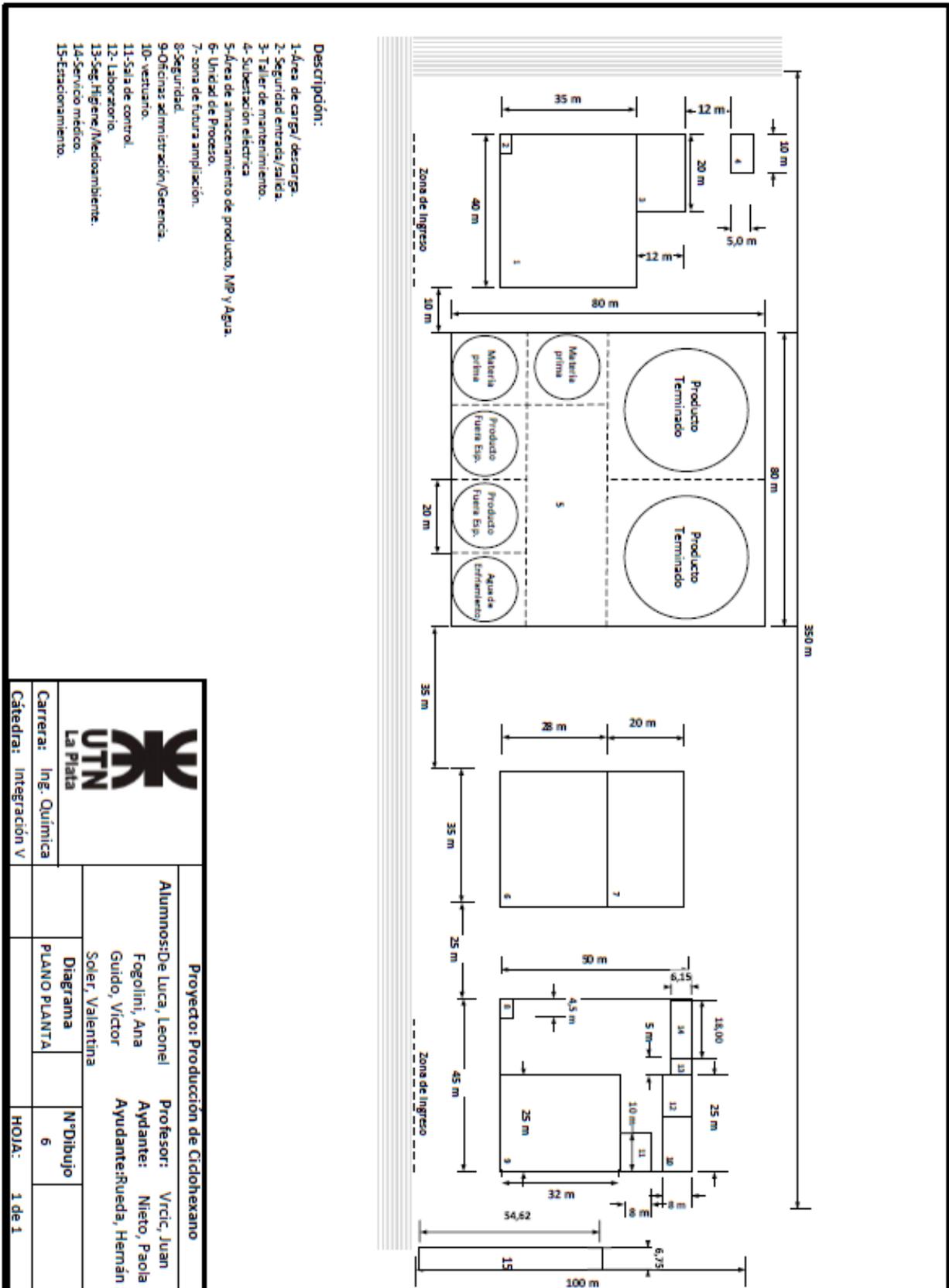
## 7.2. Plano de distribución de equipos:

El plano de distribución de equipos, fue realizado teniendo en cuenta el documento interno de la empresa YPF (ED-A-03.00-01) sobre buenas prácticas de disposición de equipos en planta:

## 7.3. Plano de distribución de áreas:

El plano de distribución de áreas, fue realizado teniendo en cuenta el documento interno de la empresa YPF sobre buenas prácticas de disposición de áreas en planta:





## 8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL:

8.1. Identificación de actividades con impacto ambiental (fase construcción, producción y abandono); formas de mitigarlos:

8.1.1. Caracterización de los residuos sólidos generados por actividad:

A continuación, se describen los residuos sólidos a generarse durante las etapas de obra y de funcionamiento del establecimiento.

### Etapa construcción:

Basuras domiciliarias:

Estos tipos de residuos se generarán por el normal funcionamiento de los obradores. Estará compuesta fundamentalmente por restos de alimentos, cartón, nylon, papeles, envoltorios, etc. generados como consecuencia de la presencia de trabajadores durante la jornada laboral.

Una vez generados, estos residuos deberán ser depositados transitoriamente en bolsas plásticas dispuestas dentro de recipientes adecuados, los cuales se ubicarán en lugares destinados para tal fin indicando que en los mismos deberán almacenarse únicamente esta clase de residuos.

Colmadas las capacidades de los recipientes, éstos deberán ser recolectados y acopiados de forma unificada en contenedores de mayor capacidad, para luego enviarse a disposición final en establecimientos habilitados para tal fin (rellenos). Se buscará establecer controles y registros de la generación de estos residuos, a fin de poder acreditar su gestión a futuro.

Residuos de tipo especial:

Dada las características de las maquinarias que serán utilizadas y de las tareas que se llevarán a cabo, se pueden generar residuos de tipo especial según lo definido en la Ley 11.720 y su Decreto Reglamentario 806/97 de la Provincia de Buenos Aires. Se hallarán constituidos fundamentalmente por grasas y aceite mineral en desuso utilizados para mantenimiento de los equipos empleados, recipientes con restos de estas sustancias, trapos embebidos en aceites, latas con restos de pintura ya sea de base solvente o sintética, pinceles y rodillos sucios, etc.

Dado que existirán varias actividades de mantenimiento durante la etapa de obra, resulta difícil poder establecer un promedio de generación de estos residuos. Lo importante a

destacar es que los mismos deberán de ser acopiados transitoriamente dentro de un sector destinado exclusivamente para ello.

El mismo deberá de cumplir con las siguientes condiciones:

- Piso impermeable.
- Cartelería reglamentaria.
- Elementos de extinción cercanos.
- Recipientes acordes al residuo a contener.
- Identificación de los residuos acopiados.

La empresa deberá contar en el sitio con todos los documentos que respalden la gestión de los residuos especiales (manifiestos de transporte y certificados de tratamiento), a fin de poder acreditar los mismos ante las autoridades que lo requieran.

#### Etapa de funcionamiento:

Domiciliarios:

Se compondrán de restos de papeles, cartón, alimentos, bolsas de papel y polvo propio de las actividades de limpieza sin restos de sustancias definidas como especiales. Se recomienda que los mismos sean almacenados transitoriamente en recipientes debidamente identificados y ubicados estratégicamente en los diferentes sectores de generación (comedor, administración, vestuarios, etc.).

En base a los volúmenes que se generen, una vez que el establecimiento inicie sus actividades, se deberán arbitrar los medios necesarios para lograr un adecuado acopio transitorio dentro de planta hasta ser retirados para su envío a disposición final en un relleno habilitado.

Residuos industriales no especiales:

Debido a las características del proceso productivo que tendrá la empresa, se estima que durante su normal funcionamiento se podrían generar los siguientes residuos industriales NO especiales:

- Posibles envases vacíos que no hayan tenido contacto con sustancias especiales.
- Restos de envoltorios de insumos.
- Papeles y cartón.

Este tipo de residuos, que pudieran generarse como consecuencia de tareas administrativas, embalaje, descarte de envases con desperfectos, etc. deberán ser

dispuestos en recipientes destinados a tal fin debidamente identificados. Los mismos podrán disponerse en el mismo sector de los domiciliarios.

Otro aspecto por considerar sobre esta clase de residuos es su posibilidad de reutilización, ya sea dentro del predio o bien, por terceros. Para ello, se recomienda analizar la posibilidad de segregar los diferentes residuos que se encuentran alcanzados por esta categoría y brindarle destinos sustentables.

Por último, aquellos residuos que no posean esta particularidad y deban ser descartados, se deberán enviar para su disposición final en empresas habilitadas (rellenos), contando con los correspondientes comprobantes de gestión archivado y a disposición de los organismos de control.

La generación de esta clase de residuos no puede ser estimada de antemano.

Residuos industriales especiales:

Los residuos especiales del establecimiento serán generados como consecuencia de actividades operativas, de mantenimiento, de control de calidad o por algún evento fortuito que genere residuos derivados de la actividad.

Se estima que los mismos estarán principalmente compuestos por:

- Catalizador agotado.
- Desechos de hierros contaminados con producto de proceso.
- Residuos de escombros por roturas y/o reparaciones o modificaciones de la obra civil.
- Recipientes de vidrio contaminados derivados de control de calidad.

Desde el punto de vista de la gestión interna, los mismos deberán ser colectados en recipientes debidamente identificados. Se recomienda que estos se encuentren distribuidos en los lugares específicos en planta, para luego ser enviados al Depósito Transitorio de Residuos Especiales.

Periódicamente los residuos especiales deberán ser transportados mediante la contratación de firmas debidamente autorizadas para enviarlos a tratar en operadores de residuos especiales autorizados por la misma autoridad de aplicación.

En lo que respecta al almacenamiento de este tipo de residuos en planta, el mismo deberá ser llevado a cabo dentro de un sector destinado a tal fin, el cual tendrá que cumplir con los lineamientos establecidos en la Resolución 592/00 del OPDS.

Este sector deberá encontrarse separado de otros para su uso, poseer techo, piso y paredes impermeables, contención ante derrames, equipos de extinción portátiles acordes al riesgo presente, identificación correspondiente de la distribución interna de los residuos, identificación de los diferentes recipientes teniendo en cuenta para ello: la categoría de control de cada uno, así como también su fecha de ingreso al depósito, entre otros.

#### 8.1.2. Caracterización de las emisiones gaseosas generadas por actividad:

En el presente apartado se realiza una evaluación de las emisiones gaseosas, tanto para las etapas de construcción como de funcionamiento del proyecto, y posteriormente se describirán brevemente las mismas.

##### Emisiones Puntuales:

Son aquellas emisiones a la atmósfera que se encuentran asociadas a un conducto de descarga y por ende son localizadas.

##### Etapa de Construcción del Proyecto:

No se prevén fuentes fijas en esta etapa.

##### Etapa de Funcionamiento del Proyecto:

Durante esta etapa del Proyecto, existirán emisiones puntuales asociadas a:

- Gas de purga del separador flash, (destino fuel gas o antorcha).
- Gases del acumulador de tope de columna destilación (destino fuel gas o antorcha).

##### Emisiones Difusas:

A diferencia de las emisiones puntuales, esta clase de emanaciones no se pueden asociar a un conducto sino a un área específica.

##### Etapa de Construcción del Proyecto:

Durante la etapa de construcción de la planta, se generarán emisiones difusas provenientes de la combustión de motores y movimiento de vehículos necesarios para la ejecución de las tareas de construcción. Producto de todas estas operaciones se emitirán gases de combustión y material particulado. También como consecuencia de las actividades de movimiento de suelo, se generará material particulado.

##### Etapa de Funcionamiento del Proyecto:

No se prevén emisiones de este tipo.

### 8.1.3. Caracterización de los efluentes líquidos generados por actividad:

En este apartado se realizará una descripción de los efluentes líquidos generados por el proyecto en estudio, en sus etapas de construcción y funcionamiento, teniendo en cuenta para ello el tipo de efluente, los sitios de generación, la cantidad generada y el destino de los mismos.

Efluentes líquidos pluviales:

#### Etapas de construcción:

Estos efluentes serán generados en las diferentes cubiertas que pudieran estar presentes en el predio durante el desarrollo de las tareas de adecuación del suelo y de construcción de las estructuras edilicias, producto de las diferentes precipitaciones. Los mismos serán absorbidos por el terreno absorbente del predio.

#### Etapas de funcionamiento:

Esta clase de efluentes son producto de las precipitaciones que se desarrollarán sobre las cubiertas del edificio de la planta. Las mismas serán colectadas y conducidas por diferentes cañerías hacia el zanjón pluvial externo.

Efluentes líquidos cloacales:

#### Etapas de construcción:

Para abastecer las necesidades sanitarias de los trabajadores en la obra, se utilizarán las instalaciones sanitarias presentes en el sitio donde se emplazará el Proyecto. Se estima una generación diaria de 100 litros/persona que trabaje en la obra, y considerando una afluencia promedio de 10 trabajadores diarios, la generación promedio de efluentes rondaría los 1.000 litros/día.

#### Etapas de funcionamiento:

Estos efluentes estarán asociados a las instalaciones sanitarias presentes en la planta. Estos serán conducidos por medio de cañerías al pozo absorbente previo paso por cámara séptica para retención de sólidos.

Efluentes líquidos industriales:

#### Etapas de construcción:

Durante esta etapa del Proyecto no se generarán esta clase de efluentes. No obstante, se pueden generar otros efluentes líquidos provenientes de las actividades de construcción, como aquellos originados por:

- Lavado de equipos y maquinarias.
- Líquidos remanentes del preparado de mezclas.
- Etc.

Estos efluentes deberán ser gestionados de acuerdo con las características de los mismos, cumpliendo con las reglamentaciones vigentes y las buenas prácticas de gestión ambiental y desarrollo sustentable.

#### Etapa de funcionamiento:

En esta etapa, se generarían los siguientes efluentes:

- Agua de refrigeración.
- Agua utilizada para limpieza de planta y equipos.
- Posibles derrames de producto por perdidas en equipos y líneas de procesos.

8.2. Identificación de factores del medio potencialmente afectados; ecosistema y sociedad (no solo factores económicos, sino salud y calidad de vida):

##### 8.2.1. Medio ambiente natural:

La mayoría de los ecosistemas originales preexistentes al proceso de ocupación del suelo han sido profundamente modificados como consecuencia del desarrollo urbano.

En un gradiente que se acentúa en el tramo inferior; se puede afirmar que las características naturales de la vegetación y de la fauna original han sido reemplazadas por tejido urbano, introduciendo especies vegetales y animales exóticas.

##### 8.2.2. Medio ambiente físico:

Ensenada es una ciudad localizada al noreste de la provincia de Buenos Aires. Limita al sudoeste con la ciudad de La Plata mediante la Avenida 122 y al sudeste con la ciudad de Berisso. El territorio se halla parcialmente urbanizado, caracterizándose por tener una conformación industrial afianzada debido a la industria petrolera y metalmeccánica ubicada en la zona.

##### 8.2.3. Suelos:

Desarrollado en el apartado 4.7 (Estudios de suelos).

##### 8.2.4. Clima:

Desarrollado en el apartado 4.5 (Estudios de clima)

#### 8.3. Matriz Identificación y ponderación de impactos:

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE EFECTOS		ETAPA DE CONSTRUCCIÓN								ETAPA DE HIDROGENACIÓN Y PURIFICACIÓN								ETAPA DE FUNCIONAMIENTO									
		Limpieza del terreno e instalación del obrador 1	Desmote, relleno del terreno, compactación y nivelación 2	Movimiento de suelos para excavaciones 3	Fundaciones de homigón amado 4	Montaje de naves industriales e instalaciones especiales 5	Construcción red vial interna 6	Obras menores de albañilería 7	Pintura, trabajos de terminación, y limpieza 8	Ingreso y almacenamiento de insumos	Precalentamiento de carga, con productos calientes de reacción, y vapor de alta.	Reacción y enfriamiento de producto.	Separación flash líquido vapor.	Purificación de hidrógeno.	Envío de fase líquida a torre estabilizadora.	Enfriamiento de producto con agua industrial para almacenamiento.	Envío de vapor generado en reactor a refinería.	Almacenamiento del producto obtenido	Mantenimiento correctivo y preventivo de las inastlaciones	Gestión de residuos líquidos Sólidos y semi sólidos	Gastión de efluetes gaseosos y material particulado	Gsetión de efluentes líquidos					
Medio Natural	Medio físico inerte	Aire	Contamin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
			Contamin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			Calidad al	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Suelos	Capacidad de uso																								
			Topografía																								
			Compactación	X																							
		Agua	Permeabilidad	X																							
			Contamin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Modificación de los	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Flora	Impermeabilización de áreas de recarga																								
			Deplición y abatimiento																								
			subt.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fauna	Agua	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	superf.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Abundancia																										
Medio Antrópico	Paísaje	Economía	Abundancia																								
			Diversidad																								
			Fauna																								
		Población	Calidad intrínseca																								
			Valoración perceptiva																								
			Seguridad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Condiciones	Generaci	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Riesgo de inundaciones o anegamiento																								
			Actividades económicas afectadas																								
		Uso del suelo	Actividad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Ingresos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			Economía	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Infraestructura	Valor de la tierra																										
	Subdivisión de la tierra																										
	Competencia de usos del suelo																										
servicios	Sistema d	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Sistema circulatorio vehicular - Accesibilidad a propiedades frías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Recíecl	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Sistema de distribución de energía eléctrica																										



La matriz de ponderación detallada, junto con las matrices de identificación de efectos y valoración de impactos se encuentran disponibles en el siguiente acceso:

[https://frlputneduarmy.sharepoint.com/:x:/g/personal/vsoler\\_alu\\_frlp\\_utn\\_edu\\_ar/Ef9eR8CSweJBr9HxQrGyfUcB4\\_8kV5SKB6BaBRGv-INxGQ?rttime=Q6wlrO3\\_2Ug](https://frlputneduarmy.sharepoint.com/:x:/g/personal/vsoler_alu_frlp_utn_edu_ar/Ef9eR8CSweJBr9HxQrGyfUcB4_8kV5SKB6BaBRGv-INxGQ?rttime=Q6wlrO3_2Ug)

#### 8.4. Nivel de complejidad Ambiental:

En esta sección se calculará el nivel de complejidad ambiental asociado al proyecto en función a lo establecido por del decreto reglamentario N°1741/96.

De acuerdo con lo establecido por el Artículo 15° de la Ley 11.459, la totalidad de los establecimientos industriales a instalarse o instalados en el territorio de la Provincia de Buenos Aires, deberán ser clasificados en una de las tres (3) categorías de acuerdo con su Nivel de Complejidad Ambiental (N.C.A.).

El artículo n°9 define el Nivel de Complejidad Ambiental (N.C.A.) de un proyecto o establecimiento industrial por:

- La clasificación de la actividad por rubro (Ru), que incluye la índole de las materias primas, de los materiales que manipulen, elaboren o almacenen, y el proceso que desarrollen.
- La calidad de los efluentes y residuos que genere (ER).
- Los riesgos potenciales de la actividad, a saber: incendio, explosión, químico, acústico y por aparatos a presión que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante (Ri).
- La dimensión del emprendimiento, considerando la dotación de personal, la potencia instalada y la superficie (Di).
- La localización de la empresa, teniendo en cuenta la zonificación municipal y la infraestructura de servicios que posee (Lo).

El Nivel de Complejidad Ambiental se expresa por medio de una ecuación polinómica de cinco términos:

$$\mathbf{N.C.A. = Ru + ER + Ri + Di + Lo}$$

De acuerdo con los valores del N.C.A. las industrias se clasificarán en:

- Primera categoría: hasta 11.
- Segunda categoría: más de 11 y hasta 25.
- Tercera Categoría: mayor de 25.

Aquellos establecimientos que se consideran peligrosos porque elaboran y/o manipulan sustancias inflamables, corrosivas, de alta reactividad química, infecciosas, teratogénicas, mutagénicas, carcinógenas y/o radioactivas, y/o generen residuos especiales de acuerdo con lo establecido por la ley 11.720, que pudieran constituir un riesgo para la población circundante u ocasionar daños graves a los bienes y al medio ambiente, serán consideradas de tercera categoría independientemente de su Nivel de Complejidad Ambiental.

El cálculo del Nivel de Complejidad se realizará de acuerdo al método y valores que se establecen en el Anexo 2 del presente decreto.

Cálculo:

Rubro:

De acuerdo a la clasificación internacional de actividades y teniendo en cuenta las características de las materias primas que se empleen, los procesos que se utilicen y los productos elaborados, se dividen en tres grupos

- Grupo 1: se le asigna el valor 1.
- Grupo 2: se le asigna el valor 5.
- Grupo 3: se le asigna el valor 10.

De acuerdo a la siguiente tabla resumen del anexo I del decreto reglamentario en cuestión:

RUBRO DE ACTIVIDAD	REFINERÍA DE PETRÓLEO
GRUPO	CONCEPTO
3	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DIVERSOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO Y DEL CARBÓN.
2	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO CON MATERIALES COMPRADOS .

*Fuente: elaboración propia.*

Se determina que el proyecto pertenece al grupo 3 cuyo valor asignado es de 10.

Riesgo:

Se tendrán en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante, asignando 1 punto por cada uno, a saber:

- Riesgo por aparatos sometidos a presión: 1.
- Riesgo acústico: 1.
- Riesgo por sustancias químicas: 1.
- Riesgo de explosión: 1.
- Riesgo de incendio: 1.

*Valor total asignado 5.*

Dimensionamiento:

Tendrá en cuenta:

a) Cantidad de personal:

- Hasta 15: adopta el valor 0.
- Entre 16 y 50: adopta el valor 1.
- Entre 51 y 150: adopta el valor 2.
- Entre 151 y 500: adopta el valor 3.
- Más de 500: adopta el valor 4.

*Valor asignado 2.*

b) Potencia instalada (en HP):

- Hasta 25: adopta el valor 0.
- De 26 a 100: adopta el valor 1.
- De 101 a 500: adopta el valor 2.
- Mayor de 500. adopta el valor 3.

*Valor asignado 3.*

c) Relación entre superficie cubierta y superficie total:

- Hasta 0,2: adopta el valor 0.
- De 0,21 hasta 0,5 adopta el valor 1.
- De 0,51 a 0,81 adopta el valor 2.
- De 0,81 a 1,0 adopta el valor 3.

*Valor asignado 2.*

*Por lo tanto, el valor total para el factor dimensionamiento es 7.*

### Localización:

Se tendrá en cuenta:

#### a) Zona:

- Parque industrial: adopta el valor 0.
- Industrial Exclusiva y Rural: adopta el valor 1.
- El resto de las zonas: adopta el valor 2.

*Valor asignado 0.*

#### b) Infraestructura y servicios:

- Agua.
- Cloaca.
- Luz.
- Gas.

*Se asigna 0,5.*

### Efluentes y Residuos:

Se clasifican como de tipo 0, 1 o 2 según el siguiente detalle:

#### Tipo 0:

- Gaseosos: componentes naturales del aire (incluido vapor de agua); gases de combustión de gas natural.
- Líquidos: agua sin aditivos; lavado de plantas de establecimientos del Rubro 1, a temperatura ambiente.
- Sólidos y Semisólidos: asimilables a domiciliarios.

#### Tipo 1:

- Gaseosos: gases de combustión de hidrocarburos líquidos.
- Líquidos: agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos especiales o que no pudiesen generar residuos especiales, provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Sólidos y Semisólidos: resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/u otros que no contengan residuos especiales o de establecimientos que no pudiesen generar residuos especiales.

Tipo 2:

- Gaseosos: Todos los no comprendidos en los tipos 0 y 1.
- Líquidos: con residuos especiales, o que pudiesen generar residuos especiales, que posean o deban poseer más de un tratamiento.
- Sólidos y/o Semisólidos: que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos especiales.

De acuerdo al tipo de Efluentes y residuos generados, el parámetro ER adoptará los siguientes valores:

Tipo 0: se le asigna el valor 0.

Tipo 1: se le asigna el valor 3.

Tipo 2: se le asigna el valor 6.

En aquellos casos en que los efluentes y residuos generados en el establecimiento correspondan a una combinación de más de un Tipo, se le asignará el Tipo de mayor valor numérico.

Se concluye que los residuos y efluentes generados son del tipo 2, cuyo valor asignado del parámetro ER es 6.

Índice NCA inicial obtenido:

$$\text{N.C.A.} = R_u + ER + R_i + D_i + L_o = 10 + 6 + 5 + 7 + 0$$

$$\text{N.C.A. INICIAL} = 28$$

Conclusión:

El proyecto pertenece a la tercera categoría con un total de puntos de 28, es decir que pertenece a la máxima categoría de complejidad ambiental.

8.5. Riesgos en operación.

Riesgos en transporte de Materia Prima y Producto. Formas de mitigación:

Esta sección se abordará a través de un ejercicio de preguntas y respuestas en el cual se plantean los principales riesgos asociados al proyecto, y se brindan respuestas sobre cómo afrontarlos o mitigarlos.

¿Qué pasaría si hay un paro en la provisión de benceno?

En caso de un paro en la provisión de benceno, la planta contará con un stock de seguridad de materia prima para 5 días de operación, gracias al cual seguirá funcionando normalmente en este lapso de tiempo. Si pasado este período la empresa YPF sigue imposibilitada de dicha provisión, existe un proveedor alternativo en Argentina con el cual se mantendrán canales comerciales mínimos que es Pampa Energía S.A. la cual produce, según el IPA, unas 155000 Tn/año de BTX que podría abastecer vía camiones cisterna, a la planta del proyecto en estudio en caso de dicha contingencia.

¿Qué pasaría si hay un paro en el despacho de producto terminado?

Como se menciona más arriba, la logística de este proyecto se basa en la exportación en buques cargueros. Estos poseen una capacidad de carga de 3300m<sup>3</sup>, equivalentes a unos 13 días de producción continua de la planta según capacidad de diseño, por lo que se establecerá una capacidad de almacenamiento de producto del doble de la de dichos buques (unos 6600m<sup>3</sup>). Esto establecerá un margen de seguridad de 13 días de producción continua, ante inconvenientes o demoras en este tipo de logística.

¿Qué pasaría si hay un paro en el suministro de energía eléctrica?

Para este tipo de contingencias, la primera acción (que resolvería el 90% de la situación) sería cortar el suministro de vapor y la carga de materia prima, para recircular la carga existente y depositarla luego, en los tanques de producto fuera de especificación.

¿Qué pasaría si ocurre un accidente en la planta?

Dependiendo del tipo y magnitud del accidente se evaluará si la empresa es capaz de solucionar el siniestro internamente o si es un problema mayor que requiera ayuda de terceros, en cuyo caso se le informará al PREIC (plan de respuesta a emergencias con impacto en la comunidad), el cual está constituido por el municipio, prefectura, policía, bomberos, brigadistas, servicio de ambulancias, defensa civil, empresas, hospitales, medios de difusión y comunidad de vecinos. Las acciones tomadas deberán ser rápidas, sistemáticas y efectivas para poder mitigar el accidente tanto dentro de la planta como a la comunidad vecina.

¿Qué pasaría si se derrama benceno?

Si los empleados son responsables de limpiar los derrames, ellos deben estar debidamente capacitados y equipados. Aplica la norma de la OSHA de manejo de desechos peligrosos y respuesta de emergencia:

En caso de fuga o derrame de benceno, tome las siguientes medidas:

- Evacue al personal. Restrinja e impida el acceso a la zona.
- Elimine todas las fuentes de posible ignición.
- Absorba los líquidos con vermiculita, arena seca, tierra o material similar y deposite en recipientes herméticos.
- Ventile la zona de derrame o fuga.
- NO elimine al alcantarillado los derrames por lavado.
- El benceno es muy toxico para la vida acuática.

Distancia de aislamiento:

- Derrame pequeño: 30 metros (100 pies).
- Derrame grande: 60 metros (200 pies).
- Incendio: 800 metros (0.5 millas).

¿Qué pasaría si se derrama ciclohexano en el puerto?

Aquí se informará inmediatamente al PREIC del puerto, cuya medida de mitigación será contener el producto derramado utilizando una malla flotante desde un remolcador, para luego, una vez retenida, bombear el agua contaminada para su disposición final.

¿Qué pasa si ocurre un incendio en la planta?

Existe un Plan de Contingencia el cual consiste en proveer los lineamientos para una respuesta segura, organizada y eficiente ante un siniestro tal como un incendio.

Plan de contingencias en caso de incendios:

- Dar la alarma general contra incendios en forma acústica, inmediatamente después deberá comunicar la situación al cuerpo de bomberos y Policía de la Municipalidad de Ensenada.
- Paralelo a esta acción, el personal que tenga capacitación adecuada como brigadista, y sólo estos, deberán si es posible extinguir el fuego.
- Conjuntamente con lo anterior deberá desconectarse la alimentación eléctrica que alimenta al sector del incendio.
- Si se enfrenta a un incendio desproporcionado no intentar combatirlo, evacuar hacia una zona segura inmediatamente a todo el personal.

### Conclusión del EIA:

Este estudio será presentado ante la OPDS para obtener el certificado de aptitud ambiental, emitido por este organismo ya que, sin este certificado, no es posible poner en marcha el proyecto en estudio en su fase de operación. Dicho certificado posee una validez de dos años por lo que, por la vida útil en estudio de este proyecto, deberá ser tramitado unas cinco veces ante esta autoridad y, por otro lado, cabe destacar que dicho certificado es auditable cada año de vida del proyecto, por lo que se deberá contar con toda la documentación pertinente correctamente presentable ante los auditores en todo momento.

## 9. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL:

### 9.1. Sindicatos:

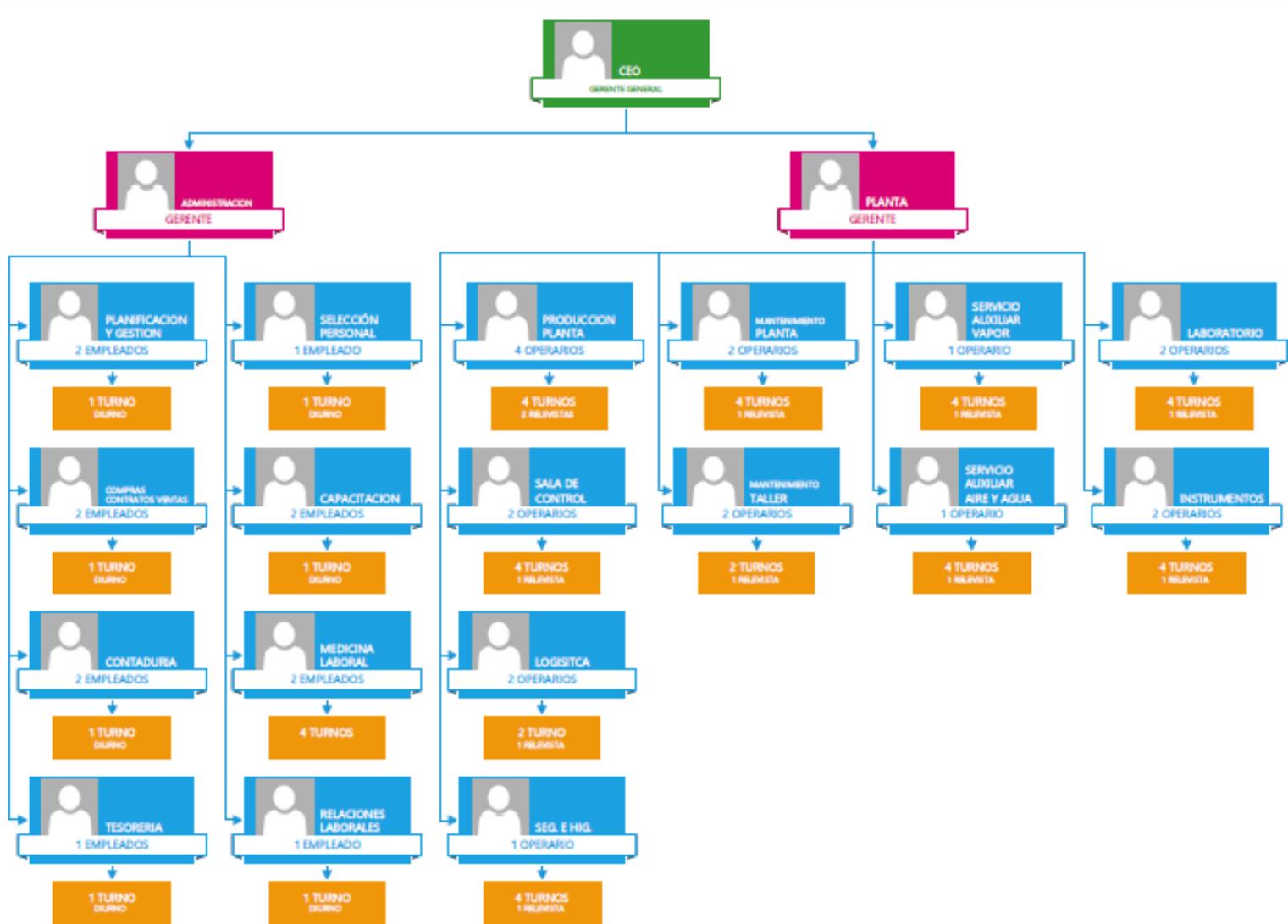
Por el rubro en que se desempeñará la empresa, los sindicatos con los que se vinculará serán: la UOM y la UOCRA en la etapa de construcción y FESTIQyPRA en la etapa de operación.

Los convenios podrán impactar económicamente en el costo de inversión en el primer caso y en los costos de producción en el segundo.

Adicionalmente, las medidas de fuerza tales como paros o huelgas de FESTIQyPRA, los gremios de camioneros y/u obreros marítimos podrían afectar el esquema de producción.

Estas fueron algunas de las razones en base a la cuales se definieron las políticas de stocks, tanto de materia prima como de producto terminado.

## 9.2. Organigrama:



*Ilustración: organigrama.  
Fuente: elaboración propia.*

La empresa contará con un CEO quién estará a cargo de supervisar todo el proyecto en estudio. Debajo de su dirección se encuentran dos gerentes, uno de planta y otro administrativo.

El primer gerente citado tendrá a su cargo los sectores de producción, mantenimiento, servicios auxiliares, laboratorio, instrumentación, salas de control y seguridad e higiene y estos, deberán dividirse la jornada laboral de 24 horas en 3 turnos rotativos de 8 horas con un contingente más de personal para cumplir con las horas franco estipuladas en los convenios colectivos, por lo que en total serán cuatro dotaciones completas, que a su vez deberán contar con relevistas ante inconvenientes. Por otro lado, estarán también a su cargo los sectores de taller y logística que trabajarán de lunes a sábado en dos turnos,

mañana y tarde, cumpliendo una jornada de 8 horas laborales con 1 hora para descansar.

Cada uno de estos sectores contará con un líder/responsable, quien será solicitado ante cualquier eventualidad en la planta durante las guardias.

El segundo gerente tendrá a su cargo toda el área administrativa y de recursos humanos quienes contarán con un horario fijo, de lunes a viernes de 8:00-17:00, cumpliendo con 8 horas diarias de trabajo y 1 hora de descanso.

Los gerentes serán excluidos de la modalidad de contratación clásica (con gremio) debido a su alta responsabilidad y tendrán un sistema de contratación directa con el CEO/DIRECTORIO.

A continuación, se detalla el número final del personal necesario para el funcionamiento de la planta:

DEPARTAMENTO	SECCION	EMPLEADOS	TURNOS	RELEVISTAS	TOTAL
PRODUCCION	PLANTA	4	4	2	24
	SALA CONTROL	2	4	1	12
	SEGURIDAD E HIGIENE	1	4	1	8
	LOGISTICA	2	2	1	6
MANTENIMIENTO	PLANTA	2	4	1	12
	TALLER	2	2	1	6
LABORATORIO	LABORATORIO	2	4	1	12
	INSTRUMENTOS	2	4	1	12
AUXILIARES	VAPOR	1	4	1	8
	AGUA Y AIRE	1	4	1	8
RRHH	SELECCIÓN PERSONAL	1	1	0	1
	CAPACITACION	2	1	0	2
	MEDICINA LABORAL	2	4	0	8
	RELACIONES LABORALES	1	1	0	1
ADMINISTRACION	PLANIFICACION Y GESTION	2	1	0	2
	COMPRAS/CONTRATACIONES Y VENTAS	2	1	0	2
	CONTADURIA	2	1	0	2
	TESORERIA	1	1	0	1
GERENCIA	PRODUCCION	1	1	0	1
	MANTENIMIENTO				
	LABORATORIO				
	AUXILIARES				
	RRHH	1	1	0	1
ADMINISTRACION	1	1	0	1	
CEO		1	1	0	1
TOTAL OPERARIOS ROTATIVOS		116			
TOTAL OPERARIOS NO ROTATIVOS		14			
TOTAL PERSONAL ADMINISTRATIVO		7			
<b>TOTAL DEL PERSONAL DE LA EMPRESA</b>		<b>130</b>			

*Tabla: personal necesario para el funcionamiento de la planta.  
Fuente: elaboración propia.*

### 9.3. Seguridad industrial:

Las condiciones de higiene y seguridad laboral se adecuarán con el fin de cumplir con las normas descritas en la Ley Nacional 19.587 y su Decreto Reglamentario 351/79. El artículo 4° describe:

La higiene y seguridad en el trabajo comprenderá las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, de tutela o de cualquier otra índole que tengan por objeto:

- Proteger la vida, preservar y mantener la integridad psicofísica del trabajador.
- Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo.
- Estimar y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

Se recomienda tener en cuenta la contratación de un responsable de higiene y seguridad laboral, ya sea personal permanente de la empresa o una empresa subcontratada.

### 9.4. Vinculación con los sindicatos:

Los sindicatos con los cuales se relaciona la industria bajo estudio ya fueron nombrados en los puntos anteriores. La FESTIQyPRA es el sindicato adecuado para la representación de los obreros químicos y petroquímicos. La escala salarial y categorías del personal de planta se respetarán según el convenio colectivo de trabajo de este sindicato.

En la etapa de construcción de la planta, los trabajadores que confeccionen las instalaciones pertinentes a los equipos de procesos, tales como cañerías entre otras, se desempeñarán bajo el convenio laboral de la UOM (Unión de Obreros Metalúrgicos) y los obreros que realicen la construcción de estructuras edilicias estarán bajo el convenio de la UOCRA (unión de Obreros de la Construcción de la República Argentina).

ART:

Se contratará una ART para remediar los daños ocasionados al personal por accidentes y/o enfermedades de índole laboral.

Las obligaciones de la ART son:

- Brindar todas las prestaciones que exige la ley, tanto preventivas como monetarias, sociales y de salud.

- Realizar una evaluación de los riesgos declarados por la empresa.
- Realizar una evaluación periódica de los riesgos presentes en la empresa y su evolución. Controlar que se cumplan las normas de prevención de riesgos del trabajo.
- Efectuar exámenes médicos periódicos a los empleados con el fin de evaluar su salud.
- Promover la prevención, informando a la Superintendencia de Riesgos del Trabajo de los planes y programas exigidos a la empresa.
- Tener un registro de los siniestros ocurridos en la planta.
- Informar sobre su estructura, aranceles y balances a los interesados.
- Controlar la ejecución del plan de acción de los empleadores y denunciar ante la Superintendencia de Riesgos del Trabajo su incumplimiento.
- Asesorar y asistir técnicamente a la empresa y sus trabajadores en materia de prevención de riesgos del trabajo.

#### 9.5. Selección del personal:

Los gerentes serán contratados con un año de antelación, los operarios de la sala de control serán contratados como mínimo 6 meses antes de la puesta en marcha de la planta, para que puedan familiarizarse con los sistemas de control y el funcionamiento de la planta. También participarán activamente en la selección de variables y métodos de visualización de estas señales para el correcto funcionamiento de los procesos.

El personal de compras, ventas y contrataciones iniciarán sus actividades desde el momento en que comiencen las inversiones de la planta.

Estos gastos están contemplados en la inversión inicial (generalmente 2% de la inversión en equipos).

## 10. CÁLCULO ECONÓMICO:

### 10.1. Capital Fijo:

Dentro del capital fijo se consideró la inversión inicial en equipos, terreno, ingeniería, construcción y montaje.

### 10.2. Cotización de equipos:

Los equipos diseñados y especificados como los no diseñados, se cotizaron mediante el proceso de escalado brindado por la cátedra de Integración V. Para aquellos equipos similares a los diseñados se tomaron los mismos valores de costo.

El proceso de escalado es el propuesto por “Plant Design and Economics for Chemical Engineers – Peters”, cuya ecuación y coeficientes utilizados se muestran a continuación. Los valores base de capacidad y costo fueron brindados por la cátedra de Integración V.

$$\text{Costo equipo A} = \text{Costo equipo B} \times \left( \frac{\text{capacidad equipo A}}{\text{Capacidad equipo B}} \right)^n$$

Donde n toma los siguientes valores

Equipo	n
Reactor Multitubular	0,56
Columna estabilizadora	0,71
Flash	0,5
Intercambiador	0,6
Reboiler	0,27
Aeroenfriador	0,48
Condensador	0,51
Acumulador	0,52
Purificador	0,5
Bomba	0,45
Compresor	0,79
Tanque	0,49

*Fuente: elaboración propia, datos provistos por cátedra integración V.*

A continuación, se enlistan los equipos cotizados para los cuales se considera un margen adicional que se agrega al costo base y, está relacionado con la necesidad de incorporar accesorios o los requerimientos especiales de cada equipo para su aplicación.

Equipo	n	Adicional %	Precio Equipo U\$S	Cantidad	Total USD
Reactor Multitubular	4.320.105,33	50	USD 6.480.158,00	1	USD 6.480.158,00
Columna estabilizadora	125.610,27	50	USD 188.415,41	1	USD 188.415,41
Flash	127.102,65	20	USD 152.523,19	1	USD 152.523,19
Intercambiador	143.027,32	20	USD 171.632,79	6	USD 1.029.796,74
Reboiler	338.156,24	20	USD 405.787,48	1	USD 405.787,48
Aeroenfriador	173.279,53	20	USD 207.935,44	2	USD 415.870,88
Condensador	230.696,78	20	USD 276.836,14	1	USD 276.836,14
Acumulador	77.251,75	20	USD 92.702,10	1	USD 92.702,10
Purificador	751.256,56	20	USD 901.507,87	1	USD 901.507,87
Bomba	136.623,79	20	USD 163.948,55	8	USD 1.311.588,38
Compresor	751.256,56	20	USD 901.507,87	2	USD 1.803.015,73
Tanque de materia Prima	1.441.633,68	20	USD 1.729.960,41	2	USD 3.459.920,82
Tanque de producto terminado	1.566.636,89	20	USD 3.759.928,54	2	USD 7.519.857,08
Tanque de producto terminado Fuera especificación	1.566.636,89	20	USD 1.879.964,27	2	USD 3.759.928,54
Tanque de agua	1.100.000,00	20	USD 1.320.000,00	1	USD 1.320.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>32</b>	<b>USD 29.117.908,35</b>

Fuente: elaboración propia, datos provistos por cátedra integración V

### 10.3. Inversión inicial por método de porcentajes:

Una vez cotizados los equipos, la inversión inicial total se calculó aplicando el método porcentual propuesto por “Plant Design and Economics for Chemical Engineers – Peters”, donde cada factor adicional considerado contribuye con un porcentaje respecto a la inversión en equipos.

La elección de dichos porcentajes se relaciona básicamente con la complejidad de la planta (en el presente caso la misma es de complejidad media).

Nivel de Precisión	Descripción	%	Nota	MM U\$D
Medio	Localización	20%	\$	5.823.581,60
Bajo	Extra-Terreno	0%	\$	-
Alto	Ingeniería	8%	-	\$ 2.329.432,64
Alto	Obra Civil	25%	-	\$ 7.279.477,00
Alto	Piping (Cañerías y Accesorios)	30%	-	\$ 8.735.372,40
Medio	Instrumentación y Control	10%	-	\$ 2.911.790,80
Medio	Instalación Eléctrica	8%	-	\$ 2.329.432,64
Medio	Compra de equipos + Instalación	15%	-	\$ 4.367.686,20
Alto	OSBL	20%	\$	5.823.581,60
Bajo	Paro	3%	\$	873.537,24
Bajo	Extra-Equipo	1%	\$	291.179,08
Medio	Contratos	2%	-	\$ 582.358,16
N/A	Contingencias	8%	-	\$ 2.329.432,64
	<b>TOTAL</b>		\$	<b>43.676.862</b>

Fuente: elaboración propia, datos provistos por cátedra integración V.

Teniendo en cuenta la inversión en equipos y los costos adicionales calculados, la inversión inicial total (FCI) es de 72.794.770 USD.

#### 10.4. Estructura de costos:

##### Costos fijos:

Como costos fijos se consideran el pago de sueldos al personal y los servicios de antorcha y tratamiento de efluentes contratados de forma anual con el parque industrial.

Respecto al servicio de antorcha y tratamiento de efluentes se estimaron ambos valores entorno a los 200.000 USD/año.

Los sueldos se calcularon en base a las categorías dispuestas en los CCT correspondiente, la escala salarial vigente y el organigrama. Se tuvieron en cuenta aquí las cargas sociales, como un 50% adicional al sueldo base.

Adicionalmente se tuvo en cuenta el recambio de catalizador requerido cada cuatro años.

Los costos de activación del paro y el costo por tonelada de catalizador fueron brindados por la cátedra de Integración V.

Otros costos fijos son los de mantenimiento, contratos, seguros, entre otros.

A continuación, se muestra la tabla de salarios:

DEPARTAMENTO	SECCION	EMPLEADOS	TURNOS	RELEVISTAS	TOTAL	Sueldo unitario bruto (\$)	Total (\$)
PRODUCCION	PLANTA	4	3	2	18	165.000	2.970.000
	SALA CONTROL	2	3	1	9	165.000	1.485.000
	EXPEDICION	5	1	1	6	165.000	990.000
MANTENIMIENTO	PLANTA	2	3	1	9	150.000	1.350.000
	TALLER	2	2	1	6	150.000	900.000
CALIDAD/LAB	LABORATORIO	2	3	1	9	170.000	1.530.000
	CALIDAD	1	3	1	6	170.000	1.020.000
	INSTRUMENTOS	2	3	1	9	170.000	1.530.000
AUXILIARES	VAPOR	1	3	1	6	170.000	1.020.000
	AGUA Y AIRE	1	3	1	6	170.000	1.020.000
RRHH	SELECCIÓN PERSONAL	1	1	0	1	150.000	150.000
	CAPACITACION	2	1	0	2	150.000	300.000
	MEDICINA LABORAL	2	3	0	6	170.000	1.020.000
	RELACIONES LABORALES	1	1	0	1	200.000	200.000
ADMINISTRACION	PLANIFICACION	2	1	0	2	250.000	500.000
	COMPRAS/CONTRATACIONES Y VENTAS	3	1	0	3	250.000	750.000
	CONTADURIA	2	1	0	2	250.000	500.000
	TESORERIA	1	1	0	1	250.000	250.000
GERENCIA	producción	1	1	0	1	300.000	300.000
	mantenimiento	1	1	0	1	300.000	300.000
	calidad/lab	1	1	0	1	300.000	300.000
	auxiliares	1	1	0	1	300.000	300.000
	RRHH	1	1	0	1	300.000	300.000
	Administración	1	1	0	1	300.000	300.000
CEO		2	1	0	2	420.000	840.000

Fuente: elaboración propia en base a CCT, escala salarial y organigrama.

### Costos variables:

Dentro de los costos variables se consideran insumos, materia prima y los gastos en utilities de proceso. Los costos de materia prima se calculan en base al consumo anual y el precio de las mismas, mientras que los gastos en utilities fueron estimados en base al consumo calculado con la simulación de Pro II.

Por lo tanto, entre los costos variables se encuentran el consumo de energía eléctrica, agua de enfriamiento, vapor, gastos logísticos, entre otros.

Se muestran a continuación los consumos de benceno e hidrógeno proyectados para este proyecto:

Año	Precio U\$D/Tn	Tn/año Benceno	Total U\$D	Total MM USD
2023	743,11	61.776	45.906.612	45,91
2024	745,57	61.777	46.059.150	46,06
2025	750,54	61.778	46.366.743	46,37
2026	757,65	61.779	46.807.031	46,81
2027	765,09	61.780	47.267.095	47,27
2028	772,93	61.781	47.752.407	47,75
2029	786,31	61.782	48.580.034	48,58
2030	802,96	61.783	49.609.226	49,61
2031	821,56	61.784	50.759.325	50,76
2032	834,30	61.785	51.547.066	51,55
2033	834,30	61.786	51.547.901	51,55
2034	834,30	61.787	51.548.735	51,55

Fuente: elaboración propia, datos provistos por cátedra integración V.

Año	Precio U\$D/Tn	Tn/añoH2	Total U\$D	Total MM USD
2023	2823,00	11.943,4	33.716.105	33,72
2024	2880,00	11.943,4	34.396.877	34,40
2025	2931,84	11.943,4	35.016.021	35,02
2026	2990,48	11.943,4	35.716.341	35,72
2027	3050,29	11.943,4	36.430.668	36,43
2028	3111,29	11.943,4	37.159.281	37,16
2029	3173,52	11.943,4	37.902.467	37,90
2030	3236,99	11.943,4	38.660.516	38,66
2031	3301,73	11.943,4	39.433.726	39,43
2032	3367,76	11.943,4	40.222.401	40,22
2033	3.435,12	11.943,4	41.026.849	41,03
2034	3.503,82	11.943,4	41.847.386	41,85

Fuente: elaboración propia, datos provistos por cátedra integración V.

## 10.5. Ingresos por ventas:

Dentro de los ingresos por ventas se consideraron los ingresos debido a la venta del producto final, ciclohexano. Este fue proyectado contabilizando el precio de venta afectado por el volumen de ventas según se detalla en la siguiente tabla:

Año	Precio U\$D/Tn	Tn/añoCiclohexano	Total U\$D	Total MM USD
2023	1847,20	65.118,2	120.286.632	120,29
2024	1864,82	65.118,2	121.433.869	121,43
2025	1883,23	65.118,2	122.632.684	122,63
2026	1902,65	65.118,2	123.897.361	123,90
2027	1935,79	65.118,2	126.055.426	126,06
2028	1977,01	65.118,2	128.739.495	128,74
2029	2023,07	65.118,2	131.739.027	131,74
2030	2054,61	65.118,2	133.792.768	133,79
2031	2.054,61	65.118,2	133.792.768	133,79
2032	2.054,61	65.118,2	133.792.768	133,79
2033	2.054,61	65.118,2	133.792.768	133,79
2034	2.055,61	65.118,2	133.857.886	133,86

Fuente: elaboración propia, datos provistos por cátedra integración V.

## 10.6. Capital de trabajo:

Para poder calcular el capital de trabajo se deberá primero estimar el activo y el pasivo circulante los cuales se describen a continuación.

### Activo circulante:

Se compone básicamente de tres rubros:

- Valores e inversiones: es el efectivo que siempre debe tener la empresa para afrontar gastos cotidianos e imprevistos y existen varios modelos para calcular el dinero que se debe tener disponible. Cuando arranca la operación, el efectivo debe ser suficiente para cubrir los gastos de producción y administrativos desde, el primer día, hasta que se empiece a recibir dinero por la venta a crédito, que es de 30 días para el proyecto en estudio.
- Inventario: existen varios tipos de inventarios y es muy difícil establecer una fórmula general para calcular tanto el inventario del producto en proceso, como del producto terminado, por lo que aquí sólo se tendrá en cuenta el inventario de materia prima y el stock de seguridad de 5 días con el que se debe contar, más una tanda de catalizador, para tener lista en caso de necesitar recambio, ya que la compra del mismo conlleva varios meses en concretarse.
- Cuentas por cobrar: es el dinero que se dará a crédito, en la venta de los primeros lotes. Es decir, es la inversión necesaria como consecuencia de vender a crédito, lo cual depende de las condiciones del mismo (periodo promedio en que la empresa recupera el capital). La fórmula contable es la siguiente:

$$C \times C = \text{cuentas por cobrar} = \frac{\$ \text{ventas anuales}}{365} \times PPR$$

donde *PPR* = periodo promedio de recuperación. Por ejemplo, si el crédito a que vende la empresa es 30-60, el *PPR* sería 45.

A continuación, se detallan los gastos de producción y administración a ser afrontados:

- Costos de administración: son los costos que provienen de realizar la función de administración en la empresa. No sólo significan los sueldos del personal administrativo y gastos de oficina, sino que también deben incluirse los correspondientes cargos por depreciación y amortización.
- Costos de producción: incluye la materia prima y la mano de obra; esta se divide en directa e indirecta. La directa es aquella que interviene personalmente en el proceso, específicamente los obreros. La indirecta se refiere a quienes aun estando en producción no son obreros, tales como supervisores, jefes de turno, gerente de producción, etc. Otros costos asociados a la producción son los costos de energía eléctrica, agua de refrigeración, control de calidad, mantenimiento y los costos para combatir la contaminación.

Categoría	Sueldo puro	Sueldo con carga social (1,5)
<b>Administración</b>	\$ 2.000.000	\$ 3.000.000
<b>Producción</b>	\$ 5.445.000	\$ 8.167.500
Mantenimiento	\$ 2.250.000	\$ 3.375.000
Auxiliares	\$ 2.040.000	\$ 3.060.000
<b>Calidad</b>	\$ 4.080.000	\$ 6.120.000
RRHH	\$ 1.670.000	\$ 2.505.000
Gerencia/CEO	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000
<b>Total</b>	<b>\$ 18.925.000,00</b>	<b>\$ 28.387.500</b>
		total en dólares
		<b>USD 159.034</b>

*Tabla: gastos de sueldos mensuales en dólares.  
Fuente: elaboración propia.*

Año	Precio Benceno U\$D/Tn	Benceno (kg/hora)	TN consumo 30 días	Margen de seguridad 20%	U\$S c/ 30 días
2023	743,11	7.800	5.616	6.739	USD 5.007.994
Año	Precio Hidrógeno U\$D/Tn	Hidrógeno (kg/hora)	TN consumo 30 días	Margen de seguridad 20%	U\$S c/ 30 días
2023	2823,00	1.508	1085,76	1303	USD 3.678.121

Tabla: costo en dólares de materia prima cada 30 días.  
Fuente: cátedra de integración V.

Precio U\$D/Tn	Tn/añoCiclohexano	Total Anual	total c/30 días
1847,20	65.118,2	USD 120.286.632	USD 9.886.572

Tabla: cuentas por cobrar por venta a 30 días.  
Fuente: cátedra de integración V.

Servicios Auxiliares	Requerimiento TN/h	Unidad	U\$S	Total USD
Vapor	2,6	Tn/h	0,3	561,6
Agua de enfriamiento	75,7	Tn/h	0,2	10900,8
Energía eléctrica potencia KW	146	Kw	0,01	1051,2
			<b>Total</b>	<b>USD 12.514</b>

Tabla: requerimiento monetario de servicios auxiliares cada 30 días.  
Fuente: cátedra de integración V.

<b>Costo tratamiento de Agua Año</b>	<b>USD</b>	<b>200.000</b>
<b>Costo tratamiento de Agua c/30 días</b>	<b>USD</b>	<b>16.438</b>

Tabla: requerimiento monetario para tratamiento de agua cada 30 días.  
Fuente: cátedra de integración V.

Por lo tanto, el activo circulante del proyecto en estudio a 30 días será:

Concepto	Importe
Sueldos	USD 159.034
MP	USD 8.686.115
Cuentas por cobrar 30 días	USD 9.886.572
Servicios Auxiliares	USD 12.514
Costo Tratamiento de agua	USD 16.438
<b>Total</b>	<b>USD 18.760.673</b>

Tabla: cálculo del activo circulante.  
Fuente: elaboración propia.

Pasivo circulante:

Así como es necesario invertir en activo circulante, también es posible que cierta parte de esta cantidad se financie, es decir, independientemente de que se deban afrontar pagos por ciertos servicios a proveedores u otros pagos, también puede financiarse parcialmente la operación.

En la práctica se ha demostrado que un criterio apropiado para el cálculo del pasivo circulante es basarse en el valor de la tasa circulante, definida como:

$$TC = \text{tasa circulante} = \frac{\text{activo circulante}}{\text{pasivo circulante}}$$

Para la evaluación de proyectos es aconsejable asignar una TC igual o mayor a 3, lo que indica que, por cada 3 unidades monetarias invertidas en activo circulante, es conveniente financiar una, sin que esto afecte significativamente la posición económica de la empresa.

Si disminuye el valor de TC por debajo de uno, la empresa correrá grave riesgo de no poder pagar sus deudas de corto plazo, y si la TC es muy superior a 3, entonces se está dejando de utilizar un recurso valioso, el financiamiento, aunque la liquidez a corto plazo sea muy alta.

PASIVO CIRCULANTE		
	$TC = \text{tasa circulante} = \frac{\text{activo circulante}}{\text{pasivo circulante}}$	
TC		3
ACTIVO CIRCULANTE	USD	18.760.673
PASIVO CIRCULANTE	USD	6.253.558

*Tabla: cálculo del pasivo circulante.  
Fuente: elaboración propia.*

Cálculo del capital de trabajo:

Entonces, el capital de trabajo se calculó como la suma aritmética del activo circulante y el pasivo circulante, y resulta de 12.507.115 USD.

Cálculo del CAPEX:

Este se calcula como la suma aritmética del capital de trabajo y la inversión inicial (FCI), arrojando un valor de 85.301.885 USD.

## 10.7. Financiación:

La financiación se realizará con una combinación de banco y accionistas.

### Financiación por parte del banco:

Se financiará el 30% del proyecto a través del BID, quien impone una tasa del 5% con devolución a 5 años. Este préstamo será tomado en una primera instancia del proyecto, con erogación durante los años cero y uno. No se tendrán en cuenta los intereses del mismo para el pago de impuestos a las ganancias.

### Financiación de paquete accionista:

El 70% de la inversión inicial será financiada por este medio y la tasa estipulada es del 10% a devolver en 10 años, con período de gracia de dos años.

Esta tasa surge de la necesidad del incentivo hacia los accionistas, quienes se espera, estipulen conveniente dicha tasa respecto a las tasas internacionales de los plazos en dólares cuyos valores rondan el 3% anual, en un tipo de negocio, el petroquímico que suele ser bastante rentable y de riesgo moderado. (<https://www.elmejortrato.com.ar>).

Este préstamo será tomado una vez que se haya consumido el monto correspondiente a la financiación bancaria, durante el año uno, y el resto de su erogación se producirá en el año dos, es decir, el año anterior a la puesta en marcha de la planta en estudio.

El pago de préstamo se realizará según el sistema americano.

Se adjuntan las tablas pertinentes a dicha financiación:

Prestamos			
Tipo	Bancario	Accionistas	
Prestamo %		30%	70%
Prestamo	\$	26	\$ 60
Tasa		5%	10%
Años		5	10
Cuota pura	\$	-5,12	\$ -5,97
Interes anual	\$	-0,26	\$ -0,60
Pago Accionistas			\$ -6,57

*Tabla: Detalles del financiamiento total.  
Fuente: cátedra de integración V.*

Erogacion			
	1	2	3
Bancario	25%	75%	0%
	\$ 6	\$ 19	\$ -
Accionario	0%	68%	32%
	\$ -	\$ 41	\$ 19

*Tabla: Detalles de las erogaciones de cada tipo de préstamo.  
Fuente: cátedra de integración V.*

Como se puede observar en el siguiente cuadro, la erogación fuerte se producirá en el año uno, es decir el segundo año del proyecto en estudio, durante la etapa de construcción y montaje de planta, siendo las erogaciones del año cero pertinentes a estudios preliminares, y las del año dos pertinentes a afinación y puesta en marcha:

Erogacion			
	1	8%	\$ -7
	2	70%	\$ -60
	3	22%	\$ -19

*Tabla: Erogaciones de los primeros tres años del proyecto.  
Fuente: cátedra de integración V.*

#### 10.8. Construcción del diagrama de flujo de fondos:

Se incluye a continuación el diagrama de flujo de fondos construido. Para la confección del mismo se tuvo en cuenta la depreciación de activos fijos lineal al 10% anual y la amortización de activos diferidos al 100% dividida en diez años (provincia de Bs. As.).

No se analizará el valor residual del proyecto.

Concepto	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 123	\$ 124	\$ 126	\$ 129	\$ 109	\$ 134	\$ 134	\$ 135	\$ 135	\$ 135
Producto				\$ 123	\$ 124	\$ 126	\$ 129	\$ 109	\$ 134	\$ 134	\$ 135	\$ 135	\$ 135
Otros				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Compras	\$ -494	\$ -512	\$ -84	\$ -84	\$ -84	\$ -85	\$ -80	\$ -68	\$ -83	\$ -84	\$ -84	\$ -84	\$ -84
MP1				\$ -45	\$ -45	\$ -46	\$ -46	\$ -39	\$ -46	\$ -47	\$ -47	\$ -47	\$ -47
MP2				\$ -34	\$ -34	\$ -34	\$ -34	\$ -29	\$ -37	\$ -37	\$ -37	\$ -37	\$ -37
Cuota pura de Bancos	\$ -494	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512	\$ -512
Interes cuota	\$ -0,26	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25	\$ -0,25
<b>Margen Bruto</b>	<b>\$ -494</b>	<b>\$ -512</b>	<b>\$ -512</b>	<b>\$ 3851</b>	<b>\$ 3978</b>	<b>\$ 4094</b>	<b>\$ 4874</b>	<b>\$ 4123</b>	<b>\$ 5079</b>	<b>\$ 5000</b>	<b>\$ 5100</b>	<b>\$ 5100</b>	<b>\$ 5100</b>
<b>OPEx (costos fijos y variables)</b>	<b>\$ -10,8</b>	<b>\$ -11,8</b>	<b>\$ -11,8</b>	<b>\$ -10,8</b>	<b>\$ -11,8</b>	<b>\$ -11,8</b>	<b>\$ -12,0</b>	<b>\$ -11,2</b>	<b>\$ -12,1</b>	<b>\$ -12,1</b>	<b>\$ -12,1</b>	<b>\$ -12,1</b>	<b>\$ -12,1</b>
Fijos	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4	\$ -6,4
Personal	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400	\$ -2,400
Mtto (2% capex)	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7	\$ -1,7
Contratos (1% capex)	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9	\$ -0,9
Seguros (0,5% capex)	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43	\$ -0,43
Varios/Otros	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0
Variables	\$ -4,5	\$ -5,4	\$ -5,4	\$ -4,5	\$ -5,4	\$ -5,4	\$ -5,7	\$ -4,8	\$ -5,7	\$ -5,7	\$ -5,7	\$ -5,7	\$ -5,7
Quimicos													
Vapor	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1
Agua	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1
Electricidad	\$ -0,1	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -0,1	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -0,84	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0
Logisticos	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -2,52	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0
Comerciales (2% margen bruto)	\$ -0,8	\$ -0,8	\$ -0,8	\$ -0,8	\$ -0,8	\$ -0,8	\$ -1,0	\$ -0,82	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0
Impuestos (1% margen bruto)	\$ -0,4	\$ -0,4	\$ -0,4	\$ -0,4	\$ -0,4	\$ -0,4	\$ -0,5	\$ -0,41	\$ -0,5	\$ -0,5	\$ -0,5	\$ -0,5	\$ -0,5
<b>ERITDA</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ 28</b>	<b>\$ 28</b>	<b>\$ 29</b>	<b>\$ 37</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 39</b>	<b>\$ 38</b>	<b>\$ 39</b>	<b>\$ 39</b>	<b>\$ 39</b>
Amortizaciones (100% para Bs As)	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9
<b>EBIT (sólo para imp. a las ganancias)</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ 19</b>	<b>\$ 19</b>	<b>\$ 21</b>	<b>\$ 28</b>	<b>\$ 22</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 29</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 30</b>
IG	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -8	\$ -6	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9
<b>EBT</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ -5</b>	<b>\$ 22</b>	<b>\$ 22</b>	<b>\$ 23</b>	<b>\$ 28</b>	<b>\$ 24</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 29</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 30</b>	<b>\$ 30</b>
Intereses Bancarios	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26	\$ -0,26
Pago Accionistas	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57	\$ -6,57
<b>NI (flujo neto)</b>	<b>\$ -5,19</b>	<b>\$ -5,37</b>	<b>\$ 15,10</b>	<b>\$ 15,34</b>	<b>\$ 16,12</b>	<b>\$ 21,67</b>	<b>\$ 17,02</b>	<b>\$ 23,07</b>	<b>\$ 22,53</b>	<b>\$ 23,21</b>	<b>\$ 23,21</b>	<b>\$ 23,21</b>	<b>\$ 23,21</b>
<b>CAPEX</b>	<b>\$ -0,43</b>	<b>\$ 0,09</b>	<b>\$ 0,34</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -6,27</b>	<b>\$ -4,00</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -4,27</b>	<b>\$ -4,27</b>
Erogaciones	\$ -6,82	\$ -59,72	\$ -18,77										
Prestamos Bancarios	\$ 6,40	\$ 19,19	\$ -										
Accionistas	\$ -	\$ 40,61	\$ 19,11										
Paro				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Catalizador				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Continuidad (3% capex)				\$ -2,56	\$ -2,56	\$ -2,56	\$ -2,56	\$ -2,00	\$ -2,56	\$ -2,56	\$ -2,56	\$ -2,56	\$ -2,56
SMASS (1% capex)				\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -1,00	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85
Integridad (1% capex)				\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -1,00	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85	\$ -0,85
VS (si se evalua)				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de Fondo</b>	<b>\$ -0,43</b>	<b>\$ -5,11</b>	<b>\$ -5,03</b>	<b>\$ 10,84</b>	<b>\$ 11,07</b>	<b>\$ 11,86</b>	<b>\$ 15,41</b>	<b>\$ 13,02</b>	<b>\$ 18,80</b>	<b>\$ 18,26</b>	<b>\$ 18,94</b>	<b>\$ 18,94</b>	<b>\$ 18,94</b>
<b>Flujo Acumulado</b>	<b>\$ -5,53</b>	<b>\$ -10,57</b>	<b>\$ 0,27</b>	<b>\$ 11,34</b>	<b>\$ 23,20</b>	<b>\$ 38,61</b>	<b>\$ 51,63</b>	<b>\$ 70,43</b>	<b>\$ 88,70</b>	<b>\$ 107,64</b>	<b>\$ 126,59</b>	<b>\$ 145,53</b>	<b>\$ 145,53</b>

### 10.9. Valor actual neto:

El valor actual neto del proyecto se calculó de la siguiente forma, con una tasa de descuento del 12%, que es la tasa estipulada en dólares mínima requerida para un proyecto industrial de esta complejidad, concatenado con el riesgo país de la república Argentina. (fuente: <http://www.economypedia.com>)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

$I_0$ =inversión inicial.

$F_t$ =flujo de fondos en el periodo  $t$ .

$k$ =tasa de descuento.

$t$ =periodo.

Al utilizar capital 100% financiado, la inversión inicial no se tiene en cuenta como un egreso (en caso contrario el egreso es la diferencia entre la inversión inicial total y el capital financiado).

El VAN obtenido es de 56.764.954 USD.

### 10.10. Tasa interna de retorno:

La tasa interna de retorno obtenida fue del 77%, superior a la tasa mínima exigida en este proyecto del 12%.

VAN	\$ 56,76
TIR	77%
Pay Back	2

Tabla: Cuadro de resultados de los indicadores utilizados en este proyecto.  
Fuente: cátedra de integración V.

### 10.11. Sensibilidad a las diferentes variables:

Se analizó la sensibilidad económica del proyecto en estudio a través de los indicadores mencionados (VAN y TIR) en distintos escenarios como:

- Puesta en marcha sin ningún tipo de financiamiento.
- Accidente con parada de planta de un año.
- Baja en el precio de venta del producto a precio de EEUU.
- Necesidad de la construcción de una planta de H2 en un escenario en el que YPF S.A. no puede proveerlo.

Puesta en marcha sin ningún tipo de financiamiento:

Al utilizar capital 100% propio, la inversión inicial se tiene en cuenta como un egreso en su totalidad arrojando el siguiente resultado; como se puede observar los indicadores pierden mucha eficacia en este escenario, aunque el proyecto sigue arrojando un resultado positivo de posible inversión. Los valores con financiación total arrojan resultados mucho más alentadores por lo que se procederá con esta opción.

VAN	\$ 17,28
TIR	16%
Pay Back	6

*Tabla: VAN en millones de USD sin financiamiento.  
Fuente: elaboración propia.*

Accidente con parada de planta de un año:

Para evaluar esta situación se iguala el OPEX variable a cero, se tiene en cuenta un valor de paro de planta igual al 50% del CAPEX, y se estima un gasto en materiales durante ese año de 15 millones de USD; se obtuvieron los siguientes resultados:

VAN	\$ 9,47
TIR	30%
Pay Back	6

*Tabla: VAN en millones de USD con accidente y un año de parada.  
Fuente: elaboración propia.*

Se puede apreciar que los indicadores bajan considerablemente su rendimiento, lo que conlleva a pensar en establecer desde el principio del proyecto un sistema contra

incendios de lo mejor que se pueda pagar, aunque esto conlleve a un aumento del capex considerable.

Baja en el precio de venta del producto de un 10%:

En este caso se estudian los indicadores económicos a un precio de venta de producto terminado con cotización 10% inferior al utilizado para este proyecto, estipulado en ventas locales y regionales, arrojando los siguientes resultados:

VAN	\$ 9,59
TIR	24%
Pay Back	6

Tabla: VAN en millones de USD con baja en precio del producto.  
Fuente: elaboración propia.

Necesidad de la construcción de una planta de H2 en un escenario en el que YPF S.A. no puede proveerlo:

Aquí se estipula la construcción de una planta productora de gas H2 en un escenario en el que este no puede ser provisto por la empresa YPF S.A. cuyo costo por simulación facilitada por la cátedra de Integración V, se estima en 200 millones de USD que serán sumados al CAPEX, junto con un nuevo capital de trabajo estimado en 15% del nuevo valor de FCI.

A su vez por supuesto, el costo de esta materia prima en el flujo de fondos será igual a cero.

Este análisis arroja los siguientes resultados en los indicadores:

VAN	\$ 5,72
TIR	15%
Pay Back	7

Tabla: VAN en millones de USD con planta incluida de H2.  
Fuente: elaboración propia.

Este caso en particular arroja la posibilidad de, en un futuro luego del período de recupero, llevar a cabo la construcción de una planta productora de gas hidrógeno con capitales propios y/o de apalancamiento, ya que como se observa en el cuadro de resultados, el proyecto seguirá siendo rentable.

### Conclusión:

De todos los escenarios adversos posibles al que fue sometido este proyecto económico en este estudio, ninguno de ellos resulta en indicadores negativos. Si bien dichos indicadores bajan en gran medida su efectividad y además se citan posibles medidas de mitigarlos, ninguno de estos escenarios en sí mismo termina de revertir una decisión afirmativa de inversión.

Por otro lado, estos indicadores se encuentran bastante alejados de los valores del proyecto tal cual planteado, lo que le da a esta combinación elegida de trabajo, un buen impulso al momento de presentarla a los inversores.

#### 10.12. Decisión de inversión:

En base al análisis anterior, se decide invertir en el proyecto.

### 11. BIBLIOGRAFÍA:

#### 11.1. Libros:

- Eduardo Cao (2010) “Heat Transfer in Process Engineering”–The McGraw-Hill Companies.
- Peters, Max S. ; Timmerhaus, Klaus D. (1991) “Plant Design and Economics for Chemical Engineers” \_ The McGraw-Hill Companies.