

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata

Producción de Diesel Verde

Integración V - Proyecto Final Carrera: Ingeniería Química

ALUMNOS:

- ✓ De Blasi Facundo
- ✓ Risculese Francisco

DOCENTES:

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



Año 2021

Contenido

1. OBJETIVO	5
2. ALCANCE	5
3. HIPOTESIS DE TRABAJO	5
4. ESTUDIO DE MERCADO	6
4.1. El producto, sus características	6
4.2. Evolución de la producción	8
4.3. Demanda proyectada	9
4.4. Determinación de la capacidad de producción de la nueva planta	10
4.5. Productos sustitutos	11
4.7. Materia prima	15
4.8. Competencia de Productos y Materias Primas	19
5. UBICACIÓN DE LA PLANTA	24
5.1. Factores que influyen en la ubicación de una planta industrial	23
5.2. Métodos para determinar la ubicación, preliminares y finales	24
5.3. Factores primarios y específicos	25
5.4. Disponibilidad de hidrógeno	27
5.5. Distancia al complejo sojero	28
5.6. Mercado consumidor	29
5.7. Mano de obra capacitada	30
5.8. Vías de comunicación y transporte	31
5.9. Suministro de energía eléctrica, gas y agua	35
5.10. Beneficios otorgados en las zonas de alojamiento industrial	37
5.11. Macrolocalización	38
5.12. Microlocalización	41



5.13.	Estudios de clima	45
5.14.	Estudios de requisitos legales (nacionales, provinciales y municipales, incluyendo los medioambientales)	52
5.15.	Estudios de suelos	63
5.16.	Las Comunidades vecinas	70
5.17.	Mano de obra	70
5.18.	Logística	72
5.19.	Hidrógeno	72
5.19.1.	Aceite de soja	74
5.19.2.	Producto	75
6.	ELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	76
6.1.	Descripción de los distintos procesos posibles	76
6.2.	Patentes	77
6.3.	Selección del óptimo	85
6.4.	Diagrama de producción.	87
6.5.	Descripción detallada del proceso elegido	88
6.6.	Construcción del diagrama de flujo (PFD)	90
7.	DISEÑO BÁSICO	92
7.1.	Determinación de las bases de diseño principales en los límites de la batería	92
7.2.	Balance de masa y energía	94
7.3.	Diseño básico de los equipos principales y auxiliares	95
7.3.1.	Diseño del tanque de almacenamiento TK-101	96
7.3.2.	Diseño de la bomba P-101	103
7.3.3.	Diseño del reactor R-101	125
7.3.4.	Diseño del separador flash horizontal trifásico F-102	154
7.3.5.	Diseño de columna T-101	165
7.3.6.	Diseño del intercambiador de calor E-109	185
7.4.	Otros equipos	202



7.4.1.	Aeroenfriador EA-102	202
7.4.2.	Horno B-101	209
7.5.	Requerimientos de servicios auxiliares	212
8.	DIAGRAMAS Y PLANOS	218
8.1.	P&I. Columna.	218
8.2.	P&I. Reactor.	222
8.3.	Plano de distribución de áreas	224
8.4.	Plano de distribución de equipos	225
8.5.	Importancia de la disposición de equipos y requisitos que debe reunir un Layout. Método de Richard Muther SLP.	226
9.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	227
9.1.	Línea de base ambiental	227
9.2.	Síntesis descriptiva	228
9.4.	Lista de comprobaciones ambientales	231
9.4.	Matriz de identificación de impactos	237
9.5.	Matriz de evaluación de impactos	238
9.5.	Residuos, efluentes y emisiones gaseosas	240
9.8.	Plan de contingencia	244
10.	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL	250
10.1.	Problemas generales de organización	250
10.3.	Organigrama	252
10.4.	Seguridad industrial Ley nº 19587	261
10.5.	Vinculación con sindicatos (CCT)	263
10.6.	Riesgos laborales – ART	264
10.7.	Selección, incorporación y capacitación, tiempos y costos.	265
11.	CÁLCULO ECONÓMICO	267
11.1.	Capital Fijo. Concepto	267
11.2.	Determinación de costos por equipo	269
11.3.	Método para estimarlo	270



11.4. Costos de fabricación y ventas	271
11.5. Distintos métodos de estimación	272
11.6. Costos fijos y variables.	277
11.7. Inventarios	278
11.8. Capital de trabajo	279
11.9. Construcción del diagrama de flujo de fondos	284
11.10. Distintas técnicas para la toma de decisión. Rentabilidad.	286
11.10.1. Método de período de recuperación	287
11.10.2. Valor Actual Neto (VAN)	287
11.10.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)	288
11.11. Diagrama del punto de equilibrio.	290
11.12. Sensibilidad a las diferentes variables	294
12. BIBLIOGRAFÍA.	297
13. ANEXOS	315
13.1. Estudio de localización: Vientos en la zona	315



1. OBJETIVO

Ingeniería básica para la aprobación de inversión de planta de producción de Diésel Verde a partir de aceite de soja.

2. ALCANCE

Desarrollo del estudio de viabilidad técnico-económico, para instalar una planta de hidrodeshidrogenación de aceite de soja para la producción de diésel verde, con una producción de 50000 m³/año, obteniendo como subproducto jet fuel y propano verde.

El desarrollo del estudio implica realizar FEL I, FEL II, y FEL III, en un período de tiempo no superior al año, debiendo entregar la información para la toma de decisión en abril de 2022.

Esto incluye localización de la empresa, obtención de certificado de aptitud ambiental, organigrama, análisis económico y análisis 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. HIPOTESIS DE TRABAJO

- ❖ Se ha hecho una previsión de crecimiento de la demanda de gasoil de 4% anual para los próximos 10 años.
- ❖ De acuerdo con la ley de biocombustibles el producto podrá reemplazar a FAME en el blending de gasoil de empresas de combustibles.
- ❖ Se ha realizado un contrato a 10 años con empresas productoras de aceite de soja para garantizar el abastecimiento de materia prima de la planta.
- ❖ Se ha llegado a un acuerdo en el que YPF va a comprar la totalidad de nuestra producción.
- ❖ Se ha firmado un acuerdo de provisión de hidrógeno por 10 años, con una refinería cercana a la ubicación de la planta.



4. ESTUDIO DE MERCADO

4.1. El producto, sus características

El **Diésel Verde** (proveniente de su denominación en inglés: *Green Diesel*), diésel de segunda generación, diésel biohidrogenado o simplemente diésel renovable es el principal producto del proceso HDO. Estas siglas se refieren al proceso de hidrodeshidrogenación, que al realizarlo sobre aceites vegetales obtenemos el combustible en cuestión: diésel verde. En este trabajo hablaremos de Diésel Verde y su abreviatura será DV. Se lo compara con el combustible fósil (gasoil) y el biodiésel (FAME), ya que todos se utilizan para motores de encendido por compresión que siguen el ciclo Diesel.

El biodiésel y el DV entran a la categoría de biocombustibles debido a que utilizan la energía de aceites vegetales y grasas animales, las cuales provienen de la biomasa procesada o refinada. Sin embargo, la materia prima requerida por el proceso HDO puede ser de la misma o de inferior calidad que la necesaria en la producción de FAME y aun así se obtiene un producto de mayor calidad.

En comparación con la producción regular de biodiésel por transesterificación, el proceso HDO, en pocas palabras, utiliza hidrógeno en lugar de metanol como materia prima. Como resultado, no es la glicerina, sino el propano el subproducto de la hidrogenación. Otra diferencia importante entre los dos procesos es el hecho de que la hidrogenación elimina todo el oxígeno de los aceites vegetales, mientras que la transesterificación no. Aporta, el DV, entonces, una gran ventaja ya que al no contener oxígeno en sus cadenas es más estable frente a la oxidación.

Dentro de los puntos fuertes del DV, se encuentra el alto índice de cetano, el cual describe la calidad de ignición de un combustible diésel en un motor de combustión interna, esto es, al aumentar el índice, se logra un tiempo menor en el encendido, traduciéndose en una mayor eficiencia térmica y un menor consumo de combustible. Cuando se mezcla DV con diésel de petróleo, el índice de cetano aumenta casi linealmente hasta la relación de mezcla.

Otra de las ventajas más resaltables del DV es que tiene un excelente comportamiento en frío, por ejemplo, el CFPP o punto de obstrucción de filtro en frío, puede tomar valores de hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, o incluso $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, independientemente de la materia prima utilizada. Esto, a su vez, hace que el DV sea adecuado para su uso durante los inviernos más crudos, y se considere la oportunidad de producir combustible para aviones.

Si analizamos su composición, la misma se basa en una mezcla de hidrocarburos saturados de cadena lineal y ramificada, que normalmente



contienen de 15 a 18 átomos de carbono por molécula. Dicha composición se asemeja al diésel de petróleo fósil, por lo que se lo puede utilizar en los motores que funcionan por el ciclo Diesel sin modificar nada, químicamente hablando. Estos hidrocarburos saturados, proporcionan otro beneficio al combustible verde: su bajo punto de enturbiamiento. Siendo por definición, la temperatura más alta por debajo de la cual la formación de partículas de cera sólida hace que el combustible se vuelva turbio.

La ausencia de aromáticos o naftenos en su composición, proporciona una combustión mucho más “limpia”, comparado con el diésel obtenido a partir de reservas fósiles. El biodiesel genera emisiones de NOx, a diferencia del DV que las disminuye, mucho más frente a los valores del diésel convencional que proviene del petróleo. Otro punto a favor en la composición es su ausencia de azufre, lo que lo convierte en un combustible muy versátil incluso para los motores más exigentes.

También se resalta que tiene una densidad menor que el biodiesel y el diésel de petróleo. Esto significa que se reduce el poder calorífico volumétrico del combustible y aumenta el consumo de combustible del motor. Afortunadamente, el valor calorífico neto o LHV del DV en base a su masa, resulta ser mayor que el del diésel convencional y del combustible FAME, por lo que el efecto se contrarresta y el poder calorífico volumétrico es similar al del diésel fósil. La densidad que tiene el producto también ofrece beneficios económicos, por ejemplo, pudiendo permitir la mezcla con productos petrolíferos más pesados de menor costo.

Propiedades	Diesel fosil	Biodiesel	Diesel verde
Num. Cetano	40-55	50-65	75-90
Densidad de energía (Mj/kg)	43	38	44
Densidad (g/ml)	0.83-0.85	0.88	0.78
Punto de nube (°C)	-5	20	-10
Rango de destilación (°C)	180-360	350-370	190-320
Viscosidad (+40°C, mm ² /s)	≈3.5	4.5	2.9-3.5
Aromaticos (%P)	≈30	0	0
Oxígeno (%P)	0	≈11	0
Azufre (mg/kg)	<10	<10	<10
Estabilidad oxidativa	Normal	Pobre	Excelente
Propiedades de flujo en frío	Normal	Pobre	Excelente
Lubricidad	Normal	Excelente	Normal
Emisiones Nox	Normal	10%	-10%
Estabilidad de almacenamiento	Buena	Complicada	Buena
Porcentaje de mezcla	0-100	<10	0-100

Figura 1: Comparación de propiedades de los combustibles.

Fuente: Elaboración propia a partir de: “Yoon JJ. What is the difference between biodiesel and renewable (green) diesel. In: Presented at the Advanced Biofuels USA, March 2011”, y “Hydrocarbon Processing · February 2008”.



4.2. Evolución de la producción

La oferta y demanda de DV en Argentina es nula ya que es un combustible que no se produce en el país y tampoco se importa, sin embargo, podemos analizar los datos del gasoil y biodiesel, que son dos combustibles con mayores similitudes al mismo.

En Argentina, las empresas que lideran la producción de gasoil son YPF, con gran diferencia, luego Raizen (Empresa que surgió de la unión de SHELL y Cosan) y finalmente cierra Axion, en el año 2018 según datos del Instituto Argentino de Petróleo y Gas (IAPG), se produjeron más de 11,5 millones de metros cúbicos (m^3) del combustible.

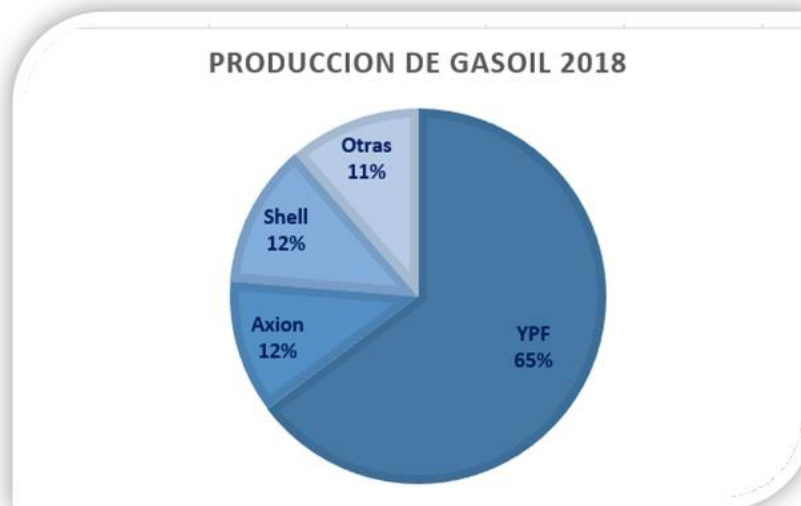


Figura 2: Desarrollo de la producción nacional de biodiesel.
Fuente: "Informe anual del IAPG"

En el caso de biodiesel, existe una gran capacidad ociosa, debido a que se redujo la demanda externa por el cierre de las importaciones por parte de la Unión Europea (principal comprador en su momento) al producto de origen argentino como medida antidumping (defensa comercial que se aplica cuando un exportador ofrece un bien o servicio a un precio inferior al precio corriente de mercado). Los grandes productores que dedicaban gran parte de su capacidad a la exportación quedaron con una gran capacidad instalada que no pudieron utilizar para abastecer el mercado interno, dado que, debido a la reglamentación vigente, se prioriza para la oferta local a los productores pequeños.

Para el biodiesel su pico de producción se dio en 2017 con más de 3,2 millones de m^3 , de las cuales 1,38 millones se destinaron para exportación, con estos datos se calculó la oferta a nivel nacional del combustible como la diferencia



entre la producción y las exportaciones, datos que van a ser analizados posteriormente.

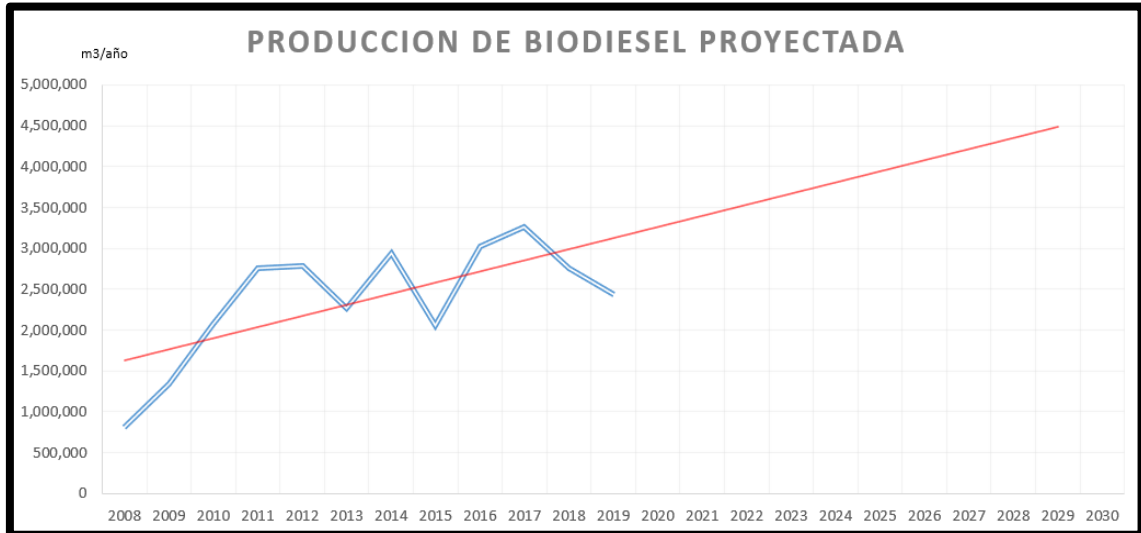


Figura 3: Desarrollo de la producción nacional de biodiesel.
Fuente: Secretaria de Energía.

4.3. Demanda proyectada

La demanda nacional de biodiesel está dada por las refinerías que deben establecer, por ley, un corte obligatorio con biodiesel al gasoil, actualmente el valor es del 10% pero se contará con la posibilidad de que pueda bajar este porcentaje en los próximos años.

En el mercado internacional, existe demanda de aquellos países que no alcanzan a cubrir la producción necesaria para cumplir con la legislación de su país (diferentes porcentajes de corte), ya sea por falta de producción o producción nula.

El número de ventas anuales de gasoil en Argentina muestra una tendencia al crecimiento con el paso de los años, el pico de ventas de gasoil según datos del IAPG fue dado en 2017, con más de 13 millones de m³ de combustible.

Para analizar la demanda del biodiesel, se tomará en cuenta el 10% de las ventas del gasoil, debido a que los datos del IAPG tienen en cuenta las ventas del combustible con el porcentaje de biocombustible reglamentado, se proyectarán y luego se compararán con la oferta para calcular la demanda insatisfecha en el futuro, donde la oferta es resultado de la diferencia entre la producción anual de biodiesel y las exportaciones.



Se supondrá que el aumento de la oferta de biodiesel se va a mantener más o menos constante, debido a que las medianas y pequeñas empresas que cubren los mayores porcentajes de la demanda en el país no realizarán grandes expansiones en sus plantas.

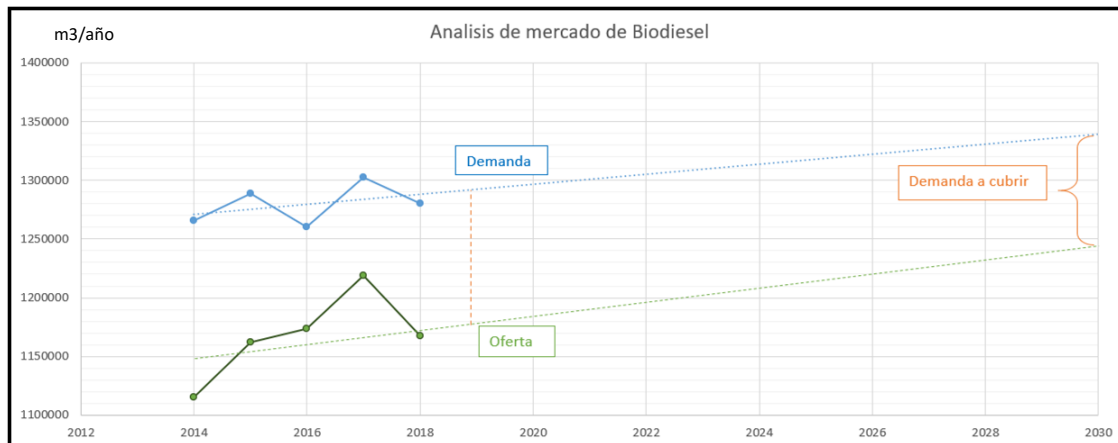


Figura 4: Análisis de la proyección nacional de biodiesel.

Fuente: Datos del IAPG y la Secretaría de Energía. Gráfico de elaboración propia.

Según la proyección realizada, se concluye que la oferta se encuentra siempre por debajo de la demanda y que para el 2030 va a existir una demanda a cubrir de 100000 m³/año, esto, se propondrá como una meta a cumplir del proyecto, sin embargo, en un principio, un porcentaje de la misma podrá ser abastecida debido a que esta demanda debe cumplirse obligatoriamente por ley, por lo que se dejará un margen “libre” para el resto de las empresas que posean capacidad ociosa.

Esta brecha normalmente se encuentra cubierta por las grandes empresas de forma obligada, ya que dedican su actividad mayoritariamente a la exportación, ya que dicha actividad provee un alto nivel de ingreso en dólares, pero deben apartar una fracción del producto, que normalmente se exporta, para el mercado interno, esto último se realiza para que el combustible cumpla con las especificaciones de la ley de biocombustibles.

4.4. Determinación de la capacidad de producción de la nueva planta

Como resultado del análisis, la capacidad máxima de la planta arroja un valor de 100000 m³/año, para determinar la capacidad exacta se deberá analizar si las materias primas del proyecto puedan ser un limitante. Sabemos de antemano que el aceite de soja se encuentra en abundancia en el país, mientras que el hidrogeno es un recurso más escaso y de más difícil acceso.



Según los datos recopilados, se necesitan 1 normal metro cúbico (Nm^3) de hidrógeno para producir $34,12 \text{ m}^3$ de DV, y en el Complejo Industrial Ensenada (CIE), se generan en la actualidad $386400 \text{ Nm}^3/\text{día}$ con proyección de aumento de hasta $458400 \text{ Nm}^3/\text{día}$ para 2025. A pesar de esto hay que tener en cuenta que las reacciones ocurren en exceso de hidrógeno, por lo que se va a necesitar más, pero de igual forma el hidrógeno tampoco sería un limitante a la hora de definir la capacidad de la planta.

Se definió una capacidad de planta fijada en $50000 \text{ m}^3/\text{año}$, que representa el 50% de la demanda insatisfecha calculada para 2030. Principalmente porque con esta capacidad, entramos en la clasificación de medianas y pequeñas empresas, lo que tiene ciertos beneficios a la hora de vender nuestro producto, como prioridad frente a las grandes empresas a la hora de vender el biocombustible. Por otro lado, un porcentaje superior al mismo podría representar un riesgo en caso de que las pequeñas y medianas empresas aumenten su producción o realicen expansiones en su planta, y la planta podría quedar con capacidad ociosa.

4.5. Productos sustitutos

En Argentina, el DV es un producto que no existe, pero se podría decir que es un posible producto sustituto del gasoil y el biodiesel, ya que compite directamente con ellos como combustibles de grado 3 en motores diésel, aunque solo el diésel fósil y el DV pueden utilizarse sin necesidad de mezclarse.

Se cree que, en el futuro, los precios internacionales del petróleo crudo van a aumentar considerablemente, lo que reduciría la demanda de gasoil y otros combustibles fósiles, sobre todo en países desarrollados, pero, por otro lado, se espera que los precios de los biocombustibles, al igual que los precios de sus materias primas, crezcan, pero a un ritmo menor que los precios de la energía. Como resultado, en un futuro, los biocombustibles mostrarán un claro movimiento de reemplazo frente los combustibles fósiles, por ser más viables económicamente.

4.6. Variables macroeconómicas

Todos los países del mundo se ven afectados de forma directa o indirecta por la pandemia, y Argentina no es la excepción: las variables muestran un panorama que no es económicamente positivo, siendo la economía argentina, una de las más afectadas de América Latina, encabezada con una abrupta caída del PBI.



4.6.1. Producto Bruto Interno (PBI)

Los datos hasta 2019 son extraídos del Banco Mundial, mientras que la proyección de hasta 2025 es de elaboración propia. Para su construcción, se tiene que en el eje de las x se reportan los años y en el eje de las y el PBI per cápita en miles de dólares. Es importante analizar esta variable, ya que está relacionada con el riesgo país, y servirá a la hora de evaluar la viabilidad económica del proyecto.

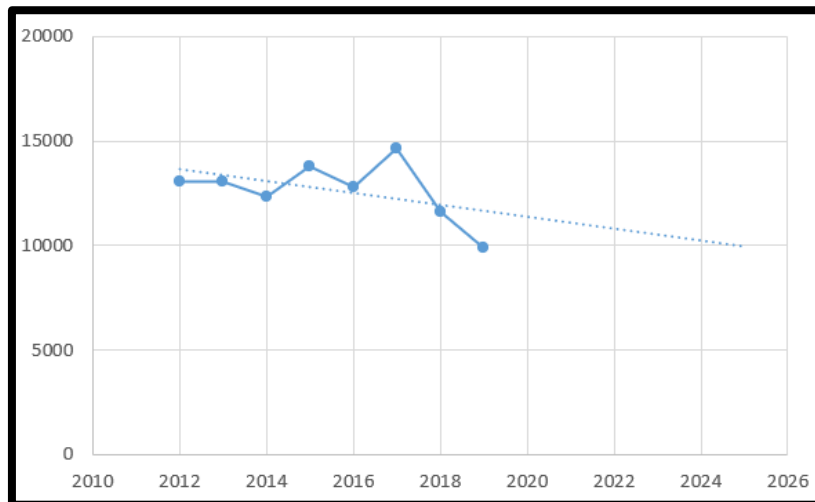


Figura 5: Grafico de la evolución del PBI per cápita.
Fuente: Banco Mundial.

4.6.2. Inflación

La inflación es un aumento generalizado en los precios de bienes y servicios, Argentina tiene la segunda tasa de inflación más alta de Latinoamérica, detrás de Venezuela. La fuerte inflación estimada post-pandemia es un factor muy alarmante que va a deteriorar el poder adquisitivo de la población, aunque para el presente estudio se considerarán únicamente los datos obtenidos hasta 2019, la fuente de información utilizada fue el Fondo Monetario Internacional (FMI) y el indicador que tuvimos en cuenta es la tasa de inflación, precio promedio al consumidor.

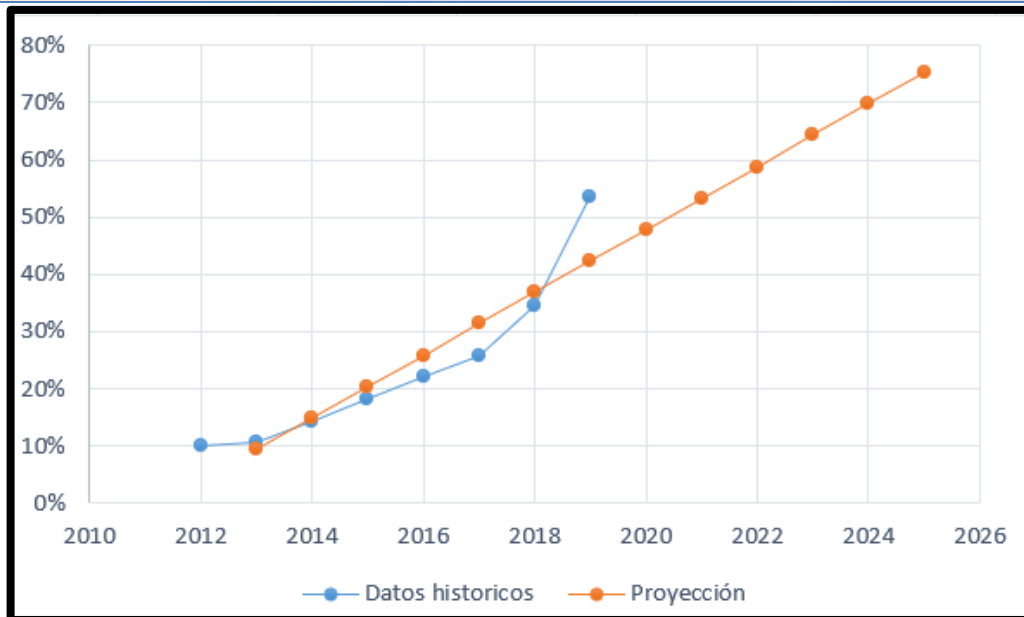


Figura 6: Análisis de la evolución de los valores de inflación, precio promedio al consumidor.
Fuente: Fondo Monetario Internacional.

Aun sin considerar la situación de pandemia mundial, según la proyección realizada, el valor de inflación muestra una marcada tendencia al crecimiento de forma constante, para evitar que el cálculo económico de este proyecto sea engorroso, se procederá a realizar el mismo en dólares y sin tener en cuenta la inflación del país.

4.6.3. Tipo de cambio

Como el proyecto va a ser realizado en dólares, es necesario saber cómo va a evolucionar el tipo de cambio entre Pesos Argentinos y Dólares Estadounidenses. Para esto utilizamos la información del Banco de la Nación Argentina y proyectamos los datos a futuro.

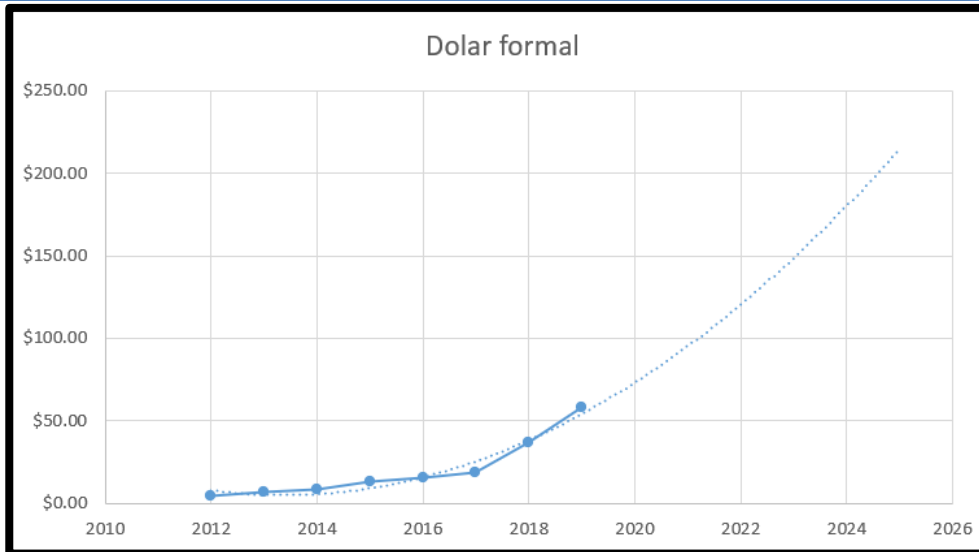


Figura 7: Evolución del precio del dólar.
Fuente: Banco de la Nación Argentina.

4.6.4. Tasa de interés del plazo fijo anual en dólares

Este dato es importante para comparar la rentabilidad del proyecto, los datos fueron extraídos del Banco Provincia y no se realizó una proyección debido a que la variabilidad de los datos imposibilita realizar una proyección, pero se supone que se va a mantener cercano al 2%.

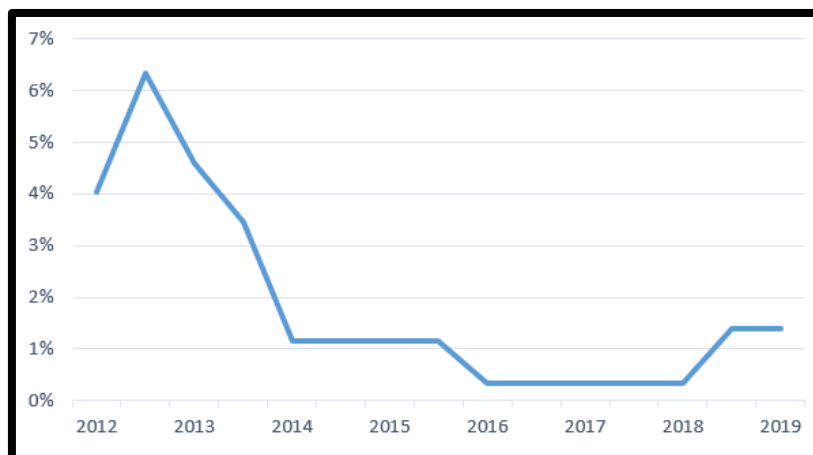


Figura 8: Evolución de la tasa de interés del plazo fijo anual en dólares.
Fuente: Banco Provincia.

4.6.5. Tasa de interés del préstamo en dólares

Esta tasa de interés será de utilidad al momento de pedir un préstamo a bancos e inversionistas para realizar la inversión inicial necesaria para poner en marcha



la planta de producción de DV. La tasa tendrá su dependencia únicamente con el banco, por lo que se analizarán los datos promedio que se recopilaron de la página web de la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR).

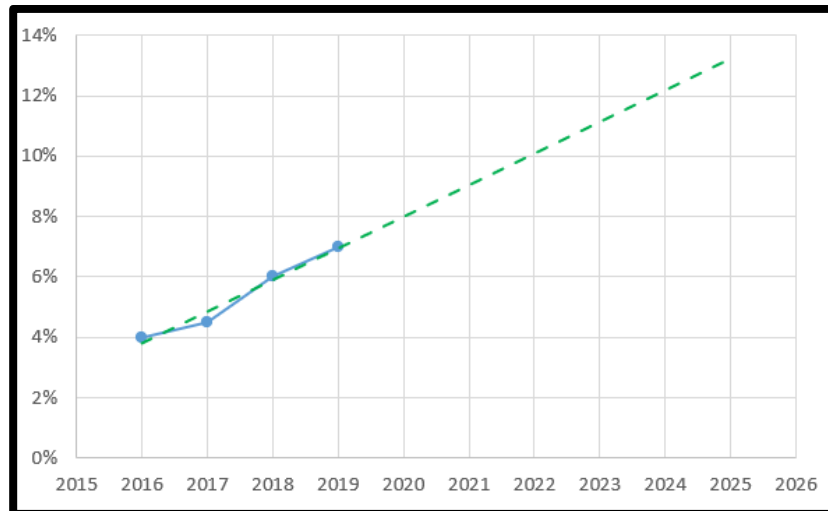


Figura 9: Evolución de la tasa de interés del préstamo en dólares.
Fuente: Bolsa de Comercio de Rosario.

La tendencia de la tasa es de crecimiento constante, sin embargo, es posible que tenga altibajos en los siguientes años, por lo que se considerará una tasa del 12%.

4.7. Materia prima

4.7.1. Aceite de soja

El aceite de soja es el segundo aceite vegetal más relevante en el mundo, seguido del aceite de palma que tiene el primer puesto (véase al aceite de soja como un producto que posee una gran variedad de aplicaciones). Argentina aporta más de 8 millones de toneladas (Mt), cumpliendo un rol estratégico en este mercado. Esta cantidad representa el 14% de la producción global, que según datos de *Oil World*, en 2018/19 totalizó en 56,53 Mt.

China, Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea, tienen además de grandes cantidades de producción, un elevado consumo interno del aceite en cuestión, rondando el 80% de su producción total. A diferencia del bajo consumo interno de Argentina, cuyo mercado interno absorbe sólo el 30% de la producción.



Producción mundial de aceite de soja (en mill. de Tn)		
Rubro	Oct-Sept 2018/2019	Participación % en el total
China	15,22	27%
Estados Unidos	10,95	19%
Brasil	8,83	16%
Argentina	8,01	14%
Unión Europea-28	2,99	5%
	56,53	100%

Figura 10: Producción mundial de aceite de soja.
Fuente: OIL World (septiembre 2019).

En el caso de Argentina, el uso nacional de aceites vegetales es de 4,3 Mt, donde el consumo de aceite de soja representa más del 60%. Principalmente se utiliza el aceite en la industria, donde el aceite de soja tiene ciertas ventajas frente a los demás y por este motivo se ha impulsado su desarrollo a nivel nacional.

La segunda fuente de utilización del aceite de soja en Argentina es el consumo alimentario, donde este aceite contribuye con el 22% del consumo total de aceites vegetales. En este aspecto, el aceite no tiene la misma aceptación que los otros aceites que se producen también en el país como el aceite de girasol, que representa casi el 80% del consumo humano.

Argentina es el número uno en cuanto a exportación de aceite de soja, con casi el 50% de la totalidad de las exportaciones a nivel mundial. Por otro lado, India es el principal importador de este aceite, con casi el 30% del total. Debido a estos números, ambos países tienen una fuerte relación comercial en este mercado, siendo India el principal cliente de Argentina.



TABLA 9

Valores representativos de Propiedades Físicas del Aceite de soya.

Propiedad	Valor
Gravedad específica, 25°C	0.9175
Índice de Refracción	1.4728
Viscosidad, centipoises a 25°C	50.09
Punto de solidificación, °C	-10 a -16 °C
Calor específico, cal/g a 19.7 °C	0.458
Calor de combustión, cal/g	9,478
Punto de Humo, °F (°C)	453 (234)
Punto Flash, °F (°C)	623 (328)
Punto de Fuego, °F (°C)	685 (363)

Fuente: Erickson, 1990.

Figura 11: Propiedades de físicas del aceite de soja.

Fuente: Erickson, 1990.

El análisis de la cadena industrial del grano de soja contiene dos segmentos bien diferenciados:

-Industria agrícola: la primera etapa es la producción de oleaginosas. La zafra de soja, producida en esta etapa, tiene como destino principal la industria aceitera (para producir aceites y harinas), mientras que el segundo en importancia son las exportaciones. Las restantes actividades tienen participaciones muy pequeñas como destino final del grano; entre ellas se encuentran la industria de alimentos balanceados y la compra de grano para consumo propio.

-Industria aceitera: la materia prima es transportada e introducida en el complejo industrial aceitero, que extrae el aceite de soja, validándose del proceso "crushing". En este paso encontramos como productos principales el aceite de soja por un lado y por el otro lado harinas y pellets que sirven como materia prima de alimento balanceado. Las producciones de aceite crudo y harina están tecnológicamente asociadas, por lo que pueden producirse en las mismas plantas industriales. La mayor parte de la producción de granos en Argentina es destinada a la molienda. El proceso técnico se inicia con la molienda y la extracción de aceite. El grano, luego de pasar por procesos de secado –para retirar la humedad- y de limpieza, es quebrado y prensado en pequeñas láminas que, transformadas en masa, pasan a la etapa de extracción.

La masa restante, aplicándose secados y tostados, constituye el elemento principal para elaborar alimentos para animales. El aceite parcialmente refinado



es transformado, por medio de la hidrogenación, en margarinas, mayonesas y grasas vegetales. Por otro lado, el aceite de soja crudo tiene un rol esencial, sirve como materia prima de los biocombustibles como biodiesel y DV. Algunas empresas integran verticalmente todas estas etapas industriales.

La soja ocupa cerca de la mitad del total del área sembrada del país, esto se debe a que en la última década se alcanzó un incremento de gran calibre en la producción de soja para las provincias de Santiago del Estero, Salta, Chaco y Tucumán. De todas formas, Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe siguen liderando la producción, agrupando tres cuartas partes del área sembrada de soja.

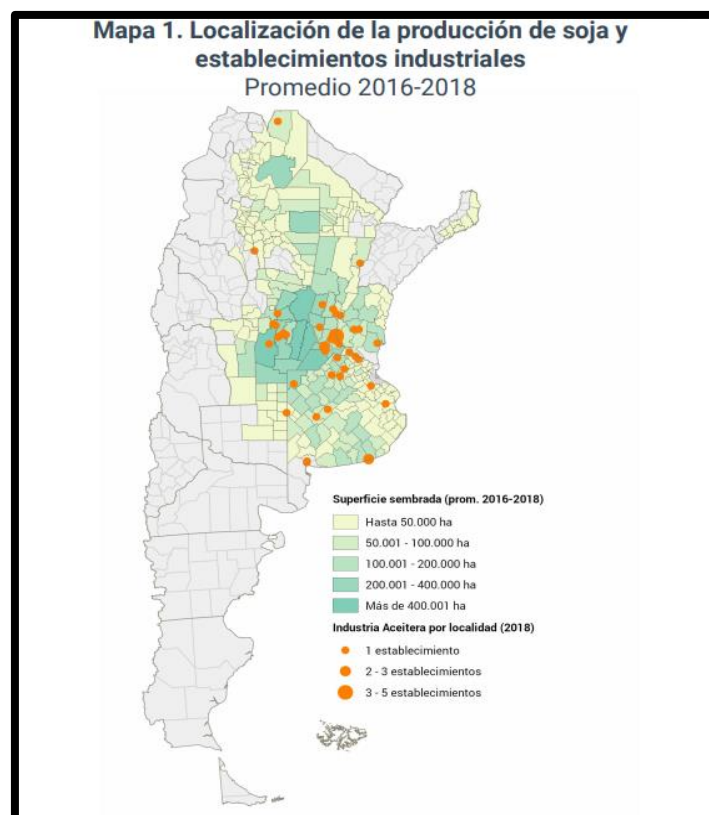


Figura 12: Superficie sembrada de soja e industrias aceiteras en el país.

Fuente: SSPMicro con base en Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Julio 2019).

4.7.2. Hidrogeno

En la actualidad, el hidrógeno se encuentra dando los primeros pasos hacia su utilización como una fuente secundaria de energía, pero el proceso de obtención suele ser muy costoso y se lo necesita comprimir a presiones muy altas en envases especiales, debido a su baja densidad energética. Se lo puede utilizar como combustible de los motores de combustión interna, donde se quema el



hidrogeno, o mediante las pilas de combustible, donde se produce una reacción con el oxígeno, formando agua y generando electricidad para diversos usos.

También tiene muchos usos en la industria química (hidrocarburos, fertilizantes, combustibles espaciales, soldaduras, procesos criogénicos), en ámbito de estudio de la física (fusión controlada de hidrogeno para generar electricidad), en otras áreas como la farmacología, el transporte (globos aerostáticos y zepelines) y en el área de los semiconductores.

La fuente más común de hidrogeno es el agua, mediante descomposición química, se obtiene oxígeno puro e hidrogeno, para ello, se emplea una corriente eléctrica (electrolisis), si esta corriente proviene de fuentes renovables (solar, fotovoltaica, eólica, etc.), al producto se lo considera como hidrogeno verde o hidrogeno renovable.

El hidrogeno también se encuentra en los hidrocarburos y puede ser extraído mediante reformación de gas natural, naftas o de biomasa. La forma más eficiente es la reformación de gas natural, dicho proceso se basa en extraer el hidrogeno del gas natural con vapor de agua a altas temperaturas a través de procesos químicos. Sin embargo, en Argentina la forma más rentable para obtener el gas en cuestión se basa en el reformado de naftas, en la que, mediante un proceso similar, se busca aumentar el número de octano del combustible, obteniendo, de igual forma, como subproducto al hidrogeno. El CIE, potencial proveedor principal del gas hidrógeno en el proyecto, produce el mismo con este último método.

4.8. Competencia de Productos y Materias Primas

En Argentina, la cadena de producción de biocombustibles llevada a cabo por las empresas productoras de combustible FAME, se vincula con varias industrias primarias, como las aceiteras. Debido a que utiliza la misma materia prima que en el proyecto en cuestión, se realiza un análisis de estas, vistas como el sector competidor, tanto en materia prima como en producto.

La expansión del mercado de biodiesel en Argentina está fuertemente vinculada a las políticas de fomento de energías renovables, no solo en el país, sino también en el mundo. Además, Argentina se ve favorecida por su ubicación para la producción de soja y otros cultivos oleaginosos debido a las condiciones climático-geográficas que reúne, a partir de los cuales se pueden obtener los aceites vegetales, principal materia prima del biodiesel.

Actualmente forma parte de los tres principales productos bioenergéticos en la matriz de nuestro país, los cuales suman un 9% junto con la energía eólica y



solar. Las empresas argentinas lideran la exportación y distribución de biodiesel a nivel mundial, estas empresas productoras de biodiesel en el país se pueden distinguir según varios factores:

- ❖ El nivel de producción alcanzado o la escala de la planta (grandes, medianas y chicas).
- ❖ La integración de las fases de molienda y extracción de aceite en las actividades (productoras integradas).

Las grandes integradas (o grandes aceiteras) incluyen todas aquellas plantas con una producción superior a 100000 toneladas por año con capacidad para producir grano y aceite de soja (integración vertical de rubros). Dentro de este rubro, encontramos a varias multinacionales, como son: Renova S.A, Ecofuel y LDC Argentina S.A.

Las grandes no integradas (o independientes grandes) incluyen todas aquellas plantas con similar capacidad de producción que las grandes integradas que se limitan sólo a la producción de biodiesel, es decir que reciben aceite de soja de proveedores externos. Entre estas empresas se colocan grupos de relevancia internacional (como son Explora S.A. y Patagonia Bioenergía S.A.). En este fragmento de la industria se están llevando a cabo investigaciones para implementar el uso de carburantes de segunda y tercera generación, como las microalgas, y reducir la dependencia del aceite de soja.

Las medianas y pequeñas son todas aquellas plantas que generan respectivamente entre 30000 y 50000 toneladas anuales (medianas) y menos de 30000 (pequeñas). En este grupo se colocan productores con límites en términos de acceso a las redes de distribución internacional, a los financiamientos y a la materia prima. Por este motivo, en este fragmento del sector el biodiesel producido es distribuido dentro del territorio nacional.

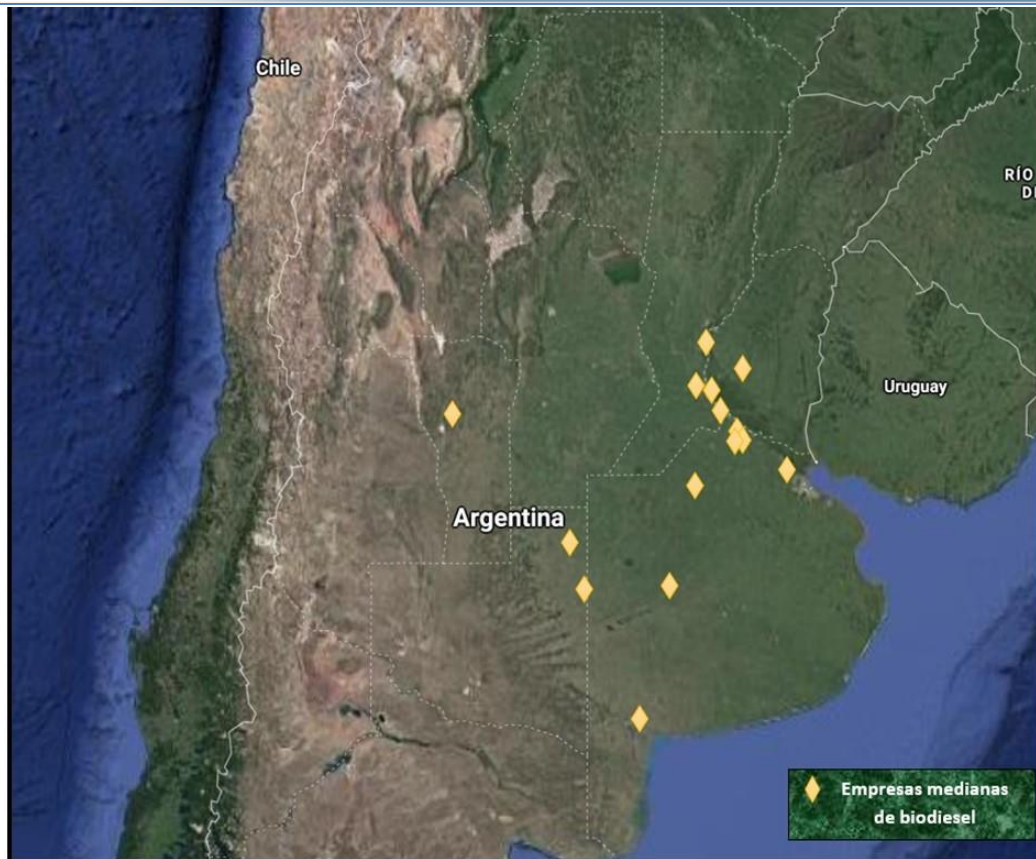


Figura 13: Localización de las plantas de biodiesel.

Fuente: Elaboración propia en base a MINEM (2018) y USAM (2015).

La red que aglomera a los actores de la industria de biodiesel es la Cámara Argentina de Biocombustibles (CARBIO), que agrupa grandes aceiteras integradas y grandes independientes localizadas principalmente en el cordón industrial portuario de Rosario, tales como AGD, Bunge, Molinos Agro, Vincentin, COFCO, Explora, LDC Argentina, UnitecBio, y Cargill, que, en 2012, concentraban el 99% de las exportaciones.

La industria de biodiesel en Argentina cuenta con 37 fábricas, con una capacidad de producción anual conjunta cercana a 4,4 Mt/año. Es un complejo industrial de gran relevancia para el país, ya que en el año 2016 produjo cerca de 2,6 Mt de biodiesel, exportando 1,6 Mt y generando divisas por 1175 MUSD.



Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Empresas productoras de biodiesel	Ubicación	Provincia	Capacidad de producción anual (Tn)	Producción 2019 (Tn)
Medianas				
El Albardón S.A.	Puerto Gral. San Martín	Santa Fe	100,000	49,432
Diaseer S.A.	Parque Industrial San Luis	San Luis	96,000	42,504
ARIPAR	Daireaux	Buenos Aires	50,000	41,154
Bio Bahía S.A.	Bahía Blanca	Buenos Aires	50,000	37,057
Pampa Bio S.A.	General Pico	La Pampa	50,000	43,876
Rosario Bioenergy S.A.	Roldán	Santa Fe	50,000	48,894
Bio Ramallo S.A.	Ramallo	Buenos Aires	50,000	27,828
Bio Bin S.A.	Junín	Buenos Aires	50,000	38,694
Bio Nogoyá S.A.	Nogoyá	Entre Ríos	50,000	30,191
Latin Bio S.A.	Arroyo Seco	Santa Fe	50,000	34,241
Bio Corba S.A.	Ramallo	Buenos Aires	50,000	38,972
Refinar Bio	Ramallo	Buenos Aires	50,000	39,913
Energías Renovables S.A.	Catrilo	La Pampa	50,000	34,861
Advanced Organic Materials S.A. (AOM)	Parque industrial Pilar	Buenos Aires	48,000	35,452
Diferoil S.A.	General Alvear	Santa Fe	48,000	30,643
Total			842,000	573,712
Pequeñas				
Energías Renovables Argentinas S.R.L	Piamonte	Santa Fe	24,000	18,147
Colalao del Valle S.A.	Los Polvorines	Buenos Aires	18,000	11,372
Soy Energy S.A.	Villa Astolfi	Buenos Aires	18,000	12,345
Hector Bolzán S.A.	Aldea María Luisa	Entre Ríos	14,400	7,694
New Fuel S.A.	Villaguay	Entre Ríos	10,800	2,515
B.H. Biocombustibles S.R.L.	Calchaquí	Santa Fe	10,800	6,086
Doble L Bioenergías S.A.	Esperanza	Santa Fe	10,800	5,882
Agro M&G	Saladillo	Buenos Aires	8,000	5,472
Total			114,800	69,513
Total general			956,800	643,225
Capacidad utilizada				67%

Tabla 1: Empresas medianas y pequeñas productoras de biodiesel.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Secretaría de Energía.

Como conclusión, la planta de Diésel Verde va a competir directamente con el producto de las medianas y pequeñas empresas productoras de biodiesel, ya que estas no tienen permitido participar del comercio exterior y dedican la totalidad de su actividad al comercio interno. Por otro lado, las grandes empresas se dedican mayoritariamente a exportar su producto, por lo que no serán consideradas como competidoras.

En cuanto a la materia prima, las empresas integradas son las únicas que fabrican su propia materia prima, el resto tiene la obligación de compra a las aceiteras, estas empresas (grandes no integradas, medianas y pequeñas) competirán con la planta en estudio por el aceite de soja. También, cabe mencionar que las empresas que producen margarinas, mayonesas y grasas vegetales, también requieren del aceite de soja como materia prima, pero



representan un pequeño porcentaje de utilización de aceite frente a las productoras de biodiesel.

Si se hace uso de un análisis más profundo, se puede ver que la exportación del grano de soja podría considerarse como una amenaza económica a futuro, ya que existe una creciente demanda mundial de este producto, principalmente por China, en la actualidad solo se exporta cerca del 10% del total de granos producidos. Sin embargo, China tiene planeado reconstruir la producción de cerdos de forma organizada y a escala industrial, luego de la gran peste porcina que diezmo parte de la producción nacional, por lo que necesitara de mayor cantidad de granos. En la actualidad Brasil exporta grandes cantidades al gigante asiático y también recurrió a comprarle parte de la producción a Paraguay y Uruguay. Un punto positivo es que el precio del grano de soja de Argentina es menos competitivo que el de los otros países sudamericanos, por razones tributarias, si esto se mantiene así, no será factible que se exporten granos a China y la producción de aceite de soja no se verá afectada.



5. UBICACIÓN DE LA PLANTA

El objetivo del estudio para la localización de un proyecto se basa en analizar las diferentes alternativas de ubicación espacial del mismo. Se encontrarán diferentes lugares donde es posible ubicar el proyecto, seleccionando entonces aquella zona que ofrezca los máximos beneficios y los costos más bajos, es decir: donde se obtenga la máxima ganancia posible, tratándose en este caso de una empresa de índole privada y con fines de lucro.

5.1. Factores que influyen en la ubicación de una planta industrial

Los factores que determinan o condicionan al estudio de localización de una planta industrial, que se implementarán con la propuesta del proyecto, son una tarea limitada por las relaciones recíprocas que existen entre estos, como son: disponibilidad de las materias primas, tecnología y el financiamiento que utiliza la planta. Como se analizará en detalle a continuación, la totalidad de estos factores contribuyen a simplificar el proceso de aproximaciones sucesivas y las alternativas de tamaño. Entonces, a modo de desarrollo, se enlistan los siguientes factores a ser tenidos en cuenta para el estudio:

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



sistema de comercialización que presentan.

- Suministro de agua. En este punto, se especificarán la calidad del servicio, su disponibilidad y la seguridad respectiva que garantice el proveedor.
- Disponibilidad zonal de mano de obra.
- Factores relacionados al clima, como lo son los registros de temperatura atmosférica, humedad, lluvia y viento. Variables máximas y mínimas y sus excepciones también se incluyen. Además, hay factores que se relacionan directamente con la topografía del terreno: estudio de suelos, sísmica, resistencia de los estratos subyacentes, etc. Estos últimos factores deberán tenerse en cuenta.
- Beneficios otorgados exclusivamente por la elección de la localización.
- Importancia de la empresa en y para la región donde se localiza.

5.2. Métodos para determinar la ubicación, preliminares y finales.

La macrolocalización consiste en evaluar el sitio que ofrece las mejores condiciones para la ubicación de la planta industrial dentro del territorio nacional.

Como primera medida, se utilizará el método denominado “cribado”, el cual consiste en marcar geográficamente aquellas zonas con mayor potencial para ubicar la planta. Siguiendo con esta metodología, se procedió a remarcar en diferentes mapas de acceso a la República Argentina las zonas que cuenten en su territorio con una refinería de petróleo, la cual también tenga en su producción un excedente de hidrógeno, ya que este es el insumo limitante del proceso productivo (al ser muy peligroso, costoso, y por tanto inviable su transporte a largas distancias).

En el siguiente mapa, se pueden observar aquellas zonas industriales que albergan refinerías productoras de hidrógeno. Recordando su dificultad y peligrosidad que posee este gas para el transporte, las zonas más factibles se encontrarán marcadas en rojo, mientras que, en celeste se remarca el cordón industrial, responsable de la mayor actividad industrial del país y en donde, a su vez, se encuentran la mayor cantidad de industrias aceiteras, las cuales van a proveer el aceite de soja que es la otra materia prima del proceso.

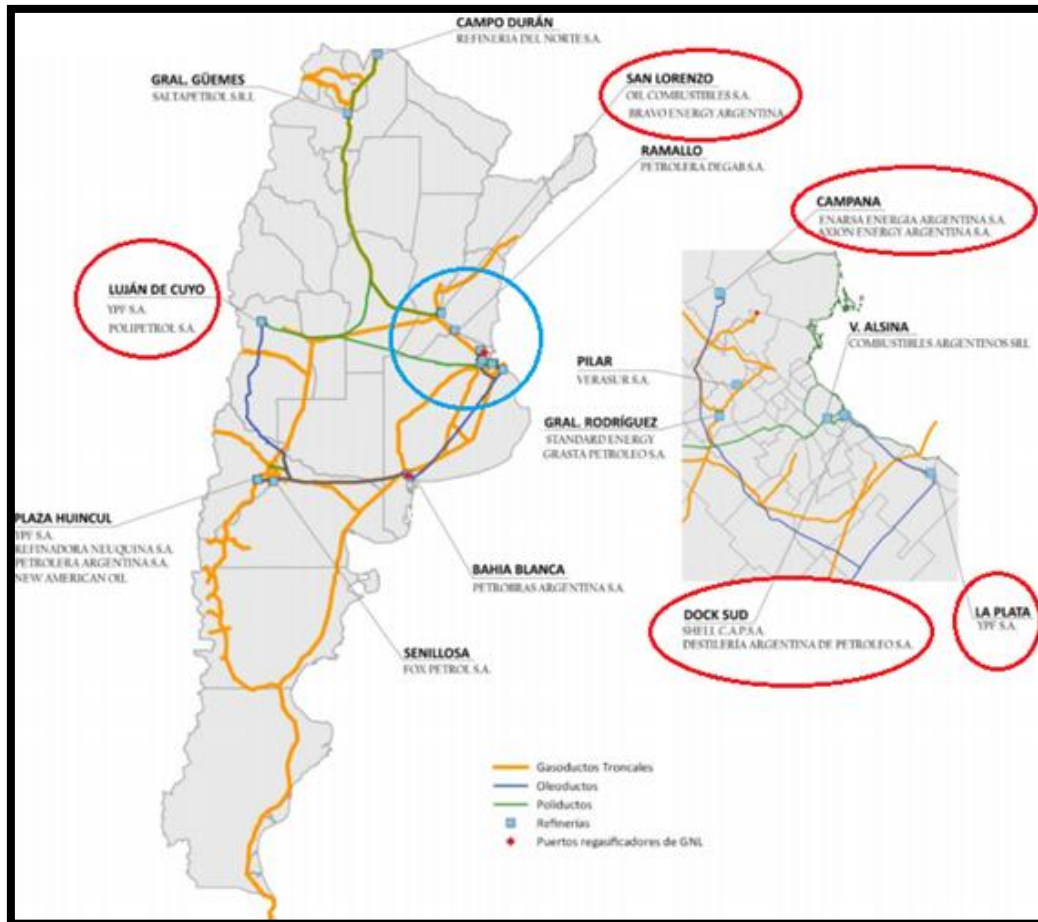


Figura 14: Localización de las Refinerías de Petróleo.

Fuente: Secretaría de Política Económica – Subsecretaría de Programación Microeconómica, 2018, p. 6.

Por lo tanto, se procedió a seleccionar las potenciales macrolocalizaciones para instalar la planta. De este método preliminar quedan las siguientes zonas: Dock Sud, La Plata, Campana, San Lorenzo y Luján de Cuyo.

El paso siguiente consiste en analizar en detalle al resto de los factores (anteriormente citados) en estas zonas, para finalmente obtener una segunda selección por el método de puntuaciones ponderadas y definir la ubicación de la planta.

5.3. Factores primarios y específicos

Los factores que deben tener una incidencia e influencia directa en el estudio de localización de la planta son aquellos que se denominan factores primarios, dicho



combinado de factores se detallarán y son continuación de los vistos en el apartado 5.1, pero aplicados a la macrolocalización establecida:

- Disponibilidad de hidrógeno. Se considera crucial el aspecto cuantitativo de dicho insumo limitante, por ende, aquellas refinerías capaces de generar una mayor cantidad de hidrógeno poseerán una mayor ventaja respecto al resto a la hora de seleccionar la ubicación óptima del proceso.
- Distancia al complejo sojero. Se analiza la distancia al combinado de empresas productoras de aceite de soja, siendo el otro insumo del proceso. En este caso, el mercado proveedor de esta materia prima se encuentra concentrado en una región específica del país.
- Disponibilidad de transportes y rutas de transporte. El inconveniente involucrado en este factor es el gas hidrógeno, debido a que sus propiedades imposibilitan su transporte por vía terrestre (rutas, vías ferroviarias, etc.) o vía marítima. También se evaluará, por un lado, la efectividad que se tenga en cada zona respecto al transporte del aceite de soja por vía terrestre (empleando camiones). Por el otro, evaluar la posibilidad de venta del diésel verde a otros mercados, por la misma vía (añadiendo la posibilidad de emplear ductos especializados).
- Disponibilidad de mercados. Se asegurará la presencia de un mercado consumidor cercano, esto es, empresas dedicadas a la producción de combustibles diésel grado 3, que además destinarán su venta de hidrógeno a nuestra planta.
- Disponibilidad de mano de obra. Debe ser abundante, calificada y apta para las exigencias de la industria petroquímica.
- Disponibilidad de servicios generales. En este factor se toman en cuenta como conjunto al agua, energía para la planta y combustibles.
- Beneficios provistos por los actores municipales y provinciales.

Por su parte, los factores específicos son aquellos que son determinantes en algunos casos particulares, pero no se incluyen en el método definitorio de elección de localización. Estos son:

- Factores geográficos. Incluyen clima, estructura del suelo, etc.
- Legislación y normas públicas vigentes. Se considera todo lo referido a Seguridad de los Procesos y Medioambiente.



- Normas internas de las empresas o infraestructura existente.

5.4. Disponibilidad de hidrógeno

En esta sección, se tienen como puntos fuertes a la ciudad de Luján de Cuyo (Mendoza), las ciudades de Ensenada, Dock Sud y Campana (Buenos Aires), y a la ciudad de San Lorenzo (Santa Fe).

Cabe destacar que la refinería de San Lorenzo cambió de propietarios en octubre de 2018. La planta, que había quedado a la deriva luego de la quiebra de Oil Combustibles, fue adquirida finalmente por YPF. Aunque según datos oficiales, la refinería difícilmente vuelva a tener el nivel productivo que tenía años anteriores, esto comentado anteriormente le otorga a la zona situada en la provincia de Santa Fe una desventaja crucial.

La refinería perteneciente al grupo AXION energy, situada en Campana, presenta el inconveniente de que el excedente de hidrógeno será destinado para alimentar una nueva planta de hidrodesulfuración (HDS), de su propio dominio. Dicho esto, se reduce la posibilidad de oferta que posee dicho grupo empresario.

La siguiente tabla detalla la producción de gas hidrógeno según la empresa productora de que se trate. Se concluye que la disponibilidad de este insumo limitante para la ubicación del proyecto se torna más accesible sobre la zona de la ciudad de La Plata, en donde se encuentra el Complejo Industrial Ensenada (CIE), propiedad de la empresa YPF.

Año 2020	
Hidrógeno producido según empresa	Cantidad [Nm ³ /día]
Complejo Industrial Ensenada	386400
Shell	55617
Complejo Industrial Luján de Cuyo	64516
Año 2026	
Hidrógeno producido según empresa	Cantidad [Nm ³ /día]
Complejo Industrial Ensenada	450000

Tabla 2: Datos de producción de gas hidrógeno, según la empresa radicada en territorio nacional.

Fuente: Elaboración propia según datos consultados.

También se contó con un dato de proyección de producción a futuro (2026), en el cual se calcula que el CIE producirá un 15% más de hidrógeno que lo que produce actualmente.



5.5. Distancia al complejo sojero

En este punto, se evalúa la proximidad de las distintas ubicaciones seleccionadas al complejo sojero con mayor capacidad instalada del país, situado en la zona del Gran Rosario.

Estimaciones productivas de la Guía Estratégica para el Agro (GEA – BCR) permitieron deducir que la región núcleo compuesta por el sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y norte de Buenos Aires aporte el 35% de la cosecha sojera 2019/20. En estos territorios se originan más de 2,5 Mt por delegación.

En el mapa anexo a continuación, se presenta un panorama del flujo vial de soja y su producción en Argentina, destacándose principalmente la ciudad portuaria de San Lorenzo, ciudad ubicada en el sur de la provincia de Santa Fe. Se destaca por la gran actividad productiva y capacidad para conectar a los compradores sojeros mediante diversas vías de transporte. Dicha ciudad fue seleccionada para ser evaluada en el estudio de localización de la planta, donde algunas características inherentes al lugar se presentan en la siguiente imagen:

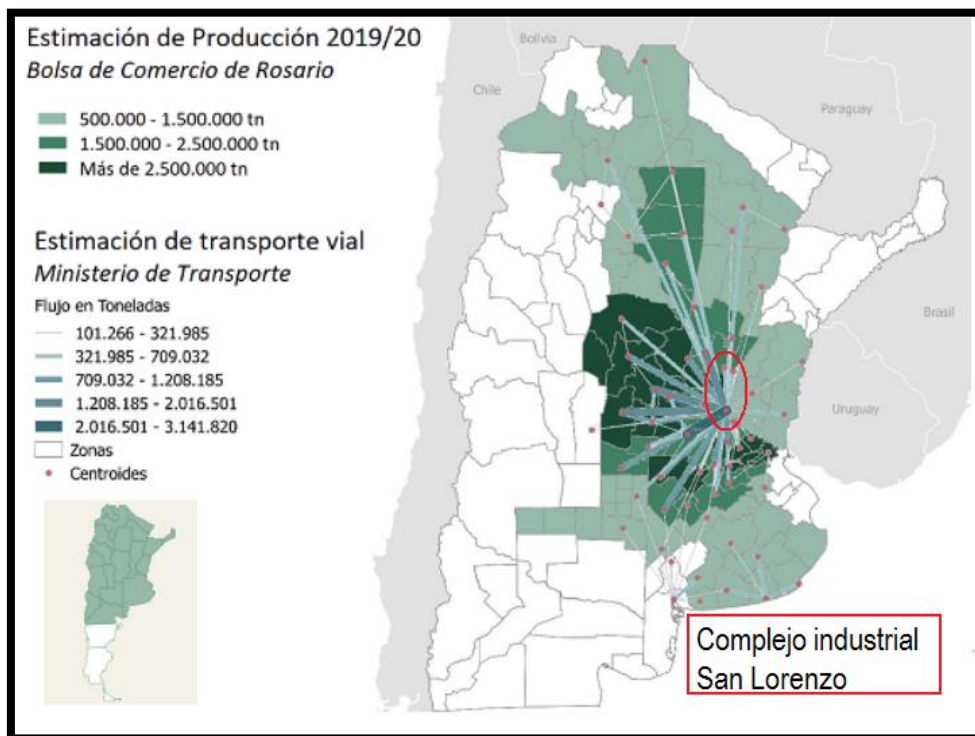


Figura 15: Flujo vial de soja y su producción en Argentina.

Fuente: Bolsa de Comercio de Rosario, 2020, p. 4.



5.6. Mercado consumidor

En este factor se deben considerar a los mismos proveedores de hidrógeno como futuros compradores, debido a que comercializarán el DV como combustible útil al mercado. En función de cuánta capacidad productiva de gasoil posean dichas empresas, se valorará más su disponibilidad como mercado, de esta manera el diésel renovable producido en planta tendrá un valor mayor en cuanto a volumen de combustible vendido.

En la provincia de Buenos Aires se concentra más del 60% de la capacidad de refinación de combustibles líquidos del país, esto se puede analizar en la siguiente imagen:

En millones de m ³				
Refinería	Empresa	Capacidad productiva	Provincia	Año de inauguración
Total	-	36,86	-	-
La Plata	YPF	10,97	Buenos Aires	1925
Luján de Cuyo	YPF	6,27	Mendoza	1940
Dock Sud	Shell	5,80	Buenos Aires	1931
Campana	Axion	5,04	Buenos Aires	1911
San Lorenzo	Oil	2,92	Santa Fe	1938
Bahía Blanca	Petrobras	1,77	Buenos Aires	1926
Campo Duran	Refinor / YPF	1,53	Salta	1962
Plaza Huincul	YPF	1,46	Neuquén	1975
Resto	PyMEs	1,10	-	-

Figura 16: Capacidad de Refinación en Argentina, expresada en millones de m³/año (2014).

Fuente: Di Sbroivacca, 2019, p. 7.

5.7. Mano de obra capacitada

Existen en el país múltiples áreas con actividad petroquímica, las cuales fluctúan entre una mayor y menor actividad industrial, un indicador de ello es la capacidad instalada que brindan las refinerías de dichos sectores. Entre las empresas YPF, Shell y Axion, se concentra el 93% del mercado refinador, destacándose YPF con el 63%, seguida por Shell con el 16% y Axion con el 14%, lo que refleja que se trata de un mercado altamente concentrado.



Figura 17: Polos petroquímicos en el país, agrupados por zona.

Fuente: ECyT-ar, 2015.

El mapa presentado anteriormente, permite conocer de antemano aquellas zonas con una gran capacidad de mano de obra en buenas condiciones para desempeñarse en actividades relacionadas a la industria petroquímica.

Se destacan las siguientes empresas radicadas, presentadas en la *figura 18*.



POLOS PETROQUIMICOS:	
Bahía Blanca MEGA S.A. POSTA PARA INFLAMABLES PROFERTIL S.A. DOW	Campana, San Nicolás ATANOR SA CABOT ARGENTINA S.A.I.C. CARBOCLOR S.A. CARBOQUIMICA DEL PARANA S.A. PETROBRAS ENERGIA S.A. VORIDIAN ARGENTINA S.R.L. PARANA S.A. BUNGE ARGENTINA S.A. MOVIPORT S.A.
Area Ensenada MAFISA PETROKEN-PETROQUIMICA DE ENSENADA S.A. YPF S.A. SHIAFA S.A.I.C.F. DOW AIR LIQUID ARGENTINA	Santa Fe (SAN LORENZO) BASF ARGENTINA S.A. DOW QUIMICA ARGENTINA SA ICI ARGENTINA S.A.I.C. LD MANUFACTURING S.A. PETROBRAS ENERGIA PETROQUIMICA BERMUDEZ S.A. AKZO NOBEL VARTECO QUIMICA PUNTANA SA ARZINC SA
Buenos Aires (DOCK SUD) ATANOR S.A. BASF POLIURETANOS S.A. INDUSPOL AISLACIONES S.R.L. IND. QUIM. CARBINOL S.A.C.I.F.I.A. INVISTA ARGENTINA S.R.L. PETROQUIMICA ARGENTINA S.A. PLAST S.A.I.C.I.F. DAPSA SHELL EG3 S.A. SEA TANK COASTAL PETROLEUM ARGENTINA S.A. SOL. PETROLEO S.A. YPF MERANOL ANTIVARI S.A. DISTRIBUIDORAS QUIMICAS S.A. EXOLGAN INDUPA PRODUCTORA ARGENTINA DE MALEZA S.A. TAGSA UNION CARBIDE ARGENTINA S.A. VALENTIN BALCARCE S.A. MECOCARGA MARUBA	Area Rio Tercero ATANOR S.A. PETROQUIMICA RIO TERCERO FABRICA MILITAR RIO TERCERO
	San Luis RESIGNUM S.A.
	Lujan de Cuyo, Mendoza AISLANTES DE CUYO SA PETROQUIMICA CUYO S.A.I.C. YPF
	Plaza Huincul, Neuquen YPF NEUFORM SA

Figura 18: Polos petroquímicos en el país, agrupados por zonas.

Fuente: ECyT-ar, 2015.

5.8. Vías de comunicación y transporte

A la hora de evaluar las zonas geográficas más adecuadas para asentar la planta productora de DV, se debe hacer especial énfasis en la actividad portuaria de San Lorenzo, Campana, Dock Sud y La Plata, las cuales proporcionan un gran nivel de servicio para el traslado de materia prima, catalizadores, equipos para actividad industrial provenientes del exterior, y para el producto en cuestión (diésel producido en la planta, en caso de exportación o venta a algún polo industrial cercano).

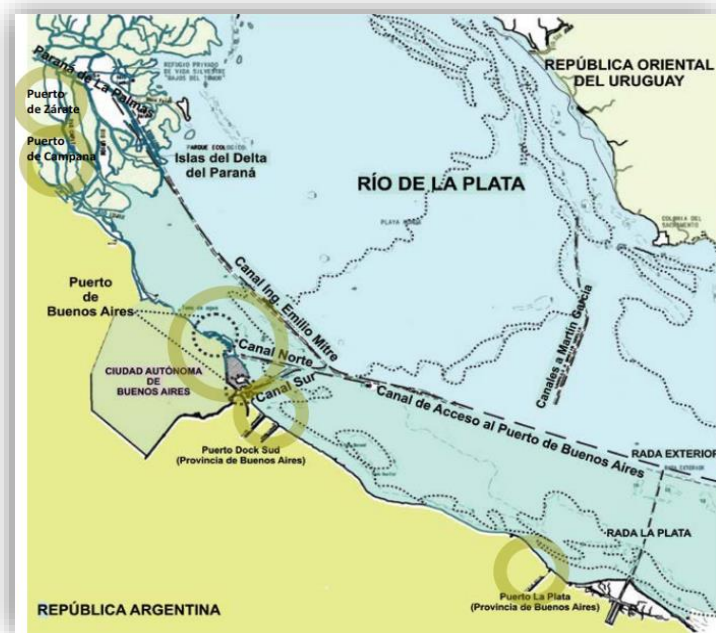


Figura 19: Inserción de puertos en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

Fuente: Aversa, 2019, p. 128.

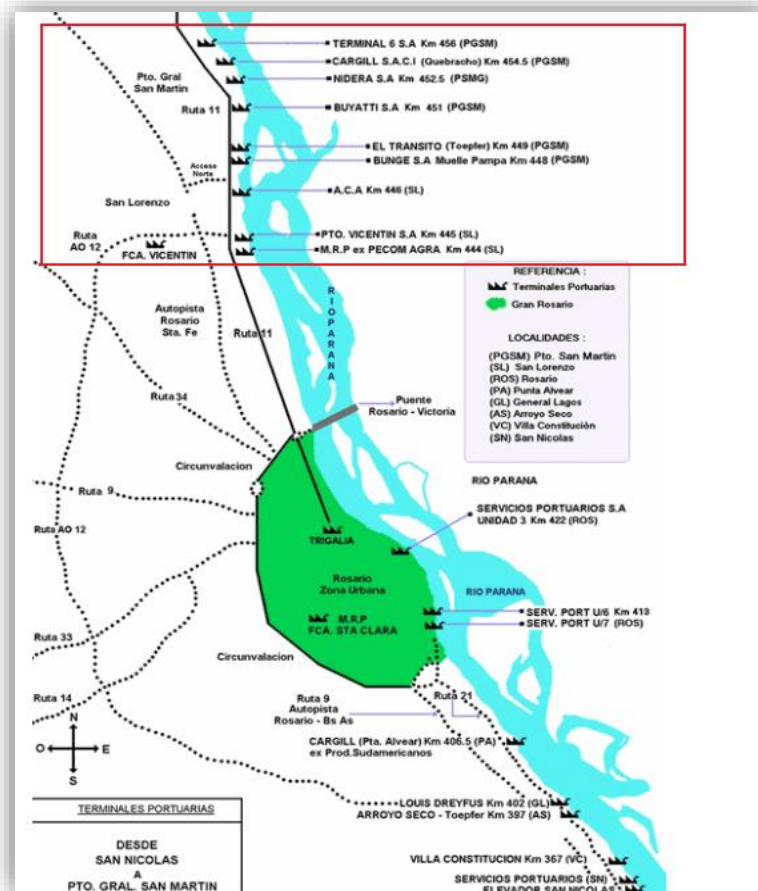


Figura 20: Representación de los principales puertos del área del Gran Rosario argentino.

Fuente: Alz-mercados.

Las imágenes anteriores detallan con claridad las posiciones estratégicas ocupadas por los puertos asentados en las localidades presentadas, esto facilitará el movimiento de grandes volúmenes de mercaderías a una elevada productividad y eficacia logística.

En el transporte por agua la tendencia es la especialización del tipo de carga atendido, al igual que los tipos de buques utilizados y las instalaciones portuarias preparadas para recibirlos, lo que conduce a una diversificación en la localización más o menos concentrada por la organización de los tráfcos con circuitos prefijados y frecuencias preestablecidas. En Argentina, la especialización por tipos de cargas se diversifica en diferentes nodos (tabla 3).



Tipo de carga	Producto dominante	Nodo principal
Cargas líquidas a granel	Posición dominante del petróleo y sus derivados (crudos y refinados)	Nodo de La Plata y Dock Sud - Nodo San Lorenzo (y cercanos)
Cargas sólidas a granel (bajo valor agregado)	Minerales y granos (cereales y oleaginosas)	Nodo Rosario - San Lorenzo - Santa Fé (70% del país)
Cargas polivalentes unitarizadas (alto valor agregado)	Diversidad de mercancías. Cargas polivalentes, cargas rodantes, cargas contenerizadas y cargas generales.	Nodo Buenos Aires - Dock Sud - San Lorenzo (contenerizadas) / Nodo Zárate-Campana (rodantes)

Tabla 3: Especialización y espacialización en las cargas portuarias.

Fuente: Aversa, 2019, p. 52.

Esta repartición geográfica se explica en parte por las condiciones naturales de profundidades y accesibilidad náutica, y, por otro lado, según cuestiones de localización de la producción y a la conformación de centros de consumos, almacenamiento y distribución.

El puerto de Dock Sud (con unas 460.000 TEU anuales), anexado al de Buenos Aires, comparte el puesto entre los que más actividad poseen, sumado a que son los únicos en su rubro con la capacidad para exportar, además de los puertos que bordean parte de la provincia de Santa Fe, entre ellos, el Puerto de San Lorenzo.

El Puerto de La Plata, busca posicionarse como una alternativa frente al puerto de Buenos Aires (rivalizando con sus 1.1 millones de TEU), ya que se estableció una serie de acuerdos con una firma extranjera, la cual pretende incrementar el espacio de la terminal de contenedores a 1 millón de TEU frente a los actuales 450.000 TEU. Lo anterior permitirá el ingreso de los buques más grandes que podrán transitar por las aguas del Río de la Plata.

El puerto de Campana, ubicado sobre el río Paraná de Las Palmas, es un puerto fluvial apto para buques de ultramar, barcazas y de pasajeros. Presta servicios relacionados a los hidrocarburos, bobinas de acero, refinerías, etc.

Respecto al puerto de San Lorenzo, se encuentra dentro del Complejo Portuario San Lorenzo- Puerto Gral. San Martín, que abarca la totalidad de las terminales de embarques y muelles existentes entre los km 435 y 459 del Río Paraná, que integran a su vez la principal zona portuaria del país, conocida como el Up-River. El complejo consta de un grupo de aproximadamente 30 terminales de embarques y de muelles privados, las cuales se destinan al comercio de cereales y derivados, aceites, combustibles, hidrocarburos, minerales, productos químicos y petroquímicos. El Complejo es el polo exportador más importante del país: sale un aproximado del 40% del total exportado por Argentina en granos,



más aceites y subproductos. A sus terminales llega la producción cerealera de centro, litoral y noroeste del país.

A lo anterior mencionado, se le agrega la capacidad del complejo para ofrecer una vía de transporte efectiva frente a los requerimientos de las empresas productoras de biodiesel (radicadas en su mayoría sobre gran parte de la provincia de Santa Fe).

Por ende, el puerto responde de la mejor manera frente al análisis del factor que considera la vía marítima para el transporte de materia prima, producto final, insumos varios, y componentes adicionales del proyecto.

5.9. Suministro de energía eléctrica, gas y agua

El siguiente mapa detallado y actualizado con datos de servicios de electricidad y gas permite analizar el estado de situación de las localizaciones elegidas

Las zonas situadas sobre el cordón industrial Rosario-Buenos Aires poseen conexiones a líneas de alta tensión, en similitud con la zona situada en Mendoza. Además, la red de distribución de gas natural está muy acentuada en dichas zonas mencionadas, garantizando la disponibilidad absoluta de ambos servicios.

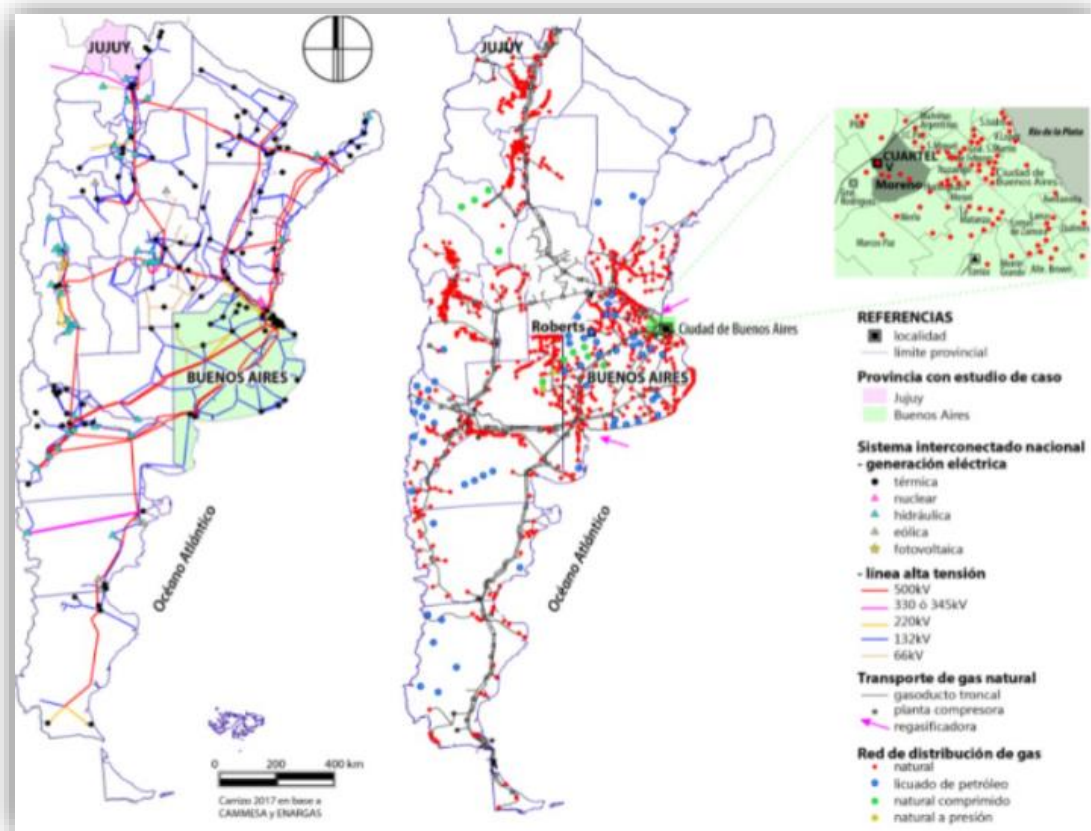


Figura 21: Localización de los sistemas nacionales de electricidad y gas.

Fuente: Carrizo y Jacinto, 2018, p.13.

Por otro lado, según los datos presentados a continuación, se obtiene un listado de las empresas proveedoras de agua, las mismas abastecen cerca de 21 millones de habitantes, representando alrededor del 58% de la población urbana. De todas maneras, la radicación de la planta productora de DV en un parque industrial asegurará contar con un flujo permanente y eficaz de agua destinada a uso industrial.



Empresa	Provincia	Población en Área de prestación	Cobertura de agua	Cobertura de Cloaca
AySA	Capital Ferederal- BsAs	10.773.366	83%	63%
ABSA	Buenos Aires	3.700.000	-	-
ASSA	Santa Fe	1.815.431	96%	69%
SAT	Tucumán	1.544.023	89%	47%
AySAM	Mendoza	1.129.307	99%	90%
CoSAySA	Salta	1.112.145	99%	74%
SAMEEP	Chaco	926.727	73%	34%
OSMGP	Buenos Aires (Pueyrredón)	792.603	93%	93%
Adlandes	Jujuy	622.161	95%	61%
AdCSapem	Catamarca	200.100	99%	91%
Aguas Cordobesas	Córdoba	1.339.995	99%	n.c.
Aguas de Corrientes	Corrientes	610.000	-	-
Aguas de Santiago	Santiago del Estero	452.844	24%	13%
Aguas de Misiones	Misiones	150.000	-	-
Públicas				
Privadas				

Figura 22: Resumen de la actividad de operadores de servicios.

Fuente: Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento y Lentini y García Larumbe (BID, 2015).

Se puede establecer, entonces, que el abanico de los servicios que requiere el tipo de industria presentada en este documento puede ser aprovechado y visto como un insumo que está a la espera de nuevos proyectos de mejora en la región, por ejemplo, las nuevas medidas de expansión en el servicio del agua según el Plan Nacional del Agua, en pos de erradicar la pobreza junto con los Objetivos del Desarrollo Sustentable 2030.

5.10. Beneficios otorgados en las zonas de alojamiento industrial

Respecto a este apartado, se concluye que las ventajas yacentes en cada región industrial son elevadas y esto beneficia la localización de la planta en los respectivos sitios de distintas formas.

En el siguiente cuadro, se pueden observar las principales disposiciones relacionadas a la radicación industrial, de índole favorable. Cada una se establece según la zona del país determinada.



Zona tentativa	Ley/decreto según beneficio otorgado	Beneficio otorgado por el parque industrial
Lujan de Cuyo- Mendoza	Ley provincial 4227/1977	La cual habilita la exención de impuestos provinciales por tres años.
	Decreto reglamentario: 427/1978	El cual permite el desarrollo de las actividades industriales referidas a la industria a proyectar.
Campana- Buenos Aires	Ley provincial N° 10.547	La cual habilita la exención de pago de tasas, derechos e Impuestos municipales por diez años.
	Decreto 2261/76	Formulario de radicación industrial (tipo químicas y petroquímicas)
Dock Sud- Buenos Aires	Ley provincial N° 11459/93	Habilita la radicación industrial en la provincia, a partir del municipio.
Ensenada- Buenos Aires	Ley provincial N° 10.547	Se prioriza el asentamiento de industrias petroleras/petroquímicas, similares a las cercanas.
San Lorenzo- Santa Fé	Leyes N° 11.525 y 8.478	Otorga importantes beneficios y exenciones impositivas del 100% de los impuestos provinciales, por un período de hasta 10 años.

Tabla 4: Principales leyes que garantizan el buen desempeño de la actividad industrial.

Fuente: Elaboración personal.

Como vemos en la *tabla 4*, las zonas que ofrecen mejores beneficios son Lujan de Cuyo, Campana y Santa Fe.

5.11. Macrolocalización

Las zonas que se citaron anteriormente, las cuales tienen como fin ofrecer una posición tentativa para la localización de la planta, tienen una similitud que radica en el hecho de disponer obligatoriamente una planta cercana proveedora de gas hidrógeno, tratándose de las refinerías pertenecientes a YPF, Raizen y AXION energy.

El método de las puntuaciones ponderadas se aplica una vez seleccionadas las zonas factibles para instalar la planta, considerando dichos factores primarios mencionados y detallados anteriormente. Dicho método devuelve, a partir de un análisis por puntuación de variables primordiales, la zona específica en donde se desarrollarán las actividades de la planta y el entorno que la rodea.

Inicialmente se otorgan puntuaciones a los factores primarios según la relevancia que reflejen en el proyecto, bajo una base de cálculo unitaria, como se muestra en el siguiente cuadro:



Factores determinantes	Relevancia
1- Disponibilidad de hidrógeno	0.25
2- Distancia al complejo sojero	0.2
3- Mercado consumidor	0.15
4- Mano de obra capacitada	0.1
5- Vías de comunicación y transporte	0.1
6- Suministro de electricidad, gas y agua	0.1
7- Beneficios por radicación industrial	0.1

Tabla 5: Relevancia de los factores determinantes.

Fuente: Elaboración personal.

Luego, según la zona analizada, se estima una calificación del valor 1 al 10 acorde al marco teórico propuesto, para luego cerrar en una ponderación final que tenga en relación con la relevancia de cada factor y a su calificación según la zona.

Factor	Zona: Luján de Cuyo		Zona: Campana		Zona: San Lorenzo	
	Calificación por factor	Ponderación final	Calificación por factor	Ponderación final	Calificación por factor	Ponderación final
1	7 puntos	1,75 puntos	0 puntos	0 puntos	4 puntos	1 punto
2	2 puntos	0,4 puntos	6 puntos	1,2 puntos	10 puntos	2 puntos



3	8 puntos	1,2 puntos	7 puntos	1,05 puntos	4 puntos	0,6 puntos
4	5 puntos	0,5 puntos	7 puntos	0,7 puntos	8 puntos	0,8 puntos
5	2 puntos	0,2 puntos	6 puntos	0,6 puntos	10 puntos	1 punto
6	9 puntos	0,9 puntos	9 puntos	0,9 puntos	9 puntos	0,9 puntos
7	9 puntos	0,9 puntos	10 puntos	1 punto	10 puntos	1 punto
Zona: Dock Sud			Zona: Ensenada			
Factor	Calificación por factor	Ponderación final	Calificación por factor	Ponderación final		
1	6 puntos	1,5 puntos	10 puntos	2,5 puntos		
2	5 puntos	1 punto	5 puntos	1 punto		
3	7 puntos	1,05 puntos	9 puntos	1,35 puntos		
4	9 puntos	0,9 puntos	8 puntos	0,8 puntos		
5	8 puntos	0,8 puntos	7 puntos	0,7 puntos		
6	9 puntos	0,9 puntos	9 puntos	0,9 puntos		
7	8 puntos	0,8 puntos	8 puntos	0,8 puntos		

Tabla 6: Puntuación por factor y ponderación final para cada ubicación.

Fuente: Elaboración personal.



La siguiente tabla concluye con la sumatoria de cada ponderación final para las zonas seleccionadas, aquella que tenga un puntaje superior respecto al resto, quedará fijada como la zona elegida para instalar la planta.

Zona	Puntaje total
Luján de Cuyo	5,85
Campana	5,45
San Lorenzo	7,3
Dock Sud	6,95
Ensenada	8,05

Tabla 7: Puntuación total por ubicación.

Fuente: Elaboración personal.

Según los resultados que arroja el método de las puntuaciones ponderadas, podemos ver que en la *tabla 7*, la ciudad de Ensenada será el lugar geográfico en el cual se instalará la planta productora de diésel verde.

5.12. Microlocalización

Una vez presentado el punteo de elementos constitutivos de la macrolocalización, se prosigue a realizar lo mismo, pero para la microlocalización. La microlocalización es la determinación del punto preciso donde se montará la planta industrial dentro de la región, y en donde se hará la distribución de las instalaciones para el terreno elegido.

La planta desarrollará sus actividades en el Partido de Ensenada, emplazado en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, a 65 km de Capital Federal, integrándose al eje metropolitano. Dicho partido limita con Berazategui, La Plata y Berisso, conformando con los dos últimos la denominada Región Capital o Región del Gran La Plata. También comparte jurisdiccionalmente con Berisso el Puerto Provincial de La Plata. Ensenada muestra la particularidad de tener un bajo número de establecimientos industriales y de empleo industrial, pero su valor bruto industrial es muy alto (esta particularidad se explica por el hecho de



que el sector industrial de Ensenada se remite básicamente a la localización de un importante polo petroquímico).

La planta se ubicará sobre el Camino Vergara, entre el Parque Industrial Ensenada (Ex IPAKO) y Petrocuyo. El Consorcio Industrial de Ensenada (CIE) ofrecerá sus servicios y aptitudes para asentar la planta en cuestión. La accesibilidad al predio es muy buena, en principio por encontrarse localizado sobre una vía de circulación primaria, como lo es el Camino Vergara, la cual se encuentra pavimentada y es muy transitada. La conexión con la Avenida 122, en dirección hacia la calle 520, permite la conexión directa con la Autopista Buenos Aires – La Plata, resultando en una rápida vía de acceso hacia la Capital Federal y el Conurbano Bonaerense.

El predio, dominio municipal, posee una superficie de aproximadamente 50.000 m². En la siguiente toma aérea satelital se visualizan las características comentadas del inmueble en cuestión:



Figura 23: Vista del polo petroquímico Ensenada (aérea).

Fuente: Google Maps.

Según la normativa que rige para el Municipio de Ensenada, el inmueble se localiza en el Área complementaria 1: zona industrial UEI2, al igual que todos los establecimientos limitantes (por ejemplo, Petrocuyo, Antorcha YPF, Edelap, entre otros).



Los servicios disponibles para el desempeño industrial en el parque son los que se presentan a continuación:

- Energía eléctrica para uso industrial: Actualmente el predio se encuentra abastecido por la empresa Edelap, desde la subestación Dique.
- Alumbrado público: Sobre el Camino Vergara puede observarse la presencia de postes de alumbrado público.
- Agua corriente: El suministro de agua potable es provisto por ABSA.
- Gas natural: Como proveedor de gas natural se escoge a la empresa Camuzzi gas.

Respecto al resto de servicios, se obtendrán a partir de la planificación y puesta en marcha de obras dentro del predio.

- Redes de telefonía e internet: Se deberá planificar una obra para instalar tanto la línea telefónica, como el tendido de fibra óptica, y el sistema de redes de computación.
- Cerco perimetral y forestación de banda perimetral: Se deberá planificar una obra para el establecimiento de un cerco de alambre olímpico y la forestación parcial del perímetro.
- Calles: La accesibilidad al predio se produce a través de un portón de ingreso sobre el Camino Vergara (camino que se encuentra pavimentado y en buenas condiciones). Se deberá iniciar una obra para la construcción de calles internas dentro del predio.
- Efluentes: se utilizará la planta de tratamiento de agua del parque industrial ensenada ex IPAKO.
- Antorcha: La empresa YPF prestará el servicio.

Como conclusión de este apartado, el lugar físico seleccionado para la instalación de la planta se encuentra en una parcela del polo petroquímico de la ciudad, entre el Parque Industrial Ensenada (ex IPAKO) y la empresa Petrocuyo. La parcela en cuestión es denominada 164 AG, según CartoArba.

Esta decisión se respalda con tres argumentos, el primero tiene que ver con la cercanía al CIE que nos va a proveer el hidrógeno, el segundo teniendo en cuenta la abundancia y calidad de servicios con los que se pueden contar asentándose en esta ubicación y el tercero se basa en que la superficie disponible a ocupar responde a los requerimientos básicos del proyecto.

Esta parcela pertenece al Complejo Industrial Ensenada, y se encuentra sobre el Camino Vergara entre los kilómetros 2 y 2,5, el terreno tiene 170 m de ancho por 300 m de largo, lo que da una superficie de 51.000 m². Para adicionar más detalles, se adjunta la siguiente toma aérea satelital:



Figura 24: Vista del terreno seleccionado (aérea).

Fuente: Google Maps.

5.13. Estudios de clima

En la ciudad de Ensenada, el clima es templado y cálido, los veranos son calientes, húmedos y lluviosos; los inviernos son fríos y ventosos y está parcialmente nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7°C a 28°C y rara vez baja a menos de 1°C o sube a más de 32°C.

En cuanto a las precipitaciones, el valor anual promedio es de 1090 mm, siendo el verano (meses de enero, febrero y marzo) el periodo de mayor cantidad de precipitaciones, la humedad relativa media es de 77%.

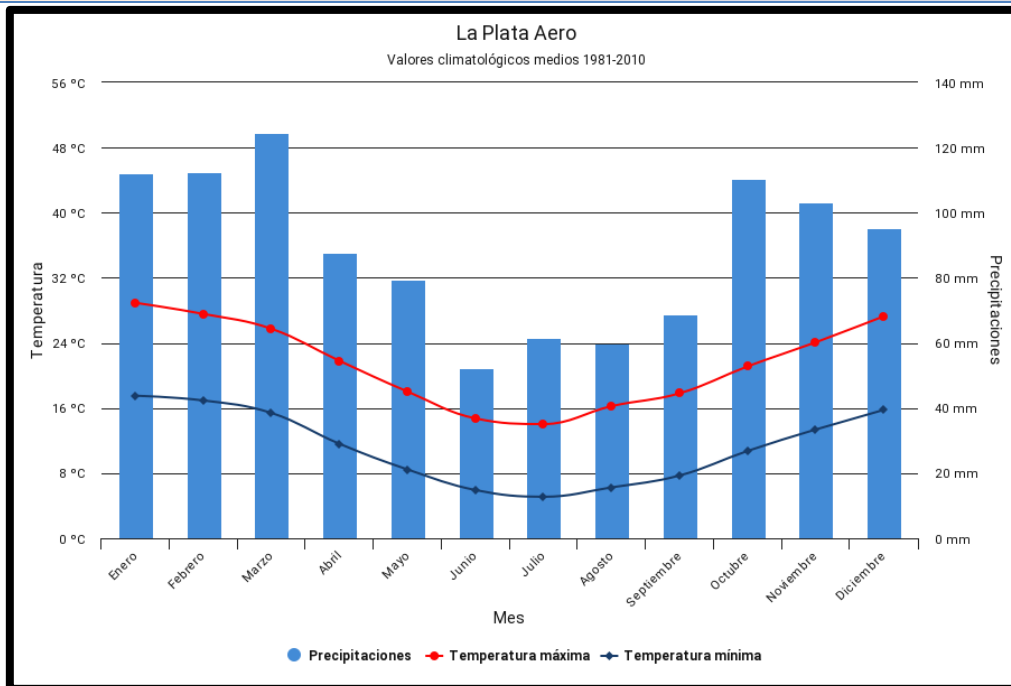


Figura 25: Registro de precipitaciones y temperaturas promedio según el mes (período 1981-2010).

Fuente: Servicio meteorológico nacional.

La máxima media alcanza los 29°C, la mínima media es de 6°C, en cuanto a las precipitaciones, la máxima media por mes es de 123 mm en el mes de marzo.

Este clima le brinda a la región las condiciones adecuadas para el desarrollo de una gran diversidad de plantas, también vamos a encontrar aves, mamíferos, anfibios y reptiles e insectos, que se distribuyen en sus diferentes ecosistemas, entre los que se cuentan relictos de selva, juncales, lagunas y costa.

Cada uno de estos ecosistemas presenta una diversidad asociada a varios factores, entre ellos: el tipo de suelo, la vegetación y la dinámica de escorrentía, que determina las zonas de inundación.

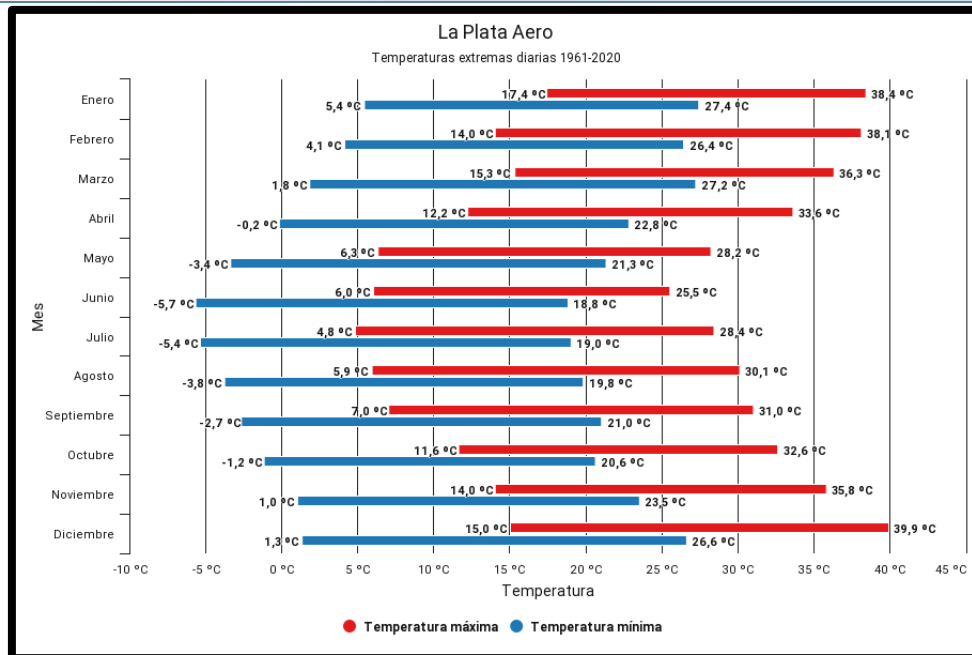


Figura 26: Máximos y mínimos históricos de temperatura según el mes.

Fuente: Servicio meteorológico nacional.

Como vemos en la figura 26 los máximos históricos en temperatura se encuentran en 39,9 °C y los mínimos históricos en -5,7 °C, estos son datos importantes a tener en cuenta ya que influyen en la temperatura del agua de enfriamiento y del aire que utilizarán los aeroenfriadores. En invierno hay que reducir los caudales y en verano hay que aumentar los mismos para mantener con la mínima variación posible, las temperaturas de las corrientes del proceso.

5.13.1. Nubosidad

En cuanto a la nubosidad, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en Ensenada comienza aproximadamente el 24 de septiembre; dura 7 meses y se termina aproximadamente el 22 de abril. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 22 de abril; dura 5 meses y se termina aproximadamente el 24 de septiembre.

5.13.2. Precipitaciones

Un día "mojado", es aquel que cuenta con, por lo menos, 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. En Ensenada, la probabilidad de un día mojado en el mes de enero es variable, con valores entre 29% y 35%, siendo el mes con mayores probabilidades de precipitaciones.



Para ver la variación durante el mes, se presenta la precipitación de lluvia acumulada durante un periodo móvil de 31 días centrado alrededor de cada día. El promedio de lluvia durante 31 días móviles en febrero tiene un valor de 111 mm y rara vez excede los 216 mm.

En el siguiente gráfico, se muestran los valores de precipitación máxima mensual y máxima diaria, este último valor es especialmente importante debido a que da una idea de la posibilidad de inundación y de qué forma debe acondicionarse la planta para lidiar con cada fenómeno climático natural.

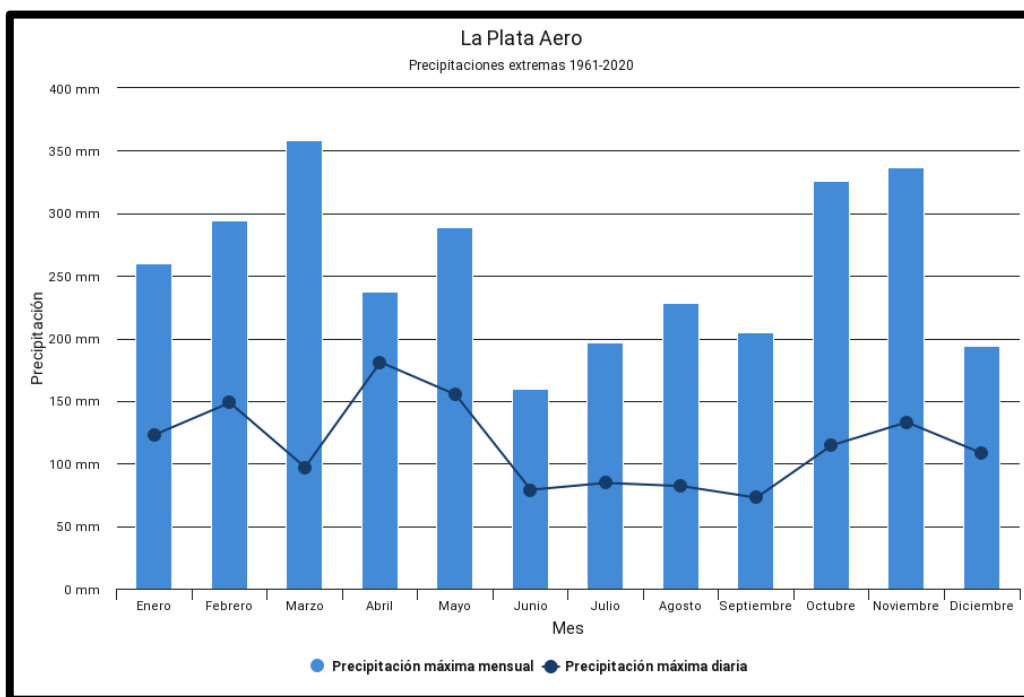


Figura 27: Máximos valores diarios y mensuales en La Plata.

Fuente: Servicio meteorológico nacional.

El 2 de abril de 2013 se registró un récord de precipitaciones a nivel nacional en La Plata, fue de 392,2 mm, esta cifra la arrojó el pluviómetro del Observatorio Astronómico de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, situado en el área céntrica de la ciudad y que no está homologado por el Servicio Meteorológico Nacional, pero lo respalda su confiabilidad. Además de esta cifra, existen varios casos de precipitaciones que superan los 200 mm en menos de 24 horas.

Por estas razones se debe tener en cuenta la planificación y puesta en marcha de un sistema de drenaje apto para estas condiciones mencionadas, además de disponer a los equipos de proceso a una cierta altura para evitar que se inunden con facilidad.



5.13.3. Horas de sol

Durante junio en Ensenada, la duración del día es la más reducida comparada con los otros meses. El día más corto del mes es el 21 de junio, con 9 horas y 49 minutos de luz natural y el día más largo es el 1 de junio, con 9 horas y 57 minutos de luz natural, podemos ver que la variación es mínima a lo largo del mes.

Como referencia se tiene al día 21 de diciembre, el día más largo del año: el sol sale a las 05:34 y se pone 14 horas y 30 minutos después, a las 20:05, mientras que el 21 de junio, el día más corto del año, sale a las 07:59 y se pone a las 17:47.

5.13.4. Humedad

El nivel de “comodidad” de la humedad se fija en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel, enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo.

Como referencia, el 8 de febrero, el día más bochornoso del año, hay condiciones bochornosas el 48% del tiempo, mientras que el 16 de julio, el día menos bochornoso del año, hay condiciones bochornosas el 0% del tiempo.

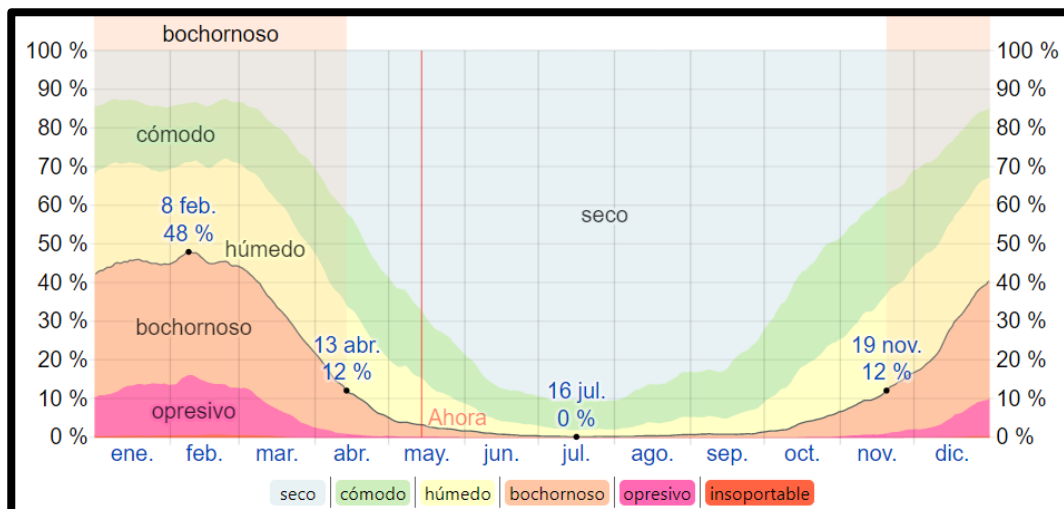


Figura 28: Niveles de comodidad de la humedad a lo largo del año en Ensenada.

Fuente: Página web de Weather Spark.



5.13.5. Viento

Para medir el viento vamos a utilizar el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de una ubicación específica depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Ensenada es esencialmente constante, permaneciendo alrededor de 17,4 kilómetros por hora.

Como referencia, el 13 de septiembre, el día más ventoso del año, la velocidad promedio diaria del viento es de 18,9 kilómetros por hora, mientras que el 6 de mayo, el día más calmado del año, la velocidad promedio diaria del viento es 16,5 kilómetros por hora.

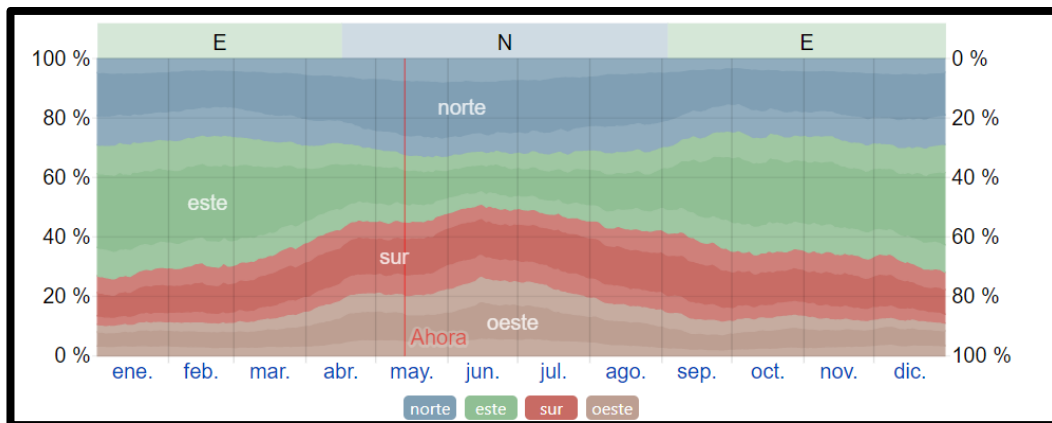


Figura 29: Dirección del viento según el mes del año.

Fuente: Página web de Weather Spark.

La dirección promedio del viento por hora en Ensenada varía durante el año, pero claramente predominan los vientos del este con un porcentaje máximo de 44% para el 1 de enero.

Haciendo un análisis de las tablas de vientos a distintas alturas obtenidas del SIG eólico (Anexo 13.1.), resulta que, al aumentar la altura, la velocidad de los vientos se incrementa de igual forma. A 10 metros, la velocidad más común es de 20 km/h, a 80 metros aumenta hasta 25,5 km/h, lo que no es una gran diferencia, pero en el caso de existir ráfagas, estas sí podrían llegar a tener una velocidad más considerable en las alturas. Esto se debe tener en cuenta para el diseño de equipos altos, ya que se pueden presenciar al menos 10 episodios de días ventosos por año en los que las ráfagas alcanzan entre 50 km/h y 70 km/h,



por lo tanto, se deben preparar los equipos y los anclajes para que no corran riesgos de derrumbe.

También hay que tener en cuenta la variación entre las diferentes direcciones del viento para analizar las emisiones de gases como el monóxido y dióxido de carbono. La siguiente rosa de viento nos muestra la predominancia de la dirección de los vientos, la cual fue realizada con los datos del SIG eólico a 80 m, ya que se consideró como la altura máxima que podría llegar a tener alguno de los equipos en planta.

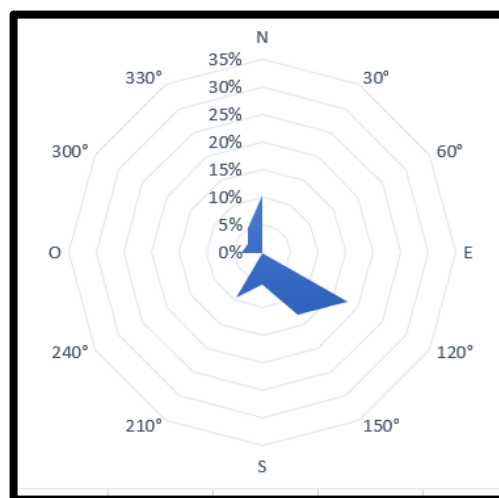


Figura 30: Rosa de viento de la ciudad de Ensenada.
Fuente: SIG Eólico.

5.13.6. Sudestada

Las Sudestadas son eventos de anomalía climática, caracterizados por generar fuertes vientos provenientes del E-ESE que soplan sobre el Río de la Plata, pudiendo estar o no asociados a precipitaciones. Los vientos suelen tener velocidades de 30 a 50 km/h y las ráfagas llegan a alcanzar valores de 80 km/h. Se originan cuando se produce la conjunción de dos sistemas de circulación atmosférica: uno que se localiza en el norte de Argentina o Uruguay (con baja presión, aire cálido y húmedo) y otro ubicado frente a las costas patagónicas (con alta presión, aire frío marítimo). La masa de aire se moviliza desde los centros de alta hacia los de baja presión dando origen a la afluencia de vientos del sudeste.

La misma genera una onda de tormenta (ODT) que ingresa por el estuario del Río de la Plata, aumentando el nivel de las aguas a medida que se aproxima a la costa. Las sudestadas interrumpen el normal flujo de aguas de los ríos Paraná y Uruguay, e incluso de los ríos y arroyos que vuelcan sus aguas al Río de la



Plata, al actuar como efecto “tapón”, potenciando la inundación de las zonas bajas aledañas a los mismos. La duración de las inundaciones provocadas por este evento puede extenderse desde algunas horas hasta dos o tres días.

En cuanto a la frecuencia mensual de ocurrencia de las sudestadas, aquellas acompañadas por precipitaciones presentan dos máximos, en enero y entre septiembre y octubre. Los eventos no acompañados por precipitaciones poseen máximos en los meses de marzo y noviembre, siendo junio el mes donde ocurren la mayor cantidad de sudestadas fuertes, y octubre el que presenta mayor frecuencia.

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

En este apartado, se incluyen los requisitos correspondientes al marco legal industrial y ambiental que debe seguir la planta.

Como requisitos legales destacados, se encuentran la Ley Nacional 26.093 y su Decreto Reglamentario 109/07. La ley mencionada constituye la piedra basal del marco regulatorio de los biocombustibles de la República Argentina, establece los requisitos para la habilitación de plantas productoras de biocombustibles, y resulta aplicable a las actividades de producción, mezcla, distribución, comercialización, consumo, y autoconsumo de los mismos.

El establecimiento de una demanda garantizada de biodiésel a través de una ley fue el mecanismo que utilizaron los gobiernos para asegurar la inversión y el desarrollo del sector. En la ley se produce una coexistencia de dos regímenes que, pese a estar interrelacionados, funcionan de modo separado. Por una parte, el Capítulo I de la Ley 26.093 establece una regulación de carácter permanente sobre la actividad que gobernará los derechos y obligaciones de los sujetos que emprendan cualquier actividad ligada con los biocombustibles. Por otra parte, el Capítulo II de la Ley 26.093 implementa un régimen de promoción de la actividad de carácter temporal mediante incentivos fiscales de naturaleza federal, orientados en principio a pequeños y medianos proyectos que tengan por objeto el desarrollo de la industria local con fines de abastecimiento al mercado interno.

También en el artículo 6º fija que: “...la habilitación correspondiente se otorgará, únicamente, a las plantas que cumplan con los requerimientos que establezca la autoridad de aplicación en cuanto a la calidad de biocombustibles y su producción sustentable, para lo cual deberá someter los diferentes proyectos



presentados a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que incluya el tratamiento de efluentes y la gestión de residuos”.

La principal herramienta incluida en la Ley 26.093 fue el establecimiento del denominado “corte obligatorio”, mediante la cual se exigía la obligación de mezclado de biocombustibles con combustibles fósiles en un porcentaje del 5% como mínimo, sobre la cantidad total del producto final, a partir del 1° de enero de 2010. Porcentaje que fue aumentado a un 10% en 2014.

El Decreto Reglamentario N.º 109/07 establece que la Autoridad de Aplicación en Materia de Biocombustibles es el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios a través de la Secretaría de Energía (SE), excepto en las cuestiones tributarias o fiscales, para las cuales la autoridad de aplicación será el Ministerio de Economía y Producción.

La Ley Provincial N.º 14.440/13, junto con el Decreto Reglamentario 1.741/96 avalan las condiciones para el establecimiento de la planta en la zona industrial seleccionada, su puesta en marcha y posterior abandono. En la misma, se tiene en cuenta el nivel de complejidad ambiental que se relacione con el proyecto.

El Artículo 41 de la Constitución Nacional sienta las bases del desarrollo sustentable, el cual se basa en la continua realización de proyectos sin afectar las necesidades sociales futuras.

En la siguiente tabla se presentan los demás requisitos legales que debe seguir el proyecto.

Reglamentación Vigente	Marco de referencia	Breve fundamento
Ley N.º 21.836	Constitución Nacional	Convenio sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural.
Ley N.º 23.724	Constitución Nacional	Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono.
Ley N.º 23.778	Constitución Nacional	Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agotan la capa de ozono.



Ley N.º 23.922	Constitución Nacional	Convenio sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, suscripto en Basilea, Suiza.
Ley N° 25.916/04: Ley de Gestión de Residuos Domiciliarios.	Constitución Nacional	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.
Artículo 41	Constitución Nacional	<p>Fomenta el desarrollo sustentable en todo el país, realizando actividades en pos de no comprometer las necesidades sociales futuras.</p> <p>“Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano... Deber de preservarlo... El daño ambiental genera la obligación de recomponer... Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas.”</p> <p>Prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos momentánea o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.</p>
Artículo 75.- Inciso 19.-	Constitución Nacional	“Proveer lo conducente al desarrollo humano, al progreso económico con justicia social...”



Artículo 124.-	Constitución Nacional	Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.
Artículo 42.-	Constitución Nacional	“...procedimientos eficaces para la prevención y solución de conflictos, y los marcos regulatorios de los servicios públicos de competencia nacional.”
Ley N.º 20.284/73	Constitución Nacional	Prevención y control de la contaminación atmosférica. Normas de Calidad de Aire y de los Niveles Máximos de Emisión. Fuentes fijas. Plan de Prevención de Situaciones Críticas.
Ley N.º 24.295	Constitución Nacional	Aprobación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático global.
Ley N.º 24.292	Constitución Nacional	Aprueba el convenio internacional sobre cooperación, preparación, y lucha contra la contaminación por hidrocarburos.
Ley N.º 25.438	Constitución Nacional	Aprueba el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático
Ley N.º 25.841	Constitución Nacional	Acuerdo marco sobre medio ambiente del Mercosur, suscrito en Asunción
Ley N.º 24.375: “Convenio de diversidad Biológica”	Constitución Nacional	Establece nexos entre las medidas tradicionales de conservación y la meta económica de utilizar de forma sostenible los recursos biológicos, incluyendo la



		expansión acelerada de las “biotecnologías”.
Ley N° 13.660/49	Constitución Nacional	Ley de Seguridad de Instalaciones de Combustibles.
Ley N.º 25.675/02: “Ley de Política Ambiental Nacional”, o comúnmente conocida como Ley General del Ambiente	Constitución Nacional	Fija presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Principios de la política ambiental. Obligación del Seguro Ambiental. “...la ley marco en materia de presupuestos mínimos de protección ambiental que el Congreso ha sancionado en virtud del mandato del tercer párrafo del artículo 41...”
Ley N.º 25.612/02 – Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio	Constitución Nacional	Establece principios de la mayor importancia respecto de la gestión integral de los residuos industriales y de actividades de servicio.
Ley N.º 24.051/91 – Ley de residuos peligrosos	Constitución Nacional	Regula la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Define las Categorías sometidas a control, lista de características peligrosas y operaciones de eliminación.
Ley Nacional de Tránsito N.º 24.449/94 y su Decreto Reglamentario N.º 779/95	Constitución Nacional	Regula el uso de la vía pública, y se aplican a la circulación de personas, animales y vehículos terrestres en la vía pública, y a las actividades vinculadas con el transporte, los vehículos, las personas, las concesiones viales, la estructura vial y el medio ambiente, en cuanto



		<p>fueren con causa del tránsito. Quedan excluidos los ferrocarriles. Será ámbito de aplicación la jurisdicción federal. Podrán adherir a la presente ley los gobiernos provinciales y municipales.</p> <p>El decreto establece la reglamentación del Art. 33º de la Ley Nacional N.º 24.449</p>
Resolución Secretaría de Obras Públicas y Transporte N.º 195/97	Constitución Nacional	Incorpora normas técnicas al Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera, aprobado por Decreto N.º 779/95.
Ley N.º 25.831/03 – Régimen de libre acceso a la información pública ambiental	Constitución Nacional	El derecho a la información ambiental y su difusión surge del segundo párrafo del Art. 41 de la CN.
Ley N.º 22.428	Constitución Nacional	Determina los recaudos del suelo como recurso.
Ley N.º 20.248	Constitución Nacional	Determina los recaudos del aire como recurso.
Ley N.º 25.688/02: Ley de Preservación de Aguas.	Constitución Nacional	Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Utilización de las aguas. Cuenca hídrica superficial. Comités de cuencas hídricas.
Resolución N.º 785/05: Guía Metodológica para Programación y Control de Auditorías Ambientales	Constitución Nacional	Define los requerimientos mínimos y establece los criterios metodológicos a seguir para la programación y ejecución de Inspecciones Ambientales de Tanques Aéreos de Almacenamiento de



		<p>Hidrocarburos y sus Derivados (TAAH), conforme lo dispuesto por la Resolución S.E. N° 785/2005 que establece el “Programa Nacional de Control de pérdidas de tanques aéreos de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados”.</p>
Resolución N.º 905/06	Constitución Nacional	<p>Aprueba las normas técnicas referidas a los tanques cisterna, contenedores cisternas e iso-contenedores de más de tres metros cúbicos para el transporte por la vía pública de mercancías y residuos peligrosos.</p> <p>Crea el registro nacional de operadores de inspección de cisternas.</p>
Resolución N° 515/06	Constitución Nacional	<p>Crea programa para la gestión ambiental de sitios contaminados (PROSICO).</p>
Artículo 28 (1994)	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	<p>Incorpora las bases del desarrollo sustentable en la provincia de Buenos Aires.</p> <p>“Los habitantes de la Provincia tienen el derecho a gozar de un ambiente sano y el deber de conservarlo y protegerlo en su provecho y en el de las generaciones futuras... La provincia deberá controlar el impacto ambiental de todas las actividades que perjudiquen al ecosistema; promover acciones que eviten la contaminación del aire, agua y suelo; prohibir el ingreso en el territorio de residuos tóxicos o radiactivos; y garantizar el derecho a solicitar y recibir la adecuada información y a participar en la defensa del ambiente, de los recursos naturales y culturales. Instituye el procedimiento de</p>



		Evaluación del Impacto Ambiental.”
Ley Provincial N.º 11.723/95 – Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y Resolución. N.º 538/99	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Tiene por objeto la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, a fin de preservar la vida en su sentido más amplio; asegurando a las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica. Instituye el procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental. Inculca la responsabilidad a los municipios en la gestión.
Ley de protección de las fuentes de provisión del agua y de la atmósfera N.º 5.965/58 y su Decreto Reglamentario N.º 3.395/96	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Ley de protección a las fuentes de provisión y de los cuerpos receptores de agua y de la atmósfera. El decreto establece por primera vez los niveles guía de emisión de efluentes líquidos cloacales e industriales de acuerdo con las características del cuerpo receptor de las descargas. También establece los Instructivos y especificaciones técnicas para efluentes gaseosos.
Resolución N° 2.145/01	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Perfecciona la reglamentación de la Ley N.º 5.965/58. Establece las pautas para la caracterización de los efluentes gaseosos
Resolución N°279/1996	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Modifica, complementa y perfecciona valores establecidos en el Decreto N.º 3395/96



Ley Provincial N.º 8912/77 de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Rige el ordenamiento territorial de la provincia y uso de suelo, en todo el territorio provincial.
Ley N.º 12.257 – Código de Aguas.	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece el régimen de protección, conservación y manejo de los recursos hídricos de la provincia.
Ley N° 13.757/07	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Estructura Orgánica de la Secretaría de Política Ambiental.
Ley de Residuos Patogénicos N° 11.347/92 y su Decreto Reglamentario N.º 450/94	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece los procedimientos para el tratamiento, manipuleo, transporte y disposición final de Residuos Patogénicos. El decreto reglamenta la Ley N.º 11.347/92 de Residuos Patogénicos
Ley N.º 14.440/2013 - Ley de Radicación Industrial y Decreto Reglamentario 1.741/1996	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece junto con su decreto reglamentario todas las pautas que deben cumplir los establecimientos industriales en la provincia, para su proyecto, instalación, operación y abandono. También trata sobre las condiciones que deberá respetar, de acuerdo con el nivel de complejidad ambiental que posea. El decreto establece los pasos a los efectos de obtener el Certificado de Aptitud Ambiental. También fija los procedimientos para la determinación del Nivel de Complejidad Ambiental, la Evaluación de Impacto Ambiental de establecimientos Industriales, y los procedimientos para obtener el Certificado de Aptitud Ambiental.



Decreto N.º 531/19	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Deroga el Decreto Reglamentario N.º 1.741/96 de la Ley N.º 11.459
Ley de Residuos Especiales N.º 11.720/95 y su Decreto Reglamentario 806/97	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Regula la generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos especiales en el territorio de la provincia de Buenos Aires.
Ley de gestión integral de residuos sólidos urbanos N.º 13.592/06 y su Decreto Reglamentario N.º 1.215/10	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	La ley, junto con el decreto correspondiente, aborda un plan destinado a la reducción de residuos dispuestos en sitios finales de disposición.
Decreto N.º 3.395/96 más Resoluciones SPA N.º 276/96, N.º 242/97, N.º 167/97, N.º 2.145/02, 937/02	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Establece el régimen aplicable a los establecimientos industriales generadores de emisiones gaseosas.
Resolución N.º 159/96 de la Provincia de Buenos Aires	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Aprueba el método de medición y clasificación de ruidos molestos al vecindario producidos por la actividad industrial, adoptados por la Norma IRAM N° 4.062:2001.
Resolución N° 336/03	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Última modificación de los niveles de emisión de efluentes líquidos. Modifica la Resolución 389/98. Incorpora ramas de actividades a las que no se les permite disponer sus efluentes líquidos residuales e industriales a pozos absorbentes. Modifica parámetros de descarga admisibles, agrega el listado de pesticidas organoclorados y organofosforados que figuran en la Ley Provincial N° 11.720.



Resolución para residuos tóxicos N°1.532/06	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Listado de residuos tóxicos cuya prohibición de ingreso al territorio de la Provincia se halla consagrada en el art. N° 28 de la CN.
Ley de Pasivos Ambientales N° 14.343/11	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	La ley crea el Registro de Pasivos Ambientales. Regula la identificación de los mismos y obliga a recomponer los sitios contaminados.
Resolución N° 342/07	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Transporte de Sustancias Químicas. Sistema de Fiscalización. Derogase Resolución 877/2006.
Ley N° 14.370/12	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	Registro Ambiental de establecimientos industriales de la Provincia de Buenos Aires.
Resolución OPDS N° 95/14	Constitución de la Provincia de Buenos Aires	El OPDS ha reglamentado, en el marco de la Ley 14.343 de Pasivos Ambientales, el proceso técnico administrativo para la evaluación y caracterización de sitios contaminados, la aprobación del plan de remediación, la declaración de sitio remediado, y el programa de monitoreo posterior para seguimiento.
Ord. N° 977/83, más Ordenanzas Complementarias de zonificación sectorial	Marco normativo del Partido de Ensenada	Uso y ocupación de suelo vigente en el partido.



Ord. 1887/95		
Ord. 1946/96		
Ord. 2077/97	Marco normativo del Partido de Ensenada	Sobre temas referidos a residuos/ efluentes/ emanaciones.
Ord. 2414/00		
Ord. 2640/01		
Ord. 1887/95		

Tabla 8: Descripción del marco legal.

Fuente: Elaboración personal.

5.15. Estudios de suelos

La topografía en un radio de 3 kilómetros proyectados sobre la Ciudad de Ensenada es esencialmente llana, con un cambio máximo de altitud de 26 metros y una altitud promedio de 5 metros sobre el nivel del mar. En un radio de 16 kilómetros es esencialmente plano (56 metros). En un radio de 80 kilómetros también tiene solo variaciones modestas de altitud (146 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros proyectados sobre la Ciudad de Ensenada, la misma está cubierta de arbustos (28 %), árboles (17 %), superficies artificiales (17 %) y agua (16 %), en un radio de 16 kilómetros, se encuentra agua (46 %) y arbustos (14 %), y en un radio de 80 kilómetros se encuentra agua (42 %) y tierra de cultivo (25 %).

En cuanto a la sismicidad, la región responde a las subfallas del Río Paraná, del Río de la Plata y de la zona de Punta del Este, con sismicidad baja, su última actividad fue el 30 de noviembre de 2018 con una magnitud de 3,8 en la escala de Richter.

En la Planicie costera del Río de la Plata se encuentran suelos fuertemente hidromórficos, que son suelos pobremente drenados, esto se debe a que la zona ha sido afectada por las sucesivas variaciones de ascenso y descenso del nivel del mar, que dio como resultado la profundización y sedimentación de la red de drenaje. En el área que no fue afectada por la variación de la línea de costa se encuentran los depósitos de *loess* (material originario), habituales en la región pampeana.

La línea de costa actual del estuario del Río de la Plata, al sufrir la alternancia de elevaciones y profundizaciones del sustrato pampeano, influyó de manera



considerable en la evolución paleoambiental durante los eventos transgresivos-regresivos del Holoceno, lo que dio como resultado un suelo con origen poligenético, donde se reconocen (además del estuario) dos ámbitos geomorfológicos muy contrastantes: la planicie continental y la planicie o llanura costeras.

La división entre ambas está representada por un acantilado relíctico, que en muchos casos ha sido parcialmente erosionado y que se sitúa aproximadamente a los 5 metros sobre el nivel del mar.

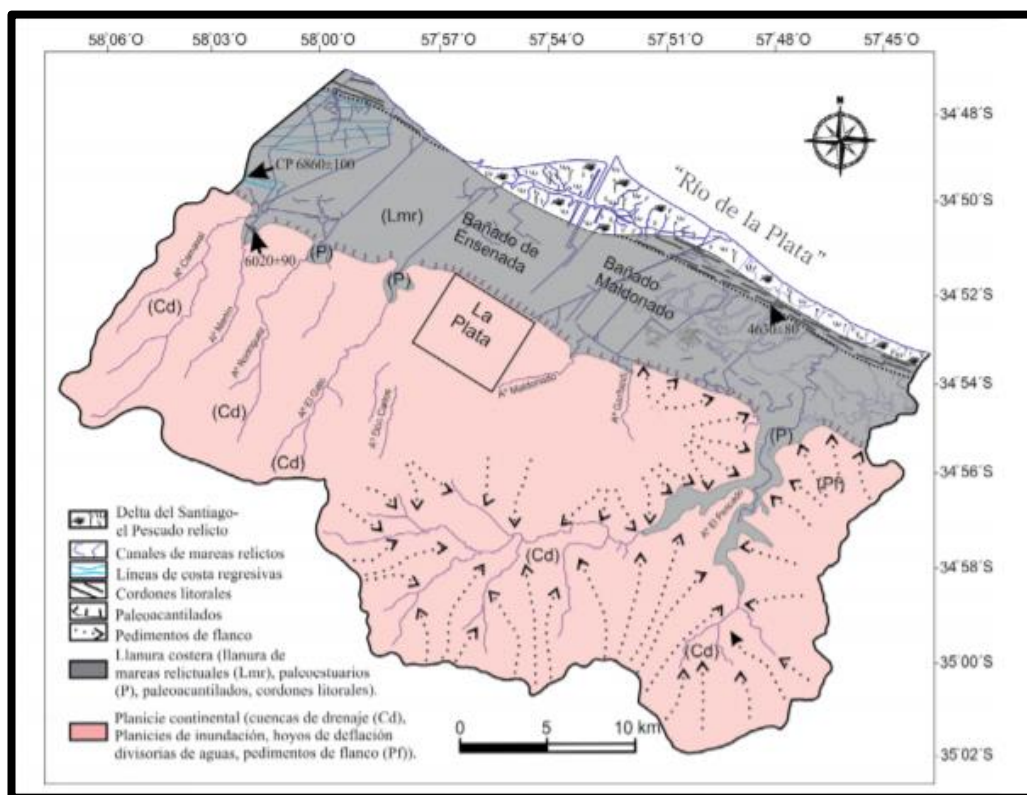


Figura 31: División de suelos en la región del Gran La Plata.

Fuente: “Evolución geomorfológica de la región del Gran La Plata y su relación con eventos catastróficos” Revista de la Asociación Geológica Argentina (2017).

La planicie costera, que es la zona donde se encuentra el partido de Ensenada, se desarrolla desde la línea de costa hasta el paleocantilado que lo separa de la planicie continental, presentando inflexiones hacia el continente allí dónde el paleocantilado es atravesado por los cursos de agua superficiales. Constituye una franja de unos 4 a 8 km de ancho paralela al estuario del Río de la Plata, con una pendiente imperceptible (entre un 0,06 al 0,1%) y formas cóncavas, sobre la cual se han desarrollado redes anárquicas y amplios bañados. Este



sector es atravesado por el Arroyo El Pescado y numerosos canales artificiales, contruidos para drenar los caudales de los demás cursos de agua.

La unidad basal está constituida por limos arcillosos a arcillas limosas, de color verde oliva a negro con intercalaciones de capas de arena fina del mismo color, de alto límite líquido. Por encima y en forma transicional, los sedimentos se hacen más firmes, plásticos y adhesivos y con colores que migran de verdosos a castaños. Estos sedimentos se habrían acumulado en un ambiente estuárico de un Río de la Plata más amplio, evolucionando a ambientes de llanuras de mareas y posteriormente a ambientes de marismas.

Por encima y cerca de la línea de costa se observan gravas, arenas y conchillas y, en menor proporción, limos.

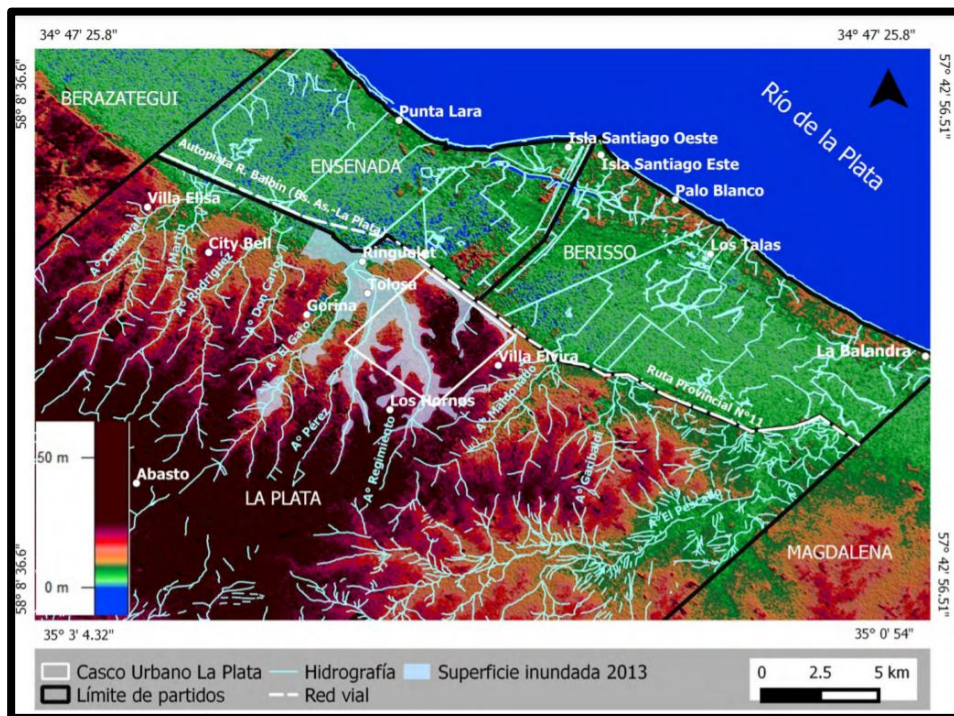


Figura 32: Modelo de elevación digital con la red de drenaje del área.

Fuente: "Evolución geomorfológica de la región del Gran La Plata y su relación con eventos catastróficos" Revista de la Asociación Geológica Argentina (2017).

La planicie costera del Río de la Plata representa el ámbito de menor altitud y los mayores problemas naturales a los que se encuentra sometida la población de esta zona (partidos de Berisso y Ensenada). Estos problemas se vinculan a las inundaciones desde el Río de la Plata (sudestadas) y a los anegamientos e inundaciones generados por las precipitaciones y desbordes de cursos y canales provenientes de la planicie continental. Varios factores naturales repercuten directamente en la generación de estas problemáticas, como el tipo de suelo



resultado de las dinámicas hidrológicas del estuario, la escasa altura y pendiente. También se debe mencionar los factores antrópicos, como son la ineficiencia en la planificación urbana que intensifica los riesgos de anegamientos (afloramiento de la capa freática), insuficiencia en la cantidad de canales de desagües y falta de mantenimiento en los entubamientos urbanos. Otro factor importante es la posición de las vías troncales de comunicación, como son los caminos General Belgrano y Centenario, las vías del ferrocarril General Roca y la autopista Buenos Aires – La Plata, que se encuentran de forma perpendicular al drenaje, actuando como verdaderos diques de contención al escurrimiento y dificultando la evacuación de las aguas, entre otros procesos.

El aumento de la superficie del área urbanizada conlleva, cuando la ocupación del suelo es significativa, a la impermeabilización de la superficie disminuyendo la capacidad de absorción del suelo. La construcción de invernáculos, propia de la actividad hortícola intensiva en la periferia del área urbana de La Plata, ha aumentado significativamente desde la década 2000, factor que potencia la impermeabilización de la superficie, la cual es máxima en las nacientes de la cuenca del arroyo El Gato.

Las soluciones que se han estado aplicando radican en la construcción de muros de contención y elevaciones de los niveles de construcción a través de relleno con tierra colorada u otro tipo de tierra, pero muchas veces, no son suficientes para contrarrestar el problema. La combinación de fenómenos como las sudestadas y las precipitaciones extraordinarias potencian el riesgo de inundación, debido a que las precipitaciones producen inundaciones que no pueden drenarse por el efecto de tapón que produce la sudestada, que a su vez evita el escurrimiento de las aguas continentales hacia el Río de la Plata.



Evento Precipitación (mm) Intensidad (mm/h)	Zona afectada	Consecuencias y causas probables (CP)	Evacuados y pérdidas humanas
Enero 1998 119,4 mm En pocas horas, sin datos	Casco urbano (Plaza Paso), City Bell, Villa Elisa (desborde A° El Gato), Los Hornos y accesos a la ciudad.	Anegamientos. CP: Obsolescencia de los desagües y falta de obras.	Cerca de 100 evacuados en La Plata y Berisso.
Diciembre 1998 70 mm 59 mm/h	Casco urbanos de Berisso, Ensenada y Punta Lara, NE La Plata: zonas cercanas al Paseo del Bosque (1,2m de altura) Tolosa y Ringulet (0,5m)	Anegamientos. CP: remodelación de Av. 44 sin cambiar los desagües. Extensión del pavimento en áreas de la periferia sin las correspondientes obras hidráulicas. Obsolescencia de los desagües.	No hubo registro de evacuados.
Enero 2002 121,2 mm 75 mm/h	Desborde del A° El Gato (afecto desde Tolosa a City Bell), A° Maldonado (Villa Elvira), A° Perez (zona N de La Plata).	Anegamientos CP: construcción del tramo Hudson-La Plata de la autopista Buenos Aires - La Plata (inaugurada en mayo de ese año) que frena el escurrimiento de las aguas del norte del partido.	Más de 70000 evacuados.
Febrero 2008 240 mm 90 mm/h	N del partido de La Plata: periferia de City Bell, Villa Elisa, Gorina, Ringulet y Abasto, áreas centricas en el eje de la avenida 13.	Anegamientos. CP: falta de limpieza de cursos de los arroyos. Autopista Buenos Aires - La Plata impidió el escurrimiento.	900 evacuados en La Plata y 1 muerto.
Abril 2013 392,2 mm 100 mm/h	Afecto casi exclusivamente en el casco urbano de La Plata, principalmente a la población radicada sobre o en las cercanías de las antiguas líneas de drenaje.	Anegamientos, incendio en sector de Refinería YPF. CP: impermeabilización del suelo, falta de obras hidráulicas y la magnitud extraordinaria de la tormenta.	89 muertos (según datos oficiales) y más de 70000 viviendas inundadas.

Tabla 9: Eventos de precipitaciones extraordinarias destacadas durante el periodo 1998-2013.

Fuente: "Evolución geomorfológica de la región del Gran La Plata y su relación con eventos catastróficos" Revista de la Asociación Geológica Argentina (2017).

Como conclusión, los suelos que se encuentran en Ensenada son fuertemente hidromórficos con capa freática cercana a la superficie, que tienen cierta depresión que favorece las inundaciones. Son suelos que también cuentan con condiciones geoquímicas estables en el tiempo debido a la textura arcillosa, la cual impide el acceso rápido de oxígeno, resultando en condiciones reductoras. Tiene propiedades de baja permeabilidad, lo cual es considerado un aspecto positivo, ya que, suponiendo que algún contaminante se vierta al suelo, presentará dificultades para llegar a la fuente de agua subterránea, pero también tiene aspectos negativos, como es la frecuente inundación.

Según el código de edificación en el partido de Ensenada, los terrenos bajos, pantanosos e inundables deberán ser rellenados por sus propietarios de manera que alcancen el nivel que fije la Subdirección de Obras Particulares en cada caso, atendiendo a razones de salubridad pública y estética. Si los terrenos tienen por frente calles pavimentadas, estas determinarán el nivel de aquellos. En cuanto a los cimientos, el código hace referencia a que deben ser dimensionadas de tal forma que no sobrepasen las sobrecargas admisibles en los terrenos sobre los que se asienten, deberán ser protegidas contra la acción



de las aguas subterráneas y que todo cimiento tenga un espesor superior (por lo menos) en medio ladrillo al del muro o tabique que descansa sobre él. En el caso de instalar estructuras pesadas, se va a solicitar obligatoriamente un estudio del suelo, para identificar los estratos que puedan ser afectados por las cargas impuestas sobre la estructura.

Como los equipos son estructuras pesadas, es necesario realizar un estudio de suelo, como ejemplo tomamos un estudio realizado en 2013 en la zona industrial donde se ubica YPF, la cual se encuentra en las cercanías de nuestra planta. En la *tabla 10*, vemos como está compuesto el suelo, el pH es ácido en el horizonte A y mientras profundizamos se vuelve más básico por la presencia de carbonatos. La conductividad eléctrica de los horizontes B resulta mayor a 4 dS m^{-1} , por lo que podemos considerar que su valor es alto por debajo del mismo, lo cual es óptimo para los sistemas de puesta a tierra. Por otras pruebas realizadas, concluimos que la resistencia mecánica es muy baja, por lo que hay que construir pilotes que lleguen hasta la zona firme del suelo.



Tabla 2. Datos morfológicos. Perfil 1 (zona industrial YPF).
Table 2. Morphological data. Soil profile 1 (industrial area YPF oil refinery).

Horizonte	Profundidad	Características
Oi	4-0 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; migajosa; blando, friable, no plástico y no adhesivo; húmedo; raíces muy abundantes; límite neto y plano.
A	0-18 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; arcillo limosa; bloques subangulares, medios; ligeramente duro, friable, plástico y adhesivo; moteados comunes, finos y precisos; húmedo; raíces abundantes; límite neto y suave.
Bngss	18-69 cm	Pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2) en húmedo; arcillosa; masivo; duro, firme, muy plástico y muy adhesivo; concreciones de hierro y manganeso comunes; moteados abundantes gruesos y precisos de color castaño claro (7.5 YR 4.5/6); slickensides muy abundantes; húmedo; límite claro y suave.
Bngssk	69-95+ cm	Gris oscuro (5Y 4/1) en húmedo; arcillosa; masivo; duro, firme, muy plástico y muy adhesivo; carbonatos abundantes; moteados comunes, medios y sobresalientes de hierro y manganeso, con núcleo de color negro azulado (10BG 2/1) y aureola color gris azulado (10BG 5/1); slickensides muy abundantes; mojado; límite neto y plano.
2Ck	95+ cm	Arena arcillosa; masivo; carbonatos abundantes; concreciones de hierro abundantes; mojado.

Tabla 3. Datos Analíticos Perfil 1.
Table 3. Analytical data. Soil profile 1.

Horizonte	Oi	A	Bngss	Bngssk	2Cnk		
Profundidad (cm)	4-0	0-18	18-69	69-95	95+		
pH (pasta)	N/D	5,16	6,9	7,6	7,53		
CaCo ₃ (g kg ⁻¹)	N/C	N/C	N/C	21,5	11,6		
Resistencia (pasta) (Ω cm ⁻¹)	N/D	402	113	46	61		
Conductiv. Específica (dS m ⁻¹)	N/D	N/D	4,62	11,09	12,3		
Composición granulométrica (%)	Arcilla < 2 μm	N/D	46,96	45,20	43,56	10,92	
	Limo 2 - 50 μm	N/D	45,26	53,13	55,93	34,96	
	Arena 50 - 2000 μm	N/D	7,78	1,67	0,51	54,12	
	Subfracciones de arena	Arena Muy Fina 50 - 100 μm	N/D	6,41	1,12	0,30	51,85
		Arena Fina 100 - 250 μm	N/D	1,02	0,25	0,10	1,90
		Arena Media 250 - 500 μm	N/D	0,30	0,20	0,10	0,21
Arena Gruesa 500 - 1000 μm		N/D	0,05	0,10	N/C	0,15	
Clase Textural	N/D	Fal	Fal	Fal	FA		
C. Org. (g kg ⁻¹)	434	37	10,9	8,7	6,4		
Mat. Org. (g kg ⁻¹)	748	64	18,9	15	11		
Bases de Intercambio (cmolc kg ⁻¹)	Ca ²⁺	N/D	8,47	10	N/D	N/D	
	Mg ²⁺	N/D	4	7,92	N/D	N/D	
	Na ⁺	N/D	2,86	8,65	10,26	10,49	
	K ⁺	N/D	1,43	1,22	3,07	0,73	
S (suma de bases) (cmolc kg ⁻¹)	N/D	16,77	27,79				
Saturación con Bases (%)	N/D	41,38		100	100		
T(CIC) (cmolc kg ⁻¹)	N/D	40,53	36,09	37,94	18,47		
Cationes solubles (mmolc L ⁻¹)	Ca ²⁺	N/D	N/D	3,53	36,63	18,79	
	Mg ²⁺	N/D	N/D	5,90	25,29	14,68	
	Na ⁺	N/D	N/D	31,48	321,6	156,9	
	K ⁺	N/D	N/D	0,736	1,45	1,51	
Aniones solubles (mmolc L ⁻¹)	CO ₃ ⁻	N/D	N/D	N/C	N/C	N/C	
	HCO ₃ ⁻	N/D	N/D	4,82	8,4	5,72	
	Cl ⁻	N/D	N/D	25,27	58,8	93,6	
	SO ₄ ⁻	N/D	N/D	15,75	34,18	33	
Metales pesados	Pb (mg kg ⁻¹)	52	51,3	51,9	51,5	N/D	
	Cu (mg kg ⁻¹)	32,9	32,5	32,95	32,76	N/D	
	Zn (mg kg ⁻¹)	142,17	72,91	87,87	59,78	N/D	

N/C (no contiene) N/D (no determinado) did (debajo del límite de detección)
N/C (no content) N/D (no value) did (under detection limit)

Tabla 10: Estudio de suelos

Fuente: Marcelo J Manassero et al. (2013).



5.16. Las Comunidades vecinas

La planta limita con una gran cantidad de establecimientos del tipo industrial. Se encuentra entre medio de los centros urbanos de Ensenada y La Plata, además, la ciudad de Berisso se ubica apenas más alejada.

La Ciudad de Ensenada cuenta con un cuerpo de Bomberos Voluntarios. La institución cuenta con 100 efectivos distribuidos en el Cuartel Central y los destacamentos 1 y 2, también presentó un gran progreso tanto en el rubro de infraestructura, como en la especialización del personal para el control de distintas emergencias.

El Cuartel Central se encuentra asentado en el centro de la ciudad (San Martín esq. Sarmiento), mientras que los destacamentos 1 y 2 se ubican, uno en Punta Lara (Calle 94 e/ 9 y 11), y otro en la zona de El Dique (Calle 126 e/ 41 y 42).

El partido cuenta con 3 destacamentos policiales, ubicados tanto en la avenida Cestino, dentro de Ensenada, como en las zonas de Punta Lara y El Dique.

La ciudad de Ensenada alberga en su centro al Hospital Horacio Cestino, ubicado específicamente en Sidotti 308. También cuenta con diversas unidades sanitarias, las cuales se encuentran a escasos kilómetros de las instalaciones de la planta.

5.17. Mano de obra

Como se mencionó en el apartado anterior, referido a la mano de obra disponible en la región: se considera abundante y capacitada para la zona de Ensenada y sus alrededores.

El Gran La Plata (GLP) es considerada una microrregión conformada por los municipios de Berisso, Ensenada y La Plata. El sector industrial del Gran La Plata está compuesto por establecimientos pertenecientes a casi la totalidad de las divisiones de la industria manufacturera, lo que da cuenta de una importante diversificación. La zona cuenta con establecimientos de gran tamaño pertenecientes a empresas líderes de escala transnacional, como YPF, Bagó, Siderar-Ternium y el Astillero Río Santiago (el astillero integrado más importante del país), inmersos en un contexto de fuerte predominio de micro y pequeñas industrias (95% del total).

También se encuentran radicadas empresas que detentan diversos tipos de propiedad de capital: transnacionales, estatales, mixtas, cooperativas de productores, cooperativas de trabajo y fábricas recuperadas, las que atienden a mercados locales, regionales, nacionales y globales.



En las áreas urbanas predominan microempresas y pymes del rubro alimenticias, textiles, establecimientos de edición e impresión. En sectores de expansión urbana y próximos al área rural del partido de La Plata se ubican el parque industrial La Plata, empresas metalúrgicas, metalmecánicas y frigoríficas. Finalmente, en el área industrial (donde se instalará la planta) se radican los establecimientos de mayor complejidad y tamaño: destilerías, plantas petroquímicas, siderúrgicas y astilleros.

Considerando la distribución a escala municipal también se observan diferencias. En el siguiente cuadro se presentan los principales rasgos de la actividad industrial que cada uno de ellos presenta actualmente.

	Berisso	Ensenada	La Plata
Caracterización	"Desarrollo industrial incipiente"	"Mayor desarrollo industrial"	"Desarrollo industrial intermedio"
Principales actividades de microempresas y pymes	Vinculadas a la industria del área portuaria y a la construcción. Un tercio de las empresas se relacionan con el sector alimenticio para el consumo local.	Prestadores de servicios a la industria con importantes niveles de especialización ligados a las grandes empresas y a la construcción.	Ligadas principalmente al consumo local, en particular alimenticias y metalúrgicas.
Principales rasgos de las grandes empresas	Albergó grandes industrias frigoríficas (Armour y Swift) que otorgaron significación socioeconómica y política al partido. Hoy no cuenta con grandes establecimientos.	Ocupa el séptimo lugar en la generación de valor agregado respecto al total provincial. Es uno de los polos petroquímicos y sidero-metalúrgicos más importantes de la provincia de Buenos Aires.	Las dos mayores empresas, una planta de fabricación de productos primarios de aluminio y otra de fabricación de fibras textiles artificiales y sintéticas posibilitarían vías de especialización sectorial. Otras dos empresas de importancia se dedican a la fabricación de autopartes y de productos farmacéuticos. Todas ellas cuentan con mercados de carácter regional y nacional.
Principales políticas de radicación y desarrollo industrial	Polígono industrial localizado en espacios dejados vacantes por el ex frigorífico Swift. El mismo cuenta con más de 70 micro y pequeñas empresas. Tiene el carácter de un sector industrial planificado. El municipio ha avanzado en disponer de un Parque Industrial. Proyecto de instalación de la empresa "YPF Tecnología".	Puesta en marcha de un agrupamiento industrial en espacios dejados vacantes por la empresa petroquímica IPAKO. Están radicadas 13 pymes. Varias de ellas proveedoras de la Destilería YPF.	Parque Industrial de La Plata que reúne 15 pymes actualmente en distintos grados de actividad. Se ha iniciado el Parque Industrial II. La UNLP mantiene importantes convenios de asistencia con empresas industriales y organismos vinculados a la producción. Ej: proyecto de industrialización de la producción hortícola.

Tabla 11: Actividad industrial en los partidos del Gran La Plata.

Fuente: Dirección de Promoción Industrial de la Provincia de Buenos Aires.



Como muestra el cuadro, cada municipio ha tenido trayectorias industriales diferentes, muchas de ellas combinadas con el desarrollo del polo industrial portuario. Asimismo, presentan distintas potencialidades y recursos. Un rasgo coincidente entre las tres administraciones municipales es que se han puesto en marcha políticas de acondicionamiento de espacios para la radicación de plantas industriales, principalmente de pymes, y su capacidad para disponer de la mano de obra requerida.

De acuerdo con el último relevamiento censal (Censo Nacional Económico 2004/2005) las ramas más importantes (según la cantidad de establecimientos) son las industrias alimenticias (30%) y las productoras de insumos metálicos, maquinaria y equipo (28%), seguidas por las industrias de papel, ediciones e impresiones (12%) y química/petroquímica (11%). Siguiendo las fuentes, respecto a los puestos de trabajo ocupados: la industria química y petroquímica ocupa el primer lugar, seguida por la metalmecánica y la alimenticia, lo anterior mencionado coloca a la planta de DV en un área de capacidad respecto a la mano de obra muy positiva y con grandes ventajas.

Se puede concluir que la disponibilidad de mano de obra asociada a labores de índole productiva en la química y petroquímica es muy alta, y con una alta capacitación.

5.18. Logística

En este apartado, se desarrollan los aspectos inherentes a la obtención, medios de transporte, seguridad y características de los insumos requeridos para el proceso de producción de DV. También, se incluye lo mismo para el producto principal del proyecto.

5.19. Hidrógeno

Para el transporte de este insumo, la única opción viable es el uso de cañerías, para esto se requiere una infraestructura prediseñada en la que se busque reducir al mínimo posible la distancia, la pérdida de carga y la cantidad de material utilizado. Las otras formas de transporte no son posibles debido a que implican costos operativos elevados y requieren una mayor cantidad de personal. Uno de los puntos fuertes de utilizar cañerías es la continuidad del suministro (se opera con una mayor cantidad en volumen transportado respecto al transporte vía terrestre, por ejemplo, con camiones), tampoco se ve afectado por las condiciones climáticas, ni por la contaminación, al tener una menor probabilidad de accidentes.



Prácticamente todas las compañías de gases industriales operan con alguna red de transporte por gasoducto para atender las demandas de sus principales clientes. Air Liquide opera con una línea de red de transporte de 879 km situada en Bélgica, Holanda y Francia. Air Products y Praxair operan líneas de transporte en Estados Unidos con unas longitudes totales de unos 175 y 275 km, respectivamente. Los conductos existentes tienen un diámetro de 25-30 cm y operan a presiones de 10-20 bar (aunque también se usan presiones que alcanzan los 100 bar).

El hidrógeno tiene una amplia gama de concentraciones inflamables en el aire y una energía de ignición más baja que la gasolina o el gas natural, lo que significa que puede inflamarse con mayor facilidad. En consecuencia, una ventilación adecuada y sistemas detectores de fugas representan elementos importantes en el diseño de sistemas de hidrógeno de buena seguridad.

Debido a la baja densidad energética por unidad de volumen que presenta el gas, es extremadamente volátil y tiende a difundirse a gran velocidad hacia arriba, impidiendo que se formen grandes concentraciones. Esto lo convierte en un combustible especialmente seguro cuando se trabaja en espacios abiertos.

La norma ISO/TR 15.916:2004 trata sobre las consideraciones básicas para la seguridad en sistemas de hidrógeno, también se deberán tener en cuenta las disposiciones del Decreto 2.255/92, que incluye las normas mínimas a seguir para tratar gas natural, y otros gases, como el hidrógeno.



Figura 33: Etiquetas del producto según su peligrosidad. El primer pictograma (H220) detalla un gas extremadamente inflamable, el segundo (H280) detalla un gas a presión, con peligro de explosión en caso de calentamiento.

Fuente: Air Liquide.

Entonces, para transportar el hidrógeno producido por el CCR del Complejo Aromático (ARO), ubicado en el CIE, se harán uso de las cañerías que cruzan el Camino Vergara, derivadas luego hacia el Canal Oeste y desde allí, el hidrógeno captado ha de ser enviado por los ductos que siguen de forma paralela al canal, hasta llegar a la altura de la planta, por último, resta atravesar un codo y finalmente el hidrógeno se dispondrá para su utilización. Para llevar esto a cabo



se requerirá una infraestructura especial de aproximadamente 3 kilómetros en ductos.

5.19.1. Aceite de soja

Primero debemos analizar por qué medio de transporte es más conveniente el transporte de aceite de soja, según la *tabla 12*, podemos ver que lo más económico es el transporte en barcaza, luego en ferrocarril y por último en camiones.

Medio	Relación
Camión vs. barcaza	3,25 a 1
Ferrocarril vs. barcaza	1,18 a 1
Camión vs. Ferrocarril	2,50 a 1

Tabla 12: Relación entre tarifas de los medios de transporte.

Fuente: Dirección de Mercados Agroalimentarios. SAGPyA, 2007.

Sin embargo, el aceite se trasladará desde su punto de elaboración por medio de camiones, ya que la capacidad requerida para utilizar barcaza o ferrocarril es muy elevada con respecto a la fijada por el estudio realizado en el proyecto. Únicamente sería posible en caso de aumentar el nivel de producción, ya que se necesitaría mayor cantidad de aceite, en ese caso se analizaría la posibilidad de realizar el transporte por otro medio.

Aunque se ha de tener en cuenta que para hacer uso del transporte por vía marítima deben construirse tanques tanto en el puerto de San Lorenzo como en el de La Plata. Esto es para promover el almacenamiento cuando se efectúe la carga y descarga de las bodegas de la barcaza, lo cual implica un gasto adicional que debe tenerse en cuenta a futuro, si se considera el cambio de transporte para el aceite de soja.

El aceite de soja entonces se va a transportar desde la planta de Oleaginosa Moreno, que comenzó a llamarse Viterria Argentina desde mayo de 2021. Esta planta se encuentra ubicada en Daireaux, Provincia de Buenos Aires, la cuál es de las más grandes de la provincia, con una capacidad de procesar 1800 toneladas de granos de soja por día, lo que significa aproximadamente 270 toneladas por día de aceite. Como mencionamos en la hipótesis, vamos a tener un acuerdo que nos asegure la provisión de materia prima durante 10 años.



5.19.2. Producto

Debido a la cercanía existente entre la planta y el destino del producto, el cuál va a ser solamente YPF, ya que es el único comprador del combustible DV, se optó por utilizar el transporte del producto a través de ductos.

El DV, es considerado un combustible de grado 3, por ende, podrá ser catalogado y transportado como tal gracias a la norma UN N° 1202.

Desde la planta, donde se cuenta con un tanque de almacenamiento de DV, saldrá una cañería orientada hacia el Canal Oeste para luego seguir de forma paralela a los ductos que movilizan el hidrógeno hasta la planta de blending de YPF (donde se va a recibir el producto). Por lo tanto, también se requerirá la construcción de ductos, que van desde los 2 a 3 km, a través de los cuales se podrá transportar el combustible haciendo uso también de los parrales existentes para soportar los mismos.

Como conclusión, la planta productora de DV se asentará en la ciudad de Ensenada, sobre el Camino Vergara y entre los kilómetros 2 y 2,5, esto es, la parcela número 164 AG entre el Complejo Industrial Ensenada y Petroken. La elección se argumenta según los siguientes puntos:

- ❖ **Habiendo detallado y cumpliendo las expectativas del marco legal vigente, no existe ningún impedimento para el asentamiento y funcionamiento de la planta.**
- ❖ **El estudio de clima permite definir con detalle el tipo de estructura civil que requerirá la implementación de la planta. En este caso se cuentan con, principalmente, datos de máximos en lluvias y ráfagas que determinan el tamaño de los desagües, el anclaje que van a requerir, etc.**
- ❖ **El estudio de suelos determina el tipo de relleno requerido en la zona de actividades de la planta, en este caso se deberá contar con tierra colorada o tosca, además de la presencia de pilotes hasta la zona dura del suelo.**
- ❖ **La ubicación seleccionada facilita la logística de movimiento de productos y de servicios auxiliares con la empresa YPF.**



6. ELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

6.1. Descripción de los distintos procesos posibles

Para la producción de DV se conocen dos caminos posibles, uno que consiste en la instalación de una planta de hidroprocesamiento de aceites vegetales y otro que consiste en lo que se conoce como co-procesamiento, el cual se suele utilizar para reacondicionar una planta de hidrotratamiento petroquímica ya existente.

En el primer caso, y el que vamos a tener en cuenta de ahora en más, se instala una planta en la que ingresan únicamente como materias primas al primer reactor aceite vegetal e hidrógeno, con la posibilidad de efectuar un pretratamiento opcional sobre la carga.

En el segundo caso, ingresa una corriente de gasoil de baja calidad y aparte otra corriente con aceite vegetal, que viene acompañada por el hidrógeno, de esta forma se obtiene un diésel verde con mejores propiedades que el gasoil originario.

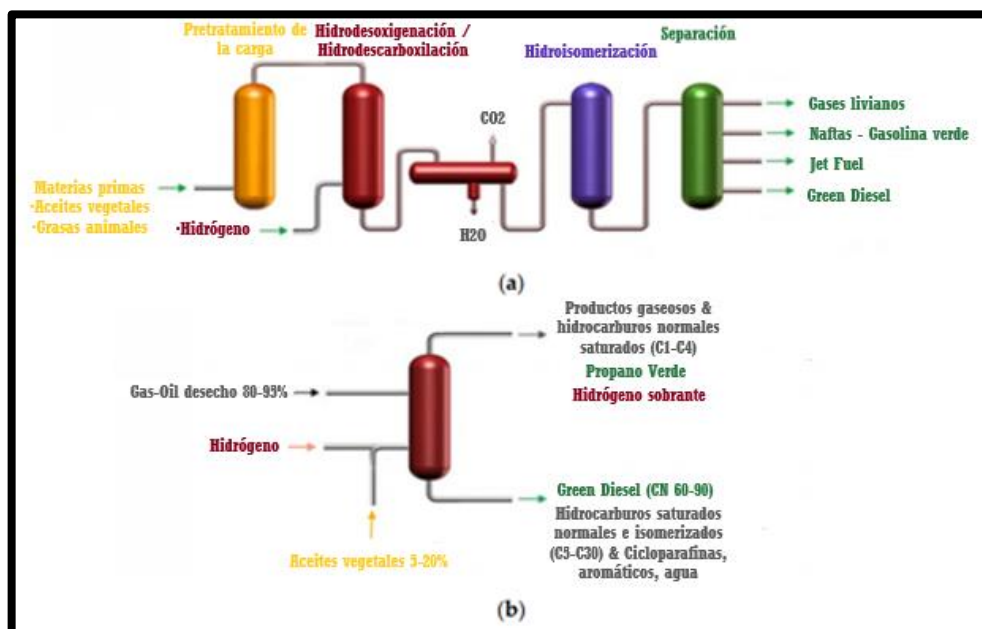


Figura 34: Breve esquema de dos procesos, el primero (a) es el que vamos a utilizar, el segundo (b) representa lo que se conoce como co-procesamiento.

Fuente: Adaptación de ilustración extraída: "Energies 2019, 12, 809".



6.2. Patentes

En el mundo existen muchas plantas de producción de Diésel Verde, destacando zonas de gran producción como Estados Unidos, Brasil, Europa y Singapur. La mayoría de estas plantas utilizan 3 patentes para validar su producción, las cuales se analizarán en este apartado, mostrando ventajas y desventajas de cada una para finalmente seleccionar la que más se adecua a lo que requiere el presente proyecto.

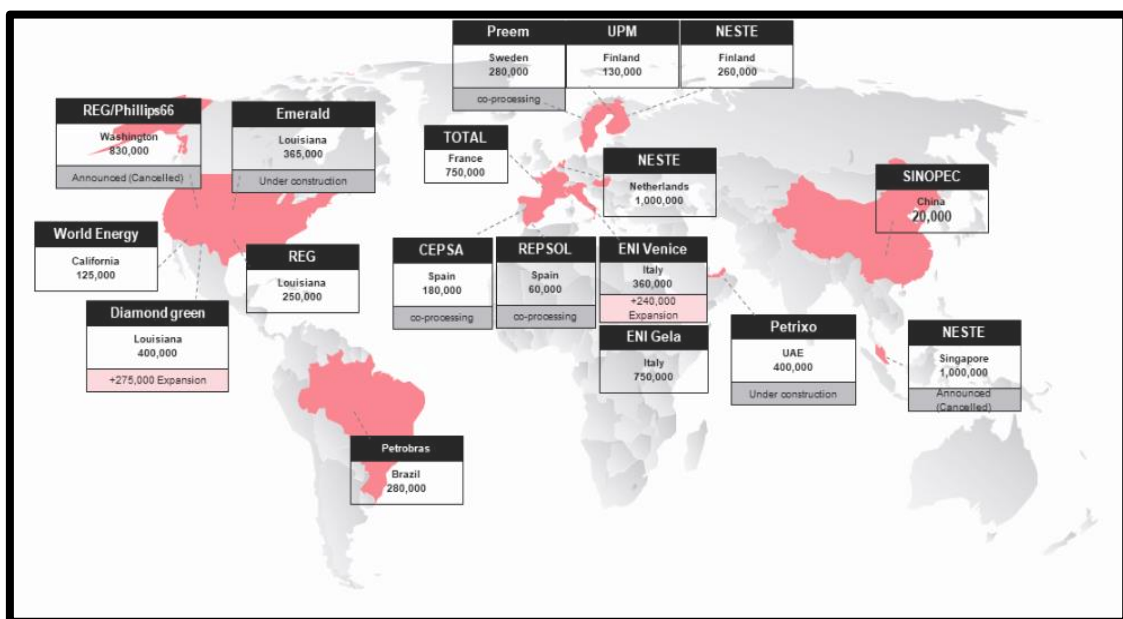


Figura 35: Industrias productoras de DV en el mundo.

Fuente: Futurebridge analysis; EC Reports.

De las 3 patentes, 2 son las que ocupan un gran porcentaje en el mercado, por un lado, tenemos la que ofrece la empresa finlandesa NESTE y por el otro, tenemos a la empresa americana UOP (Universal Oil Products). La tercera en cuestión es también una empresa americana: Syntroleum Corporation. A continuación, se detalla el proceso de obtención del DV y los equipos que componen al mismo.



Nombre de la empresa	Ubicación	Materia prima	Capacidad (tn/año)	Patente
Neste	Países bajos	Aceite vegetal y grasa animal residual	1000000	NExBTL
Neste	Singapur	Aceite vegetal y grasa animal residual	1000000	NExBTL
Diamond Green Diesel	USA	Aceite vegetal no comestible y grasa animal	900000	Ecofining™
UOP/Eni	Italia	Aceite vegetal, grasa animal y aceite de cocina usado	780000	Ecofining™
Neste	Finlandia	Aceite vegetal y grasa animal residual	380000	NExBTL
Renewable Energy Group (REG) Inc.	USA	Materia prima con altos y bajos niveles de ácidos grasos libres	250000	Dynamic Fuels LLC
AltAir Fuels	USA	Aceites vegetales naturales no comestibles y residuos de agricultura	130000	Ecofining™

Tabla 13: Principales empresas que lideran la producción de DV.

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla extraída de: "Energies 2019, 12, 809".

6.2.1. Tecnología Neste Renewable (NExBTL)

Como materias primas se utilizan de forma muy frecuente las grasas de desecho animal, aceite de colza y aceite de palma. Otras opciones, que se comenzaron a utilizar más recientemente, son el aceite de soja, aceite de camelina, aceite de Jatrofa y aquellas grasas provenientes del pescado. También se está investigando aceleradamente respecto a la utilización de algas y microorganismos, que destacan por su característica oleaginosidad.

Los equipos empleados en la patente NExBTL son los siguientes:

- ❖ Unidad de pretratamiento (PTU): Consiste en un tanque en el que se reducen las impurezas que pueda tener la carga mediante filtración y el empleo de ácido cítrico y fosfórico (50-75%), con el objetivo de mejorar la vida útil del catalizador a lo largo del proceso. Los ácidos mencionados son necesarios para eliminar fosfátidos, sustancias que producen cambios de color, y metales, permitiendo su inhabilitación para evitar que ocurra la oxidación del aceite. La carga siempre egresa de esta etapa con una temperatura elevada (100°C) debido a que se calienta la corriente con la corriente caliente que sale de la unidad PTU y con vapor.

Un esquema vinculado con este equipo se muestra a continuación:

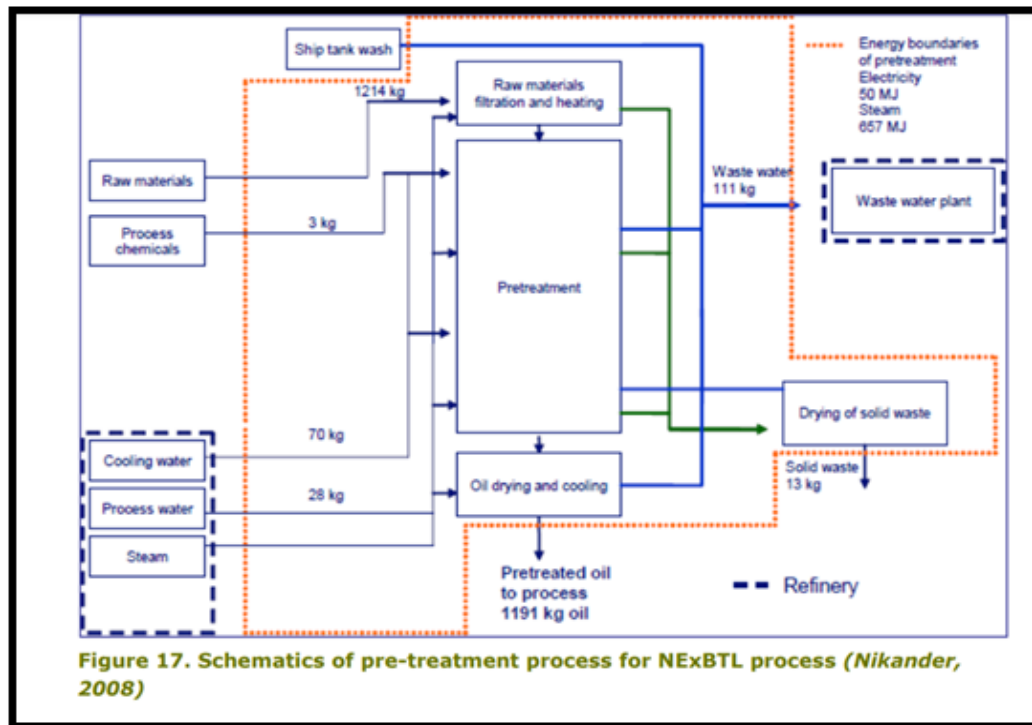


Figura 36: Esquema para la PTU en el proceso NExBTL.

Fuente: Revista Petroquímica. Petróleo, Gas, Química & Energía.

- ❖ Reactor de hidrogenación (HDO): Este reactor es del tipo trickle bed relleno con una cama de catalizador, que por lo general para el aceite de soja se utiliza $\text{NiMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$, aunque la patente brinda otras opciones ($\text{CoMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$) que pueden ser ventajosas para otro tipo de materia prima. La alimentación ingresa por la parte superior, el aceite se va a encontrar en estado líquido y el hidrógeno en estado gaseoso, es decir, se trata de un flujo bifásico, pero considerando al catalizador, se tendrá un flujo trifásico. Esto último es debido a que el catalizador se encuentra en estado sólido y fijo.

En este reactor la reacción de HDO es la más importante, donde el catalizador deberá ser lo más selectivo posible para que la reacción sea la que ocurra con mayor frecuencia. Las reacciones ocurren a altas presiones y temperaturas en presencia de hidrógeno en exceso. Como resultado se genera una corriente de DV, que egresa por la parte inferior del reactor, con número de cetano entre 90 y 100, pero con propiedades pobres para comportamiento en frío.

El reactor es calentado usando aceite térmico, sustancia que previamente se calienta con gas natural. Debido a que la reacción principal es



exotérmica, se va a controlar la temperatura con el flujo de aceite térmico utilizado y posteriormente el calor liberado en exceso es removido de la corriente que sale del reactor y utilizado para calentar la carga, reduciendo el costo energético del proceso.

Un esquema vinculado con este equipo también se muestra a continuación:

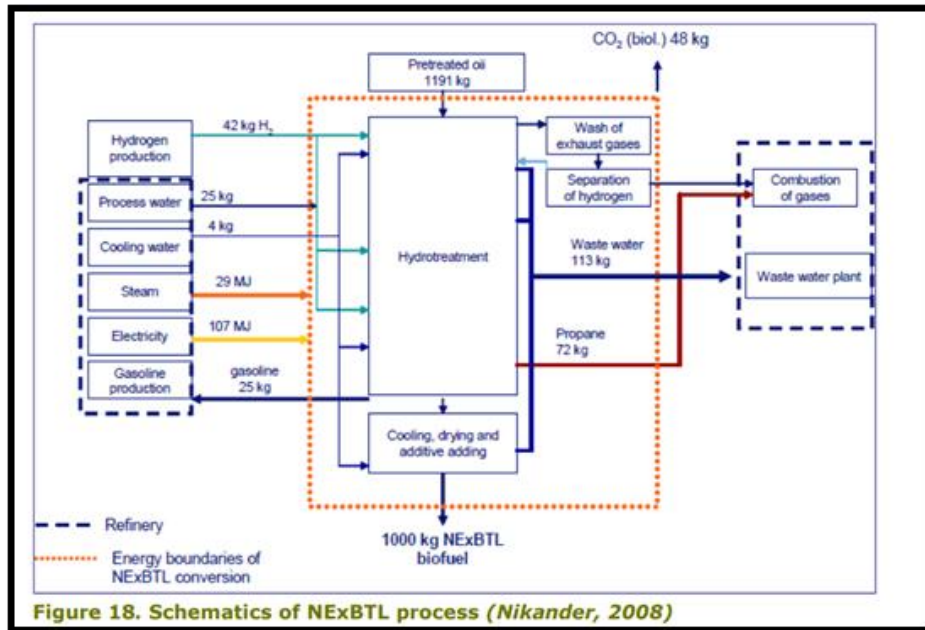


Figura 37: Esquema del proceso NExBTL.

Fuente: Revista Petroquímica. Petróleo, Gas, Química & Energía.

- ❖ Stripping: En el reactor de hidrotatamiento se genera propano, agua y dióxido de carbono, además del DV. En un separador se van a separar agua, dióxido de carbono y monóxido de carbono utilizando hidrogeno caliente. Estos componentes serán removidos para evitar la desactivación del catalizador del siguiente reactor. El hidrogeno caliente proviene de una corriente de reciclo del reactor de isomerización. Por otro lado, va a salir una corriente con los remanentes de hidrocarburos que ingresarán al segundo reactor.
- ❖ Reactor de isomerización: Como alimentación se contará con hidrocarburos compuestos en su mayoría por parafinas lineales, para mejorar las propiedades en frío del combustible. Estos compuestos se mezclarán con una corriente limpia de hidrógeno y pasarán por un proceso de isomerización en una atmósfera de hidrógeno, con la presencia de catalizadores de platino soportados por zeolitas, de esta



forma obtenemos isoparafinas. Este reactor será ligeramente de menor volumen y operará a condiciones similares de presión y temperatura que el primer reactor. De igual forma, se usa aceite caliente para calefaccionar el proceso (calentado con gas natural). Parte del hidrógeno se separa y se recicla a la etapa de stripping.

- ❖ Columna de estabilización: Los productos de la unidad de isomerización son enviados a la columna de estabilización para separar los hidrocarburos livianos (principalmente el propano) por stripping a bajas presiones de vapor. El vapor de baja presión es generado por la caldera de calor residual por el condensado. El NExBTL formado (DV), contiene agua, que es removida secando el producto, usando un colector de goteo. El agua liberada durante el proceso es de carácter ácido y se derivará hacia un removedor de gases ácidos e hidrotreatmento para ser separada en CO₂.
- ❖ Sección de reciclado: En esta parte del proceso, se separa la mezcla de gases que provienen de la columna de estabilización en una absorbidora (unidad amina), que emplea MDEA bajo altas presiones, como resultado se obtienen corrientes individuales de hidrógeno, que se derivan al proceso de hidrotreatmento, y una solución de MDEA que se disolverá, posteriormente, con CO₂ y H₂S.
Esta sección contiene columnas de lavado y columnas de regeneración. Las corrientes de CO₂ y H₂O se limpian antes de ser liberadas a la atmósfera o al sistema de aguas residuales.

6.2.2. Tecnología *Honeywell UOP Green Diesel unit (Ecofining process)*

En esta patente, la materia prima se considera más flexible en su uso, pudiendo seleccionarse una amplia variedad de aceites vegetales y grasas animales, además puede utilizarse materia prima de baja calidad como aceites usados con un pretratamiento sencillo. Esto se debe a que las propiedades del producto obtenido son independientes de la alimentación, esto, es una diferencia radical respecto a la producción de biodiésel. Como dato adicional, se encuentra en investigación la utilización de novedosas materias primas en la tecnología, como son el aceite de Jatropa y varias algas oleaginosas.

Procediendo como en la descripción de la anterior patente, los equipos empleados en la presente son los siguientes:

- ❖ Unidad de pretratamiento: dependiendo de la concentración de algunos contaminantes específicos, se puede agregar de forma opcional una unidad de pretratamiento para remover los sólidos y otras impurezas que



podrían afectar a los catalizadores. Dicho equipo utiliza procesos de filtración y en caso de ser necesario, componentes como son el ácido cítrico y el ácido nítrico.

- ❖ Reactor de hidrodeshidrogenación: Consiste en un reactor trickle bed con flujo vertical, en el que ingresa la materia prima por la parte superior: aceite de soja e hidrógeno. La reacción va a ocurrir en la superficie del catalizador ($\text{NiMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$) que se encuentra empacado dentro del reactor y se va a ver favorecida con altos valores de presión (entre 2,8 y 4.2 MPa) y temperatura ($300\text{ }^\circ\text{C}$). Como productos de reacción se obtendrán parafinas lineales, propano CO_2 y agua. En este equipo se cuenta con una conversión completa, esto es, no se obtendrá remanente alguno del aceite vegetal a la salida del reactor. A diferencia de la patente anterior, la corriente ingresa precalentada por un horno y para controlar la temperatura dentro del reactor se utilizará un sistema de quench, el cuál su complejidad dependerá de las dimensiones del caudal manipulado. Un diagrama de flujo que exhibe las corrientes de flujo de este equipo y su vinculación con el resto del proceso también se muestra en el siguiente:

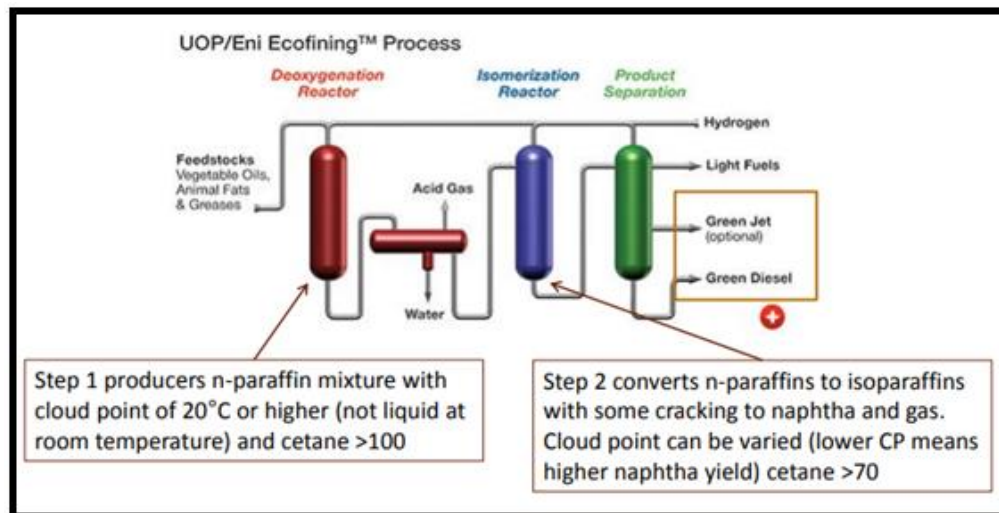


Figura 38: Diagrama representativo del proceso según la patente Ecofining.

Fuente: Sitio web de ENI.

- ❖ Etapa de separación: Tiene la función de eliminar los componentes de la corriente que puedan afectar la actividad del catalizador del segundo reactor, como el agua, la cual no debe tenerse en cuenta para el contacto cuando se trabaja con catalizadores de platino, por ende, dicho componente será removido por la parte superior del tanque bifásico, ya que la temperatura no baja de los 100°C y el agua se mantiene en forma de vapor. Además, por tope saldrán los gases ácidos (CO_2 y pequeñas



cantidades de CO), el propano y el hidrógeno que sale del reactor sin reaccionar. Quedando, de esta forma, una corriente de hidrocarburos limpia y apta para ingresar al reactor de hidroisomerización. Esta corriente va a mezclarse con una corriente limpia de hidrógeno de make-up para ingresar al siguiente reactor.

- ❖ Reactor de hidroisomerización: En este equipo se producirá una isomerización de las parafinas lineales para el ajuste final de las propiedades de frío deseadas. Estas reacciones de hidroisomerización son selectivas, lo cual se traduce en un menor consumo de hidrógeno, pero que de igual forma se ven favorecidas por una atmósfera de este gas. El reactor utiliza catalizadores de platino con zeolitas (Pt/ZSM-12) y las condiciones de operación para este reactor son similares: temperaturas en un rango de 290 a 330 °C y presiones de 3,7 MPa. Las reacciones son levemente exotérmicas, por lo que no se requerirá de quench, se podrá controlar la temperatura de reacción con el flujo de gas que alimenta a los quemadores del horno.
- ❖ Separación del producto: El producto isomerizado es enfriado hasta 40°C y separado del exceso de hidrógeno en un separador trifásico, en el que en este caso saldrá agua por la parte inferior, el DV y otros hidrocarburos por el centro y el hidrógeno, junto con el CO₂ y el CO, saldrán por la parte superior. La corriente de hidrocarburos entra a una columna en la que como producto se obtiene el Diésel Verde en mayor proporción por la parte inferior, pero también se separa una corriente de nafta o jet fuel verde (también se lo conoce como Sustentable Aviation Fuel, también abreviado como SAF) según lo que se especifique en el proceso, el cual egresará por el tope de la columna, junto con los gases livianos (principalmente propano).
- ❖ El hidrógeno es reciclado de vuelta a los reactores, para mantener el mínimo de presión parcial requerido. Pero antes debe acondicionarse y para esto se utiliza un sistema DEA, que consiste en dos columnas, una absorbidora y otra desorbidora, en la que se elimina principalmente el CO₂.

El proceso tiene una ventaja muy importante en cuanto a la “flexibilidad” que admite, ya que permite ajustar condiciones operativas para optimizar el proceso según lo que se demanda en el mercado, incluso, permite la suma o quita de ciertos equipos del proceso.

Por otro lado, es muy similar a la patente anterior, sus diferencias están en que en la tecnología de NESTE, los reactores tienen una camisa de calefacción con aceite y por otro lado la patente de UOP precalienta la carga y luego controla la



temperatura por medio de un sistema de quench solo en el primer reactor, ya que en el segundo no es necesario. Otra diferencia es que en la patente de NESTE, el DV sale con agua y debe pasar por un proceso extra de secado.

6.2.3. Tecnología “Bio-synfining”, patentada por Syntroleum

Para esta patente son aptas las siguientes materias primas: grasa no comestible de animales (proveniente del ganado), aceite de soja y algas oleaginosas.

Procediendo análogamente como en apartados anteriores, los equipos empleados en la patente en cuestión son los siguientes:

- ❖ Unidad de pretratamiento: Es un equipo opcional en caso de que la alimentación del proceso se componga de aceites de baja calidad o de desechos. Los contaminantes típicos incluyen restos sólidos de grasas animales, fosfatos o metales alcalinos. Inicialmente, se tiene una filtración del aceite para remover sólidos, la cual es seguida de la limpieza con agua ácida en una proporción 10:1 de aceite – agua para remover los metales solubilizados y los fosfatos del aceite y separarlos a la fase acuosa. Finalmente, se buscará la coalescencia de gotas de agua en la fase aceite y separación de la fase de aceite limpia para promover la filtración final, la cual remueve cualquier sólido que se pueda haber formado durante el periodo de limpieza.
- ❖ Reactor de hidrocracking: En este caso, el reactor no es de hidrotratamiento como en las patentes anteriores, sino que es de hidrocrackeo, en este, ocurren las mismas reacciones generando como resultado parafinas lineales, sumado a que se van a producir reacciones de hidrocrackeo, en las que las parafinas se van a transformar en cadenas más cortas y compactas. En este mismo reactor también ocurren reacciones de hidroisomerización. Los productos en este apartado son caracterizados por una distribución hidrocarburos que van desde el C3 a C18, esto es: LPG, jet fuel, fracciones de nafta y fracciones de kerosene o diésel, siendo esta variabilidad existente dependiente de las condiciones del reactor. El catalizador empleado es el mismo que en los casos anteriores: NiMo/Al₂O₃ y el tipo de reactor es de “fixed bed”, el cual opera con condiciones de temperatura de entre 343 y 382°C, y a presiones del orden de los 70 bar. Como desventaja, requiere el consumo de mucha cantidad de hidrógeno, mientras que una ventaja es su conversión del 100%.
- ❖ Columna fraccionadora de productos: En esta patente, la columna separará distintos cortes, por tope va a salir propano y butano (LPG),



luego un corte lateral de nafta verde (C5-C9) y otro corte lateral de jet fuel (C10-C15). En el fondo de la columna se obtiene el diésel verde, el cual se admite (opcionalmente) recircular a otro reactor de hidrocraqueo, en caso de que se busque maximizar la producción de nafta y jet fuel, pero en el presente proyecto, el diésel verde va a salir como una corriente de producto.

Un diagrama de flujo que exhibe las corrientes de flujo de este equipo y su vinculación con el resto del proceso también se muestra a continuación:

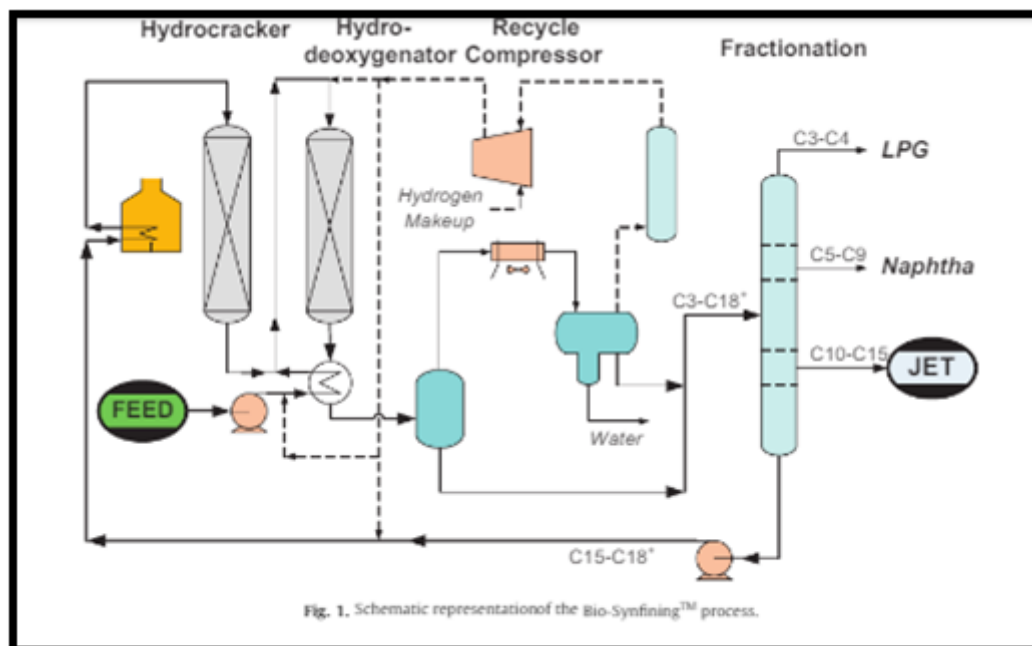


Figura 39: Diagrama representativo del proceso según la patente Bio-Synfining.

Fuente: S. P. Pyl et al. / Chemical Engineering journal 176-187 (2011).

6.3. Selección del óptimo

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

- ❖ **Materia prima.** Se le asignará un mayor puntaje a los procesos que sean más “flexibles” en este rubro.
- ❖ **Pretratamiento de la carga.** Al considerar como materia prima al aceite de soja refinado, no tendrá impurezas, por lo que se puntuará en este rubro en sentido ascendente si el pretratamiento es optativo y no obligatorio.
- ❖ **Reactores empleados.** En este caso, se valorará con mayor puntaje a la tecnología con menor complejidad en el mercado.



- ❖ Reciclo de hidrógeno. Recibirán un mayor puntaje en caso de disponer de un sistema de reciclo.
- ❖ Conversión. Se puntuará con mayor valor a la tecnología que logre una mayor conversión mediante el sistema de reactores, aunque estas reacciones, por defecto, poseen una conversión muy cercana al 100%.
- ❖ Relación de consumo H₂ / aceite vegetal. En este punto, una menor relación de consumo de hidrógeno implica un menor consumo neto del mismo, por lo que se tendrá mayor puntaje. Este punto es muy importante ya que se necesita mucha cantidad de hidrógeno y resulta en una gran ventaja económica reducir el consumo de este.
- ❖ Rendimiento. Es el valor porcentual de la cantidad de DV obtenido sobre la cantidad de aceite vegetal que ingresa al proceso como alimentación. El criterio es: a mayor rendimiento se tendrá mayor puntaje.
- ❖ Catalizadores. En este caso se busca que el catalizador sea selectivo a ciertas reacciones, que aumente la conversión y que sea accesible económicamente. Además, se deberá tener en cuenta si es utilizado en el sector industrial en el que se encontrará inmersa la planta.
- ❖ Información disponible. Puntuaremos con mayor número a aquellas patentes de las cuáles se disponga mayor cantidad de información.

Tecnología disponible/parámetro a evaluar	NExBTL, NESTE		Ecofining process, UOP		Bio Synfining, Syntroleum	
		Pts.		Pts.		Pts.
Materia prima	Principalmente aceite de palma, de colza y grasas animales. Permite utilizar aceite de soja.	2	Aceite de soja, palma y colza, también grasas animales. Es la mas flexible.	3	Aceite de soja, grasas animales y algas oleaginosas.	2
Necesidad de pretratamiento de la carga	Sí	1	Optativo	3	Optativo	3
Reactores empleados (complejidad del proceso)	Un reactor donde se produce la HDO y en el segundo, consecutivo, la hidro-isomerización. (media)	2	Un reactor donde se produce la HDO y en el segundo, consecutivo, la hidro-isomerización. (baja)	3	Un reactor donde se produce la HDO y en el segundo, consecutivo, un hidrocrqueo catalítico (alta)	1
Reciclo de hidrogeno	Disponible	3	Disponible	3	Disponible	3
Conversión	97%	2	96%	2	100%	3
Relación de consumo de H ₂ /aceite vegetal	Bajo	3	Medio	2	Muy alto	0
Rendimiento	84%	2	90%	3	70%	1
Catalizadores	NiMo en alúmina Pt en ZSM-12	2	NiMo en alúmina Pt en ZSM-12	2	NiMo en alúmina Pt en ZSM-12	2
Información disponible	Mediana cantidad	2	Gran cantidad	3	Escasa información	1
Total	19 puntos		24 puntos		16 puntos	

Tabla 14: Principales empresas que lideran la producción del combustible en cuestión.

Fuente: "Elaboración propia"



Como resultado del método de selección que utilizamos para definir la patente, vemos que *Ecofining process*, UOP, obtuvo 24 puntos, destacando porque es la que más información disponible existe, es la más flexible en cuanto a la calidad de materia prima requerida, logra un rendimiento del 90% y por último, debido a que utiliza un proceso de menor complejidad ya que el sistema de quench es más sencillo.

6.4. Diagrama de producción.

El diagrama de producción se realizará empleando un diagrama de bloques, el cual resulta sencillo a la hora de esquematizar la información que se requiere abastecer al proceso, permitiendo una visión clara de la producción sin que aparezcan detalles del proceso que puedan “opacar” el fundamento básico del mismo.

Cada bloque empleado representará una función del proceso, y puede consistir en varias operaciones básicas.

Cabe destacar, además, que la información contenida en este diagrama sirvió para el diseño del PFD, quedando claro que es muy útil para tener una primera impresión de lo que sucede y explicar las características principales del proceso.

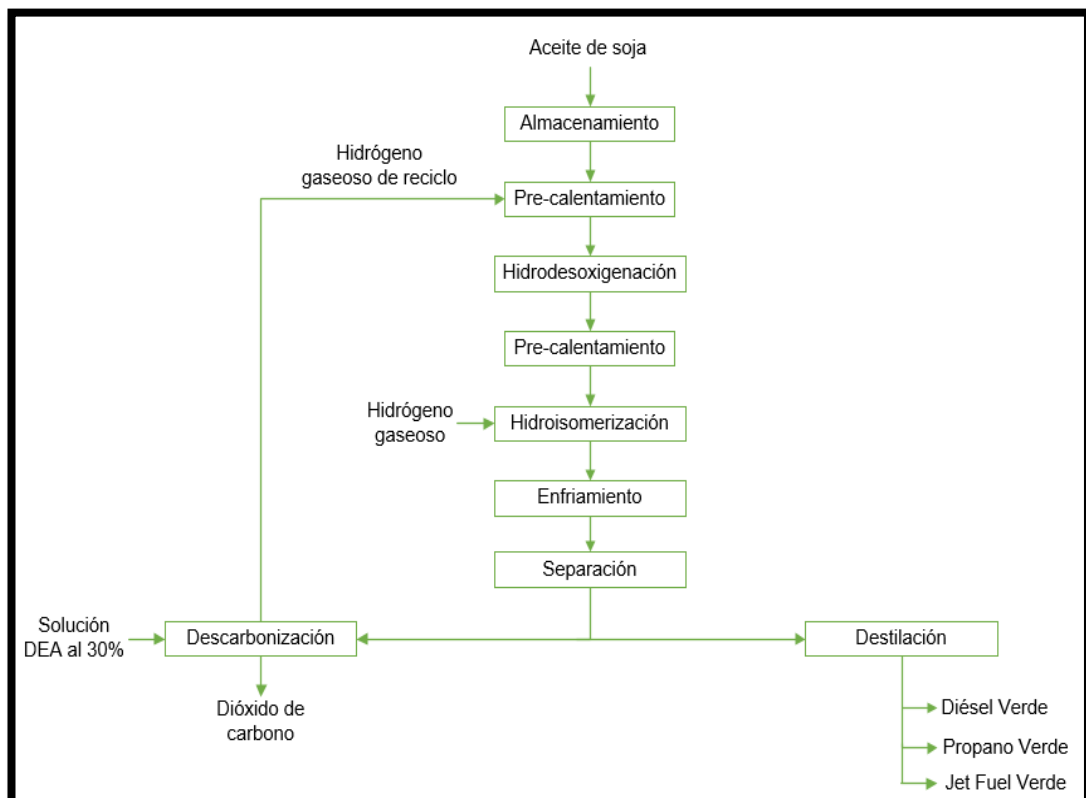




Figura 40: Diagrama de producción del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

6.5. Descripción detallada del proceso elegido

La descripción del proceso se puede establecer por los datos obtenidos de la patente seleccionada y nos podemos ayudar del diagrama de producción (*figura 40*), luego, se utilizará la descripción para realizar el armado del PFD de la planta.

Inicialmente, se cuenta con un tanque de almacenamiento (TK-101) que contiene, a presión atmosférica, el aceite de soja refinado. Del mismo, egresará la materia prima a una bomba centrífuga (P-101) la cual elevará la presión del aceite a un valor de 50 kg/cm². El aceite a presión se mezclará con la mayor parte del hidrógeno de reciclo proveniente de una corriente superior para ingresar al primer equipo de intercambio térmico (E-101), el cual nos permite enfriar el producto obtenido del primer reactor, a la vez que precalentamos la carga. La corriente compuesta por aceite e hidrógeno aumenta su temperatura de 45°C a 160 °C, y luego ingresa al horno (B-101A), en donde se eleva aún más la temperatura (300 °C) antes de ingresar en el reactor.

En el primer reactor (R-101) ocurren las reacciones de hidrodeshidrogenación e hidrodeshidroxilación, las cuales son exotérmicas y elevan la temperatura del reactor, por lo que se inyecta una corriente con una fracción del hidrógeno de reciclo con el fin de controlar la temperatura dentro del reactor. Dicho equipo es del tipo trickle bed con flujo vertical, en el que se obtienen como productos de reacción parafinas lineales, propano, CO₂ y agua. La reacción va a ocurrir en la superficie del catalizador NiMo/Al₂O₃ que se encuentra empacado dentro del reactor.

La corriente de productos sale a 350°C y va a ser enfriada en E-101, a un valor de 280 °C, sin embargo, como se requiere disminuir aún más su temperatura (100 °C), se utiliza un aerofriador (EA-101) para llevar la temperatura de 280°C a 150°C y finalmente con un equipo de intercambio térmico (E-102) que utiliza agua de enfriamiento, se alcanzan los 100°C.

El paso siguiente consiste en emplear un separador vertical bifásico (F-101), el cual logra separar una corriente de bypass gaseosa por tope, y la corriente principal líquida de producto, la cual será derivada hacia un tercer equipo de intercambio térmico (E-103). A esta última corriente, se le debe realizar una inyección de hidrógeno de make-up, el cual se le eleva la presión previamente con un compresor de 12 a 45 kg/cm². Una vez mezcladas estas corrientes van a pasar por E-103 para aumentar su temperatura hasta 240 °C, utilizando la



energía térmica del producto del segundo reactor y luego en el horno (B-101B) alcanzarán los 300 °C que requiere el reactor.

La corriente principal, ingresará al segundo reactor (R-102), donde en este equipo se producirá una isomerización de las parafinas lineales (reacciones de hidroisomerización selectivas). El reactor tiene las mismas características que el de hidrodeshidrogenación, pero utiliza otro catalizador, en este caso uno de platino con zeolitas (Pt/ZSM-12), y operará a temperaturas en un rango de 290 a 330 °C y presiones de 3,7 MPa. La corriente de producto de este reactor se enfriará en E-103, la cual disminuye su temperatura de 330 °C a 270 °C. Esta última corriente se mezclará con la corriente de bypass gaseosa (proveniente de F-101) anteriormente mencionada, las cuales ingresarán a un aerofriador (EA-102) para bajar a 80 °C la temperatura. El producto continuará la línea de enfriamiento en un cuarto intercambiador de calor (E-104), en el que con agua de enfriamiento se reduce su temperatura a 40 °C.

La corriente remanente ingresará a un separador horizontal trifásico (F-102) que separará los siguientes productos: por fondo agua, por tope la carga al sistema absorbedor-desorbedor con DEA, la cual presenta pequeñas fracciones de CO₂ y deben ser eliminadas, mientras que por el centro se obtendrá la carga líquida a la torre fraccionadora de productos.

La carga destinada al sistema absorbedor-desorbedor, está compuesta principalmente por hidrógeno y la función de este sistema es limpiar la corriente para volver a recircularlo en el primer reactor. Esta corriente va a ingresar a la primera torre de absorción (T-102) donde también ingresa, cuando empieza a operar la planta, la solución de DEA al 30%, la cual nos permite obtener por tope el hidrógeno que va a ser reutilizado y otros gases, y por fondo va a salir la solución de DEA con una gran proporción de CO₂. La carga de fondo va a pasar por un intercambiador de calor (E-109) para elevar la temperatura a 100°C y luego mediante una válvula se reduce la presión a 7 kg/cm², para ingresar a la torre de desorción (T-103) en la que se separa el CO₂ de la DEA, lo que va a salir por tope y la DEA, de la cual se llega a recuperar la mayor parte, sale por fondo y se vuelve a utilizar, para ello debe enfriarse la corriente en E-109 y luego con una bomba se eleva la presión hasta 38 kg/cm² para entrar a la columna T-101. Una vez que está en funcionamiento solo ingresa DEA en caso de existir un faltante por medio de una bomba de inyección, ya que lo que se pierde es mínimo.

Respecto a la torre de destilación, la carga pasará por un calentamiento en el quinto equipo de intercambio (E-105), el cual eleva su temperatura de 40 a 110 °C, además, seguirá por una válvula que disminuirá su presión de 39,5 a 5 kg/cm². La columna opera con un condensador y un rehervidor del tipo



termosifón, y se encarga de separar propano y JP verdes por cabeza y por fondo obtendremos nuestro principal producto, DV. El JP y el Diesel pasaran a almacenarse en sus respectivos tanques de almacenamiento y el propano se utilizará como combustible complementario en el horno.

6.6. Construcción del diagrama de flujo (PFD)

La nomenclatura y simbología empleada en el diagrama PFD (Process Flow Diagram, por su denominación inglesa o Diagrama de Flujo de Proceso, en español) proviene de los siguientes estándares:

- ❖ ISO (Organización Internacional de Normalización) 15519: 2010 (en): Especificación para diagramas para la industria de procesos, ISO 10628: 2014 (en) e ISO 10628: 2012 (en), ambas: Diagramas para la industria química y petroquímica.
- ❖ DIN (Instituto Alemán de Normalización).
- ❖ ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Normalización).

Sin embargo, muchas empresas o grupos de producción emplean sus propios símbolos, que, a menudo, son similares a los seguidos por los organismos internacionales mencionados, pero varían a medida que su complejidad aumenta. El diagrama incluye los siguientes elementos:

- ❖ Representación de todos los equipos principales. Se incluye su código único y un nombre que lo describe. En esta categoría se incluyen equipos tales como compresores, bombas, hornos, etc.
- ❖ Identificación numérica de las corrientes de proceso, sumado a una descripción de las condiciones operativas del proceso (presión, temperatura y caudales máxicos). Estos datos aparecerán complementados en el balance de masa y energía, en el cual también se describirá la composición molar de cada corriente.

Un PFD, por otro lado, debe excluir componentes tales como:

- ❖ Clases de tubería o números de línea de tubería.
- ❖ Instrumentos y controladores del control de procesos (lazos de control).
- ❖ Ventilaciones y drenajes de mantenimiento.
- ❖ Válvulas de alivio y de seguridad.
- ❖ Líneas de derivación menores.
- ❖ Válvulas de aislamiento y cierre.
- ❖ Bridas.

En este diagrama se representan los equipos de forma simbólica mediante “iconos”, los cuales identifican operaciones básicas específicas. En la siguiente



figura se muestran algunos de los símbolos más representativos que se pueden encontrar en casi cualquier proceso:

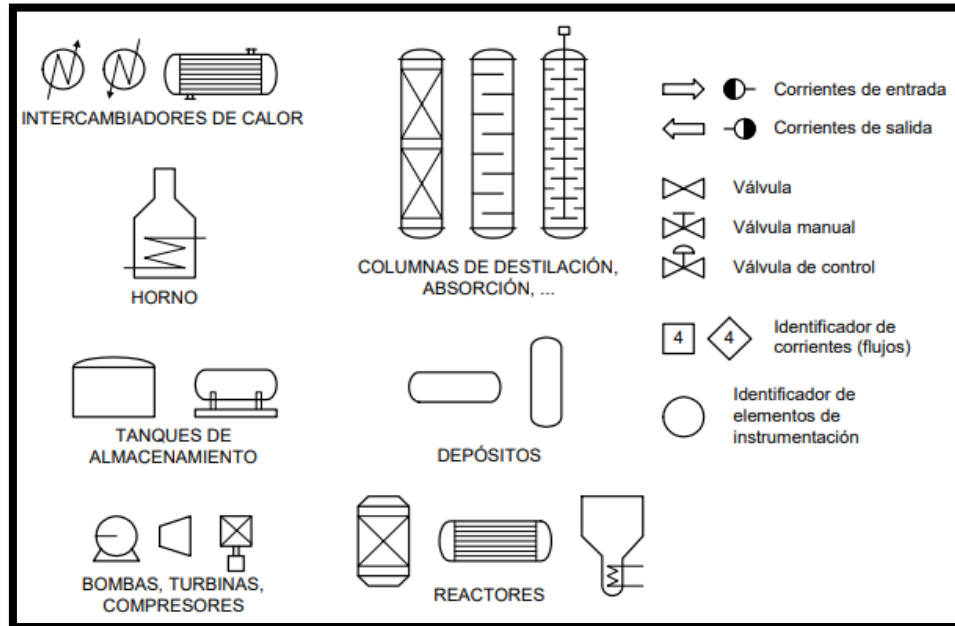
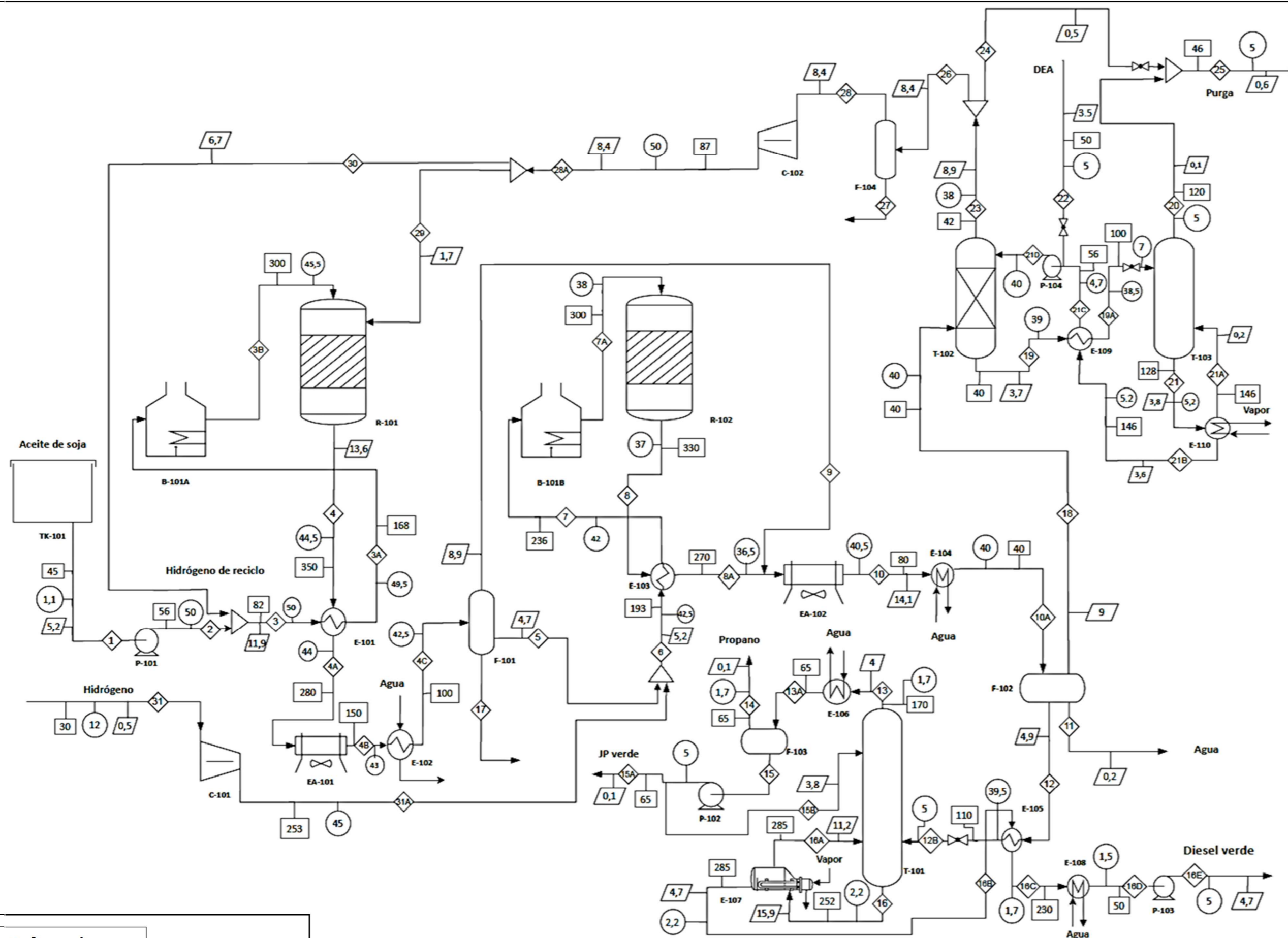


Figura 41: Simbología empleada para la elaboración de diagramas de flujo.

Fuente: M.M.J. – Proyecto Fin de Carrera. Diseño de una columna de DME.

Teniendo en cuenta la teoría y la descripción del proceso, construimos el PFD de la planta:



Referencias:

- XX Indicador de temperatura (°C)
- XX Indicador de presión (kg/cm²)
- XX Indicador de caudal másico (Tn/h)

UTN FRLP

Integración V

PFD de la planta de producción de Diesel Verde

PROFESORES: Ing. Juan D Vrcic. Ayudantes: Ing. Hernán Rueda, Ing. Paola Nieto

Plano N° 1

Alumnos: Facundo De Blasi, Francisco Risculese

2021



7. DISEÑO BÁSICO

7.1. Determinación de las bases de diseño principales en los límites de la batería

Los límites de baterías hacen referencia a los puntos fronterizos de alcances de distintos suministradores o sistemas, los cuales son fundamentales de coordinar para que los equipos puedan encajar entre sí.

El producto obtenido es el DV, el cual posee las siguientes condiciones:

Producto	Diésel Verde (Green Diesel)
Destino	Complejo Industrial La Plata – YPF
Estado físico	Líquido
Presión [kg/cm ²]	2
Temperatura [°C]	50
Forma de entrega	Ductos

Tabla 15: Especificaciones del producto.

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad de diseño de la planta será de 50.000 m³/año, la cual no podrá operar de encontrarse fallando cualquier equipo de la planta, también, se detendrá la operación cuando se encuentre en falta el suministro de energía eléctrica, el vapor de calentamiento o el agua de enfriamiento.

La planta operará con una capacidad normal cuando el valor de capacidad de producción no sea menor al 90% de la capacidad de diseño, mientras que la capacidad mínima de operación será el 50% de la capacidad de diseño.

El siguiente esquema consiste en una batería que representa todos los equipos involucrados en el proceso, a esta van a ingresar corrientes con las materias primas y van a salir otras corrientes con los productos y subproductos, esto está representado en el siguiente esquema.

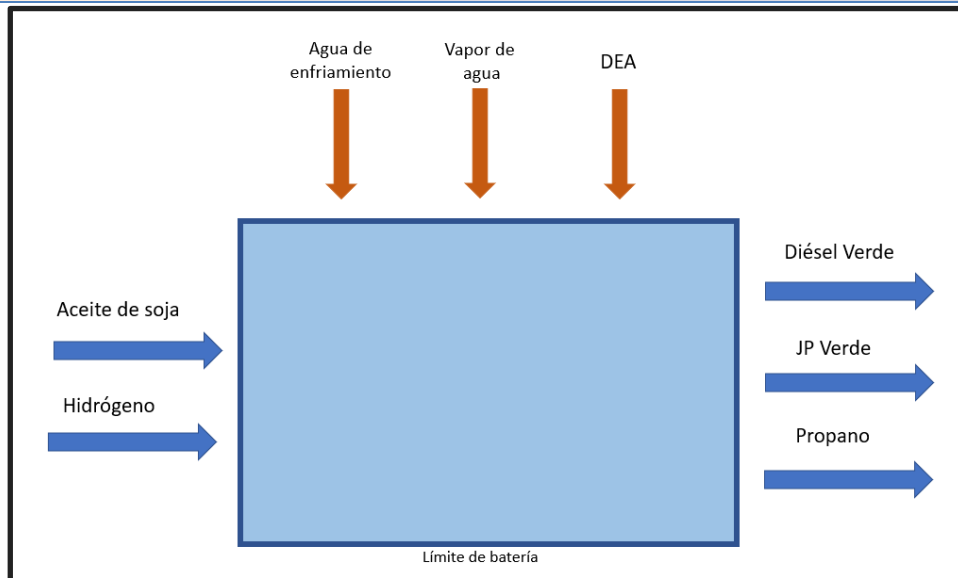


Figura 42: Límites de batería.

Fuente: Elaboración propia.

La planta deberá transformar las materias primas con ciertas condiciones de operación (tabla 16) en productos con sus respectivas especificaciones (tabla 17):

Materias primas	Temperatura (°C)	Presión (kg/cm ²)
Aceite de soja	25	1,1
Hidrógeno	30	12
Agua de enfriamiento	29	4
Vapor de agua	300	17,5
DEA (30%)	25	1,1

Tabla 16: Especificaciones de la materia prima.

Fuente: Elaboración propia.

Productos	Temperatura (°C)	Presión (kg/cm ²)
Diésel verde	20	1,1
JP verde	20	1,1
Propano	25	1,7



Tabla 17: Especificaciones de los productos.

Fuente: Elaboración propia.

7.2. Balance de masa y energía

El balance de masa y energía forma parte del procedimiento de diseño en cuestión, en el mismo se analizan todas las corrientes que intervienen en el proceso, incluyendo las corrientes de servicio como las de agua y vapor. En la tabla general se va a indicar el número de la corriente y propiedades que determinan su estado físico, como son la temperatura, presión y entalpía. Por otro lado, también se incluirá el flujo molar, másico y la composición molar, que será indicada en fracciones.

A continuación, se presenta el balance:



7.3. Diseño básico de los equipos principales y auxiliares

Del PFD fueron seleccionados 6 equipos distintos para diseñar con el fin de tener una idea general del diseño de equipos, estos son los siguientes:

- Tanque de almacenamiento de MP (TK-101)
- Bomba de carga (P-101)
- Reactor de hidroxigenación (R-101)
- Separador flash horizontal trifásico (F-102)
- Torre de destilación (T-101)
- Intercambiador de calor (E-109)

A continuación, se presentan los principales códigos empleados en el diseño de los equipos requeridos en el proyecto:

Equipo	Norma, código o especificación
Recipientes a presión	ASME. Sección VII. API 650
Tuberías	ANSI
Intercambiadores de calor	TEMA, ASME, ANSI
Bombas	API 610, 674, 675 y 676
Instrumentación	ISA, API, ASME, NACE
Materiales	ASTM
Construcción	Normas de CFE, PEMEX y de IIE
Válvulas de seguridad	ASME sección VII, API RP 521
Electricidad	NEMA, NEC, ANSI, NOM
Ruido	SEMARNAP
Seguridad	API, ASME, OSHA
Desechos	EPA, NOM de SEMARNAP

Tabla 18: Normas, códigos y especificaciones empleadas en el proyecto o propuestas por el cliente.

Fuente: Procedimiento PAPIME EN 119903.

De los equipos principales y auxiliares anteriormente citados con su respectiva especificación se procederán a diseñar los siguientes:

Equipo	Identificación en el PFD
Tanque de almacenamiento	TK-101
Bomba	P-101
Reactor	R-101
Separador flash horizontal trifásico	F-102
Columna de destilación	T-101
Intercambiador de calor	E-109



Tabla 19: Listado de equipos a diseñar en el apartado de ingeniería de detalle.

Fuente: Elaboración personal.

También, se deberán especificar ciertas características técnicas del aerofriador EA-102 y del horno de precalentamiento B-101.

7.3.1. Diseño del tanque de almacenamiento TK-101

Para el diseño se siguió la norma estándar API 650 que aplica para todos los tanques que almacenan fluidos, estos deben estar contruidos de acero y deben estar soportados por una cama de arena, grava, concreto, asfalto u otro, con el objetivo de que soporte la presión de la columna de líquido. Se cuentan con ciertos condicionantes impuestos por las características del aceite de soja que se almacena, por ejemplo, la inhibición de oxidación, hidrólisis, polimerización y degradación enzimática del aceite durante su almacenamiento. Se debe también almacenar el aceite lo más purificado posible, a temperaturas frescas y evitando la variación de esta para evitar fenómenos atípicos, como por ejemplo la condensación. Por último, se debe recurrir al almacenamiento con el mínimo contenido de luz posible, esto es para resguardar el aceite de la luz solar directa (la cual provoca la oxidación del aceite y favorece un aumento de su acidez). Analizando esta información, se afirma que un material adecuado puede ser el acero al carbono. El tanque, a su vez, debe poder vaciarse completamente, y poseer propiedades herméticas, evitando así la entrada de oxígeno y agua.

Como conclusión, el tanque se construirá de acero al carbono, siendo esta decisión la más recomendada para almacenar aceites vegetales como en el presente caso (aceite de soja). Este acero conlleva un costo menor con respecto al acero inoxidable, pero como desventajas, podemos resaltar que va a ser necesario agregar un sobre espesor por corrosión y que hay que revisar eventualmente el tanque por dentro para evitar problemas por corrosión. Para el diseño de los tanques se considerará el acero al carbono ASTM A 283 GR C, que tiene las siguientes propiedades:

Propiedades	
Máxima tensión admisible S_d [MPa]	117
Máxima tensión admisible en pruebas hidrostáticas S_t [MPa]	145
Eficiencia de soldadura	85%
Sobre espesor de corrosión CA [mm]	3

Tabla 20: Datos técnicos del acero inoxidable.

Fuente: Elaboración propia a partir del sitio web de Ferrocortes SAS.



Para determinar el tamaño del tanque de almacenamiento de aceite de soja se delimitará primero la capacidad del tanque, ésta la definiremos como la capacidad necesaria para suministrar al proceso un total de 5 días. Como el caudal necesario es de $5,27 \text{ m}^3/\text{h}$ se necesita un volumen de $632,4 \text{ m}^3$, a este valor se le agrega un 4% que es un factor de seguridad y como resultado tenemos que la capacidad útil del tanque de alimentación debe ser, redondeando, de 660 m^3 .

Conociendo el volumen, estimamos un radio y lo vamos variando en la ecuación [1] para lograr una relación de h/D [2] que sea menor o igual a 1, ya que esa relación se considera de buena práctica de diseño.

$$h = \frac{V}{r^2 \times \pi} = \frac{660 \text{ m}^3}{(4,75 \text{ m})^2 \times \pi} = 9,3 \text{ m} \quad [1]$$

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{h}{D} = \frac{9,3 \text{ m}}{9,5 \text{ m}} = 0,97 \quad [2]$$

Conseguimos una relación de 0,97 utilizando un diámetro de 9,5 metros y como resultado una altura de 9,3 metros, como vemos en la ecuación [2].

Ahora pasamos a calcular el recinto, es considerado buena práctica tomar 1 diámetro para los cuatro lados, partiendo desde el centro del tanque, por lo que cada lado del cuadrado va a ser igual a 2 veces el diámetro, en este caso vamos a redondear el lado del recinto a 20 metros.

Con este dato podemos calcular la superficie que cubre el recinto, multiplicando lado por lado, obtenemos una superficie de 400 m^2 . La función del recinto es retener la totalidad de la capacidad del tanque en caso de una pérdida o rotura de este, por lo tanto, el volumen de este va a ser el mismo que el tanque más un 10% que se considera el factor de seguridad.

$$V = C \times f = 660 \text{ m}^3 \times 1,1 = 726 \text{ m}^3 \quad [3]$$

Donde:

- ❖ V: Volumen calculado para el recinto [m^3]
- ❖ C: Capacidad del tanque [m^3]
- ❖ f: Factor de seguridad

Luego vamos a determinar la pared del recinto, la cual vamos a obtener dividiendo el volumen requerido del recinto por la diferencia de la superficie del recinto con la que ocupa el tanque, como vemos en la siguiente ecuación [4]:



$$h = \frac{V}{S} = \frac{726 \text{ m}^3}{(400 \text{ m}^2 - 70.9 \text{ m}^2)} = 2,2 \text{ m} \quad [4]$$

Por lo tanto, el recinto del tanque quedaría de 20x20x2,2 m, en la planta existen otros tanques los cuales tendrán cada uno sus respectivos recintos. Para el aceite de soja tendremos dos tanques iguales con estas dimensiones, los cuales se utilizarán alternadamente para alimentar al proceso, cuando uno está vaciándose, el otro estará llenándose y de esa forma se puede mantener la continuidad del proceso. Para el caso de tener los dos tanques llenos, tendríamos capacidad para abastecer al proceso por 10 días.

Por otro lado, vamos a tener 2 tanques para almacenar producto, 1 para almacenar producto fuera de especificación y un último para almacenar agua que será utilizada en caso de incendio, todos estos usaran la misma base del diseño, pudiendo cambiar pequeños detalles en cada caso. También existen 2 tanques más pequeños que van a tener la función de almacenar el subproducto Jet Fuel verde.

Se define la capacidad útil del tanque como el volumen desde la línea de centro de la tubería de entrada situada en el punto más alto, hasta la línea de centro de la tubería de descarga que está situada en el punto más bajo. Por lo tanto, la capacidad se mide desde 0,5 m del fondo hasta 0,5 m por debajo del final de la virola superior, a este valor calculado de altura hay que sumarle 1 metro. Por ende, la altura total la calculamos de la siguiente forma [5]:

$$h = 9,3 \text{ m} + 1 = 10,3 \text{ m} \quad [5]$$

Para el cálculo del espesor se conoce que por la norma API 650 el espesor mínimo para un tanque de diámetro menor a 15,2 metros es de 4,76 mm, por lo que se realizarán las operaciones, y en caso de dar inferior a este valor, se considerará el mínimo, a continuación, se representa la ecuación [6]:

$$t_d = \frac{4,9 \times D \times (h' - 0,3) \times G}{(S_d) \times E} + CA = \frac{4,9 \times 9,5 \text{ m} \times (9,3 \text{ m} - 0,3) \times 0,92}{(117 \text{ MPa}) \times 0,6} + 3 = 8,49 \text{ mm} \quad [6]$$

Donde:

- ❖ h': Nivel de diseño del líquido [m]. Se considerará la altura útil calculada.
- ❖ G: Peso específico del aceite de soja.



- ❖ CA: Sobre-espesor por corrosión [mm]. Se tomará un valor aproximado de 3 mm.
- ❖ S_d: Tensión máxima permitida en condiciones de diseño [MPa]. Su valor depende del tipo de material empleado, en este caso será el acero.
- ❖ E: Coeficiente de eficacia de soldadura. Un valor otorgado por las buenas prácticas puede ser de 0,6 (basado en una medida de seguridad), a pesar de que la eficiencia ronda el 85%.

Como el valor obtenido para el espesor es superior al mínimo establecido por la norma, se utilizará el obtenido por el cálculo, es decir, 8,5 mm.

Para el techo, se va a utilizar uno del tipo fijo, debido a que es empleado para productos no volátiles, además; será auto soportado, que es de uso muy común y fácil de montar. Se elige la mínima pendiente posible (9,5 °) debido a que no existen cargas de nieve que puedan ejercer presión sobre el techo y el espesor mínimo es igual al del cuerpo, por lo que se utilizará el mismo espesor.

Cada tanque deberá tener 1 entrada de hombre con la finalidad de poder limpiar, revisar y reparar el tanque, estas contarán con una placa de refuerzo la cual tendrá 2 barrenos de 6,3 mm de diámetro con cuerda NPT para prueba; según la norma API 650, la entrada de hombre deberá tener un diámetro nominal de 610 mm, diámetro externo de 762mm y 20 tornillos. Dentro de los accesorios fundamentales para los tanques se tienen a los venteos, los cuales consisten en boquillas exclusivas para ventear, estos evitan que se generen presiones internas dentro del tanque al llenar o vaciar el tanque, y se colocarán en la parte superior de cada tanque (2 por cada tanque). Por otro lado, se tienen los drenajes y sumideros; cada tanque va a tener 1 boquilla para el drenaje de lodos en la parte más inferior que va a llevar por conexiones a un sumidero. En cuanto a las escaleras y plataformas, ambas van a tener que estar fabricadas en su totalidad de metal: antiderrapante en los escalones y en las superficies (actuando de soporte para los operarios en planta). La estructura debe ser capaz de soportar 453 kg de una carga viva concentrada, lo que equivale a 1,76 kg/cm².

Para el fondo del tanque se utilizan placas de acero con un espesor mínimo nominal de 6,3 mm, al cual le vamos a agregar 3mm como sobre-espesor por corrosión. La función de estas placas en el fondo es que no se filtre el producto, logrando una buena hermeticidad. Esto último se logra solapando las placas de acero, evitando así posibles deformaciones durante la soldadura de las placas. El fondo debe estar dispuesto con cierta pendiente para propiciar la salida del aceite por las tuberías y evitar el estancamiento. Además, debe estar sobre una bancada de hormigón armado, y su base debe estar situada en un punto más alto que el suelo.



La base debe soportar la totalidad de la columna de líquido (83,8 kPa), el peso del tanque (190,8 kPa), la posible carga viva (172,6 kPa), a lo que se le agrega un 10% como factor de seguridad, generando un total de 492 kPa.

En la siguiente figura representativa se tienen los siguientes elementos constitutivos del tanque a diseñar:

1. Armadura.
2. Ranuras radiales.
3. Pendiente obligada del fondo.
4. Virola del tanque
5. Soporte de hormigón.
6. Salida del drenaje, debido a las ranuras en el límite de la bancada.
7. Suelo.

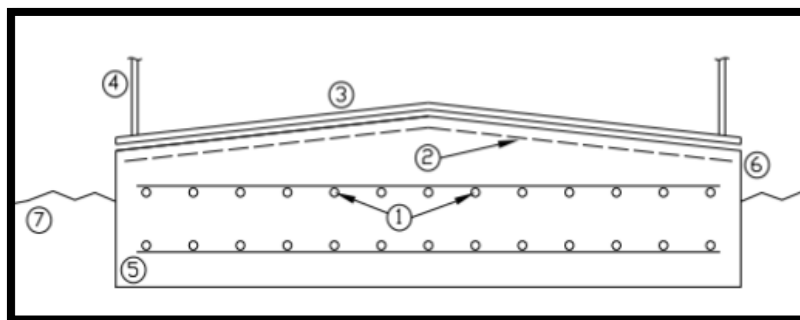


Figura 43: Corte transversal del fondo del tanque.

Fuente: Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua mineralizada para una central térmica de ciclo combinado – A. Rodríguez de Vicente (2010).

A continuación, se presenta la hoja de especificación con todos los datos técnicos que van a ser requeridos a la hora de comprar los tanques de almacenamiento.



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

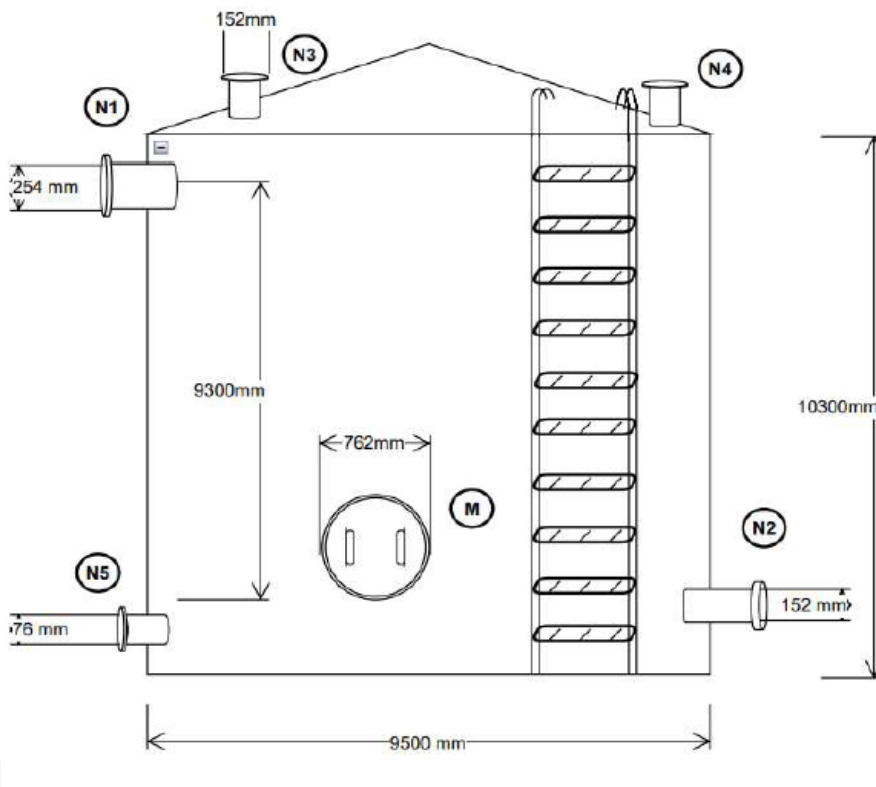
UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE TANQUE ALMACENADOR			
DENOMINACION: TANQUE ALMACENADOR			FECHA:		
UNIDAD: TK-101			REVISION:		
SERVICIO: ALMACENA ACEITE DE SOJA (MATERIA PRIMA)			LOCACION:		
DATOS GENERALES					
1. PROVEEDOR/FABRICANTE					
DIRECCIÓN				TELÉFONO	
CIUDAD	Ensenada	DPTO/ESTADO	Buenos Aires	PAÍS	Argentina
2. CLIENTE					
3. ESTACIÓN (PLANTA)			100		
UBICACIÓN					
Camino vergana KM 2,5					
4. NORMA		API 650	EDICIÓN	12	ADENDO/ANEXOS
5. TANQUE(S) No.		3	CAPACIDAD m3(bbl):		
NOMINAL	330 (2075)		MÁXIMA	430 (2706)	
UTILIZACIÓN:	ALMACENAMIENTO		x	LAVADO/GUN BARREL	
	DESNATADOR			SURGENCIA	
OTROS					
6. RATA DE BOMBEO:		ENTRADA	0.05 (792,51)	m3/s (gal/min)	
		SALIDA	0.001464 (23,20)	m3/s (gal/min)	
7. MÁXIMA TEMPERATURA DE OPERACIÓN				60 (140)	°C (°F)
8. PRODUCTO ALMACENADO					
Aceite de soja					
GRAVEDAD ESPECÍFICA		0.88	A	25 (77)	°C (°F)
VISCOSIDAD		50.09	cP	TEMPERATURA	25 (77) °C (°F)
PRESIÓN DE VAPOR		5 (20)		kPa (pulg. Agua)	
9. GAS DE INERTIZACIÓN					
NO					
10. TOLERANCIA A LA CORROSIÓN	CUERPO	3 (0,12)	mm (pulg.)	TECHO	3 (0,12) mm (pulg.)
	FONDO	3 (0,12)	mm (pulg.)	ESTRUCTURAS	3 (0,12) mm (pulg.)
11. DISEÑO CUERPO		x	STANDARD 650		APÉNDICE A
				APÉNDICE F	
PRESIÓN DE DISEÑO		105 (15,22)		kPa (lbf/pulg2)	
TEMPERATURA DE DISEÑO		25 (77)		°C (°F)	
12. DISEÑO DEL TECHO		x	FIJO CÓNICO		DOMO
			FLOTANTE EXTERNO		FLOTANTE INTERNO
CARGA VIVA UNIFORME		172,6 (25)		kPa (lbf/pulg2)	
13. DISEÑO SÍSMICO		SÍ		x	NO
ZONA SÍSMICA		ALTA		x	BAJA
		INTERMEDIA			
FACTOR DE IMPORTANCIA (f)		1		FACTOR ZONA (Aa), DE ACUERDO CON	
COEFICIENTE DEL SITIO (S)		0,01		NSR-10	
14. CARGAS DE VIENTO		VELOCIDAD		100 (62,14)	km/h (mph)
15. RESTRICCIONES DE TAMAÑO				DIÁMETRO MÁXIMO	10 (32,8) m (pies)
				ALTURA MÁXIMA	10 (32,8) m (pies)
TIPO DE FUNDACIÓN		x	ANILLO DE CONCRETO		
			SUELO		OTRO
16. Especificación del material			Cuerpo	Acero al carbono	
			Techo	Acero al carbono	
			Fondo	Acero al carbono	
			Estructuras	Acero al carbono	
OBSERVACIONES					
Se utilizará acero ASTM A 283 GR C.					



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

HOJA DE DATOS TANQUE API 650					
DOCUMENTO N°:		REALIZADO POR:		REV: _____	
FECHA:		PAGINA: _____ DE _____			
PAGINA: _____		2		DE 2	
ACCESORIOS (PARA SER LLENADO POR EL FABRICANTE Y/O COMPRADOR)					
17. Fondo del tanque		Espesor de lamina		9,3 (0,36)	mm (pulg.)
Pendiente	1,5	mm/m		Hacia:	x
					Centro
					Periferia
18. Techo		Espesor de lamina		8,5 (0,33)	mm (pulg.)
Pendiente	9,5	Grados			
N° manholes	1	Diametro nominal	610 (24)	mm (pulg.)	N° tornillos 20
		Diametro externo	762 (30)	mm (pulg.)	
N° valvulas de seguridad	2	Diametro nominal	152 (6)	mm (pulg.)	
19. Cuerpo		Espesor de lamina		8,5 (0,33)	mm (pulg.)
Boca de ingreso		1	Diametro	254 (10)	mm (pulg.)
Boca de salida		1	Diametro	152 (6)	mm (pulg.)
20. Escalera		Tipo	Circular	Recta	x
		Angulo	90	Grados	
		Aros de protección	Si	x	No
		Ancho de la escalera	762 (30)	mm (pulg.)	



Código	Servicio
N1	Llenado
N2	Vaciado
N3	Valvula de seguridad
N4	Ventoe
N5	Drenajes
M	Entrada de hombre

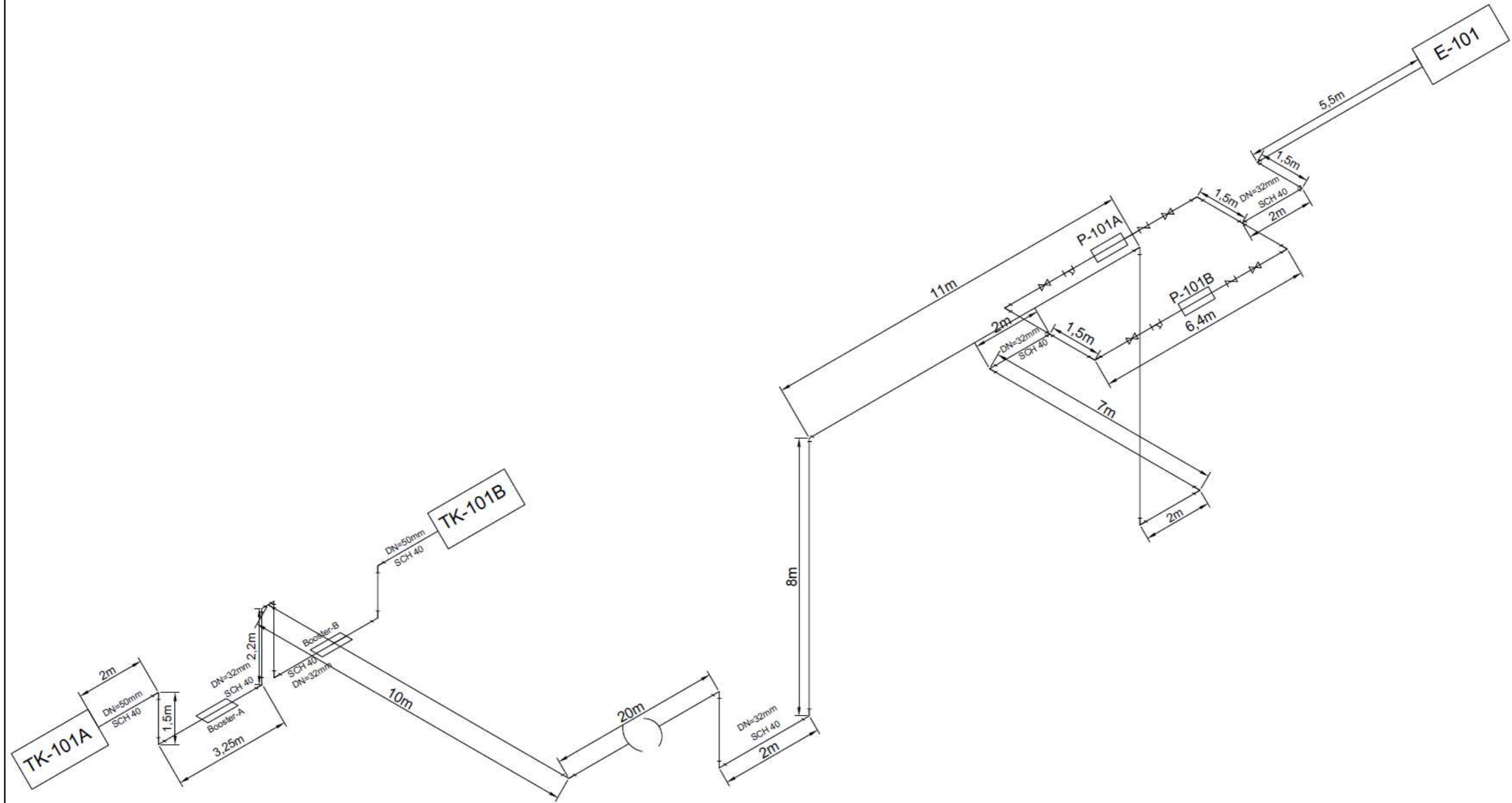


7.3.2. Diseño de la bomba P-101.

Para el diseño del sistema de tuberías y los cálculos relacionados a la especificación de la bomba de proceso se siguieron los siguientes pasos detallados a continuación.

Con respecto a los tramos de tubería a considerar, serán todos aquellos que se incluyan el plano isométrico, presentado a continuación. La definición y descripción de los diferentes tramos tienen su origen en el correspondiente plano, usándose para identificar las denominaciones de los equipos que constituyen su inicio y su final, además de mostrar el recorrido que debe seguir la corriente de componente (aceite de soja) para llegar al primer intercambiador de calor.

A continuación, se presenta el plano isométrico:



UTN FRLP	Integración V	
	Isométrico desde tanques hasta intercambiador	
PROFESORES: Ing. Juan D Vrcic.	Ayudantes: Ing. Hernán Rueda, Ing. Paola Nieto	Plano N° 2
Alumnos: Facundo De Blasi, Francisco Risculese		2021



El aceite es tomado desde un tanque de almacenamiento a temperatura de 45 °C y presión de 1,1 kg/cm², ubicado a 1,5 metros del suelo, pasando luego por un sistema de bombeo compuesto por dos bombas booster (una operando, y la otra en stand-by). Dichos equipos cumplirán la función de soportar las pérdidas de carga originadas por el tramo de tuberías restante. Por ello, se especifica que deberán vencer las pérdidas debidas por atravesar las paredes del recinto, un tramo recto y largo y un parral (8 metros de alto). Una vez superados los tramos, se colocan válvulas esclusas y filtros, para finalmente llegar a la zona de succión de las bombas a especificar para el proyecto. Las bombas a especificar (P – 101A y P – 101B) son aptas para su utilización en proyectos de este estilo, detallando sus características más adelante. Las corrientes de descarga saldrán de las bombas, pasando por válvulas comunes, de chequeo y del tipo mariposa. Por último, el aceite recorrerá los últimos tramos horizontales y hará la descarga en el intercambiador de calor.

Se inicia el cálculo para el sistema de bombeo booster, siguiendo los siguientes pasos:

Para la determinación del diámetro óptimo de la conducción del fluido (diámetro hidráulico), primero se debe analizar la velocidad que logra alcanzar este por el interior de las conducciones, siendo un aspecto fundamental para el sistema de tuberías propuesto. Dicha velocidad, para el caso de fluidos isotérmicos e incompresibles, está relacionada con el caudal y el diámetro de la sección interna de la conducción, y para cada fluido tiene un valor máximo que no debe ser sobrepasado, ya que de lo contrario puede producirse un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado. Los valores aproximados que se usan en la práctica dependen del tipo de fluido que se trate, pero los más corrientes se recogen en la siguiente tabla, aunque en condiciones especiales, pueden requerirse velocidades que estén fuera de los intervalos indicados.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad (ft/s)	(m/s)
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5 - 1	0,15 – 0,3
	Entrada de bomba	1 - 3	0,3 – 0,9
	Salida de bomba	4 - 10	1,2 – 3
	Línea de conducción	4 - 8	1,2 – 2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2 - 0,5	0,06 – 0,15
	Salida de bomba	0,5 - 2	0,15 – 0,6
Vapor de agua	-	30 - 50	9 – 15
Aire o gas	-	30 - 100	9 - 30

Tabla 21: Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fuente: Sinnott, 2005.



Tomando las consideraciones de la tabla presentada anteriormente, se opta por seleccionar un fluido poco viscoso al tratarse del aceite de soja, el cual posee una viscosidad de 12 cp. Así, para un caudal determinado del fluido a bombear, imponiendo una velocidad estimada para el mismo, se determina el diámetro hidráulico. Es considerado buena práctica tomar el máximo valor del rango, lo cual nos va a definir el diámetro mínimo de la tubería, luego se deberá elegir el diámetro normalizado inmediatamente superior a dicho valor mínimo. Este valor de diámetro es considerado óptimo porque representa el menor coste posible, cumpliendo las exigencias en cuanto a la velocidad máxima de circulación del fluido.

Debido a esto vamos a tomar 0,9 m/s para la entrada de la bomba y 3 m/s para la salida de la bomba.

A su vez, la elección del diámetro del sistema de tuberías debe realizarse con el objetivo de reducir las pérdidas de carga originadas, principalmente, por el rozamiento del flujo del líquido con las paredes de los interiores de la tubería, además de los tramos que haya que superar.

La expresión que relaciona el diámetro (D_c) de la tubería con el caudal Q que la atraviesa es la siguiente, y se emplea, posteriormente, el método de McCabe para la determinación:

$$D_c = \left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{op}} \right)^{0,5}$$

Donde:

- ❖ D_c : Diámetro hidráulico, en m.
- ❖ V_{op} : Es la velocidad operativa en m/s, la cual se debe estimar inicialmente.
- ❖ Q : Es el caudal volumétrico en m^3/s .

$$V_{op,est}(succión) = 0,9 \frac{m}{s} = 3240 \frac{m}{h}$$

$$V_{op,est}(descarga) = 3 \frac{m}{s} = 10800 \frac{m}{h}$$

El caudal volumétrico Q se calcula con los siguientes datos conocidos:

$$\rho = 880,73 \frac{kg}{m^3}$$

$$m = 5200 \frac{kg}{h} = 1,44 \frac{kg}{s}$$



Donde los datos anteriores son, densidad del aceite de soja y el caudal másico del aceite en cuestión, respectivamente.

Quedando:

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{5200 \frac{kg}{h}}{880,73 \frac{kg}{m^3}} = 5,9 \frac{m^3}{h} = 0,0016 \frac{m^3}{s}$$

Entonces, se calculan los diámetros D_c , para las dos zonas (succión/descarga), con la expresión ya vista:

$$D_c(\text{succión}) = \left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{op}} \right)^{0,5} = \left(\frac{4 \cdot 5,9 \frac{m^3}{h}}{\pi \cdot 3240 \frac{m}{h}} \right)^{0,5} = 0,048 m = 48 mm$$

$$D_c(\text{descarga}) = \left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{op}} \right)^{0,5} = \left(\frac{4 \cdot 5,9 \frac{m^3}{h}}{\pi \cdot 10800 \frac{m}{h}} \right)^{0,5} = 0,026 m = 26 mm$$

Del siguiente catálogo, para conductos que emplean fluidos a presión de viscosidad baja y media, se escoge el diámetro nominal, externo y el espesor de la tubería. Entonces, quedará conformada la tabla final para especificar al sistema de tuberías:

Nominal Pipe Size		Outside Diameter (mm)	Nominal Wall Thickness Schedule																
NPS	DN		SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS
1/8	6	10.3		1.24				1.73	1.73	1.73		2.41	2.41	2.41					
1/4	8	13.7		1.65				2.24	2.24	2.24		3.02	3.02	3.02					
3/8	10	17.1		1.65				2.31	2.31	2.31		3.20	3.20	3.20					
1/2	15	21.3	1.65	2.11				2.77	2.77	2.77		3.73	3.73	3.73				4.78	7.47
3/4	20	26.7	1.65	2.11				2.87	2.87	2.87		3.91	3.91	3.91				5.56	7.82
1	25	33.4	1.65	2.77				3.38	3.38	3.38		4.55	4.55	4.55				6.35	9.09
1 1/4	32	42.2	1.65	2.77				3.56	3.56	3.56		4.85	4.85	4.85				6.35	9.70
1 1/2	40	48.3	1.65	2.77				3.68	3.68	3.68		5.08	5.08	5.08				7.14	10.15
2	50	60.3	1.65	2.77				3.91	3.91	3.91		5.54	5.54	5.54				8.74	11.07
2 1/2	65	73	2.11	3.05				5.16	5.16	5.16		7.01	7.01	7.01				9.53	14.02
3	80	88.9	2.11	3.05				5.49	5.49	5.49		7.62	7.62	7.62				11.13	15.24
3 1/2	90	101.6	2.11	3.05				5.74	5.74	5.74		8.08	8.08	8.08					
4	100	114.3	2.11	3.05				6.02	6.02	6.02		8.56	8.56	8.56		11.13		13.49	17.12

Tabla 22: cédulas (Sch) para tubos, en mm.

Fuente: Sitio web de Octalsteel.



Considerando además que: el material de la cañería es un acero al carbono comercial, clase STD, con un coeficiente de Hazen Williams C_{HW} , fijado en 120 (según la *tabla 23*).

Material	Coefficiente de fricción de Hazen-Williams
Hierro fundido nuevo	130
Acero nuevo	140-150
Acero en uso	130
Plástico (PE, PVC, PEAD)	140-150
Acero galvanizado	120
Concreto	120-140
Hierro dúctil	120

Tabla 23: Coeficientes de Hazen-Williams, según material empleado.

Fuente: Alegret Breña y Martínez Valdés, 2019.

El diámetro interno ID se calcula como sigue. Primero, se deben seleccionar los diámetros nominales DN para ambas secciones, los cuales deben ser el valor mayor más cercanos al D_c calculado. Lo siguiente es identificar un diámetro externo para la tubería, y determinando un valor de Schedule standard (SCH 40), obtenemos un valor de espesor asociado. Al calcular la diferencia entre el diámetro externo y el espesor, obtenemos el diámetro interno real.

Entonces:

$$\text{Para DN (succión)} = 50 \text{ mm}$$

$$ID (\text{succión}) = OD - e = 60,3 \text{ mm} - 3,91 \text{ mm} = 56,39 \text{ mm}$$

$$\text{Para DN (descarga)} = 32 \text{ mm}$$

$$ID (\text{descarga}) = OD - e = 42,2 \text{ mm} - 3,56 \text{ mm} = 38,64 \text{ mm}$$

Donde:

- ❖ ID es el diámetro interno de la tubería, en mm.
- ❖ OD es el diámetro externo de la tubería, en mm.
- ❖ e es el espesor de la tubería, en mm.

Las velocidades estimadas, deben ser recalculadas como sigue, considerando los diámetros ya determinados:

$$V_{op} (\text{succión}) = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (ID^2)} = \frac{4 \cdot 5,9 \frac{m^3}{h}}{\pi \cdot \left(\frac{56,39 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}} \right)^2} \cdot \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 0,65 \frac{m}{s}$$



$$V_{op} (descarga) = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (ID^2)} = \frac{4 \cdot 5,9 \frac{m^3}{h}}{\pi \cdot \left(\frac{38,64 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}} \right)^2} \cdot \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 1,40 \frac{m}{s}$$

La longitud de la tubería L, en ambas secciones, se obtiene a partir de tomar las medidas del plano isométrico, para la succión es el tramo desde la salida del tanque hasta llegar a la bomba booster y para la descarga será desde la bomba booster hasta la bifurcación T que encontramos previa a las bombas P-101, entonces, efectuando los cálculos, queda:

$$L (succión) = 5,125 \text{ m}$$

$$L (descarga) = 76 \text{ m}$$

Quedando conformada, entonces, la siguiente tabla a modo de resumen:

Sección: Succión		Sección: Impulsión	
Altura geodésica [m]	1,5	Altura geodésica [m]	0
Diámetro hidráulico (Dc) [mm]	48	Diámetro hidráulico (Dc) [mm]	26
Material de cañería	Acero al carbono (galvanizado)	Material de cañería	Acero al carbono (galvanizado)
Diámetro nominal (DN) [mm]	50	Diámetro nominal (DN) [mm]	32
Diámetro externo (OD) [mm]	60,3	Diámetro externo (OD) [mm]	42,2
Espesor (e) [mm]	3,91	Espesor (e) [mm]	3,56
Clase	SCH 40	Clase	SCH 40
Diámetro interno (ID) [mm]	56,39	Diámetro interno (ID) [mm]	38,64
Coefficiente de Hazen Williams (para tuberías de acero al carbono)	120	Coefficiente de Hazen Williams (para tuberías de acero al carbono)	120
Caudal de tramo [m ³ /h]	5,9	Caudal de tramo [m ³ /h]	5,9
Viscosidad [N.s/m ²]	0,015	Viscosidad [N.s/m ²]	0,015
Longitud de tubería [m]	5,125	Longitud de tubería [m]	76

Tabla 24: Parámetros requeridos en relación con el sistema de tuberías, para cada sección del sistema de bombeo. Bomba booster.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en el sistema: además de los tramos rectos, los accesorios incluidos en el sistema de tuberías (válvulas, codos, bifurcaciones T, reducciones, etc.) provocan una pérdida de carga en el pasaje del fluido, que se debe tener en cuenta para el cálculo de los parámetros operativos de la bomba (a ser presiones de succión/impulsión, carga de la bomba



y potencia empleada). Por ello, se hace uso del concepto de longitud equivalente L_e , referido al tipo de accesorio que se tenga en cuenta, y que se define como la longitud de un tramo recto de tubería capaz de producir la misma pérdida de carga que los accesorios en cuestión.

Las longitudes equivalentes se encuentran tabuladas para distintos tipos de accesorios en función de los diámetros de la tubería. La siguiente tabla incluye los valores adecuados para determinar las diferentes longitudes equivalentes:

		Le/D			Le/D
Válvula de globo abierta		340	Codo 90°		30
Válvula de ángulo abierta		150	Codo 90° de gran radio		20
Válvula de compuerta	100% abierta	8	Codo 90° de calle		50
	75% abierta	35	Codo 45°		16
	50% abierta	160	Codo 45° de calle		25
	25% abierta	900	T, flujo recto		20
Válvula de bola abierta		150	T, flujo en ángulo		60
Válvula de mariposa abierta		45			

Tabla 25: Pérdida de carga en accesorios.

Fuente: Universidad de Cantabria – Dto. De Ingeniería Eléctrica y Energética.
Termodinámica y Mecánica de Fluidos.

Accesorios	Le/D (succión)	Cantidad de accesorios	Le/D (descarga)	Cantidad de accesorios
Codo 90°	30,0	2	30,0	12

Tabla 26: Cálculo de la longitud equivalente. Bomba Booster.

Fuente: Elaboración propia.

Operando, entonces, la longitud equivalente aportada por cada accesorio se muestra a continuación:

$$L_e(\text{succión}) = ID \cdot \sum \left(\text{Cantidad de accesorios} \cdot \left(\frac{L_e}{ID} \right) \right) = 56,4 \text{ mm} \cdot (30 \cdot 2) \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 3,4 \text{ m}$$

$$L_e(\text{descarga}) = ID \cdot \sum \left(\text{Cant. de ac.} \cdot \left(\frac{L_e}{ID} \right) \right) = 38,6 \text{ mm} \cdot (30 \cdot 12) \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 14 \text{ m}$$

Finalmente, se calculan las pérdidas por fricción h_f , separadas en primarias (tiene en cuenta los tramos rectos) y secundarias (tiene en cuenta los accesorios), y para la zona de succión:

$$h_{f,1^\circ}(\text{succión}) = L \cdot \frac{10,678}{C_{HW}^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{ID^{4,8655}}$$



$$h_{f,2^{\circ}}(\text{succión}) = L_e \cdot \frac{10,678}{C_{HW}^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{ID^{4,8655}}$$

Donde:

- ❖ $h_{f,1^{\circ}}$ son las pérdidas primarias por fricción, en m.
- ❖ $h_{f,2^{\circ}}$ son las pérdidas secundarias por fricción, en m.

$$h_{f,1^{\circ}}(\text{succión}) = 5,125 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{56,4 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 0,07 \text{ m}$$

$$h_{f,2^{\circ}}(\text{succión}) = 3,4 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{56,4 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 0,04 \text{ m}$$

El total de estas dos pérdidas queda:

$$h_{f,\text{total}}(\text{succión}) = h_{f,1^{\circ}} + h_{f,2^{\circ}} = 0,11 \text{ m}$$

Donde:

- ❖ $h_{f,\text{total}}$ es la pérdida total por fricción, en m.

Por otro lado, se calculan las pérdidas por fricción h_f , separadas en primarias y secundarias, pero para la zona de descarga:

$$h_{f,1^{\circ}}(\text{descarga}) = 76 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{38,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 6,09 \text{ m}$$

$$h_{f,2^{\circ}}(\text{descarga}) = 13,9 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{38,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 1,11 \text{ m}$$

Se deben tener en cuenta las pérdidas por velocidad a la salida, en m:

$$\text{Pérd. por velocidad a la salida} = \frac{(V_{op,\text{descarga}})^2}{2 \cdot g} = \frac{\left(1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 0,1 \text{ m}$$

El total de estas tres pérdidas queda:

$$h_{f,\text{total}}(\text{descarga}) = h_{f,1^{\circ}} + h_{f,2^{\circ}} + \text{Pérd. por velocidad a la salida} = 7,3 \text{ m}$$



Realizando un balance de energía mecánica entre los puntos 1 y 2 del sistema booster (representado en la *figura 44*), se puede determinar la carga o altura dinámica total de la bomba (TDH). El punto 1 se toma desde el nivel del líquido reposando sobre el tanque de almacenamiento y el punto 2 se toma antes de ingresar al accesorio T.

Al punto 2, deberá llegar el fluido con una presión de 35 kg/cm^2 o 3432450 N/m^2 .

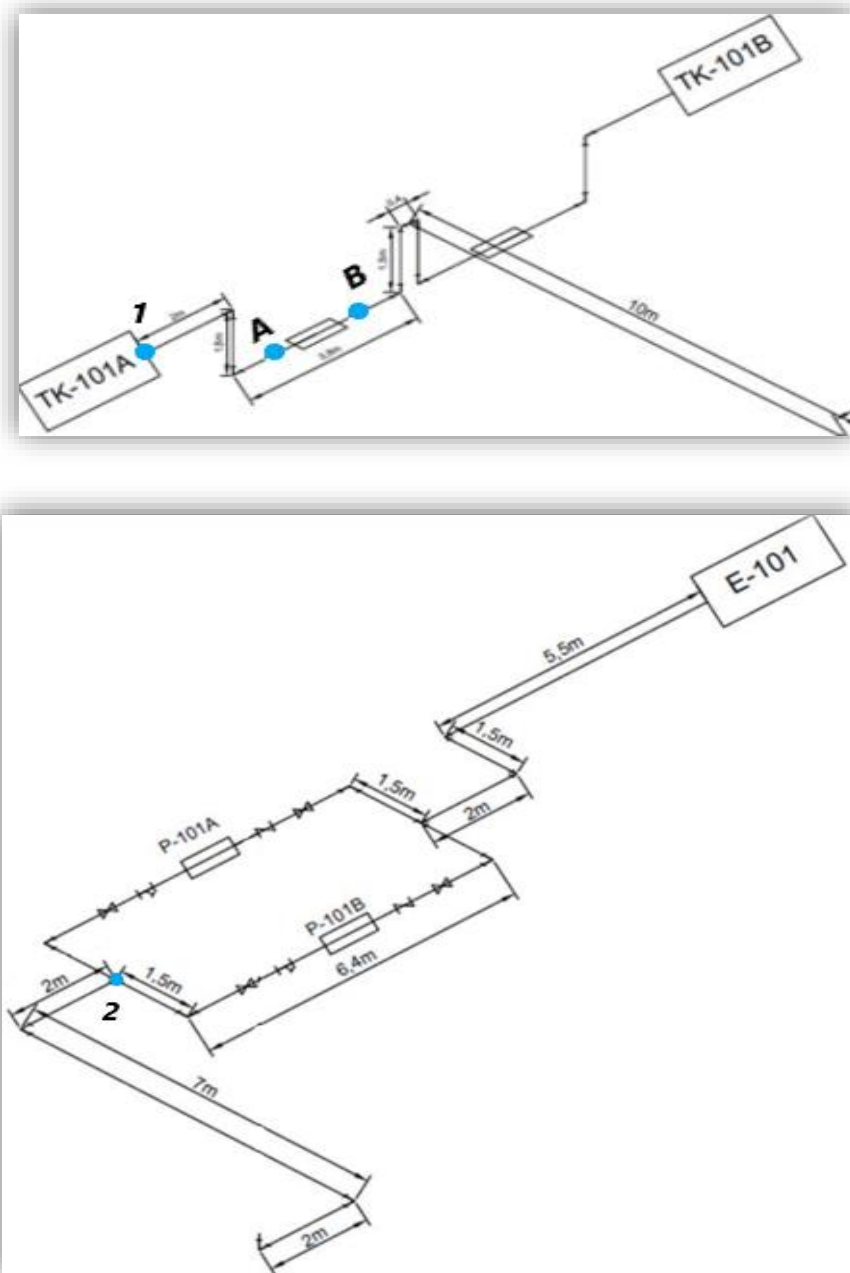


Figura 44: Esquema representativo de las secciones de la bomba.

Fuente: Elaboración propia.



El balance queda:

$$\left(\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}\right) + (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{V_{op;2}^2}{2 \cdot \alpha_2 \cdot g} - \frac{V_{op;1}^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot g}\right) - h_{f;total} = \Delta H$$

Donde:

- ❖ P es la presión en el punto, en N/m².
- ❖ Z es la elevación en el punto, en m.
- ❖ α es un parámetro que depende del tipo de flujo considerado. Tiene dos valores posibles, siendo 1/2 para regímenes laminares (Re < 2500), y 1 para regímenes turbulentos (Re > 4000).
- ❖ ΔH es la carga de la bomba, en m.

Como el fluido depositado en el tanque se encuentra en condiciones atmosféricas estándar, y en reposo, la presión y velocidad en el punto 1 quedan definidas (107870,2 N/m² y 0 m/s).

La altura geodésica es 1,5 metros sobre el nivel horizontal, y corresponde a la altura en el punto 1, mientras que en el punto 2 es de 0 metros.

$$P_1 = 1,1 \frac{kg}{cm^2} = 107870,2 \frac{N}{m^2}$$

$$V_{op;1}^2 = 0 \frac{m}{s}$$

$$Z_2 = 0 m$$

Entonces, el balance queda:

$$\left(\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}\right) - Z_1 + \left(\frac{V_{op;2}^2}{2 \cdot \alpha_2 \cdot g}\right) - h_{f;total} = \Delta H$$

El número de Reynolds se determina como sigue, para poder fijar un valor de α .

$$Re = \frac{V_{op;2} \cdot \rho \cdot ID}{\mu} = \frac{1,4 m/s \cdot 880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,0386 m}{0,015 N \cdot s/m^2} = 3170,8$$

Como el Re se encuentra en zona de transición, se toma el caso más "desfavorable" para calcular la TDH, por lo que α podrá tomar un valor de 0,5.

Reemplazando valores:

$$\left(\frac{3432450 N/m^2 - 107870,2 N/m^2}{880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}\right) - 1,5 m + \left(\frac{(1,4 m/s)^2}{2 \cdot 0,5 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}\right) - (7,3 m) = \Delta H$$

$$376,2 m = \Delta H$$

Para la determinación de la potencia hidráulica de la bomba, será empleada la siguiente expresión:



$$P_{teórica} = \Delta H \cdot \rho \cdot g \cdot Q = 376,2 \text{ m} \cdot 880,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5200,5 \text{ W} = 5,2 \text{ kW}$$

Considerando la equivalencia de que 1 HP= 745 W, entonces la potencia teórica en HP será:

$$P_{teórica} = \frac{5,327 \text{ kW}}{\frac{0,745 \text{ kW}}{1 \text{ HP}}} = 7 \text{ HP}$$

Considerando una eficiencia para la bomba de un 70% (estimada), y una eficiencia de transmisión motor-bomba de un 90% (según recomendaciones), la potencia real del motor queda:

$$P_{motor} = \frac{P_{teórica}}{\left(\frac{Ef. bomba}{100} \cdot \frac{Ef. transmisión motor - bomba}{100} \right)} =$$
$$P_{motor} = \frac{5,327 \text{ kW}}{\left(\frac{70\%}{100} \cdot \frac{90\%}{100} \right)} = 8,25 \text{ kW}$$

En HP:

$$P_{motor} = \frac{8,23 \text{ kW}}{\frac{0,745 \text{ kW}}{1 \text{ HP}}} = 11,07 \text{ HP}$$

Para especificar las bombas de proceso P-101 A y P-101 B, se sigue el mismo procedimiento mostrado en las páginas anteriores:

No es necesario calcular un D_c de la tubería con la expresión ya vista. La velocidad operativa no se estima, ya que se emplean los mismos valores que para la descarga de la bomba booster, tanto para la succión como para la descarga de la bomba P-101, ya que cumple con la teoría que nos dice que la tubería de succión debe ser mayor o igual a la de descarga, elegimos no disminuir más el diámetro de descarga con el fin de no aumentar las pérdidas por fricción. El caudal volumétrico Q es el mismo que el empleado en el sistema de bombeo booster:

El material de la cañería será el mismo que para el caso anterior, es un acero al carbono comercial, clase STD, con un coeficiente de Hazen Williams C_{HW} , fijado en 120 (según la *tabla 23*). Los diámetros internos, externos y espesores quedan determinados como en la zona de descarga del sistema de bombeo booster.

La longitud de la tubería L, en ambas secciones, se obtiene a partir de tomar las medidas del plano isométrico, para la succión se tiene en cuenta desde el accesorio T hasta la bomba P-101 y para la descarga tomamos desde la bomba P-101 hasta el intercambiador de calor E-101, sumando los tramos nos queda:



$$L (\text{succión}) = 4,7 \text{ m}$$

$$L (\text{descarga}) = 13,7 \text{ m}$$

Quedando conformada, entonces, la siguiente tabla a modo de resumen:

Sección: Succión		Sección: Impulsión	
Altura geodésica [m]	0	Altura geodésica [m]	0
Material de cañería	Acero al carbono (galvanizado)	Material de cañería	Acero al carbono (galvanizado)
Diámetro nominal (DN) [mm]	32	Diámetro nominal (DN) [mm]	32
Diámetro externo (OD) [mm]	42,2	Diámetro externo (OD) [mm]	42,2
Espesor (e) [mm]	3,56	Espesor (e) [mm]	3,56
Clase	SCH 40	Clase	SCH 40
Diámetro interno (ID) [mm]	38,6	Diámetro interno (ID) [mm]	38,6
Coefficiente de Hazen Williams (para tuberías de acero al carbono)	120	Coefficiente de Hazen Williams (para tuberías de acero al carbono)	120
Caudal de tramo [m ³ /h]	5,9	Caudal de tramo [m ³ /h]	5,9
Viscosidad [N.s/m ²]	0,015	Viscosidad [N.s/m ²]	0,015
Longitud de tubería [m]	4,7	Longitud de tubería [m]	13,7

Tabla 27: Parámetros requeridos para cada sección del sistema de bombeo. Bomba P-101.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en el sistema, se sigue el procedimiento anterior:

Accesorios	L _e /D (succión)	Cantidad de accesorios	L _e /D (descarga)	Cantidad de accesorios
Codo 90°	30,0	1	30,0	3
T, flujo recto	20,0	1	20,0	1
Válvula de compuerta	45	1	45	1
Válvula check	100	1	100	-
Válvula de mariposa abierta	40	-	40	1

Tabla 28: Cálculo de la longitud equivalente. Bomba P-101.

Fuente: Elaboración propia.

Operando, entonces, la longitud equivalente aportada por cada accesorio se muestra a continuación:



$$L_e(\text{succión}) = 38,6 \text{ mm} \cdot (30 \cdot 1 + 20 \cdot 1 + 45 \cdot 1 + 100 \cdot 1) \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 7,53 \text{ m}$$

$$L_e(\text{descarga}) = 38,6 \text{ mm} \cdot (30 \cdot 3 + 20 \cdot 1 + 40 \cdot 1 + 45 \cdot 1) \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 7,53 \text{ m}$$

Finalmente, se calculan las pérdidas por fricción h_f , separadas en primarias y secundarias, y para la zona de succión.

$$h_{f,1^\circ}(\text{succión}) = 4,7 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{38,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 0,38 \text{ m}$$

$$h_{f,2^\circ}(\text{succión}) = 7,53 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{38,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 0,61 \text{ m}$$

El total de estas dos pérdidas queda:

$$h_{f,\text{total}}(\text{succión}) = h_{f,1^\circ} + h_{f,2^\circ} = 0,99 \text{ m}$$

Por otro lado, se calculan las pérdidas por fricción h_f , separadas en primarias y secundarias, pero para la zona de descarga:

$$h_{f,1^\circ}(\text{descarga}) = 13,7 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{38,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 1,1 \text{ m}$$

$$h_{f,2^\circ}(\text{descarga}) = 7,53 \text{ m} \cdot \frac{10,678}{120^{1,85}} \cdot \frac{\left(\frac{5,9 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}/1 \text{ h}}\right)^{1,85}}{\left(\frac{38,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}/1 \text{ m}}\right)^{4,8655}} = 0,61 \text{ m}$$

Se deben tener en cuenta las pérdidas por velocidad a la salida, en m:

$$\text{Pérd. por velocidad a la salida} = \frac{(V_{op,\text{descarga}})^2}{2 \cdot g} = \frac{\left(1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,1 \text{ m}$$

El total de estas tres pérdidas queda:

$$h_{f,\text{total}}(\text{descarga}) = h_{f,1^\circ} + h_{f,2^\circ} + \text{Pérd. por velocidad a la salida} = 1,81 \text{ m}$$



Realizando un balance de energía mecánica entre los puntos 1 y A del sistema de bombeo (representado en la *figura 45*), se puede determinar la presión de succión P_A para las bombas de proceso. Análogamente, si se efectúa lo mismo, pero para los puntos B y 2, se obtendrá la presión de descarga P_B . El punto A se toma antes de ingresar a la bomba, mientras que el punto B se toma luego de la bomba.

Los puntos 1 y 2, por su parte, están ubicados: antes del accesorio tee (o punto 2 para el sistema booster), y a la entrada del E-101, respectivamente.

Al punto 2 deberá llegar el fluido con una presión de 50 kg/cm^2 o 4903500 N/m^2 .

Los puntos A y B se refieren, respectivamente y como se vio, a los puntos de succión y descarga de la bomba.

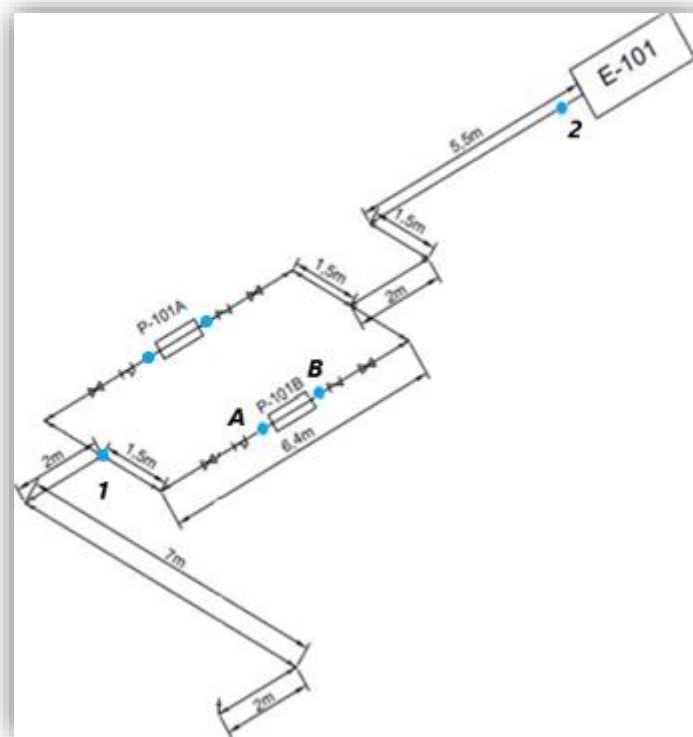


Figura 45: Esquema representativo de las secciones de la bomba.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando el balance para los puntos 1 y A, queda:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 + \frac{V_{op;1}^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot g} - h_{f;succión} = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + Z_A + \frac{V_{op;A}^2}{2 \cdot \alpha_A \cdot g}$$



Para calcular P_A , se considera que el fluido tiene la misma velocidad y altura entre los puntos 1 y A, esto es:

$$V_{op;1}^2 = V_{op;A}^2 = 1,4 \frac{m}{s}$$
$$Z_1 = Z_A = 0 m$$

Quedando:

$$P_A = \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} - h_{f,succión} \right) \cdot \rho \cdot g$$

Aplicando el mismo balance, pero para los puntos B y 2, queda:

$$\frac{P_B}{\rho \cdot g} + Z_B + \frac{V_{op;B}^2}{2 \cdot \alpha_B \cdot g} - h_{f,descarga} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + Z_2 + \frac{V_{op;2}^2}{2 \cdot \alpha_2 \cdot g}$$

Para calcular P_B , se considera que el fluido tiene la misma velocidad y altura entre los puntos B y 2, esto es:

$$V_{op;B}^2 = V_{op;2}^2 = 1,4 \frac{m}{s}$$
$$Z_B = Z_2 = 0 m$$

Quedando:

$$P_B = \left(\frac{P_2}{\rho \cdot g} + h_{f,descarga} \right) \cdot \rho \cdot g$$

Resolviendo ambas expresiones:

$$P_A = \left(\frac{3432450 N/m^2}{880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} - (0,99 m) \right) \cdot 880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 3423896 \frac{N}{m^2} = 34,91 \frac{kg}{cm^2}$$

$$P_B = \left(\frac{4903500 N/m^2}{880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} + (1,81 m) \right) \cdot 880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 4919138 \frac{N}{m^2} = 50,16 \frac{kg}{cm^2}$$

Realizando otro balance de energía mecánica entre los puntos 1 y 2 del sistema de bombeo, se puede determinar la carga o altura dinámica total de la bomba (TDH):

$$\left(\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \right) + (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{V_{op;2}^2}{2 \cdot \alpha_2 \cdot g} - \frac{V_{op;1}^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot g} \right) - h_{f,total} = \Delta H$$

Como el fluido presenta las mismas velocidades en los puntos 1 y 2, y las alturas geodésicas son nulas, el balance queda simplificado. Con:

$$V_{op;1}^2 = V_{op;2}^2 = 1,4 \frac{m}{s}$$
$$Z_1 = Z_2 = 0 m$$



Entonces, el balance queda:

$$\left(\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}\right) - h_{f;total} = \Delta H$$

El número de Reynolds queda igual que el determinado anteriormente para la zona de bombeo booster, ya que la velocidad es igual, por ende, el coeficiente α también queda igual.

Reemplazando valores:

$$\left(\frac{4919138 \text{ N/m}^2 - 3423896 \text{ N/m}^2}{880,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}\right) - (0,99 \text{ m} + 1,81 \text{ m}) = \Delta H$$
$$170,3 \text{ m} = \Delta H$$

La determinación de la potencia hidráulica de la bomba se hace con la expresión ya vista:

$$P_{teórica} = \Delta H \cdot \rho \cdot g \cdot Q = 170,3 \text{ m} \cdot 880,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2353,8 \text{ W} = 2,35 \text{ kW}$$

Considerando la equivalencia de que 1 HP= 745 W, entonces la potencia teórica en HP será:

$$P_{teórica} = \frac{2,35 \text{ kW}}{0,745 \text{ kW}} = 3,16 \text{ HP}$$

Considerando una eficiencia para la bomba de un 70% (estimada), y una eficiencia de transmisión motor-bomba de un 90% (según recomendaciones), la potencia real del motor queda:

$$P_{motor} = \frac{P_{teórica}}{\left(\frac{Ef. bomba}{100} \cdot \frac{Ef. transmisión motor - bomba}{100}\right)}$$
$$P_{motor} = \frac{2,35}{\left(\frac{70\%}{100} \cdot \frac{90\%}{100}\right)} = 3,5 \text{ kW}$$

En HP:

$$P_{motor} = \frac{3,5 \text{ kW}}{0,745 \text{ kW}} = 4,7 \text{ HP}$$

Con los datos obtenidos en la zona de succión, se puede obtener la NPSH disponible de la bomba, donde estas siglas surgen de la expresión inglesa "Net Positive Suction Head".



Hay una diferencia entre dos conceptos, el primero es la NPSH requerida ($NPSH_{req}$) y el segundo la NPSH disponible ($NPSH_{disp.}$). El primer concepto depende del diseño de la bomba (es decir, es un dato provisto por el fabricante), y representa la energía requerida para llenar la parte de aspiración de la misma y vencer las pérdidas por rozamientos, además, esta energía permite aumentar la velocidad desde la conexión de aspiración hasta el punto donde se incrementa la energía. Por otro lado, el segundo concepto representa la diferencia entre la presión a la entrada de la bomba y la tensión de vapor del fluido a la temperatura de funcionamiento, medidos en m.c.l. Se debe lograr que la $NPSH_{disp.}$ sea mayor o igual que la $NPSH_{req}$, y, además, la $NPSH_{disp.}$ siempre habrá de ser positiva y lo mayor posible, ya que se logra evitar que la presión a la entrada de la bomba descienda por debajo de la presión de vapor del fluido en las condiciones de temperatura existentes en dicho punto, lo que provocaría la aparición de burbujas de vapor, con el consiguiente peligro de que la bomba entre en cavitación, reduciendo su carga y eficiencia, al mismo tiempo de que se estaría dañando el material de la misma (reduciendo la vida útil del sistema).

El cálculo de la $NPSH_{disp.}$ se presenta a continuación:

$$NPSH_{disp} = \left(\frac{P_A - P_v}{\rho \cdot g} \right) = \left(\frac{P_1 - P_v}{\rho \cdot g} \right) + Z_1 - h_{f,succión}$$

Donde:

- ❖ P_v es la presión de vapor del aceite de soja, la cual es de < 1 hPa a 20°C (98,1 Pa).

Entonces:

$$NPSH_{disp} = \left(\frac{3423896 \frac{N}{m^2} - 98,1 \frac{N}{m^2}}{880,73 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) = 396,3 \text{ m}$$

La $NPSH_{req}$ es provista por el fabricante, y obtenida a partir del catálogo técnico de la bomba el cuál es de 300 m, por lo que cumple con la condición de que el NPSH disponible es mayor al requerido.

Para determinar los modelos comerciales de las bombas, se requerirán los datos de caudal de operación y TDH:

Bomba booster

Caudal operativo [m^3/h]	TDH o altura dinámica total [m]
5,9	376

Bomba de proceso P-101

Caudal operativo [m^3/h]	TDH o altura dinámica total [m]
5,9	170,3



Tabla 29: Datos necesarios para seleccionar cada bomba.

Fuente: Elaboración propia.

La bomba booster se solicita a la empresa Andritz, una multinacional con sucursal en Brasil, dentro de los modelos que ofrecen se escogió una de las bombas de alta presión de la serie MP. Con la siguiente curva de especificación, obtenida del catálogo que ofrecen en su sitio web, vamos a corroborar que la bomba puede operar bajo las condiciones requeridas.

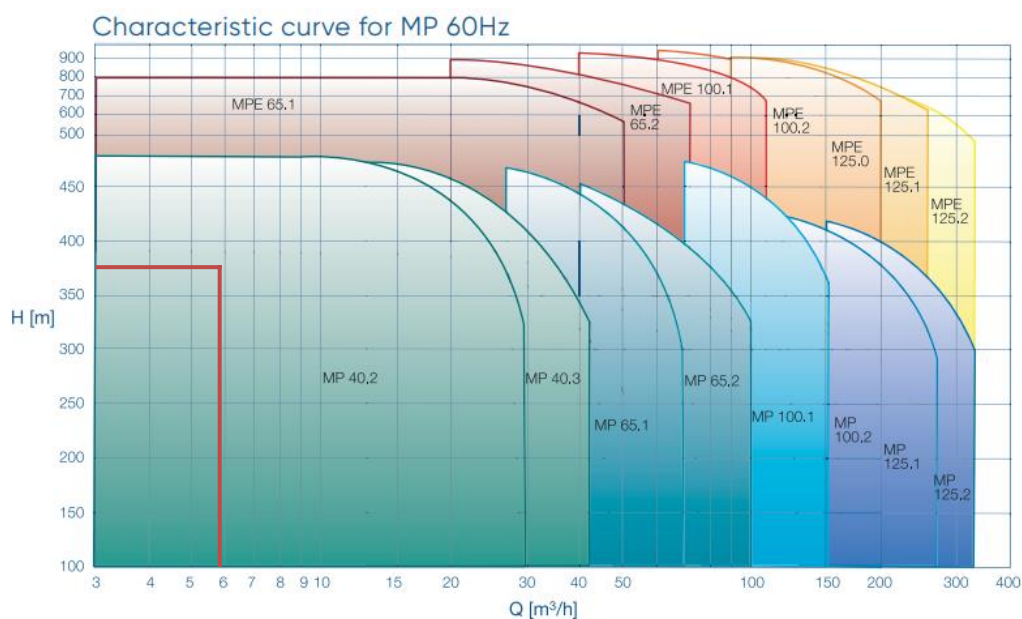


Figura 46: Curva característica de la bomba booster.

Fuente: Sitio web de Andritz.

Como vemos en la *figura 46*, para 376 metros y 5,9 m³/h, las rectas se encuentran dentro de la curva del modelo MP 40,2. Este será el modelo elegido para la bomba booster, de la cual se resumen sus características a continuación.

Es una bomba multietapa, con diseño horizontal, impulsores radiales cerrados y de fácil mantenimiento, ya que los cojinetes y el sello del eje se pueden cambiar sin desmontar todo el cuerpo de la bomba. Este modelo (MP 40,2) puede manejar alturas de hasta 480 metros y caudales de hasta 30 m³/h, la presión de trabajo máxima es de 100 bar y la temperatura máxima es de 160°C.



High-pressure pumps MP series

Industries: water, pulp and paper, power, other industries
Design: multi-stage, closed impellers
Head: up to 950 m
Flow rate: up to 400 m³/h
Pressure: up to 100 bar
Temperature: up to 160° C
Efficiency: up to 78%



Learn more:

Figura 47: Bomba de alta presión de la serie MP. Bomba booster.

Fuente: Sitio web de Andritz.

Por otro lado, para seleccionar la bomba de proceso P-101 se solicita al grupo KSB, los cuales son uno de los principales productores de bombas y válvulas y están presentes en Argentina hace más de 60 años. Ofrecen una amplia línea de bombas, de las cuáles nosotros elegimos la serie RPH, de la que a continuación presentamos la curva de especificación que ofrece la empresa en su sitio web.

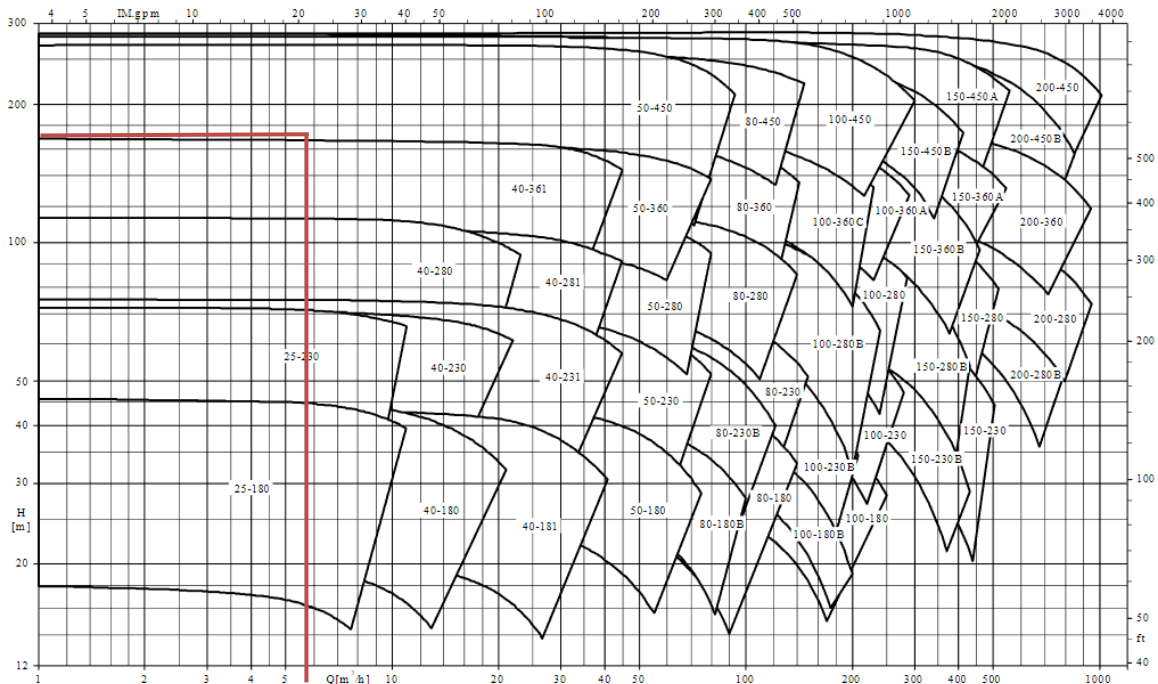


Figura 48: Curva de especificación de la bomba P-101.

Fuente: Sitio web de KSB



Como vemos en la figura anterior, el punto de operación de la bomba queda definido en 170 m de TDH y 5,9 m³/h, para estos valores se encuentra en el límite entre dos modelos, pero se ajusta mejor al modelo RPH 50-450, ya que los requisitos del diseño son lo mínimo que debe cumplir.



Figura 49: Diagrama representativo de la bomba RPH. Bomba P-101.

Fuente: Sitio web de KSB.

Es una bomba que permite elevaciones de hasta 230m y caudales de hasta 95 m³/h para este modelo (RPH 50-450), puede operar en un amplio rango de temperaturas y permite presiones de hasta 51 kg/cm², pudiendo aumentar este valor hasta 110 kg/cm² en caso de ser requerido. Tiene un desmontaje sencillo gracias al diseño de extracción trasera que permite que la carcasa de la bomba permanezca en la tubería, aseguran una larga vida útil y reducción de los costes de mantenimiento siguiendo los requisitos de la norma API 610 y 682.

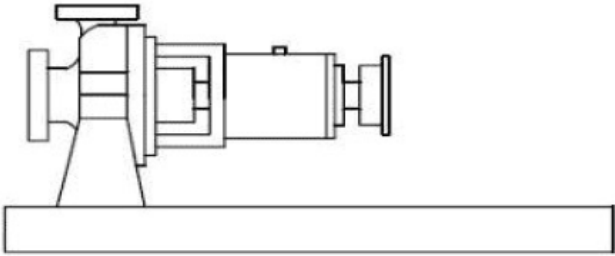
Respecto al NSPH requerido, este modelo de bomba fue diseñado según API con sistemas hidráulicos de bajos valores de NPSH y en caso de ser necesario admite la utilización de inductores para reducir aún más este valor. Como el valor calculado supera ampliamente las condiciones más desfavorables, se justifica de manera correcta la selección de este tipo de modelo.

Datos adicionales con respecto a la bomba P-101 se adjuntan en la hoja de especificación que se encuentra a continuación.

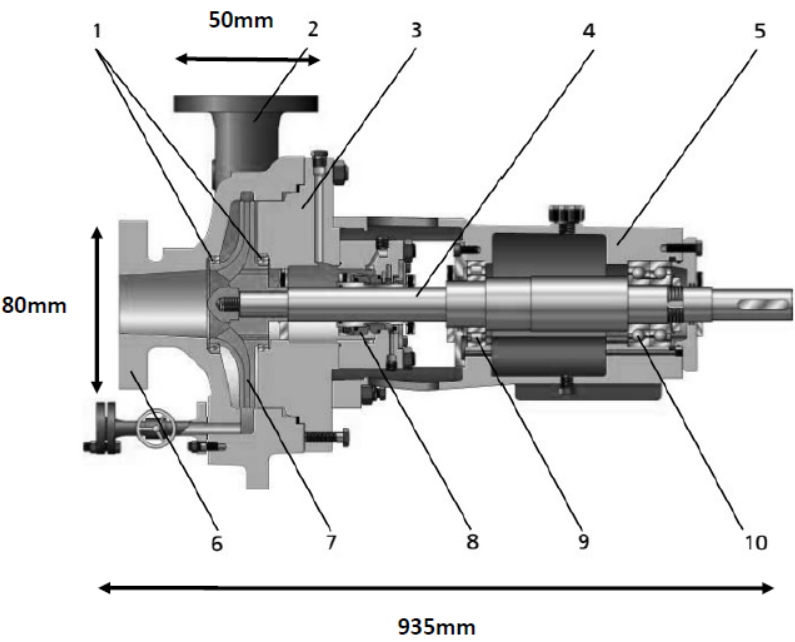


Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE BOMBA DE PROCESO			
DENOMINACION: BOMBA HORIZONTAL DE ETAPA SIMPLE SCE		FECHA:			
UNIDAD: P-101		REVISION:			
SERVICIO: CARGA AL INTERCAMBIADOR DE CALOR		LOCACION:			
DATOS GENERALES					
DENOMINACION DE EQUIPO	BOMBA DE PROCESO			Hoja	1 de 2
FUNCION	Aumento de presión para fluidos incompresibles en carga del proceso				
PROVEEDOR/FABRICANTE	KSB		TAG Nº:	P-101	
DIRECCIÓN	Camino Vergara entre kilómetros 2 y 2,5		TELÉFONO		
CIUDAD	Ensenada	DPTO/ESTADO	Pcia. De Buenos Aires	PAÍS	Argentina
DATOS GENERALES					
CAUDAL OPERATIVO [m3/h]			5,90		
POTENCIA REQUERIDA [HP]			3,16		
ALTURA DE DISEÑO [m]			170,3		
NPSH DISPONIBLE [m]			396,3		
DATOS DE DISEÑO					
FLUIDO			Aceite de soja		
TEMPERATURA [°c]			45		
VISCOSIDAD [N.s/m2]			0.015		
DENSIDAD [kg/m3]			880.73		
PRESIÓN DE VAPOR [kg/cm2]			0.001		
DATOS CONSTRUCTIVOS					
PROVEEDOR			KSM		
MODELO			RPH 50-450		
CAPACIDAD [m3/h]			Desde 0,1 a 4150		
ALTURA [m]			Desde 0,1 a 270		
PRESIÓN MÁXIMA ADMITIDA [kg/cm2]			Hasta 51		
TEMPERATURAS ADMITIDAS [°c]			Entre -70 y 450		
POTENCIA DEL MOTOR [HP]			9,3		
MÁXIMA GRAVEDAD ESPECÍFICA			-		
DIÁMETRO DE BRIDA DE DESCARGA [mm]			50		
TIPO DE IMPULSOR			Impulsor radial cerrado		
DIÁMETRO DEL IMPULSOR MAX [mm]			430		
DIÁMETRO DEL IMPULSOR MIN [mm]			340		
CONFIGURACIÓN			Horizontal. Etapa simple. Soportada en línea central		
MONTAJE			Instalar el grupo motorbomba sobre la base y nivelar el eje y la boca de impulsión, enganchar pernos de anclaje y rellenar con hormigón.		
MATERIAL EMPLEADO			Acero al carbono forjado (según API 610)		
FRECUENCIA [Hz]			60		
VELOCIDAD [rpm]			2900		
NPSH REQUERIDO [m]			300		
EFICIENCIA [%]			70		
				<p>Bomba horizontal de voluta partida radialmente, con diseño "back pull-out" según API 610, ISO 13709, con impulsor radial de aspiración simple, monoetapa, disposición de eje central con inductor cuando corresponda.</p>	



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE BOMBA DE PROCESO																						
DENOMINACION: BOMBA HORIZONTAL DE ETAPA SIMPLE SCE		FECHA:																						
UNIDAD: P-101		REVISION:																						
SERVICIO: CARGA AL INTERCAMBIADOR DE CALOR		LOCACION:																						
Diagrama con las partes principales																								
																								
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Referencias</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>Ranura del choque</td></tr><tr><td>2</td><td>Boca de impulsión</td></tr><tr><td>3</td><td>Tapa de la carcasa</td></tr><tr><td>4</td><td>Eje</td></tr><tr><td>5</td><td>Soporte de cojinetes</td></tr><tr><td>6</td><td>Boca de aspiración</td></tr><tr><td>7</td><td>Impulsor</td></tr><tr><td>8</td><td>Cierre del eje</td></tr><tr><td>9</td><td>Rodamiento, lado de la bomba</td></tr><tr><td>10</td><td>Rodamiento, lado del motor</td></tr></tbody></table>			Referencias		1	Ranura del choque	2	Boca de impulsión	3	Tapa de la carcasa	4	Eje	5	Soporte de cojinetes	6	Boca de aspiración	7	Impulsor	8	Cierre del eje	9	Rodamiento, lado de la bomba	10	Rodamiento, lado del motor
Referencias																								
1	Ranura del choque																							
2	Boca de impulsión																							
3	Tapa de la carcasa																							
4	Eje																							
5	Soporte de cojinetes																							
6	Boca de aspiración																							
7	Impulsor																							
8	Cierre del eje																							
9	Rodamiento, lado de la bomba																							
10	Rodamiento, lado del motor																							
Observaciones:																								



7.3.3. Diseño del reactor R-101

Para diseñar el reactor debemos tener en cuenta que éste va a estar destinado para el hidrotreamiento de aceites vegetales, en nuestro caso aceite de soja, para estos casos se utiliza un reactor de goteo de carga continua, mejor conocido como *trickle bed reactor*, en el cual pueden existir múltiples fases, el flujo es vertical y continuo. El reactor contiene un lecho poroso de catalizador, donde ocurre la reacción entre el gas que se encuentra en exceso (H_2) y el líquido absorbido en la superficie del catalizador. El régimen de flujo del reactor depende de la velocidad de flujo de las corrientes líquidas (aceite de soja) y gaseosas (H_2), la fase sólida (catalizador) no se mueve.

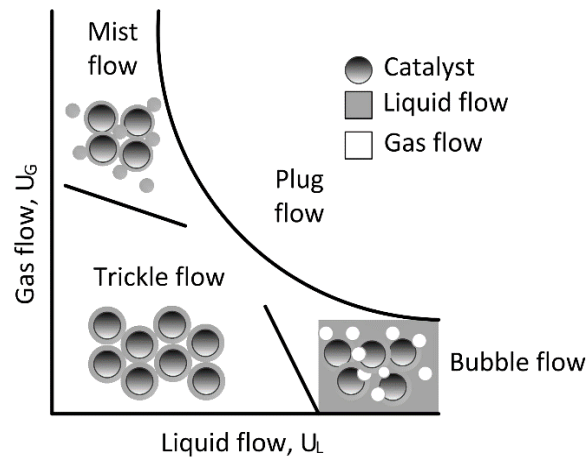


Figura 50: Tipos de flujos de múltiples fases.

Fuente: Conceptual design of a palm oil hydrotreatment reactor for commercial diesel production (2014). J. F. Vélez Manco.

La corriente de entrada al reactor son el aceite de soja y el hidrógeno, estas se pueden configurar para que el flujo sea co-corriente o contra-corriente, generalmente se utiliza la primera ya que presenta distintas ventajas como, por ejemplo:

- Menor caída de presión.
- No ocurre el fenómeno de inundación.
- Se puede inyectar mayor cantidad de gas.
- Facilita la interacción del gas en la reacción.

El reactor va a tener elementos que van a asegurar el correcto funcionamiento del mismo, entre los que se encuentran:



- Predistribuidor: se encarga de distribuir el flujo de entrada al reactor en forma de ducha para evitar que caiga de forma brusca, consisten en tubos perforados que pueden tener diferentes formas.
- Plato distribuidor: se encuentra en la zona superior y se va a utilizar para dispersar la entrada de líquido y gas, para evitar que se produzcan canalizaciones en el flujo. Su diseño varía, pero en general se utilizan platos perforados con chimeneas que sirven para el pasaje de la fase vaporizada.
- Capas de cerámicas: tenemos una que se encuentra en la parte superior, que asegura una distribución uniforme del líquido antes de llegar al catalizador y también una en la parte inferior que actúa como soporte. La capa de la parte inferior (hasta 15 cm) es mayor a la de la superior (hasta 10 cm). Las cerámicas tienen formas esféricas y diámetros de 3 a 4 mm.
- Catalizador sólido: en donde va a tener lugar la reacción. Tiene la función de incrementar la velocidad de reacción y seleccionar las reacciones más favorables.
- Soporte: está ubicado en la parte inferior del reactor y su función es mantener la estructura porosa definida del catalizador.
- Colectores: son los encargados de evitar que partículas de sólido se escapen del reactor y provoquen obstrucciones en las líneas de salida del reactor y en los equipos siguientes. Se encuentran justo antes de la salida del flujo y consisten en ranuras recubiertas con una malla metálica.

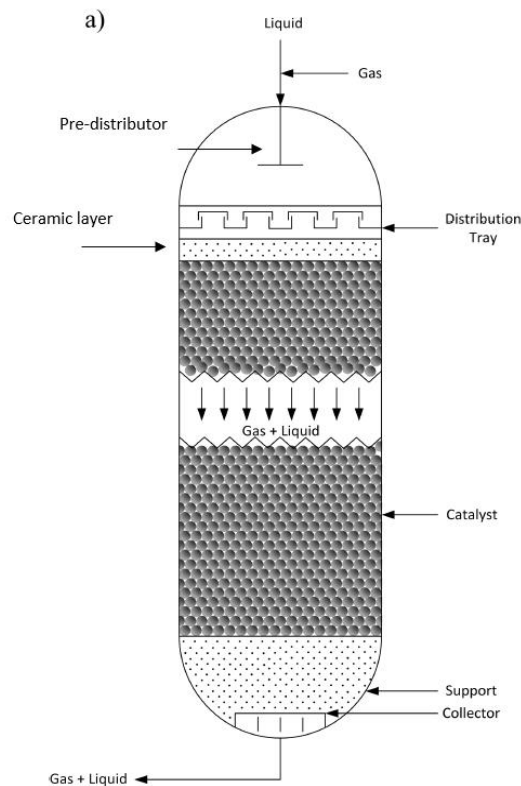


Figura 51: Ejemplo de reactor de lecho fijo con sus partes.

Fuente: Conceptual design of a palm oil hydrotreatment reactor for commercial diesel production (2014). J. F. Vélez Manco.

En el diseño se debería agregar un quench con hidrógeno, que estaría ubicado cerca de la entrada ya que en este punto tenemos el pico de temperatura, como vemos en la *figura 52*. La función del quench es inyectar hidrógeno para disminuir levemente la temperatura, ya que las reacciones son exotérmicas y podrían provocar la formación de “hot spots” en el lecho empacado y lo que ocasionaría la formación de productos indeseados y daños en el lecho catalítico.

El flujo del quench deberá ser una fracción de la cantidad que ingresaba con el aceite de soja y no deberá ser muy elevada ya que de lo contrario podría disminuir mucho la temperatura, lo que causaría una menor conversión en las reacciones deseadas y por lo tanto menor producción de los hidrocarburos lineales que buscamos.

Según la bibliografía consultada reportan un valor promedio de porcentaje de flujo volumétrico de hidrógeno de 23,22%. Por otro lado, se recomienda que la división entre el diámetro de alimentación del reactor con el de enfriamiento con



hidrógeno sea igual a 18, con esta relación podemos calcular el diámetro para este caso.

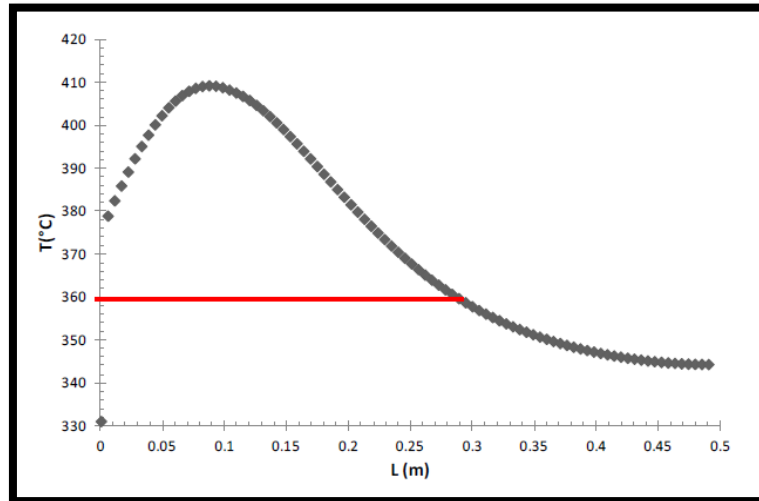


Figura 52: Ejemplo de perfil de temperatura en un reactor trickle bed para HDO.

Fuente: Simulación CFD de la transferencia de calor en un reactor de hidrot ratamiento de aceites vegetales de segunda generación (2012). C. C. Mendoza Sepúlveda.

Mecanismo de reacción

Para que el aceite de soja se transforme en DV, deben ocurrir una serie de reacciones que se llevan a cabo el reactor trickle bed bajo ciertas condiciones. La primera reacción que ocurre es la saturación de triglicéridos y de ácidos grasos, en esta los doble enlaces de las cadenas adicionan hidrógeno y como resultado tenemos un enlace simple. Esta parte es muy importante ya que existe gran cantidad de insaturaciones en el aceite de soja y que, una vez finalizada esta etapa, todo el ácido oleico, linoleico y linolénico (ya sea libre o formando parte de un triglicérido), se transforma en ácido esteárico, por lo que nuestro análisis lo vamos a hacer en base a este mismo, que representa más del 88% de la composición, una vez que se logra hidrogenar todas las insaturaciones.

Para el caso de los triglicéridos:

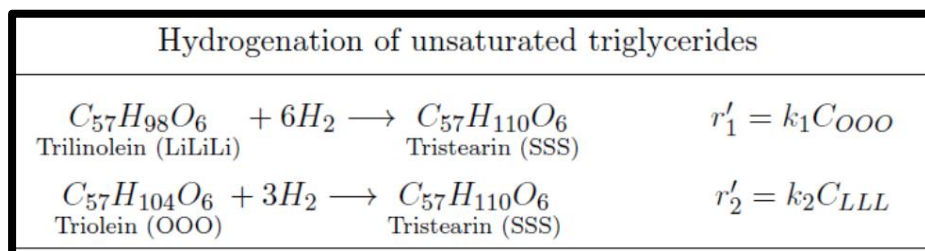


Figura 53: Reacción 1 y 2.



Fuente: *Conceptual desing of a palm oil hydrotreatment reactor for commercial diesel production (2014).* J. F. Vélez Manco.

Para el caso de los ácidos grasos libres:

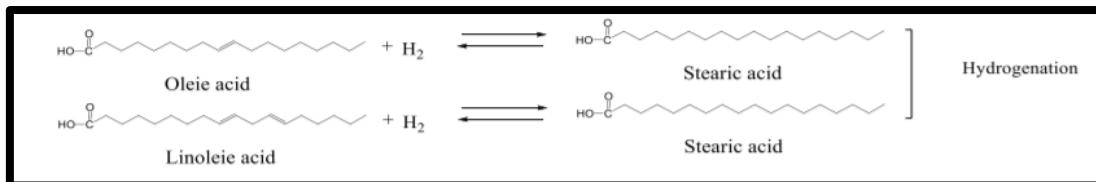


Figura 54: Reacción 3 y 4.

Fuente: *Green diesel production from crude palm oil (CPO) using catalytic hydrogenation method (2020).* A. Zikri & M. Aznury.

Luego los triglicéridos saturados, por acción del hidrógeno que se encuentra en exceso, se descomponen en diglicéridos y ácidos grasos. La hidrogenación de diglicéridos da como resultado monoglicéridos y ácidos grasos también. Finalmente, la hidrogenación de monoglicéridos produce ácidos grasos y propano.

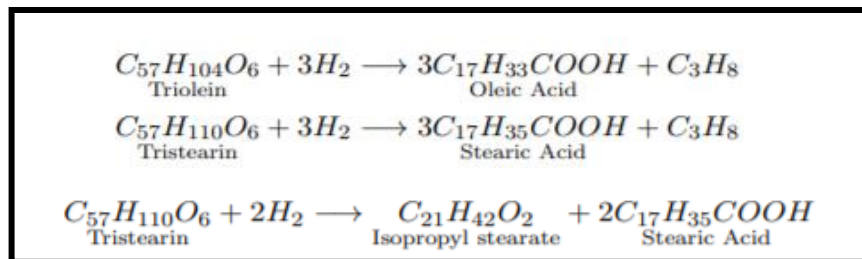


Figura 55: Reacción 5, 6 y 7.

Fuente: *Conceptual design of a palm oil hydrotreatment reactor for commercial diesel production (2014).* J. F. Vélez Manco.

Las reacciones 5 y 6 son las generales del proceso de hidrogenólisis y la reacción 7 representa el paso previo a la separación del último ácido graso de la cadena de 3 carbonos que luego va a formar el propano que se obtiene como subproducto.

Simultáneamente con las anteriores reacciones se producen los alcanos que van a formar el DV, este proceso puede seguir diversos caminos y dan como resultado diferentes parafinas, estas reacciones son las más importantes ya que tenemos que buscar selectivamente que se produzca en mayor proporción el camino que más nos beneficia.



Estos posibles caminos son:

Hidroxigenación (HDO) del ácido esteárico, con un ΔG_{573K} de $-86,1$ kJ/mol y un ΔH_{573K} de -115 kJ/mol.

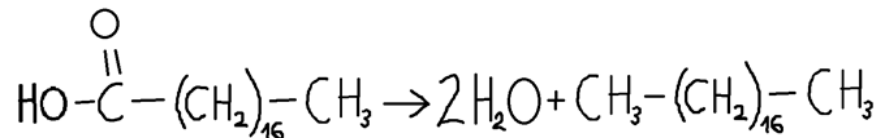


Figura 56: Reacción 8.

Fuente: Elaboración propia a partir de:

Hidrotratamiento de aceite vegetal jatropha curcas l. para la producción de combustibles verdes (2013).
E. A. De La Rosa Reyna.

Descarboxilación del ácido esteárico, con un ΔG_{573K} de $-83,5$ kJ/mol y un ΔH_{573K} de $9,2$ kJ/mol.

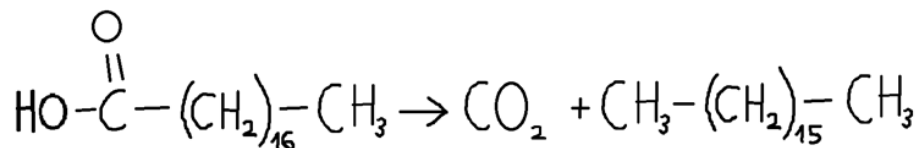


Figura 57: Reacción 9.

Fuente: Elaboración propia a partir de:

Hidrotratamiento de aceite vegetal jatropha curcas l. para la producción de combustibles verdes (2013).
E. A. De La Rosa Reyna.

Descarbonilación del ácido esteárico, con un ΔG_{573K} de -17 kJ/mol y un ΔH_{573K} de $179,1$ kJ/mol.

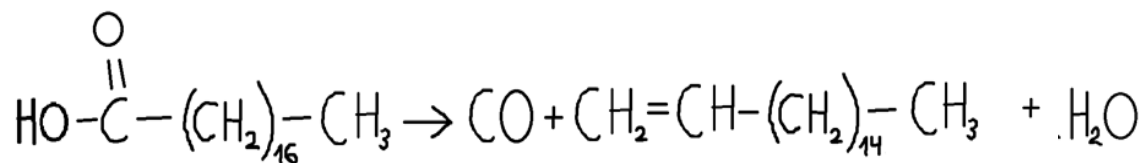


Figura 58: Reacción 10.

Fuente: Elaboración propia a partir de:

Hidrotratamiento de aceite vegetal jatropha curcas l. para la producción de combustibles verdes (2013).
E. A. De La Rosa Reyna.

Estas reacciones ocurren en exceso de hidrógeno, según la bibliografía como mínimo se debe utilizar 3 a 5 veces más hidrógeno del consumido teóricamente, otras bibliografías recomiendan relaciones molares H_2/aceite entre 20 y 200, dependiendo la materia prima utilizada y la disponibilidad de hidrógeno.



Teniendo en cuenta estos datos y sabiendo que frente una mayor relación se consigue un mejor desempeño y disminuye el riesgo de desactivación del catalizador por formación de coque, en nuestro caso vamos a considerar una relación molar H_2 /aceite de 100.

La reacción 8 es la que vamos a buscar que ocurra con mayor probabilidad, es la que más hidrógeno consume, sin embargo, el CO_2 y CO formado por las reacciones 9 y 10, se puede hidrogenar produciendo metano sobre el catalizador, debido a las condiciones del reactor, lo que conlleva a un consumo de hidrogeno incluso mayor que en el caso de la reacción 8.

Por otro lado, podemos ver que las reacciones 8 y 9 son más espontáneas y se dan en mayor proporción naturalmente que la tercera reacción. La reacción de HDO (reacción 8) es el camino que nosotros vamos a buscar, porque no perdemos ningún átomo de carbono en la parafina y nuestro residuo es agua, que no es un contaminante. En cambio, en la reacción de descarboxilación y descarbonilación, se pierde un átomo de carbono, reduciendo el tamaño de la parafina y se produce dióxido de carbono y monóxido de carbono, respectivamente, que sí son contaminantes. Incluso en la última reacción, se forma un doble enlace, lo que posteriormente va a requerir más hidrógeno para que se transforme en una parafina, por estas razones, buscamos evitar este camino.

Las reacciones que vamos a utilizar para el diseño del primer reactor son las de saturación de ácido oleico y linoleico (3 y 4) y las reacciones de formación de las parafinas (9, 10 y 11), para evitar que la simulación sea muy compleja. Sin embargo, sabemos que, en las reacciones de formación de parafinas, se forman intermedios de reacción como alcoholes y aldehídos, como se muestra en la *figura 59*.

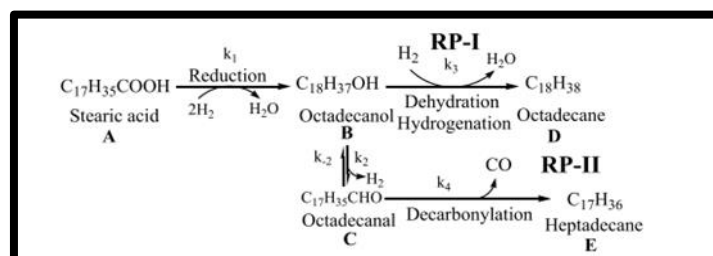


Figura 59: Ejemplo de mecanismo de reacción de HDO del ácido esteárico.

Fuente: ACS Omega 2019, 4, 2833-2843.

En general, los ácidos grasos son reducidos a alcoholes grasos en presencia de hidrógeno y de catalizadores metálicos. En el caso particular del ácido esteárico, la ruta de reacción de la desoxigenación sigue dos caminos, dependiendo de los



centros activos presentes en los catalizadores empleados. En la RP-I, ocurre la HDO, donde el oxígeno es eliminado como agua, mientras que en la RP-II, el oxígeno es eliminado como CO.

Siguiendo la RP-I, el alcohol graso se deshidrata seguido de la hidrogenación para formar una parafina lineal. Según el aporte de datos experimentales, esta ruta es empleada gracias a los catalizadores de Níquel Molibdeno soportados en alúmina (NiMo en alúmina).

Selección de los catalizadores

Existen distintos parámetros que juegan un rol importante en la selección de un catalizador para hidrotratamiento, dentro de los cuales tenemos la vida útil, la selectividad, la actividad frente a las reacciones secundarias, la caída de presión, facilidad de activación, regeneración y precio.

Los catalizadores más utilizados para hidrotratamiento son los del tipo bimetalicos, por lo que nosotros vamos a trabajar con el que mejor funcione de este grupo para obtener un rendimiento óptimo. En general, los ácidos grasos son reducidos a alcoholes grasos en presencia de hidrógeno y de catalizadores metálicos.

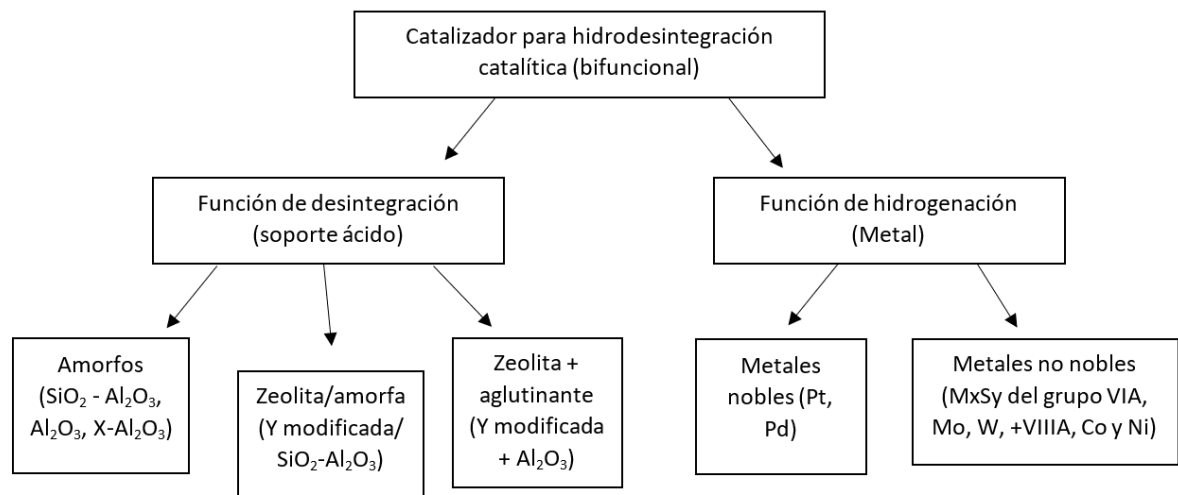


Figura 60: Composición de los catalizadores de hidrotratamiento.

Fuente: Hidrotratamiento de aceite vegetal *jatropha curcas* L. para la producción de combustibles verdes (2013).
E. A. De La Rosa Reyna.

Los soportes de los metales pueden tener un alto impacto en la actividad y la selectividad de los catalizadores variando la dispersión de la fase activa e imponiendo interacciones entre el metal y el soporte. Como vemos en la *figura 60*, el soporte puede agregar funcionalidad al catalizador, en este caso la función



de desintegración. La gamma alúmina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) se ha utilizado como soporte para hidrot ratamiento por sus excelentes propiedades como fuerte estructura y propiedades mecánicas, alta área específica, alta densidad de empaque y bajo costo.

Los catalizadores que vamos a utilizar incluyen níquel y molibdeno soportados en gamma alúmina ($\text{NiMo-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), se preparan por impregnación y métodos de coprecipitación. Estos pueden tener distintas proporciones y vamos a analizar más adelante las posibilidades.

El catalizador $\text{NiMo-Al}_2\text{O}_3$ posee doble funcionalidad, es decir que poseen dos tipos de sitios activos, los metálicos y los ácidos, que se encuentran presentes en la superficie del catalizador. Tiene que estar libre de la presencia de agentes sulfurantes, ya que disminuyen la conversión obtenida.

Catalyst	product distribution at 65% conversion of stearic acid, wt %									
	all products						only hydrocarbons			
	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₇ -CHO	C ₁₈ -OH	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
4.1NiAl	0.4	3.7	61.0	0.1		34.8	0.6	5.6	93.6	0.2
1.0Ni3.1MoAl	0	0.1	3.6	6.1	1.3	88.8	0	1.0	36.7	62.3
1.7Ni2.4MoAl	0	0.1	5.6	6.3	1.4	85.4	0	1.6	46.3	52.1
2.4Ni1.7MoAl	0.1	0.1	15.1	11.5	1.8	71.4	0.4	0.4	56.3	42.9
3.1Ni1.0MoAl	0.2	0.2	42.1	18.9	0.9	37.7	0.3	0.3	68.6	30.8

Tabla 30: Efecto de la proporción Ni/Mo en el catalizador.

Fuente: ACS Omega 2019, 4, 2833-2843.

En la tabla anterior se muestra el efecto de la relación molar entre níquel y molibdeno, a partir de la cual podemos decir que, al aumentar la cantidad de Mo, se genera mayor cantidad de C₁₈, por lo que la reacción sigue el mecanismo de HDO, en simultáneo que disminuye la concentración de las parafinas C₁₇. Catalizadores como 1.7Ni2.4MoAl y 1.0Ni3.1MoAl demuestran esto.

En conclusión, la reacción toma dos caminos diferentes, según los sitios activos que se encuentren disponibles en el catalizador NiMo. Ocurre la decarbonización en los sitios activos del níquel y la reacción de HDO en los de NiMo (con relación molar 1:3 y 2:3, principalmente).

Dentro de la amplia variedad de catalizadores NiMo que existen, nosotros escogimos el HR 538 de la empresa Axens, del cual a continuación se va a encontrar la hoja de datos técnicos.



TECHNICAL DATA SHEET

Procatalyse Catalysts & Adsorbents

HR 538

Deep hydrorefining of petroleum cuts

HR 538 is the latest generation of NiMo type catalysts manufactured by Axens.

It presents very high denitration and aromatic hydrogenation activities, as well as a superior desulfurization activity.

These features are particularly interesting in the treatment of feedstocks originated from thermal and catalytic conversion processes as well as for FCC feed pretreatment.

HR 538 is a very illustrative example of the Advanced Catalyst Engineering knowhow of Axens.

It can be used in association with other NiMo type or CoMo type catalysts where specific objectives are required.

HR 538 is delivered under oxide form. It can be sulfided in-situ by injection of a sulfur compound.

HR 538 is available with a diameter of 1.2 mm or 1.6 mm or 2.5 mm.

TYPICAL PROPERTIES

□ Nickel and molybdenum oxides on very high purity alumina

Trilobe extrudates

Diameters	1.2	1.6	2.5	mm
Nickel (NiO)			3.5	wt%
Molybdenum (MoO ₃)			17.0	wt%
Surface area			210	m ² /g
Total pore volume			0.47	cm ³ /g
Stock loading density	0.60	0.61	0.62	kg/l
Dense loading density	0.70	0.71	0.72	kg/l
Bulk crushing strength			1.5	MPa

Shipping information

PACKAGING : 1500 l. big bags (Net 800 kg).

MANUFACTURING : Salindres plant
30340 SALINDRES (France)

HR 538/05.1

Axens se réserve le droit de modifier à sa seule discrétion et sans préavis tout ou partie des informations contenues dans cette fiche technique.
Les informations contenues dans la présente fiche technique n'ont qu'une valeur indicative et ne sauraient en aucun cas constituer un quelconque engagement contractuel de la part de Axens.

89, Boulevard Franklin Roosevelt - B.P. 50802 - F 92508 Ruell Malmaison - France
Tel. +33 (0)1 47 14 21 00 - Télécopieur +33 (0)1 47 51 87 95 - Télex 631091 F

Axens reserves the right to change at its sole discretion, and without prior notice, all or part of the information contained in this Technical Data Sheet.
Technical information regarding the compositions, properties, or use of the product described in this Technical Data Sheet is believed to be reliable. However, no representation or warranty is made with respect thereto except as made by Axens in writing at the time of sale.



Axens
EPF Group Technologies

TECHNICAL DATA SHEET

Procatalyse Catalysts & Adsorbents

ACT 139

Catalytic beds protection

ACT 139 has been developed to extend cycle length on units experiencing pressure drop due to particulate depositions (solid deposits such as rust, gums, coke, ...) or top bed crust formation. ACT 139 replaces cost effectively ineffective inert alumina balls used for bed hold-on at the top of catalytic reactors operating in liquid, mixed or vapor phase, such as Hydrogenation/Hydrotreating or similar applications.

The bed topping is a highly inert alumina with round shape.

ACT 139 is one of the successive stages proposed by Axens in pressure drop control strategy.

TYPICAL PROPERTIES		
<input type="checkbox"/> Highly porous alumina spheres		
Diameter	4 to 6	mm
Total pore volume	1.20	cm ³ /g
Tapped bulk density	0.45	kg/l

Shipping information		
PACKAGING :	217 l. fiber drums Net 90 kg	MANUFACTURING : Salindres plant 30340 SALINDRES (France)

Axens
EPF Group Technologies

TECHNICAL DATA SHEET


Procatalyse Catalysts & Adsorbents

ACT 077

Catalytic beds protection

ACT 077 has been developed to extend cycle length of units pressure drop due to particulate deposition or top bed crust formation. ACT 077 replaces ineffective inert balls used for bed hold-down at the top of catalytic reactors in liquid phase or vapor phase service, such as refinery hydrotreating and other similar applications. The bed topping is a highly inert alumina with a special fluted ring shape with a high void fraction to provide an efficient capture of particulates and other contaminants in the feed. ACT 077 is one of the successive stages in Axens system for pressure drop control. The alumina fluted rings provide a high void volume and a large void gap to trap particulates and mitigate pressure drop build-up.

TYPICAL PROPERTIES		
<input type="checkbox"/> Speciality bed topping		
Fluted rings extrudates		
External diameter	10	mm
Average length	15	mm
Bore diameter	3.2	mm
Pore diameter	2	µm
Loading density	0.55	kg/l
Void Fraction	65	%
Particle crush strength	1 mini.	daN/mm



Shipping information		
PACKAGING :	217 l. steel drums Net 125 kg (276 lbs)	MANUFACTURING : Salindres plant 30340 SALINDRES (France)




 IFP Group Technologies	TECHNICAL DATA SHEET
Procatalyse Catalysts & Adsorbents	
ACT 108	
Catalytic beds protection	
<p>ACT 108 has been developed to extend cycle length on units experiencing pressure drop due to particulate depositions (solid deposits such as rust, gums, coke, ...) or top bed crust formation. ACT 108 replaces ineffective inert alumina balls used for bed hold-on at the top of catalytic reactors operating in liquid, mixed or vapor phase, such as Hydrogenation/Hydrotreating or similar applications.</p>	
<p>The bed topping is a ring shape inert ceramic.</p>	
<p>ACT 108 is one of the successive stages proposed by Axens in pressure drop control strategy.</p>	
<p>Its ring shape provides high surface area to capture particulates, easy access to internal surface and high void fraction to mitigate pressure drop build-up.</p>	
TYPICAL PROPERTIES	
<input type="checkbox"/> Ceramic hollow cylinders	
External diameter	8 mm
Height	8 mm
Internal diameter	4.7 mm
Surface area	540 m ² /m ³
Void fraction	63 %
Bulk density	0.90 kg/l
Shipping information	
PACKAGING : 200 l. steel drums (180 kg)	MANUFACTURING : Salindres plant 30340 SALINDRES (France)

Figura 61: Hojas de especificación del catalizador.

Fuente: Catálogo de Axens.

Desactivación catalítica

La desactivación del catalizador se puede dar por diversas formas e interrumpe la estabilidad que le permite mantener su actividad por periodos de tiempos más prolongados. Dentro de estas causas, tenemos el envenenamiento, la coquización y la degradación térmica.

Envenenamiento: los principales venenos en HDO de materias primas renovables son las impurezas naturales como el fósforo y los metales alcalinotérreos como sodio, calcio y magnesio. Esto se evita utilizando una materia prima de buena calidad o pretratando la carga para eliminar estos contaminantes, en nuestro caso el aceite de soja va a estar libre de estos compuestos.

Coquización: la acumulación de coque puede reducir significativamente el área superficial y el volumen de poros de los catalizadores, por esto hay que controlar



de cerca la temperatura y también disminuye el riesgo por el hecho de operar con exceso de hidrógeno.

Degradación térmica: crecimiento de fases metálicas activas que da como resultado una pérdida del área superficial catalítica o una reducción de la dispersión. Reduce la accesibilidad de las fases activas debido al colapso de los poros de apoyo. Se transforma la fase activa del metal en fases inactivas debido a reacciones químicas en la fase sólida.

El catalizador HR 538 tiene una vida útil de 5 años, una vez cumplidos, se debe desechar de forma correcta.

Diseño del reactor

Los reactores trickle bed tienen una gran complejidad en las interacciones entre la transferencia de masa y energía, por este motivo se suelen estudiar modelos isotérmicos. Además, las reacciones son exotérmicas y esto requiere un cuidadoso control de transferencia de calor en el reactor.

A pesar de que se realizaron numerosos estudios para el modelamiento de este tipo de reactores por métodos convencionales, pocos acoplan la solución de la hidrodinámica y su interacción con la transferencia de masa y energía en condiciones no isotérmicas. Sin embargo, esto se ha conseguido mediante la dinámica de fluido computacional CFD, con la cual se ha logrado resolver reactores trickle bed con reacciones químicas y transferencia de masa.

Teniendo esto en cuenta comenzamos definiendo algunos aspectos geométricos del reactor, propiedades termoquímicas de las especies involucradas y las condiciones generales de operación.

Flujo volumétrico de aceite: $5,781 \text{ m}^3/\text{h}$

Velocidad espacial (LHSV): 2 h^{-1} , valor sugerido por el Instituto Colombiano del Petróleo ICP, aumenta la conversión obtenida en el reactor.

Con estos dos datos podemos calcular el volumen del lecho catalítico mediante la siguiente ecuación:

Volumen lecho catalítico = Flujo volumétrico aceite / velocidad espacial

Volumen lecho catalítico = $(5,781 \text{ m}^3/\text{h}) / (2 \text{ h}^{-1})$

Volumen lecho catalítico = $2,8905 \text{ m}^3$

Ahora suponemos un valor para la relación de longitud/diámetro (L/D) para obtener estos parámetros geométricos, nosotros utilizamos una relación de 5/3 ya que es utilizada por ECOPETROL en su refinería que se ubica en Barrancabermeja.



Si utilizamos la ecuación para calcular el volumen de un cilindro y esta relación, tenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, el cual podemos resolver por sustitución de la siguiente forma:

$$V = \pi \cdot D^2 \cdot L / 4$$

$$L = D \cdot 5 / 3$$

$$V = \pi \cdot D^2 \cdot (D \cdot 5) / (4 \cdot 3)$$

$$V = \pi \cdot D^3 \cdot (5 / 12)$$

$$V \cdot 12 / (\pi \cdot 5) = D^3$$

$$2,8905 \text{ m}^3 \cdot 12 / (\pi \cdot 5) = D^3$$

$$D = 1,3022 \text{ m}$$

$$L = 2,1703 \text{ m}$$

Redondeando los valores tenemos que el diámetro del reactor va a ser de 1,3 metros y la longitud del lecho va a ser de 2,2 metros.

Lo siguiente que vamos a calcular es la porosidad del lecho, para esto tenemos que determinar el diámetro esférico equivalente del pellet de catalizador, para esto vamos a utilizar los datos de la hoja técnica del catalizador.

Diámetro del pellet de catalizador: 1,6 mm

Longitud del pellet de catalizador: 5 mm

Densidad de carga (Bulk density): 620 kg/m³

Área superficial: 210 m²/g

Para calcular el diámetro esférico equivalente del pellet vamos a utilizar la ecuación de Mears, que es la siguiente:

$$ds = \sqrt{\left(Dc \cdot Lc + \frac{Dc^2}{2}\right)}$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$ds = \sqrt{\left(1,6 \cdot 5 + \frac{1,6^2}{2}\right)}$$



Resolviendo, el diámetro esférico equivalente (d_s) nos da un valor de 3,0463 mm.

Para estimar la porosidad del lecho empacado de esferas se utiliza la siguiente ecuación, que tiene en cuenta el diámetro del reactor D y el diámetro equivalente del pellet esférico d_s .

$$\varepsilon = 0.38 + 0.073 \frac{(1 + (\frac{D}{d_s}) - 2)}{(\frac{D}{d_s})^2}$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$\varepsilon = 0.38 + 0.073 \frac{(1 + (\frac{1300}{3,0463}) - 2)}{(\frac{1300}{3,0463})^2}$$

Calculando obtenemos que la porosidad del lecho tiene un valor de 0,4531.

Ya tenemos algunos parámetros geométricos del reactor, pero este no está compuesto únicamente por el lecho de catalizador, sino que incluye otras partes, en este caso nos guiamos por la bibliografía consultada y la hoja de datos del catalizador.

En la parte superior e inferior, vamos a tener los casquetes, que van a tener una forma igual a la parte superior de una esfera, estos casquetes se calculan de la siguiente forma:

$$V = \frac{\pi h}{6} (3a^2 + h^2)$$

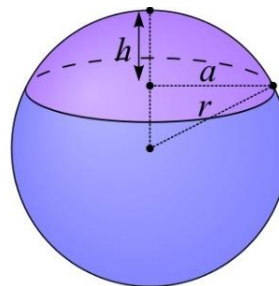


Figura 62: Volumen del casquete superior.

Fuente: Wikipedia.

El radio r del casquete va a ser el mismo que el del lecho del catalizador y la distancia h va a ser la mitad del radio, ya con estos datos, podemos determinar a mediante una ecuación que relaciona estos parámetros con la longitud a .

r : 0,65 m

h : 0,325 m



$$r = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

$$a^2 = r \cdot 2h - h^2$$

$$a^2 = 0,65 \cdot 2 \cdot 0,325 - 0,325^2$$

$$a = 0,5629 \text{ m}$$

Ahora reemplazando en la ecuación para calcular el volumen del casquete, tenemos que:

$$V = \frac{\pi \cdot 0,325}{6} (3 \cdot 0,5629^2 + 0,325^2)$$

$$V = 0,1797 \text{ m}^3$$

Luego en la parte superior del reactor vamos a tener un predistribuidor de carga, el cual permite una buena distribución de líquido y gas, evitando caminos preferenciales para el fluido. Tiene el mismo tamaño que la boca de entrada del reactor y su longitud por lo general va de 20 a 30 centímetros. En este caso será de 20 centímetros y el líquido va a caer sobre un plato distribuidor de 10 centímetros, el cual va a tener el mismo objetivo, lograr una óptima distribución del fluido, favoreciendo el desempeño del catalizador.

Le sigue un conjunto de camas de protección que ofrece la empresa Axens junto con el catalizador, estos son ACT 077, ACT 108 y ACT 139 (*figura 61*), luego también tenemos en el fondo del reactor una cama de bolas cerámicas.

La primera capa es de 0,1 m de longitud, está compuesta por ACT 077 que es un material con forma de anillo acanalado de alúmina. Estos anillos tienen un diámetro de partícula de 0.01 m, una densidad de carga de 550 kg/m³. Está diseñado con el fin de extender la duración del ciclo de la caída de presión de las unidades debido a la deposición de partículas o formación de costras en el lecho superior. La forma de anillo acanalado le brinda una alta fracción vacía para proporcionar una captura eficiente de partículas y otros contaminantes que pueda tener la alimentación.

La segunda capa tiene 0,1 m de longitud, está compuesta por ACT 108 que son unos cilindros cerámicos huecos, con forma similar a un anillo, su diámetro de partícula es de 8 mm. Tiene una densidad de carga de 900 kg/m³. La forma de anillo le brinda una alta superficie para capturar partículas, fácil acceso a la superficie interna y alta fracción de vacíos para mitigar la acumulación de caída de presión.

La tercera capa también tiene 0,1 m de longitud, está compuesta por ACT 139 que son esferas de alúmina con una elevada porosidad, los diámetros de



partícula varían entre 4 y 6 mm. La densidad de carga es de 450 kg/m³. Fue diseñado para utilizarse en conjunto con ACT077 y ACT108.

A estas camas protectoras, le sigue el lecho de catalizador que tiene una longitud de 2,2 m y por último tenemos una cama de bolas cerámicas, estas cumplen la función de soporte. Esta cama va a tener una longitud de 0,15 m, un diámetro de partícula de 0,00635 m y una densidad de carga de 1400 kg/m³.

Antes de la salida del producto vamos a tener al colector, que consiste en ranuras recubiertas por una malla metálica que tiene la función de retener cualquier partícula sólida y evitar que se filtre con el producto.

Como vemos en la siguiente tabla, si sumamos todas las capas tenemos la longitud total del reactor:

Capas	Material	Modelo	Espesor (m)
1	Plato distribuidor		0.1
2	Ceramicos	ACT 077	0.1
3	Cermicos	ACT 108	0.1
4	Cermicos	ACT 139	0.1
5	Catalizador	HR 538	2.2
6	Ceramicos	Bolas	0.15
7	Casquetes		0.65
Total			3.4

Tabla 31: Detalle de la longitud de cada capa del reactor.

Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente que vamos a determinar es la pérdida de carga, para esto utilizamos la ecuación de Ergum, la cual tiene distintas formas, nosotros utilizamos la siguiente:

$$\frac{dP}{dz} = -\frac{G}{\rho dp} * \frac{1 - \varphi}{\varphi^3} * \frac{150 * (1 - \varphi) * \mu}{dp} + 1.75 * G$$

Donde:

dP/dz: variación de presión con respecto a la longitud, (kPa/m)

G: flujo de masa (kg/m². s)

ρ : densidad de carga (bulk density, kg/m³)

dp: diámetro de partícula (m)

φ : porosidad

μ : viscosidad del gas (kg/m. s)

L: longitud (m)



Para resolver la ecuación nos falta obtener los datos del flujo de masa y la viscosidad del gas, para esto nos ayudamos de la simulación realizada.

$$G = F/A$$

$$F = 17526 \text{ kg/h}$$

$$A = \pi \cdot D^2/4$$

$$A = 1,3273 \text{ m}^2$$

Reemplazando tenemos que:

$$G = 17526 / (1,3273 \cdot 3600) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$G = 3,6677 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Por otro lado, el valor de la viscosidad del gas, en nuestro caso es el hidrógeno y según los datos del PRO II, esta tiene un valor de 0,0000152 kg/m.s.

Ahora para calcular la pérdida de carga del reactor, como tenemos distintas capas con diferentes diámetros de partícula, longitudes y porosidades, tenemos que hacer los cálculos para cada una de estas capas y luego sumar el total.

Calculo de la caída de presión			
Ecuación de Ergum:	$\frac{dP}{dz} = - \frac{G}{\rho dp} * \frac{1 - \varphi}{\varphi^3} * \frac{150 * (1 - \varphi) * \mu}{dp} + 1.75 * G$		
p=	Presión		
φ=	Porosidad	0.45316997	
dp=	Diámetro de partícula	3.04630924	m
u=	Viscosidad del gas	0.0000152	kg/ms
L=	Longitud del reactor	2.2	m
G=	Flujo de gas	3.66778374	(kg/m ² .s)
ρ=	catalist bulk density	620	kg/m ³
dP/L=	$\frac{0.00250059}{535.455083} + 6.41862154$		
	dP/L=	6.41862621	kPa
	dP=	14.1209777	kPa

Tabla 32: Cálculo de la caída de presión del lecho catalítico.

Fuente: Elaboración propia.



Calculo de la caída de presión			
Ecuacion de Ergum:	$\frac{dP}{dz} = - \frac{G}{\rho dp} * \frac{1 - \varphi}{\varphi^3} * \frac{150 * (1 - \varphi) * \mu}{dp} + 1.75 * G$		
P=	Presion		
φ =	Porosidad	0.456	
dp=	Diametro de partícula	0.01	m
u=	Viscosidad del gas	0.0000152	kg/ms
L=	Longitud del reactor	0.1	m
G=	Flujo de gas	3.66778374	(kg/m2.s)
ρ =	catalist bulk density	550	kg/m3
dP=	$\frac{0.00247478 + 6.41862154}{0.00521503}$		
	dP/L=	6.89316845	kPa
	dP=	0.68931685	kPa

Tabla 33 Cálculo de la caída de presión de la capa de ACT 077.

Fuente: Elaboración propia.



Calculo de la caida de presion			
Ecuacion de Ergum:	$\frac{dP}{dz} = - \frac{G}{\rho dp} * \frac{1 - \varphi}{\varphi^3} * \frac{150 * (1 - \varphi) * \mu}{dp} + 1.75 * G$		
P=	Presion		
φ =	Porosidad	0.456	
dp=	Diametro de partucula	0.005	m
u=	Viscosidad del gas	0.0000152	kg/ms
L=	Longitud del reactor	0.1	m
G=	Flujo de gas	3.66778374	(kg/m2.s)
ρ =	catalist bulk density	450	kg/m3
dP=	$\frac{0.00247478}{0.00106671} + 6.41862154$		
dP/L=	8.73862866	kPa	
dP=	0.87386287	kPa	

Tabla 34: Cálculo de la caída de presión de la capa de ACT 139.

Fuente: Elaboración propia.

Calculo de la caida de presion			
Ecuacion de Ergum:	$\frac{dP}{dz} = - \frac{G}{\rho dp} * \frac{1 - \varphi}{\varphi^3} * \frac{150 * (1 - \varphi) * \mu}{dp} + 1.75 * G$		
P=	Presion		
φ =	Porosidad	0.456	
dp=	Diametro de partucula	0.008	m
u=	Viscosidad del gas	0.0000152	kg/ms
L=	Longitud del reactor	0.1	m
G=	Flujo de gas	3.66778374	(kg/m2.s)
ρ =	catalist bulk density	900	kg/m3
dP=	$\frac{0.00247478}{0.00546156} + 6.41862154$		
dP/L=	6.87174793	kPa	
dP=	0.68717479	kPa	

Tabla 35: Cálculo de la caída de presión de la capa de ACT 108.



Fuente: Elaboración propia.

Calculo de la caída de presión			
Ecuacion de Ergum:	$\frac{dP}{dz} = - \frac{G}{\rho dp} * \frac{1 - \varphi}{\varphi^3} * \frac{150 * (1 - \varphi) * \mu}{dp} + 1.75 * G$		
P=	Presion		
φ =	Porosidad	0.36	
dp=	Diametro de partícula	0.00635	m
u=	Viscosidad del gas	0.0000152	kg/ms
L=	Longitud del reactor	0.15	m
G=	Flujo de gas	3.66778374	(kg/m2.s)
ρ =	catalist bulk density	1400	kg/m3
dP=	0.0034253 + 6.41862154		
	0.0026338		
	dP/L=	7.71913702	kPa
	dP=	1.15787055	kPa

Tabla 36: Cálculo de la caída de presión de la capa de bolas cerámicas.

Fuente: Elaboración propia.

Si sumamos todas las capas, nos da un total de 17,5 kPa que equivale a 0,178 kg/cm². Es buena práctica adicionar un 10% a la pérdida de carga obtenida, por lo que tenemos un valor aproximado de 0,2 kg/cm².

Por otro lado, hay que calcular cuál es el diferencial de temperatura que tiene el reactor y las limitaciones de temperatura que tiene el mismo. Para calcular el diferencial de temperatura utilizaremos el siguiente método:

$$\frac{\Delta T}{dz} = \frac{A \cdot B}{C}$$

Donde:

$$A = (\pi \cdot D^2) \rho B$$

$$B = r_i \sum \Delta HR$$

$$C = \sum F_j \cdot C_{pj}$$



Datos:

$$\rho_B = 620 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 1,3 \text{ m}$$

$$A = (\pi \cdot (1,3\text{m})^2) \cdot 620 \text{ kg/ m}^3$$

$$A = 3291,76 \text{ kg/m}$$

$$\Delta HR = -68820 \text{ kJ/kmol.}$$

La velocidad de reacción r_i , la vamos a simplificar multiplicando el flujo molar de ácido esteárico por la conversión del reactor, que según la bibliografía consultada es de 0,97. El flujo se determina como la sumatoria de los flujos molares del esteárico, linolénico, oleico y linoleico, ya que luego de hidrogenarse sus insaturaciones se convierten todos en esteárico, como vimos en la primera parte del diseño.

$$r_i = F_{sss} * X_{sss}$$

$$F_{sss} \text{ (mol)} = 0,004634 \text{ kmol/s}$$

$$X_{sss} = 0,97$$

$$r_i = 16,18 \text{ kmol/h}$$

$$B = 16,18 \text{ kmol/h} * -68820 \text{ kJ/kmol}$$

$$B = -1113667 \text{ kJ/h}$$

El flujo másico de ácido esteárico para el cálculo del parámetro C, se calcula de igual forma que el molar, sumando los flujos de los ácidos de 18 carbonos.

$$F_{sss} \text{ (masa)} = 4686,48 \text{ kg/h}$$

$$C_p = -66827,6 \text{ kJ/K}$$

$$C = -313186281,6 \text{ kJ/h K}$$

$$\Delta T/dz = 11,7 \text{ K/m}$$

$$dz = L = 3,4 \text{ m}$$

$$\Delta T = 39,8 \text{ K}$$

$$T_s = 339,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como resultado tenemos que el diferencial de temperatura es de 39,8 °C, valor que según la bibliografía consultada es aceptable, con la temperatura de salida



vamos a calcular la temperatura máxima que permite el óptimo funcionamiento del reactor.

La temperatura de runaway es la máxima antes de la generación de puntos calientes en reactores de lecho fijo catalítico, esta se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_M: \frac{1}{2} \left[\frac{E_a}{R} - \sqrt{\frac{E_a}{R} \left(\frac{E_a}{R} - 4T_r \right)} \right]$$

Teniendo en cuenta la reacción de HDO, que es la más importante, tenemos los siguientes datos de reacción:

Energía de activación (E_a): 149100 kJ/kmol.

Temperatura del reactor (T_r): 340 °C = 613,15 K. (redondeando para arriba)

Constante universal de los gases ideales (R): 8,31 kJ/kmol K

Reemplazando en los términos tenemos que:

T_m : 635,68 K = 362,5 °C

El valor máximo que no debe superar el reactor es de 362,5°C.

Por último, para el diseño del reactor vamos a calcular el espesor requerido, la cantidad de acero necesario para su construcción y el peso, datos fundamentales para la hoja técnica de datos.

Para calcular el espesor del reactor utilizamos la norma ASME para tanques a presión interna. Primero vamos a determinar el espesor mínimo para esto tenemos dos ecuaciones que corresponden a tanques cilíndricos, la primera que tiene que ver con el estrés circunferencial y la segunda que tiene que ver con el estrés longitudinal.

Esfuerzos circunferenciales:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Se utiliza cuando el espesor no excede la mitad del radio interno o la presión interna no supera 0,385. S.E.

Esfuerzos longitudinales:



$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$$

Se utiliza cuando el espesor del recipiente no supera la mitad del radio interno o la presión no es mayor a 1,25 S.E., a esta ecuación se le suele agregar dos términos, uno asociado al momento del viento y otro al peso del contenido del reactor, por lo que la ecuación queda:

$$t = \frac{P.R}{2.S.E + 0,4.P} \pm \frac{M}{\pi.R^2 S.E} - \frac{W}{\pi.D.S.E}$$

Donde:

t: espesor (m) (pulg)

P: presión interna = 3922,66 kPa o 568,8 psi

R: radio interno = 0,65 m o 25,6 pulg

S: esfuerzo máximo admisible por el acero = 117000 kPa o 16969,4 psi

E: eficiencia de la soldadura= 0,85 (para esfuerzos circunferenciales) y 0,65 (para esfuerzos longitudinales).

M: momento causado por el viento (lb.pulg) = 665000 lb.pulg. Según ASME Sec. VII UG-23-d

W: peso del contenido = 2359 kg o 519009 lb

Reemplazando en las ecuaciones tenemos:

$$tc = \frac{3922,66 \text{ kPa} \cdot 0,65 \text{ m}}{117000 \text{ kPa} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 3922,66 \text{ kPa}}$$

Lo que nos da un espesor de 0,02625 m o lo que es lo mismo 26,25 mm.

Reemplazando en la ecuación de esfuerzos longitudinales tenemos:

$$t = \frac{568,8 \text{ psi} \cdot 25,6 \text{ pulg}}{2 \cdot 16969,4 \text{ psi} \cdot 0,65 + 0,4 \cdot 568,8 \text{ psi}} \pm \frac{665000 \text{ lb} \cdot \text{pulg}}{\pi \cdot (25,6 \text{ pulg})^2 \cdot 16969,4 \text{ psi} \cdot 0,65} + \frac{519009 \text{ lb}}{\pi \cdot 51,2 \text{ pulg} \cdot 16969,4 \text{ psi} \cdot 0,65}$$

Lo que nos da un espesor de 0,973 pulgadas o lo que es lo mismo 24,77 mm.

En conclusión, el espesor mínimo que podemos considerar es de 26,25 mm y vamos a tomar 27 mm y le sumaremos 5 mm como sobre-espesor por corrosión.



El material que vamos a utilizar es un acero al carbono comercial de modelo ASTM A 516, para cubrir los 32 mm de espesor.

Aproximando la densidad del acero al carbono en 8000 kg/m^3 , podemos calcular el volumen necesario de acero y el peso que va a tener el reactor vacío.

Para calcular el volumen vamos a utilizar una ecuación que tenga en cuenta el cilindro que conforma el reactor y también los casquetes superior e inferior:

$$V = \pi \cdot r_{ext}^2 \cdot h - \pi \cdot r_{int}^2 \cdot h + 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h}{6} (3(a+t)^2 + h^2) - \frac{\pi \cdot h}{6} (3a^2 + h^2) \right)$$

Donde:

r_{int} : radio interno= 0,65

r_{ext} : radio externo= 0,68 m

h : altura del cilindro= 2,75 m

h (casquete)= 0,325 m

a (casquete)= 0,563 m

t : espesor= 0,032 m

Reemplazando los datos tenemos:

$$V = \pi \cdot (0,68\text{m})^2 \cdot 2,75\text{m} - \pi \cdot (0,65\text{m})^2 \cdot 2,75\text{m} + 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,325\text{m}}{6} (3(0,563\text{m} + 0,03\text{m})^2 + (0,325\text{m})^2) - \frac{\pi \cdot 0,325\text{m}}{6} (3(0,563\text{m})^2 + (0,325\text{m})^2) \right)$$

Esta ecuación nos da como resultado un volumen necesario de acero de $0,38 \text{ m}^3$, que, si lo multiplicamos por la densidad de este, nos da un peso del reactor vacío de 3040,9 kg.

Para calcular la masa total del lecho, sumamos las masas de cada capa, teniendo en cuenta el volumen que ocupan y la densidad de empaque de cada capa, estos datos los simplificamos en la siguiente tabla:



Propiedad	Valor	Unidad
Volumen del lecho catalítico:	2.92	m ³
Densidad:	620	kg/m ³
Volumen de ACT 077:	0.13273229	m ³
Densidad:	550	kg/m ³
Volumen de ACT 108:	0.13273229	m ³
Densidad:	900	kg/m ³
Volumen de ACT 139:	0.13273229	m ³
Densidad:	450	kg/m ³
Volumen de bolas ceramicas:	0.19909843	m ³
Densidad:	1400	kg/m ³
Masa total del lecho:	2341.32916	kg

Tabla 37: Cálculo de la masa total del lecho.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la masa del reactor cuando se encuentre en operación, vamos a tomar un valor de porosidad de lecho estimado de 0,4 y teniendo en cuenta que este espacio va a estar completamente lleno por la mezcla de aceite de soja e hidrógeno, vamos a calcular el peso de fluido que está en juego.

La densidad de la mezcla es baja debido a que se encuentra en su mayor parte en estado gaseoso, está a más de 300°C y la mayor parte de la mezcla es hidrógeno, un gas de muy baja densidad. El valor que obtuvimos de los datos de simulación realizado en PRO II nos dice que la densidad es de 4,44 kg/m³.

Realizando el siguiente cálculo:

$$mf = Vt * \epsilon * \rho_f$$

Donde:

Vt: volumen de reactor (m³) = 4,01 m³

ϵ : porosidad = 0,4

ρ_f : densidad del fluido (kg/m³) = 4,44 kg/m³

Obtenemos el siguiente resultado:

mf: masa de fluido (kg) = 7,12 kg

Si sumamos la masa de acero necesaria para construir el reactor con la masa total del lecho y con la masa de fluido, tenemos la masa total del reactor en operación, que nos da un valor de 5382,22 kg.

Por último, realizar la prueba hidráulica, que consiste en llenar de agua el reactor y analizar si el peso va a ser mayor al del reactor en operación, de ser así, se



determina este valor como peso máximo. Para esto vamos a realizar el siguiente cálculo:

$$m_a = V_t \cdot \rho_a$$

Donde:

m_a : masa de agua (kg)

ρ_a : densidad del agua (kg/m^3) = 997 kg/m^3

Obtenemos que la masa de agua necesaria para llenar el reactor de agua es de 3998 kg, que si lo sumamos a la masa de acero necesaria tenemos un valor de 7039 kg. Como este valor es mayor a los 5382,22 kg del cálculo anterior, consideraremos el valor de la prueba hidráulica como peso máximo.

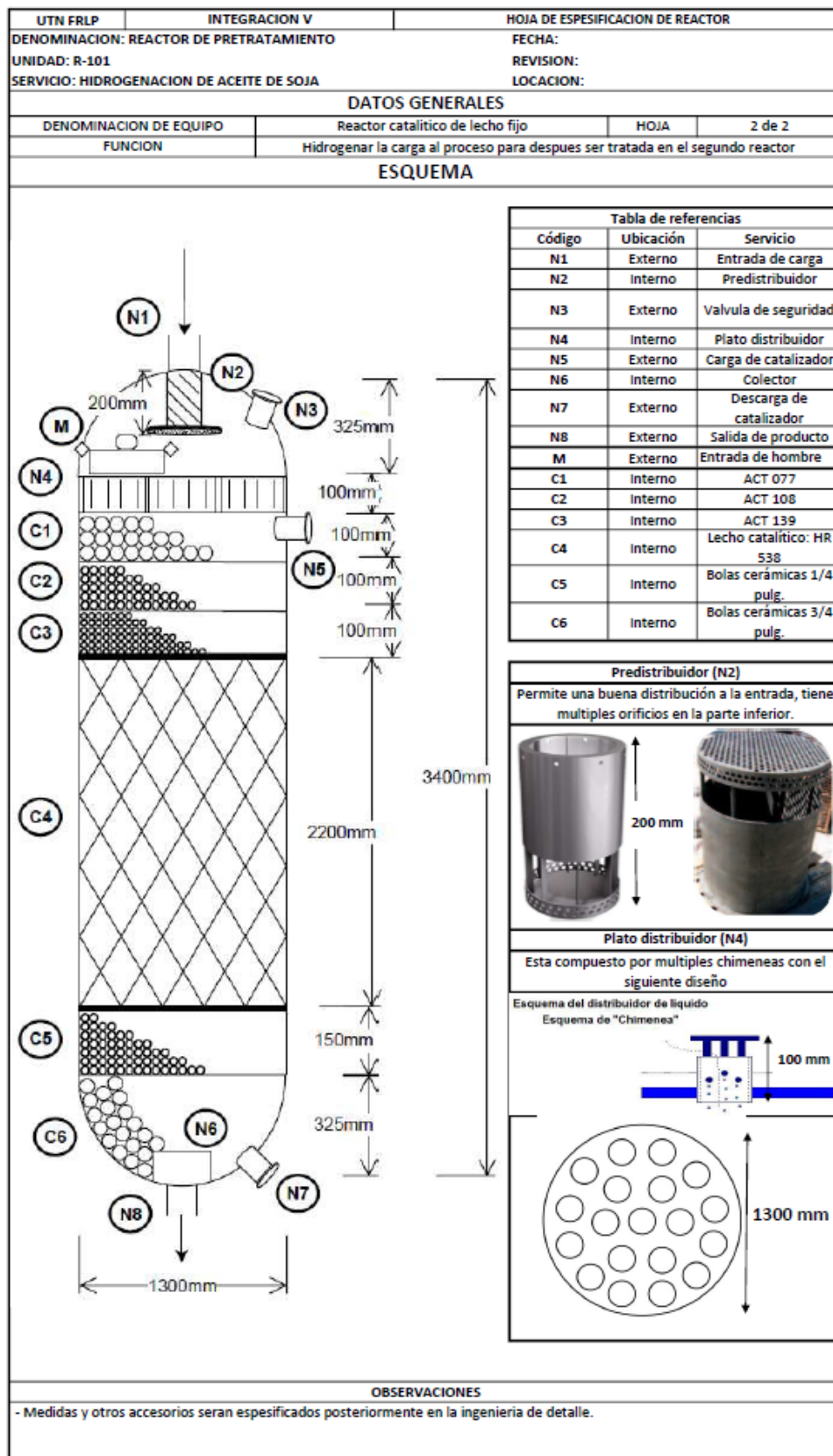
La hoja de especificación se adjunta a continuación.



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE REACTOR	
DENOMINACION: REACTOR DE PRETRATAMIENTO		FECHA:	
UNIDAD: R-101		REVISION:	
SERVICIO: HIDROGENACION DE ACEITE DE SOJA		LOCACION:	
DATOS GENERALES			
DENOMINACION DE EQUIPO	Reactor catalitico de lecho fijo	HOJA	1 de 2
FUNCION	Hidrogenar la carga al proceso para despues ser tratada en el segundo reactor		
DATOS DE OPERACION			
FLUIDOS	REACTIVOS	LIQUIDO	5199.5 Kg/h
		GAS	8452 Kg/h
	CATALIZADOR	1792 Kg	
TEMPERATURA DE OPERACION	340	°C	
PRESION DE OPERACION	44.5	Kg-cm ²	
CAUDAL DE OPERACION (ACEITE)	5.78	m ³ /h	
CAUDAL MAXIMO (ACEITE)	7.46	m ³ /h	
CAUDAL MINIMO (ACEITE)	5.14	m ³ /h	
DENSIDAD DEL FLUIDO	880.7	Kg/m ³	
RELACION H ₂ /HC	100	mol/mol	
PRESION PARCIAL DE HIDROGENO	42.8	Kg-cm ²	
DATOS DE CONSTRUCCION			
CAPACIDAD TOTAL	4.01	m ³	
DIAMETRO INTERIOR	1300	mm	
LONGITUD			
SECCION DE DISTRIBUCION	100	mm	
CERAMICOS ACT 077	100	mm	
CERAMICOS ACT 108	100	mm	
CERAMICOS ACT 139	100	mm	
CATALIZADOR HR 538	2200	mm	
Esferas Ceramicas 1/4"	150	mm	
CABEZALES	650	mm	
TOTAL	3400	mm	
POSICIONAMIENTO	Vertical		
ESPESOR	32	mm	
PESO VACIO	3041	Kg	
PESO CON CATALIZADOR	5382	Kg	
PESO EN OPERACION	5396	Kg	
PESO MAXIMO	7039	kg	
DATOS DE DISEÑO			
TEMPERATURA DE DISEÑO	340	°C	
TEMPERATURA MAXIMA	362.5	°C	
PRESION DE DISEÑO	44.5	Kg-cm ²	
CAIDA DE PRESION	0.2	Kg-cm ² /m	
CAIDA MAXIMA DE PRESION ADMISIBLE	1	Kg-cm ² /m	
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero al carbono		
TIPO DE CABEZAL	Semi-Esferico		
LONGITUD DEL CABEZAL	325	mm	
DETALLE DE CONSTRUCCION			
TIPO DE RADIOGRAFIA	Parcial y total		
SOLDADURA	HOLD (especifica ing. de detalle)		
EFICIENCIA DE LA SOLDADURA	0.85		
DETALLE DE CONEXIONES			
ENTRADA DE ALIMENTACION	Parte Superior		
SALIDA DE PRODUCTOS	Parte Inferior		
OBSERVACIONES			
- Acero al carbono A 516 -			





7.3.4. Diseño del separador flash horizontal trifásico F-102

Para el diseño del separador trifásico horizontal (o separador flash) se van a utilizar medidas inglesas debido a que las ecuaciones de la bibliografía consultada así lo precisan. Se requieren los siguientes datos con respecto a la mezcla ingresante, conformada por un sistema trifásico de líquido de hidrocarburos, gases y agua.

Estos datos fueron recopilados a partir del simulador de procesos PRO II.

	Fase gaseosa	Fase líquida	Agua
Densidad en lb/ft ³	0,265	53,836	61,944
Caudal volumétrico en ft ³ /h	75114,3	199,29	6,604
Viscosidad en cP	0,00965	2,16526	No requerido

Tabla 38: Datos de la mezcla ingresante para el separador flash.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

Luego, se requieren una serie de datos adicionales:

Parámetro	Valor establecido
Factor de compresibilidad (Z)	1,018
Temperatura de operación, en °R	563,67
Presión de operación, en psia	526,251

Tabla 39: Datos adicionales de la mezcla ingresante para el separador flash.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

Para iniciar la secuencia de cálculo, se debe calcular el producto d por L_{eff} para la capacidad del gas, con la siguiente expresión:

$$d \cdot L_{eff} = 420 \cdot \left(\frac{Z \cdot T}{P} \right) \cdot Q_v \cdot \left(\left(\frac{\rho_v}{\rho_l - \rho_v} \right) \cdot \frac{C_D}{d_m} \right)^{0,5}$$

Donde:

- ❖ d : es el diámetro interno del separador, en pulgadas.
- ❖ L_{eff} : es la longitud efectiva del separador, en pies.
- ❖ Q_v : es el flujo de gas, en millones de pies cúbicos estándar por día (MMPCED).
- ❖ Z : es el factor de compresibilidad a la presión y temperatura de operación.



- ❖ T: es la temperatura de operación, en °R.
- ❖ P: es la presión de operación, en psia.
- ❖ ρ_v : es la densidad del vapor, en lb/ft³.
- ❖ ρ_l : es la densidad del líquido, en lb/ft³.
- ❖ C_D : es el coeficiente de arrastre.
- ❖ d_m : es el diámetro de gota de líquido a separar, en micrones.

Para el cálculo de d_m , se puede asumir como buena práctica un valor recomendado por las normas API de 150 micrones.

Para el cálculo del coeficiente de arrastre, se debe seguir el siguiente proceso iterativo.

Donde la primera expresión del proceso es la que relaciona el coeficiente en función del número de Reynolds, Re:

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

Donde para calcular el Re se utiliza la siguiente expresión:

$$Re = 0,0049 \cdot \left(\frac{d_m \cdot \rho_v \cdot V_t}{\mu_v}\right)$$

Y para calcular la V_t , se emplea la siguiente expresión:

$$V_t = 0,0119 \cdot \left(\left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}\right) \cdot \frac{d_m}{C_D}\right)^{0,5}$$

Entonces, para obtener el valor de C_D , se debe, primero, asumir un valor del mismo (estimado). Luego se calcula V_t , para obtener un Re, y finalmente, se recalcula C_D , asegurando que sea igual al valor estimado inicialmente.

Donde:

- ❖ V_t : es la velocidad terminal, en ft/s.
- ❖ μ_v : es la viscosidad del vapor, en cP.

Entonces, el valor obtenido, realizando el proceso de iteración es el siguiente:

$$C_D \text{ (estimado)} = 1,58$$

$$V_t = 0,0119 \cdot \left(\left(\frac{53,836 \text{ lb/ft}^3 - 0,265 \text{ lb/ft}^3}{0,265 \text{ lb/ft}^3}\right) \cdot \frac{150 \text{ micrones}}{1,58}\right)^{0,5} = 1,649 \text{ ft/s}$$

$$Re = 0,0049 \cdot \left(\frac{150 \text{ micrones} \cdot 0,265 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \cdot 1,6490 \text{ ft/s}}{0,00965 \text{ cP}}\right) = 33,263$$



$$C_D = \left(\frac{24}{33,263}\right) + \left(\frac{3}{33,263^{0,5}}\right) + 0,34 = 1,58$$

El resultado es el correcto, se procede a calcular el producto d por L_{eff} para la capacidad del gas:

$$d \cdot L_{eff} = 420 \cdot \left(\frac{1,018 \cdot 563,67 \text{ } ^\circ R}{526,251 \text{ } psia}\right) \cdot 1,803 \text{ MMPCED} \\ \cdot \left(\left(\frac{0,265 \text{ } lb/ft^3}{53,836 \text{ } lb/ft^3 - 0,265 \text{ } lb/ft^3}\right) \cdot \frac{1,58}{150 \text{ } \mu m}\right)^{0,5} = 5,96$$

Se procede a elaborar una tabla para diferenciar los valores de d y L_{ff} . Adicionalmente, se calcula en la misma tabla las diferentes longitudes de costura L_{ss} con la siguiente expresión:

$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12}$$

d [pulgadas]	L_{eff} [pies]	L_{ss} [pies]
20	0,298	1,965
24	0,248	2,248
28	0,213	2,546
32	0,186	2,853
36	0,166	3,166
40	0,149	3,482
44	0,135	3,802
48	0,124	4,124
52	0,115	4,448
56	0,106	4,773
60	0,099	5,099
64	0,093	5,426
68	0,088	5,754
71,109	0,084	6,010
250	0,024	20,857
350	0,017	29,184
450	0,013	37,513
514	0,012	42,845

Tabla 40: Valores de longitud de costura a costura obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente es calcular la altura máxima para el colchón de líquido, asumiendo un d_m de 500 micrones, esto es:

$$(h_l)_{m\acute{a}x} = \frac{320 \cdot tr_l \cdot \Delta SG}{\mu_l}$$



Donde:

- ❖ $(h_i)_{\max}$: es la altura máxima para el colchón del líquido, en pulgadas.
- ❖ t_{ri} : es el tiempo de retención del líquido, en minutos.
- ❖ ΔSG : es la diferencia de gravedades específicas entre el agua y el líquido (mezcla de hidrocarburos).
- ❖ μ_i : es la viscosidad del líquido, en cP.

Para este cálculo se asume un tiempo de retención para el líquido estimado por buenas prácticas de diseño en 2 minutos.

ΔSG se calcula como sigue:

$$\Delta SG = SG_w - SG_l$$

Donde:

- ❖ SG_w : es la gravedad específica del agua.
- ❖ SG_l : es la gravedad específica de la mezcla de hidrocarburos (HC).

La gravedad específica de HC se calcula con la siguiente expresión, que vincula los grados API del compuesto:

$$SG_l = \frac{141,5}{131,5 + {}^\circ API}$$

Con los grados api (${}^\circ API$) fijados en 48, entonces:

$$SG_l = 0,788$$

Sin embargo, los datos arrojados por el simulador de procesos arrojan un valor de SG_l de 0,868, por lo cual se tomará dicho valor para fines prácticos.

La gravedad específica del agua se calcula con la siguiente expresión:

$$SG_w = \frac{\rho_{sust}}{\rho_{agua \text{ a } 39,2 \text{ } ^\circ F}} = \frac{61,9441 \frac{lb}{ft^3}}{62,428 \frac{lb}{ft^3}} = 0,992$$

ΔSG queda, entonces:

$$\Delta SG = 0,992 - 0,862 = 0,13$$

Siguiendo con el cálculo de $(h_i)_{\max}$, entonces:

$$(h_i)_{\max} = \frac{320 \cdot 2 \text{ min} \cdot 0,13}{2,16526} = 38,388 \text{ pulgadas}$$

Luego, se calcula el máximo diámetro para el colchón de HC, de la siguiente manera:



$$\frac{A_w}{A} = 0,5 \frac{Q_w \cdot tr_w}{(Q_l \cdot tr_l + Q_w \cdot tr_w)}$$

Donde:

- ❖ A: es el área total del separador, en ft².
- ❖ A_w: es el área ocupada por la fase acuosa, en ft².
- ❖ Q_l: es el caudal volumétrico de HC, en BPD.
- ❖ Q_w: es el caudal volumétrico de agua, en BPD.
- ❖ tr_w: es el tiempo de retención del agua, en minutos.

Donde el tiempo de retención del agua se fijó de igual manera que para el HC.

Entonces:

$$\frac{A_w}{A} = 0,5 \frac{28,23 \text{ BPD} \cdot 2 \text{ min}}{(851,867 \text{ BPD} \cdot 2 \text{ min} + 28,23 \text{ BPD} \cdot 2 \text{ min})} = 0,02$$

Con este dato, se ingresa al siguiente gráfico y se corta en la línea central, para obtener un valor de B:

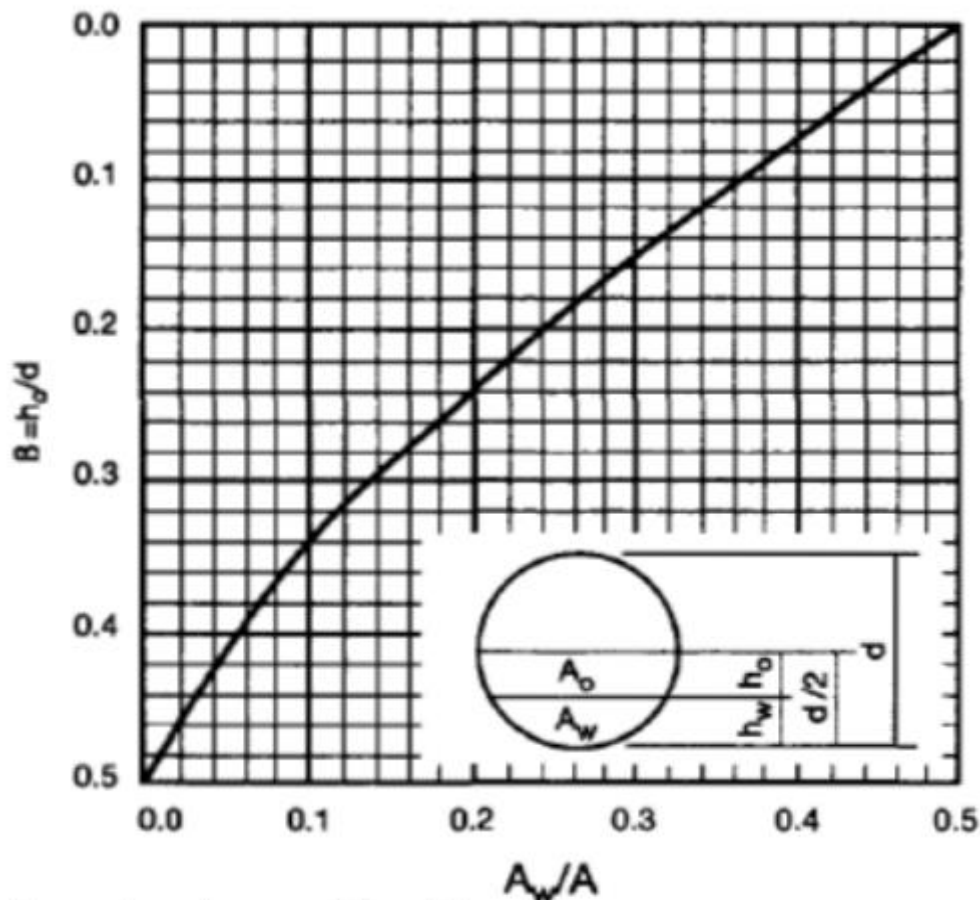


Figura 63: Relación entre parámetros A_w/A y B.

Fuente: Diseño y selección de separadores (s.f.). L. Gómez.



Con un B igual a 0,42, se procede a calcular el diámetro interno máximo del recipiente ($d_{\text{máx}}$), que está medido en pulgadas. B es un coeficiente que indica la capacidad de llenado de un recipiente con el líquido dentro del mismo.

Entonces:

$$d_{\text{máx}} = \frac{(h_l)_{\text{máx}}}{B} = \frac{38,388 \text{ pulgadas}}{0,42} = 91,4 \text{ pulgadas} = 2,322 \text{ m}$$

Este valor, es el valor máximo admisible para el diseño del recipiente en cuestión.

Por último, se debe calcular el producto d^2 por L_{eff} para cumplir con el tiempo de retención fijado, con la siguiente expresión:

$$d^2 \cdot L_{\text{eff}} = 1,42 \cdot (Q_l \cdot tr_l + Q_w \cdot tr_w) = 2499,5$$

Se procede a elaborar una tabla similar a la *tabla 41* para establecer un valor adecuado de L_{ss} , evaluando esta vez la capacidad del líquido. El valor de L_{ss} debe ser mayor al calculado en los pasos anteriores, sea por cálculo directo o con iteraciones en función a diámetros variables.

Adicionalmente, se debe establecer una relación de esbeltez R que medie entre 3 y 4, según la siguiente expresión:

$$R = \frac{12 \cdot L_{\text{ss}}}{d}$$

d [pulgadas]	L_{eff} [pies]	L_{ss} [pies]	R
20	6,249	8,332	4,999
21	5,668	7,557	4,318
21,5	5,407	7,210	4,024
23	4,725	6,300	3,287
25	3,999	5,332	2,559
29	2,972	3,963	1,640
33	2,295	3,060	1,113
37	1,826	2,434	0,790
41	1,487	1,983	0,580
45	1,234	1,646	0,439
49	1,041	1,388	0,340
53	0,890	1,186	0,269
57	0,769	1,026	0,216
61	0,672	0,896	0,176
65	0,592	0,789	0,146
71,109	0,494	0,659	0,111
76,609	0,426	0,568	0,089
82,109	0,371	0,494	0,072
87,609	0,326	0,434	0,059
93,109	0,288	0,384	0,050



98,609	0,257	0,343	0,042
104,109	0,231	0,307	0,035

Tabla 41: Valores de longitud de costura a costura obtenidos y de R.

Fuente: Elaboración propia.

Se selecciona, entonces, un diámetro y longitud de costura para el equipo que cumpla con las condiciones establecidas, quedando la siguiente tabla como muestra final:

d_{max} [m]=	2,322	m
d [m]=	0,546	m
L_{eff} [m]=	1,648	m
L_{ss} [m]=	2,197	m
R=	4,024	

Tabla 42: Valores finales obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño principal cumple con los requerimientos, por lo tanto, se acepta el procedimiento establecido.

Para el dimensionamiento de las tapas del recipiente a presión, se consideran a las mismas del tipo toriesféricas, y su altura se calcula como sigue:

$$\text{Altura de tapa} = 0,125 \cdot d = 0,125 \cdot 0,546 \text{ mm} = 68,26 \text{ mm}$$

Para el cálculo del diámetro de la boquilla de entrada, se debe llevar la tasa de gas a condiciones de operación, con la siguiente expresión:

$$Q_{v,op} = \frac{Q_v \cdot PM_v \cdot SG_v}{379 \cdot 86400 \cdot \rho_v}$$

Donde:

- ❖ $Q_{v,op}$: es el caudal de gas en condiciones de operación, en ft³/s.
- ❖ PM_v : es el peso molecular del vapor, en lb/lbmol.
- ❖ SG_v : es la gravedad específica del vapor.

Donde la gravedad específica del vapor se calcula con referencia a la densidad del aire a condiciones atmosféricas (CNPT), esto es:

$$SG_v = \frac{\rho_{sust}}{\rho_{aire \text{ a CNPT}}} = \frac{0,265 \text{ lb/ft}^3}{0,062428 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 4,242$$

El peso molecular del vapor fue obtenido por simulación, y es de 6,83 lb/lbmol

El caudal de vapor deberá calcularse en PCED.



Entonces:

$$Q_{v;op} = \frac{1802746,073 \text{ PCED} \cdot 6,83 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}} \cdot 4,242}{379 \cdot 86400 \cdot 0,265 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 6,026 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

Se debe definir la densidad de la mezcla, como sigue:

$$\rho_m = \frac{Q_l \cdot \rho_l + Q_{v;op} \cdot \rho_v + Q_w \cdot \rho_w}{Q_l + Q_{v;op} + Q_w}$$

Donde:

- ❖ ρ_m , es la densidad de la mezcla, en lb/ft^3 .
- ❖ Q_l , es el caudal volumétrico del líquido, en ft^3/s .
- ❖ Q_w , es el caudal volumétrico del agua, en ft^3/s .

Entonces:

$$\rho_m = \frac{0,055 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \cdot 53,836 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} + 6,026 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \cdot 0,265 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} + 0,002 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \cdot 61,944 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}{0,055 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} + 6,026 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} + 0,002 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}} = 0,771 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

La velocidad de boquilla de entrada se establece con la siguiente ecuación:

$$V_{boq} = \frac{80}{(\rho_m)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

- ❖ V_{boq} : es la velocidad de entrada en la boquilla de alimentación, en ft/s .

Quedando:

$$V_{boq} = \frac{80}{\left(0,771 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}\right)^{\frac{1}{2}}} = 91,12 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

Como criterio de buena práctica, se debe trabajar con velocidades menores a 30 ft/s , si este valor es superado, se fija para trabajar en 30 ft/s , y se continua el diseño.

Por lo tanto:

$$V_{boq} = 30 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

El diámetro de la boquilla ϕ_{boq} queda, entonces:



$$\phi_{boq} = \left(\frac{4 \cdot (Q_l + Q_v)}{\pi \cdot V_{boq}} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot \left(0,055 \frac{ft^3}{s} + 6,026 \frac{ft^3}{s} \right)}{\pi \cdot 30 \text{ ft/s}} \right)^{1/2} = 0,508 \text{ ft} = 6,1 \text{ pulgadas}$$

Para el cálculo del diámetro de la boquilla de salida de gas, se debe calcular la velocidad de boquilla de salida para el gas, como sigue:

$$V_{bsv} = \frac{80}{(\rho_v)^{1/2}}$$

Donde:

❖ V_{bsv} : es la velocidad de salida en la boquilla para el gas, en ft/s.

Quedando:

$$V_{bsv} = \frac{80}{\left(0,265 \frac{lb}{ft^3} \right)^{1/2}} = 155,46 \frac{ft}{s}$$

El diámetro de la boquilla ϕ_{bsv} queda, entonces:

$$\phi_{bsv} = \left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot V_{bv}} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot \left(6,026 \frac{ft^3}{s} \right)}{\pi \cdot 155,46 \text{ ft/s}} \right)^{1/2} = 0,22 \text{ ft} = 2,7 \text{ pulgadas}$$

Para el cálculo del diámetro de la boquilla de salida de líquido, se debe calcular la velocidad de boquilla, tanto para el HC como para el agua, pero según la bibliografía, con efectuar el cálculo para el HC es suficiente.

Entonces, se calcula como sigue:

$$V_{bsl} = \frac{80}{(\rho_l)^{1/2}}$$

Donde:

❖ V_{bsl} : es la velocidad de salida en la boquilla para el HC, en ft/s.

Quedando:

$$V_{bsl} = \frac{80}{\left(53,836 \frac{lb}{ft^3} \right)^{1/2}} = 10,9 \frac{ft}{s}$$

Como criterio de buena práctica, se debe trabajar con velocidades entre 1 y 3 ft/s, como el cálculo da por fuera del rango, se fija para trabajar la velocidad máxima recomendada, es decir 3 ft/s, y se continua el diseño.



Los diámetros de la boquilla para el HC ϕ_{bsl} y para el agua ϕ_{bsw} quedan, entonces:

$$\phi_{bsl} = \left(\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot V_{bsl}} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot (0,055 \frac{ft^3}{s})}{\pi \cdot 3 ft/s} \right)^{1/2} = 0,15 ft = 1,84 pulgadas$$

$$\phi_{bsw} = \left(\frac{4 \cdot Q_w}{\pi \cdot V_{bsl}} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot (0,002 \frac{ft^3}{s})}{\pi \cdot 3 ft/s} \right)^{1/2} = 0,03 ft = 0,36 pulgadas$$

La hoja de especificación del equipo se presenta a continuación.

UTN FRLP	INTEGRACION V				HOJA DE ESPECIFICACION DE SEPARADOR FLASH					
DENOMINACION: SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO					FECHA:					
UNIDAD: F-102					REVISION:					
SERVICIO: SEPARA FRACCIONES VAPOR-LÍQUIDO-AGUA					LOCACION:					
DATOS GENERALES										
DENOMINACION DE EQUIPO					SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO			Hoja	1 de 2	
FUNCIÓN					Separación de fracciones líquido-vapor-agua					
PROVEEDOR/FABRICANTE					TAG N°:			F-102		
DIRECCIÓN	Camino Vergara entre kilómetros 2 y 2,5				TELÉFONO					
CIUDAD	Ensenada	DPTO/ESTADO	Pcia. De Buenos Aires	PAÍS	Argentina					
DATOS DE OPERACION										
PARÁMETRO	ENTRADA			SALIDA						
	Líquido-vapor			TOPE	FONDO	FONDO				
FLUIDO				Vapor	Aceite líquido	Agua				
CAUDAL VOLUMÉTRICO [m3/h]	2132.83			2127.00	5.64	0.19				
CAUDAL MÁSIKO [kg/h]	14183.00			9129.00	4867.00	187.00				
TEMPERATURA [°C]	45.00			45.00	45.00	45.00				
PRESIÓN [kg/cm2]	38.00			38.00	38.00	0.00				
DENSIDAD [kg/m3]	12.35			4.24	862.35	992.25				
VISCOSIDAD [cp]	0.94			0.0097	2.1653	0.6527				
DATOS CONSTRUCTIVOS										
VOLUMEN [m3]	0.51									
TEMPERATURA DE DISEÑO [°C]	95.00									
PRESIÓN DE DISEÑO [kg/cm2]	41.80									
MATERIAL	Acero al carbono									
NORMA DE DISEÑO	ASME / ATEX / APQ1									
DIÁMETRO [m]	0.55									
LONGITUD DEL CUERPO [m]	2.20									
ALTURA DEL CABEZAL [m]	0.068									
PESO COLUMNA VACÍA [kg]	365									
PESO COLUMNA EN OPERACIÓN [kg]	452									
TRATAMIENTO TÉRMICO	No requiere									
GEOMETRÍA CUERPO	Cilíndrica									
GEOMETRÍA CABEZAL	Toriosférica									



DATOS GENERALES			
DENOMINACION DE EQUIPO	SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO	Hoja	2 de 2
FUNCIÓN	Separación de fracciones líquido-vapor-agua		
DISEÑO DE CORAZA			
EFICIENCIA DE SOLDADURA [%]	85		
AISLAMIENTO	No requiere		
ESFUERZO DE TRACCIÓN ADMISIBLE [kg/mm ²]	7.5		
DENSIDAD DEL METAL [kg/m ³]	7930		
CORROSIÓN MÁX. PERMITIDA [mm]	0		
OBSERVACIONES			
-El separador contará con malla separadora de gotas			
-Se recomienda un elemento de malla de alambre del tipo York 431.			
ESQUEMA DEL DISPOSITIVO			



7.3.5. Diseño de columna T-101

Para iniciar el diseño de la torre fraccionadora de productos por destilación se detallan los siguientes datos requeridos, que tienen que ver con el condensador y reboiler, por un lado, y la caída de presión empleada por el otro. También se deben calcular las temperaturas de diseño en tope y fondo, y la presión de diseño de la columna.

Condensador empleado:	Parcial. Productos en fase líquido (aproximadamente 95%) y en fase vapor
Reboiler empleado:	Kettle
Caída de presión [kg/cm²]:	0,5

Tabla 43: Datos y condiciones de operación de la columna requeridos para el diseño.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

A continuación, se detallan los criterios de diseño para la temperatura de estos recipientes, según el rango de temperatura en el que se encuentra el líquido contenido. Como recipientes considerados, se tienen equipos tales como torres de destilación, separadores horizontales y tanques de almacenamiento.

$$1^{\circ} \text{ criterio: } T_D(\text{Rango de } T \text{ entre } 120 - 650 \text{ }^{\circ}\text{F}) = T_{m\acute{a}x} + 50 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$2^{\circ} \text{ criterio: } T_D(\text{Rango de } T \text{ entre } 650 - 850 \text{ }^{\circ}\text{F}) = 0.9T_{m\acute{a}x}$$

→ En accesorios no aislados

$$2^{\circ} \text{ criterio: } T_D(\text{Rango de } T \text{ entre } 650 - 850 \text{ }^{\circ}\text{F}) = T_D = T_{m\acute{a}x}$$

→ En accesorios aislados

$$3^{\circ} \text{ criterio: } T_D(T > 850 \text{ }^{\circ}\text{F}) = T_D = 650 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Como el rango de temperaturas T se encuentra entre 150 y 545 °F, se calcula la T_D según el primer criterio impuesto por el código ASME (2003), esto es:

$$T_D(\text{Rango de } T \text{ entre } 120 - 650 \text{ }^{\circ}\text{F}) = T_{m\acute{a}x} + 50 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Con la T_{máx} igual a 545,36 °F, entonces:

$$T_D = 545,36 \text{ }^{\circ}\text{F} + 50 \text{ }^{\circ}\text{F} = 595,36 \text{ }^{\circ}\text{F} = 312,97 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por su parte, la presión de diseño P_D será determinada por la influencia de la presión de vapor, cabezal estático, presión de succión de las bombas y cambios en el peso específico del fluido (según el código ASME del 2003). Se debe tener en cuenta que la presión mínima de diseño de cualquier equipo es de 16 psig. A continuación, se detallan los criterios de diseño para la presión de recipientes, en los que, también, se encuentran torres de destilación, tanques almacenadores y separadores horizontales.



$$1^{\circ} \text{ criterio: } P_D(P < 250 \text{ psig}) = P_{op} + 25 \text{ psig}$$

$$2^{\circ} \text{ criterio: } P_D(250 \text{ psig} < P < 580 \text{ psig}) = 110\%P_{op}$$

$$3^{\circ} \text{ criterio: } P_D(580 \text{ psig} < P < 1160 \text{ psig}) = P_{op} + 58 \text{ psi}$$

$$4^{\circ} \text{ criterio: } P_D(P_{op} = 1160) = 105\%P_{op}$$

Como la presión más alta de operación en la columna es de 31,29 psig (presión del último plato), se utilizará el primer criterio de diseño impuesto por el código ASME (2003), esto es:

$$P_D(P < 250 \text{ psig}) = P_{op} + 25 \text{ psig}$$

$$P_D = 31,29 \text{ psig} + 25 \text{ psig} = 56,29 \text{ psig} = 3,95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El paso siguiente consiste en determinar las propiedades del producto principal (DV), en referencia con la operación de destilación, para ello, se cuenta con los datos de destilación D-86 del DV. En adición, se toman los mismos datos para la JP verde (o nafta verde):

%V	DV	DV	JP	JP
	°C	°F	°C	°F
0,20% IBP	192,50	378,50	156,90	314,42
5%	219,80	427,64	171,70	341,06
10%	230,60	447,08	175,60	348,08
30%	258,50	497,30	186,30	367,34
50%	283,80	542,84	194,50	382,10
70%	311,70	593,06	203,90	399,02
90%	349,70	661,46	218,10	424,58
95%	364,80	688,64	224,50	436,10
97,80% EBP	377,90	712,22	236,50	457,70

Tabla 44: Destilación D-86 para el producto principal DV, y el subproducto JP verde o Green Jet Fuel.

Fuente: Rueda, H. [Apuntes de cátedra].

Realizando una comparación con los rangos de destilación de distintas fracciones de petróleo, se puede orientar y determinar el rango de temperaturas de trabajo:



Boiling Point (°F)	Boiling Point (°C)	Producto obtenido
< 30	< 0	Gas + GLP
100-390	38-200	Gasolina + Nafta
390-540	200-280	Kerosene + Jet fuel
540-625	280-330	Diésel
625-700	330-370	Gas oil atmosférico
700-1000	370-540	Gas oil pesado
> 1000	> 540	Residuo de fondo

Tabla 45: Productos obtenidos según el rango de temperatura determinado en la torre de fraccionamiento.

Fuente: Torres Melchor y Pérez Cortes, 2014, p. 38.

Entonces, graficando la curva D-86 se tiene información para continuar el diseño. El punto crítico, con un valor del 10%, determina el punto a partir del cual se puede desplazar la temperatura hacia el corte más liviano y pesado del DV.

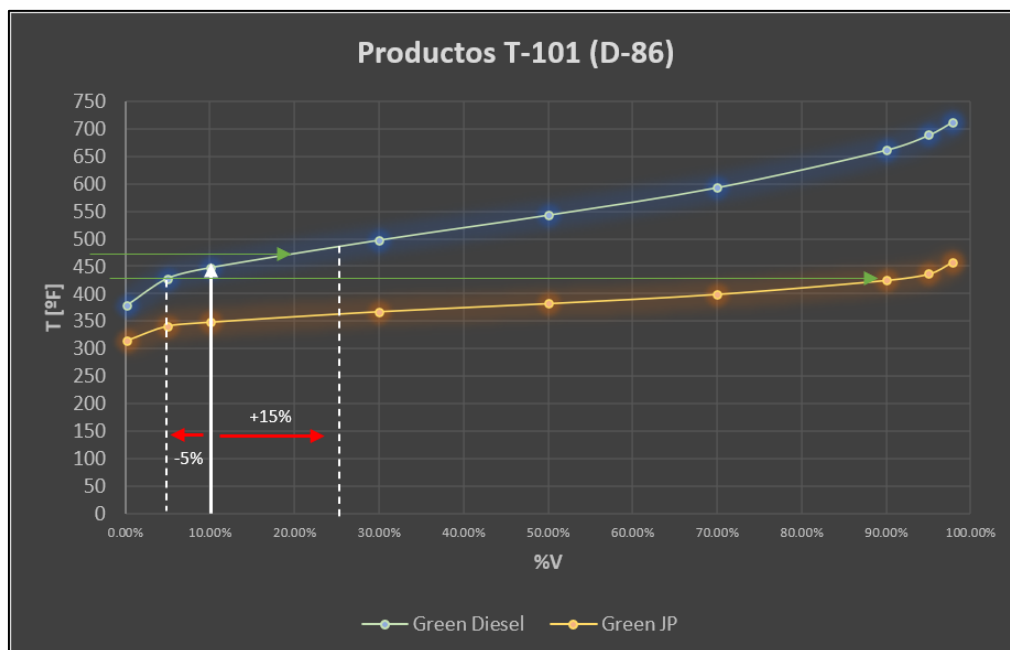


Figura 64: Representación gráfica de la curva D-86 para el DV y el Green JP.

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros GAP y OVERLAP son una medición de la eficiencia de la separación que se efectúa en la columna de destilación. El procedimiento para definir estos dos parámetros se basa en la confrontación de las curvas ASTM de dos destilados adyacentes. Como muestra el gráfico, se registran temperaturas



en las cuales resulta evaporado entre el 5%-20% (aproximado para este caso) y el 95% del volumen de líquido de los dos productos que se quieren caracterizar. Se calcula la diferencia de temperatura definida por la siguiente expresión:

$$\Delta T = T_{i;20\%} - T_{j;90\%}$$

Recordando que se obtendrá como producto principal al DV, y como fracción de producto adyacente al JP verde, se realiza el siguiente cálculo. Donde los subíndices i y j indican dos productos adyacentes, en particular: i referido a la fracción menos volátil, y j referido a la fracción más volátil. Si el resultante es positivo se habla de GAP, y la separación se considera de buena calidad, mientras que, si el resultante da negativo se habla de OVERLAP y la separación es de baja calidad (caso adverso). En la siguiente tabla se representan los valores típicos del GAP de fraccionamiento para productos destilados del petróleo. Como aclaración, y siendo válida para este diseño, el kerosene puede ser considerado como turbo jet o JP.

Corriente	GAP típico
Nafta y kerosene	-20 a +45 °F
Kerosene y diésel	-50 a +35 °F
Diésel y gas-oil atmosférico	-150 a +0 °F

Tabla 46: Valores típicos de GAP para la obtención de diferentes productos.

Fuente: Torres Melchor y Pérez Cortes, 2014, p. 37.

Entonces, el GAP de diseño queda establecido de la siguiente forma:

$$\Delta T = 475,5 \text{ } ^\circ F - 436,1 \text{ } ^\circ F = 39,4 \text{ } ^\circ F = 21,9 \text{ } ^\circ C$$

Corresponde, por lo tanto, a un valor correcto dentro del rango típico para esta operación.

A partir de los datos empleados en la simulación del proceso, llevada a cabo en el programa PRO II, se elabora el siguiente balance de masa en la columna de destilación, donde, a partir de una alimentación líquido-vapor en kmol/h se encuentra el caudal en m³/h, para luego operar en una base de cálculo de m³/día, también se procede a realizar lo mismo, pero con el producto de fondo.

Por último, se calcula la relación volumétrica entre los productos de fondo y tope, respectivamente, respecto a la alimentación.

$$F = 25,94 \frac{\text{kgmol}}{\text{h}} \rightarrow 100\%$$

$$F_{\text{vapor}} = 0,05 \cdot F = 1,34 \frac{\text{kgmol}}{\text{h}} \rightarrow 5\% \text{ del total}$$



$$PM_{vapor} = 25,94 \frac{kg}{kgmol}$$

$$\rho_{vapor} = 4 \frac{kg}{m^3}$$

$$F_{líquido} = 0,95 \cdot F = 24,60 \frac{kgmol}{h} \rightarrow 95\% \text{ del total}$$

$$PM_{líquido} = 197,67 \frac{kg}{kgmol}$$

$$\rho_{líquido} = 810,18 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces, para calcular el caudal volumétrico en la alimentación:

$$Q_{vapor;F} = \frac{(F_{vapor} \cdot PM_{vapor})}{\rho_{vapor}} = 8,66 \frac{m^3}{h} = 207,91 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{líquido;F} = \frac{(F_{líquido} \cdot PM_{líquido})}{\rho_{líquido}} = 6 \frac{m^3}{h} = 144,07 \frac{m^3}{d}$$

Se realiza el procedimiento análogo para el producto de fondo:

$$B = 22,40 \frac{kgmol}{h}$$

$$PM_{B;líquido} = 210,66 \frac{kg}{kgmol}$$

$$\rho_{B;líquido} = 686,34 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_B = \frac{(B \cdot PM_{B;líquido})}{\rho_{B;líquido}} = 6,88 \frac{m^3}{h} = 165,01 \frac{m^3}{d}$$

Luego, se puede establecer la siguiente relación molar:

$$(B/F)_{\%Mol} = \frac{22,40 \frac{kgmol}{h}}{25,94 \frac{kgmol}{h}} = 86,35\%$$

$$(D/F)_{\%Mol} = 1 - (B/F)_{\%Mol} = 13,65\%$$

Por lo tanto:

$$D = 0,136 \cdot F = 3,54 \frac{kgmol}{h} \rightarrow 13,65\% \text{ del total}$$



Queda establecido, entonces, el balance de masa de la columna formado por F, B y D, siendo estos parámetros la alimentación, producto de fondo y producto de tope, respectivamente:

Corriente	Caudal volumétrico (m ³ /d)	Caudal molar (kgmol/h)
F (Alimentación)	144,07 (95% líquido) + 207,91 (5% vapor)	25,94
D (Tope)	A determinar según datos de simulador	3,54
B (Fondo)	165,01	22,40

Tabla 47: Balance de masa simplificado de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

Determinando los límites inferior y superior, a partir de establecer como referencia el punto crítico, se calculan los factores de solapamiento S_b y S_d con la figura 65.

S_b y S_d se calculan con las siguientes expresiones, y permiten ingresar al siguiente gráfico para obtener un GAP máximo de diseño:

$$S_b = \frac{(T_{\text{Separación; corte pesado}} - T_{\text{Separación; punto crítico}})}{\text{Límite superior} - \text{Punto crítico}}$$
$$S_d = \frac{(T_{\text{Separación; punto crítico}} - T_{\text{Separación; corte liviano}})}{\text{Punto crítico} - \text{Límite inferior}}$$

Entonces:

$$S_b = \frac{(475 \text{ } ^\circ\text{F} - 447,08 \text{ } ^\circ\text{F})}{25\% - 10\%} = 1,86$$
$$S_d = \frac{(447,08 \text{ } ^\circ\text{F} - 427,6)}{10\% - 5\%} = 3,89$$

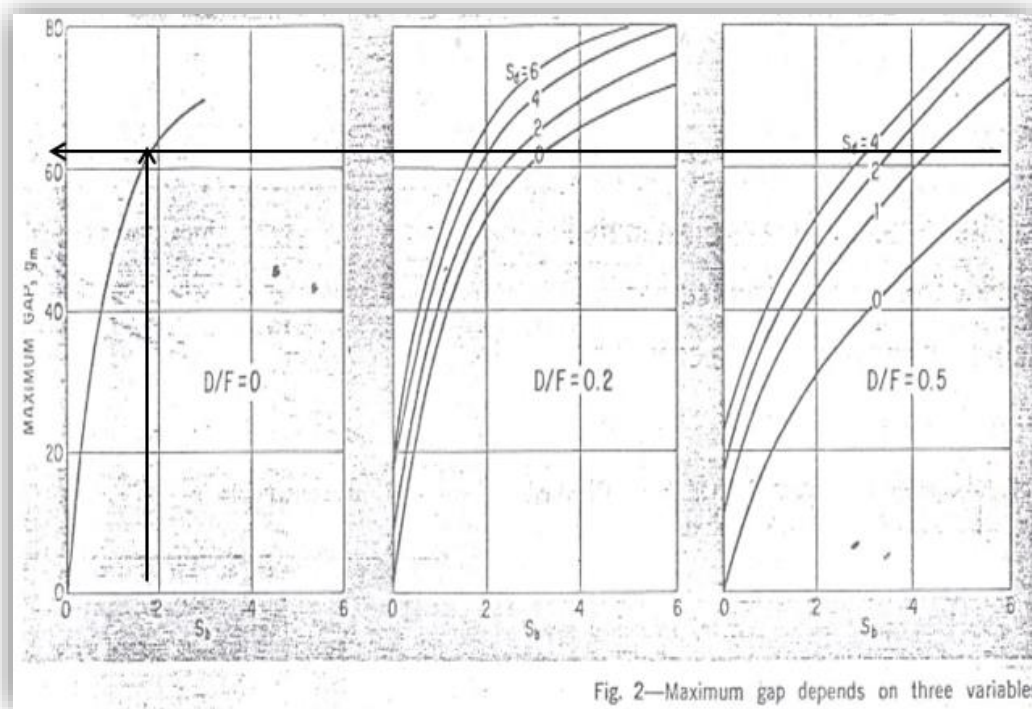


Fig. 2—Maximum gap depends on three variables

Figura 65: Dependencia del GAP con los parámetros S_b y S_d .

Fuente: Broughton y Vitti, 1992, pp.430-442.

Entonces, se obtiene de la *figura 65*, con $D/F=0,1$ (aproximado) un GAP máximo admisible de 62°F , el cual debe ser superior al GAP de diseño.

Luego, se calcula otro factor de solapamiento S_a con la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{S_b + S_d}{2} = \frac{(1,86 + 3,89)}{2} = 2,87$$

Con el valor de S_a , se ingresa al siguiente gráfico, en donde se calcula un parámetro adicional S_c , recordando que, a valores altos de S_o , este coincide con S_c .

Entonces, el valor de S_c (último parámetro a calcular) se obtiene con la *figura 66*:

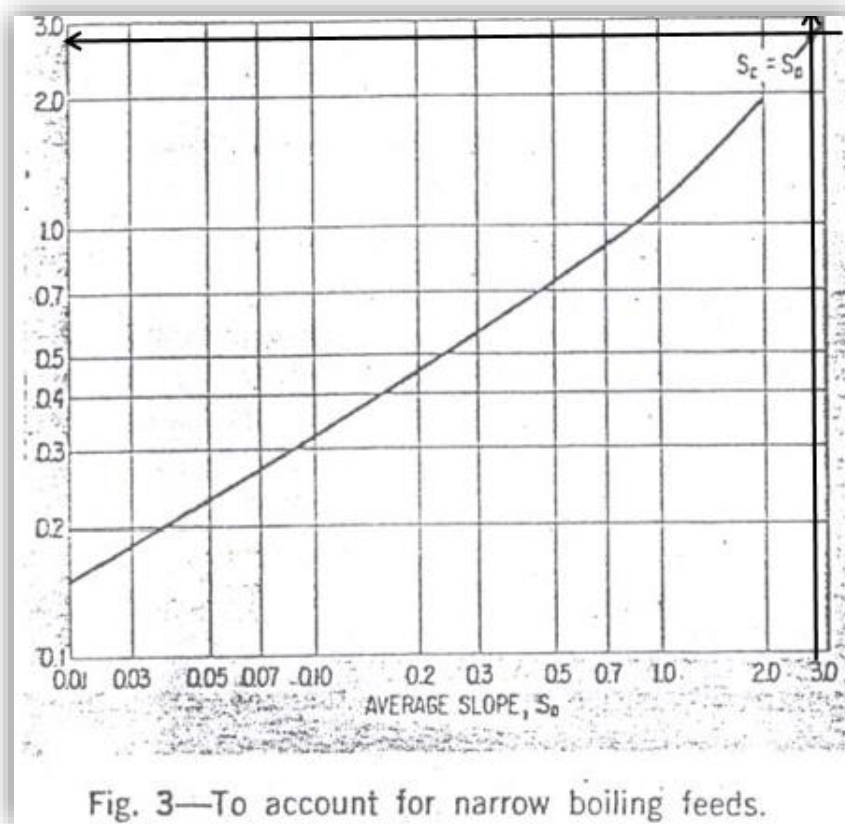


Figura 66: Relación entre S_o y S_c .

Fuente: Broughton y Vitti, 1992, pp.430-442.

Quedando:

$$S_o = S_c = 2,87$$

El rango, se define con las temperaturas ya conocidas, su expresión de cálculo es la siguiente:

$$\text{Rango } r = T_{99\% \text{ según } D-86} - T_{0,2\% \text{ según } D-86} = 712,22 - 378,50 = 333,7 \text{ } ^\circ F$$

Se calcula el parámetro A, y los relacionados con el mismo:

$$A = \frac{r + GAP_{\text{diseño}}}{r + GAP_{\text{máx admisible}}} = \frac{333,7 \text{ } ^\circ F + 39,40 \text{ } ^\circ F}{333,7 \text{ } ^\circ F + 60 \text{ } ^\circ F} = 0,95$$

$$A = 1 - A = 1 - 0,95 = 0,05$$

Con el valor de 1-A, se ingresa al siguiente gráfico y se calcula la relación entre el número de etapas mínimas teóricas a reflujo total NTSM o n_m , y el parámetro B (función de la presión):

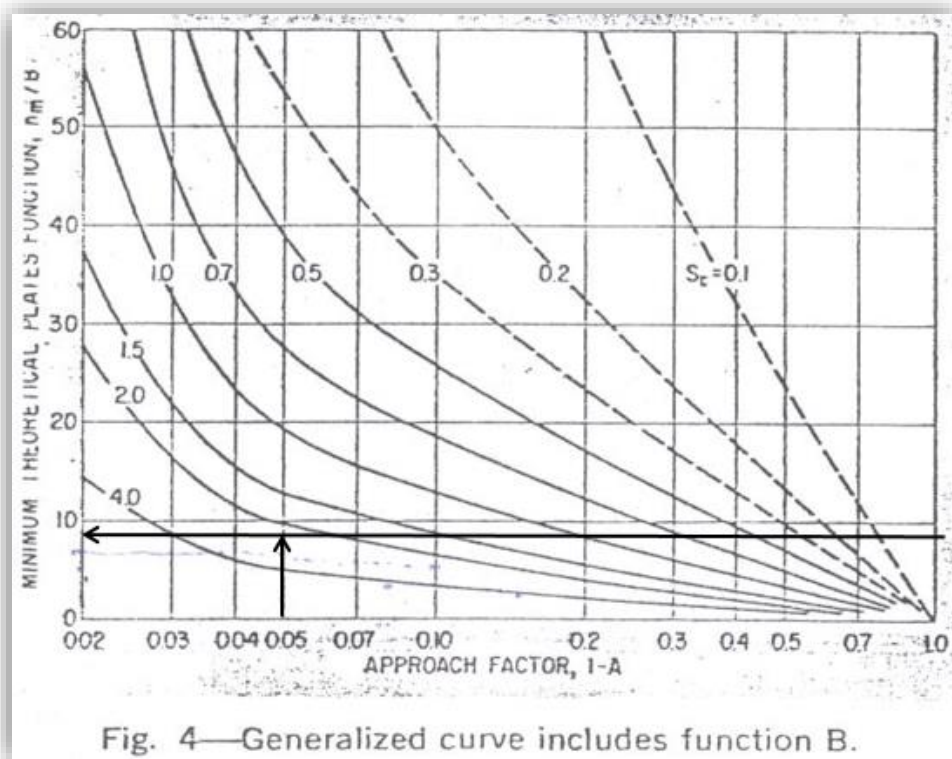


Figura 67: Relación entre el parámetro 1-A y el cociente entre el n_m y B.

Fuente: Broughton y Vitti, 1992, pp.430-442.

Entonces, del gráfico:

$$\frac{n_m}{B} = 8,5$$

Con el dato de la presión (fijada en 29,315 psia), se calcula el parámetro función de la presión, o parámetro B. Para ello, se recurre a la *figura 68*:

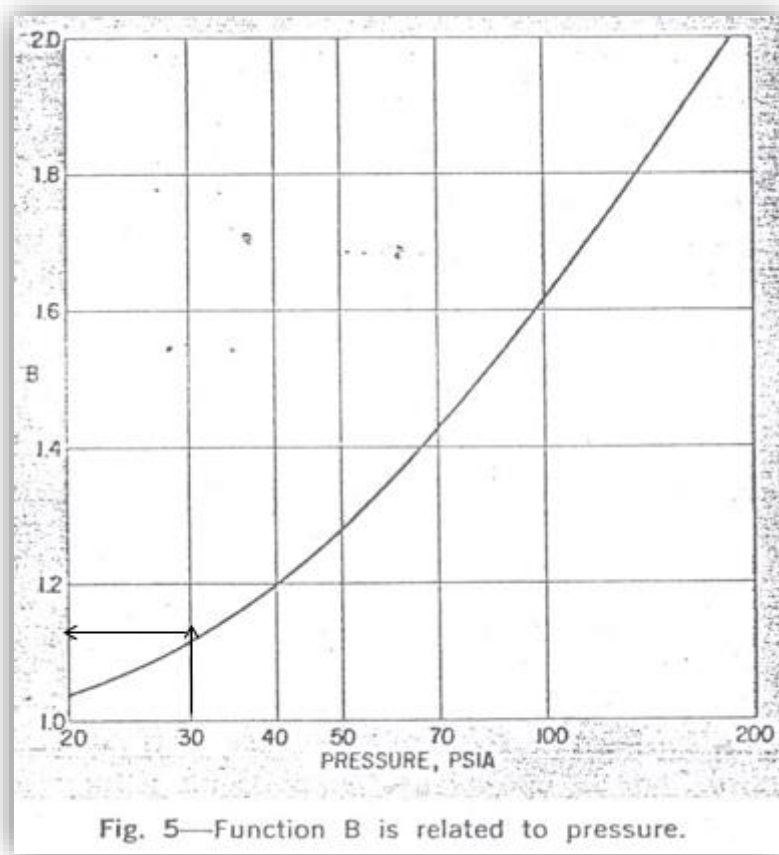


Figura 68: Relación entre el parámetro B y la presión de operación de la torre.

Fuente: Broughton y Vitti, 1992, pp.430-442.

Entonces:

$$B = 1,1$$

Con el parámetro B, se puede calcular NSTM:

$$NTSM = n_m = 8,5 \cdot B = 8,5 \cdot 1,1 = 9,52$$

Redondeando:

$$NTSM = n_m = 10$$

Para obtener el reflujo mínimo volumétrico, se ingresa al gráfico (*figura 69*) con NTSM y S_c :

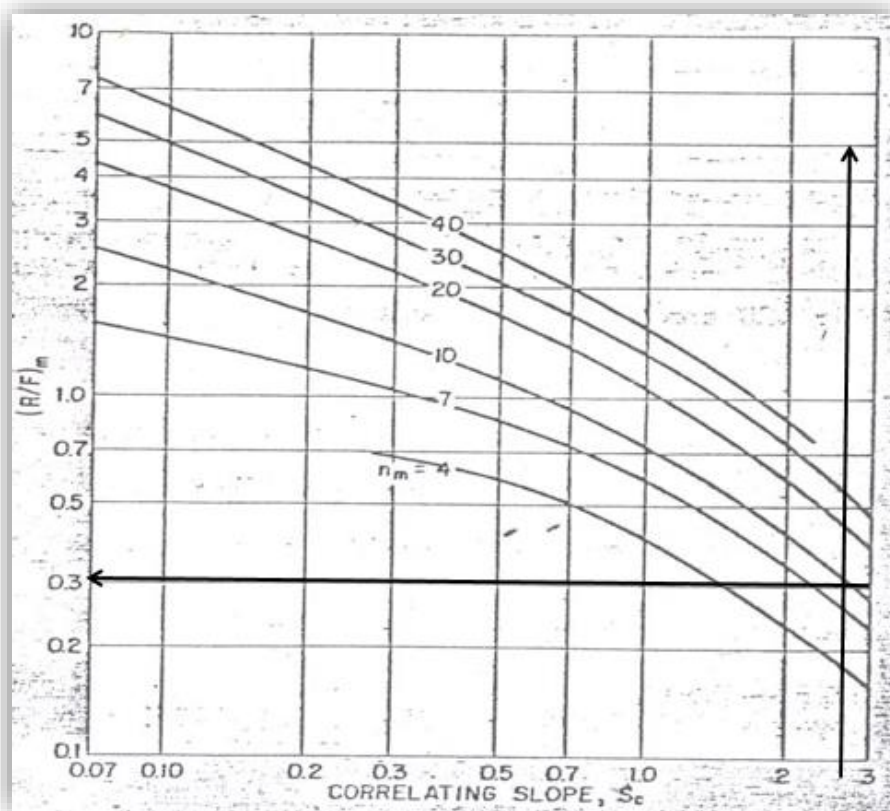


Figura 69: Relación entre el parámetro S_c y n_m para determinar el reflujo referido a la alimentación mínimo.

Fuente: Broughton y Vitti, 1992, pp.430-442.

Entonces:

$$\text{Reflujo mínimo volumétrico } R_{\min} = (R/F)_{\min} = 0,30$$

Se requieren datos adicionales, como son el factor operativo F_{OP} , que tiene un valor de 1,5 y tiene en cuenta las relaciones de reflujo en función de los costos operativos, y por otro lado la presión de operación de la columna, la cual se fija en dos veces el valor de la presión atmosférica (29,391 psig).

Con el factor operativo F_{OP} , se puede calcular también el reflujo operativo volumétrico R_{OP} :

$$\text{Reflujo operativo } R_{OP} = (R/F)_{OP} = (R/F)_{\min} \cdot F_{OP} = 0,30 \cdot 1,5 = 0,45$$

Los parámetros x e y deben ser calculados para poder determinar las etapas teóricas y reales, y también las eficiencias teóricas y reales:

El parámetro x se calcula algebraicamente, mientras que el parámetro y se calcula con la *figura 70*. El parámetro y relaciona el número de etapas mínimas y teóricas:



$$\text{Parámetro } x = \frac{R_{OP} - R_{\text{mín}}}{R_{OP} - \left(\frac{D}{F}\right)_{(\%vol)}} = \frac{0,45 - 0,30}{0,45 - 0,10} = 0,27$$

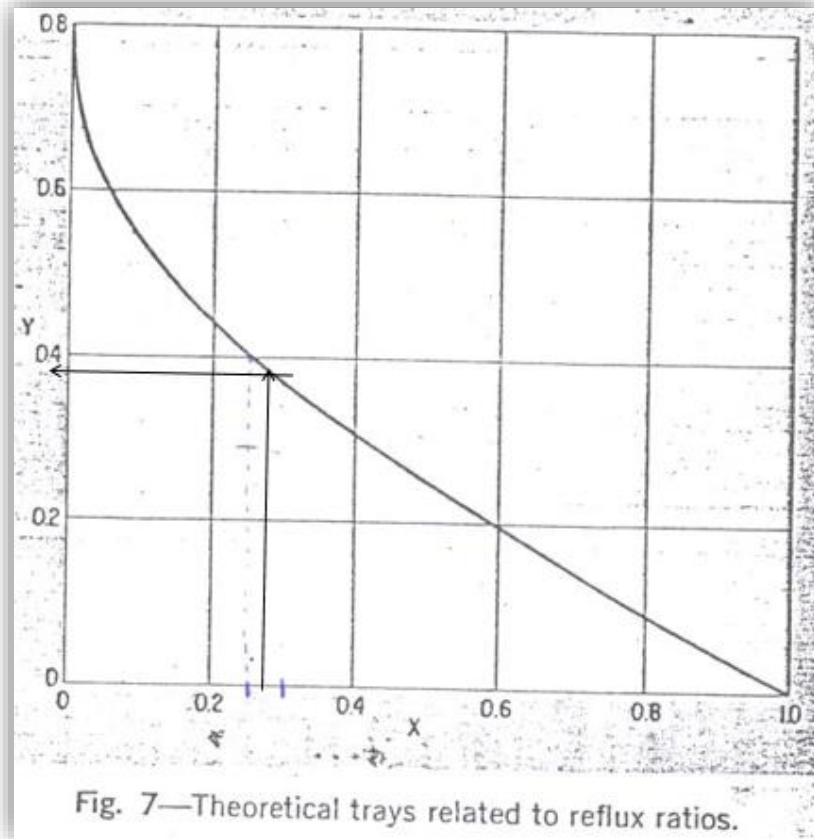


Figura 70: Relación entre los parámetros x e y.

Fuente: Broughton y Vitti, 1992, pp.430-442.

$$\text{Parámetro } y = 0,38$$

Se calculan las NTS, NRS y las eficiencias teórica y real:

$$\text{Número de etapas teóricas } NTS = (NTSM + y)/(1 - y) = \frac{(10 + 0,38)}{(1 - 0,38)} = 17$$

$$\text{Eficiencia teórica } \eta_t = NTSM/NTS = \frac{10}{17} = 60\%$$

$$\text{Eficiencia real } \eta_r = 70\%$$

$$\text{Número de etapas reales } NRS = (NTS/\eta_r) = (17/0,60) = 24$$

El cálculo de la eficiencia real fue obtenido de bibliografía consultada, según los datos característicos de la columna a diseñar.



Para obtener el plato óptimo de alimentación, se realiza un mínimo análisis comparativo según los requerimientos energéticos del condensador y reboiler de la columna, variando el respectivo plato de alimentación. Cabe destacar que, por la complejidad del presente caso de estudio, se omitió el cálculo por el método de Kirkbride.

Los datos mostrados se obtuvieron de la simulación del proceso efectuada en PRO II.

Nº plato	Duty condensador (Mcal/h)	Duty reboiler (Mcal/h)	Duty total (Mcal/h)
2	-2,0054	2,4754	4,4808
3	-1,3252	1,7954	3,1206
4	-0,9199	1,3901	2,3100
5	-0,6596	1,13	1,7896
6	-0,5008	0,9712	1,472

Tabla 48: Análisis comparativo entre los requerimientos térmicos de la columna, según el plato de alimentación.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

Por lo tanto, se podría establecer como óptimo el plato número 6 para el ingreso de la alimentación, ya que el requerimiento energético es menor que en el resto.

Respecto a los cálculos constructivos, el primero a considerar es el diámetro de la columna. También se recogieron una serie de datos a considerar para el diseño del equipo.

Nº plato	Vapor (m ³ /s)	Líqu. (m ³ /s)	Load (m ³ /s)	D (mm)	FF	N P	ΔP (kg/cm ²)	Weir rate (cm ³ /s/mm)	Downcomer backup, PCT Espaciado e/ platos
2	0,272	0,0025	0,027	1067	37,0	1	0,004	3,243	31,26
3	0,288	0,0029	0,029	1067	40,4	1	0,004	3,632	32,06
4	0,279	0,0029	0,029	1067	40,1	1	0,004	3,664	32,06
5	0,267	0,0029	0,028	1067	39,0	1	0,004	3,628	31,91



6	0,404	0,0063	0,043	1067	61,7	1	0,006	7,958	42,87
7	0,443	0,0071	0,048	1067	69,5	1	0,007	8,934	47,51
8	0,444	0,0072	0,049	1067	70,5	1	0,007	9,095	48,16
9	0,443	0,0073	0,049	1067	71,0	1	0,007	9,196	48,48
10	0,441	0,0074	0,050	1067	71,4	1	0,007	9,294	48,77
11	0,439	0,0075	0,050	1067	71,8	1	0,007	9,397	49,09
12	0,438	0,0076	0,050	1067	72,3	1	0,007	9,504	49,44
13	0,437	0,0076	0,051	1067	72,9	1	0,008	9,618	49,84
14	0,437	0,0077	0,051	1067	73,5	1	0,008	9,741	50,29
15	0,438	0,0078	0,051	1067	74,3	1	0,008	9,876	50,84
16	0,374	0,0066	0,042	1067	61,1	1	0,006	8,318	42,96

Tabla 49: Datos constructivos de la columna.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

Respecto a la altura total de la torre de destilación. Para el cálculo, se consideran todas las zonas que conforman la torre, como son: altura en la zona de rectificación, altura en la zona de agotamiento, altura de la alimentación, altura del tope de la columna y la altura del fondo de la columna.

La ecuación empleada es la que se muestra a continuación (Almengló, 2007, pp. 27-31):

$$H_{Total} = H_D + H_W + H_z + H_T + H_B$$

Donde H_{Total} es la altura total de la columna en metros, H_D y H_W las alturas en la zona de rectificación y agotamiento, respectivamente, también medidas en metros.

H_z es la altura de la zona de alimentación (en metros), finalmente, H_T y H_B son las alturas del tope y fondo de la columna (también en metros), respectivamente.

Para el cálculo de la altura de la zona de rectificación, se utiliza la siguiente expresión:

$$H_D = [(N_D - 1) \cdot t] + (N_D \cdot l) = [(6 - 1) \cdot 0,4 \text{ m}] + (6 \cdot 0,04 \text{ m}) = 2,24 \text{ m}$$

Donde:

- ❖ N_D : Número de platos reales en la zona de rectificación.
- ❖ t : Espaciamiento entre platos, medido en metros. Este valor debe ser estimado por experiencias probadas de diseño, sin embargo, las restricciones impuestas por el simulador de procesos exigen que el valor se fije entre 0,3 y 1,2 metros, por lo que se establece un valor fijado en 0,4 m.



- ❖ l : Espesor de plato, medido en metros. Análogo al parámetro anterior, se fija un valor de 0,04 m, dadas las buenas prácticas que se aplican para este diseño.

Para el cálculo de la altura de la zona de agotamiento, se utiliza la siguiente expresión:

$$H_W = [(N_W - 1) \cdot t] + (N_W \cdot l) = [(18 - 1) \cdot 0,4 \text{ m}] + (18 \cdot 0,04 \text{ m}) = 7,52 \text{ m}$$

Donde:

- ❖ N_W : Número de platos reales en la zona de agotamiento.
- ❖ t : Espaciamiento entre platos, medido en metros.
- ❖ l : Espesor de plato, medido en metros.

Lo que se plantea a continuación es el cálculo de la altura en la zona de alimentación. Como la carga consta de vapor, se recomienda un incremento de 6 pulgadas para un desempeño satisfactorio. También es recomendable ubicar un paso de hombre o *manhole* sobre el plato de alimentación. Además, se considera un incremento de 3 pulgadas para iniciar la separación tanto en la zona de agotamiento como en la zona de rectificación.

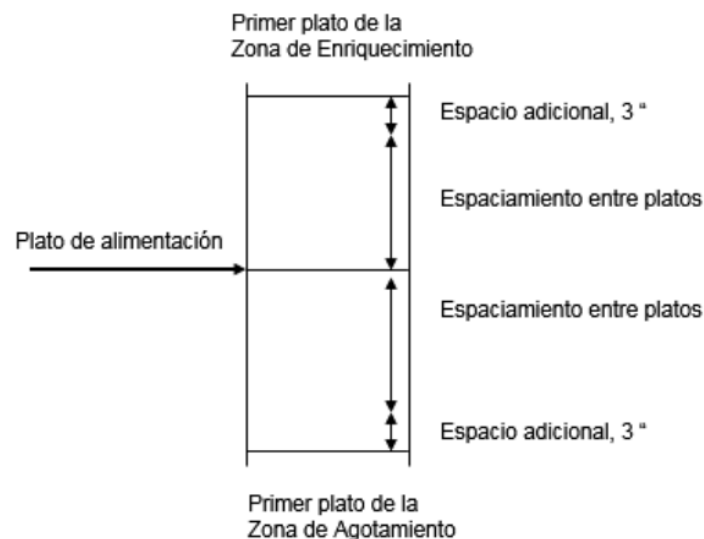


Figura 71: Esquema de la altura en la zona de alimentación.

Fuente: Venegas, 2018, p. 37.

Quedando:

$$H_z = 6 \text{ in} + 2 \cdot (3 \text{ in}) = 12 \text{ in} = 0,3048 \text{ m}$$

Para el cálculo de la altura del tope de la columna, se cuentan con todas las dimensiones que deben ser consideradas en la siguiente figura:

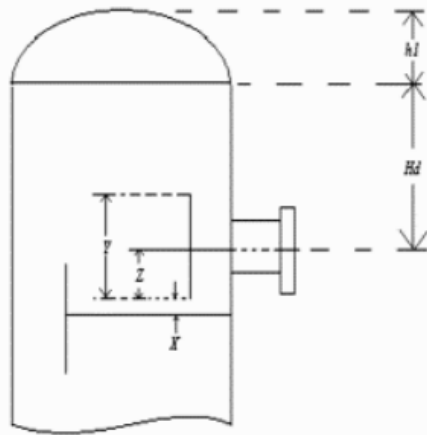


Figura 72: Esquema de las dimensiones presentes en el tope de la columna.

Fuente: Venegas, 2018, p. 37.

Se emplea la siguiente ecuación para determinar la altura total del tope de la columna:

$$H_T = h_1 + x + z$$

Donde:

- ❖ h_1 : Altura de la tapa torisférica, en metros. Debido a las buenas prácticas que se emplean en este diseño, se escogió como forma de cálculo una que tiene en cuenta el diámetro de la columna D_{columna} .
- ❖ x : Altura de la cresta sobre el rebosadero, en metros.
- ❖ z : Diámetro interior de la boquilla, en metros.

La altura de la cresta sobre el rebosadero y el diámetro interior de la boquilla son calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$x = 0,05 \text{ in} = 0,0012 \text{ m (criterio de construcción)}$$

$$z = 3,95 \cdot q_f^{0,45} \cdot \rho^{0,13}$$

Donde:

- ❖ q_f : Caudal de la alimentación, en ft^3/s .
- ❖ ρ : Densidad del líquido en el fondo, en lb/in^3 .

Calculando, y asumiendo que la alimentación es un 100% líquido):

$$q_f = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,059 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

$$\rho = 686,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,0248 \text{ lb}/\text{in}^3$$



$$z = 3,95 \cdot q_f^{0,45} \cdot \rho^{0,13} = 3,95 \cdot (0,059 \frac{ft^3}{s})^{0,45} \cdot (0,0248 lb/in^3)^{0,13} = 0,674 m$$

$$h_1 = 0,169 \cdot D_{columna} = 0,169 \cdot (1,067 m) = 0,18 m$$

Quedando:

$$H_T = h_1 + x + z = 0,18 m + 0,0012 m + 0,674 m = 0,86 m$$

Respecto al cálculo de la altura del fondo de la columna, al igual que en el tope de la misma, existe una boquilla de retorno al rehervidor como se observa en la siguiente figura. La distancia desde el centro de la boquilla hasta el límite superior del fondo de la columna debería ser igual a 36 pulgadas, además se recomienda una distancia adicional de 12 pulgadas desde el centro de la boquilla hacia el borde donde inicia la altura h_1 , puesto que la boquilla no debe encontrarse cerca del nivel máximo de líquido de fondo.

Por estas razones se debe considerar una distancia de 48 pulgadas (1,22 m), como se presenta en la ecuación que sigue:

$$H_B = h_1 + h_2 + 1,22 m$$

Donde:

- ❖ h_1 : Altura, V/A, en metros.
- ❖ h_2 : Altura de la tapa torisférica, en metros.

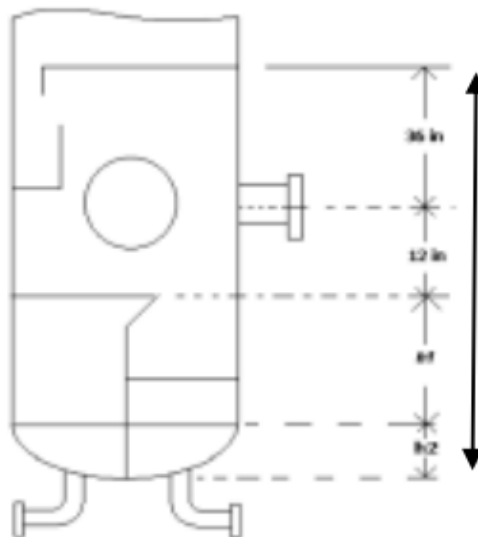


Figura 73: Esquema de las dimensiones del fondo de la columna.

Fuente: Venegas, 2018, p. 38.

La siguiente ecuación permite determinar la altura de la zona donde inicia la separación al relacionar el volumen de separación con el área de contacto:



$$h_1 = \frac{V}{A} = \frac{L \cdot \theta}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

Donde:

- ❖ L: Flujo del líquido en el fondo, medido en kg/h.
- ❖ θ : Tiempo de residencia en horas.
- ❖ ρ_L : Densidad del líquido en el fondo, medido en kg/m³.
- ❖ D: Diámetro del fondo, medido en metros. Es coincidente con el diámetro de la columna.

Entonces, calculando:

$$h_1 = \frac{V}{A} = \frac{4720 \frac{kg}{h} \cdot 0,35h}{\frac{\pi}{4} \cdot (1,067 m)^2} = 2,693 m$$

$$h_2 = 0,169 \cdot (1,067 m) = 0,18 m$$

$$H_B = h_1 + h_2 + 1,22 m = 2,693 m + 0,18 m + 1,22 m = 4,094 m$$

Finalmente, la altura total de la columna queda:

$$H_{Total} = H_D + H_W + H_z + H_T + H_B$$

$$H_{Total} = 2,24 m + 7,52 m + 0,3048 m + 0,86 m + 4,094 m = 15 m$$

Se puede establecer, también, una relación de esbeltez entre el largo y el ancho de la torre, quedando de la siguiente forma:

$$L/D = \frac{15 m}{1,067 m} = 14$$

Como consideración final, se puede optar por seguir un diseño más riguroso para disminuir la relación obtenida anteriormente, de modo tal que el diseño constructivo sea lo más seguro y eficiente posible.

La hoja de especificación del equipo se muestra a continuación.



Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE COLUMNA DE DESTILACIÓN			
DENOMINACION: FRACCIONADORA DE HIDROCARBUROS		FECHA:			
UNIDAD: T-101		REVISION:			
SERVICIO: FRACCIONA DISTINTOS PRODUCTOS DE PROCESO		LOCACION:			
DATOS GENERALES					
DENOMINACION DE EQUIPO		COLUMNA DE PLATOS		Hoja	1 de 2
FUNCIÓN		Separación de los distintos cortes de hidrocarburos			
PROVEEDOR/FABRICANTE				TAG N°:	T-101
DIRECCIÓN		Camino Vergara entre kilómetros 2 y 2,5		TELÉFONO	
CIUDAD		Ensenada	DPTO/ESTADO	Pcia. De Buenos Aires	PAÍS Argentina
DATOS DE OPERACIÓN					
FLUIDO	ENTRADA		SALIDA TOPE		SALIDA FONDO
	Líquido	Vapor	Propano Verde	JP Verde	Diésel Verde
DESTINO	-	-	Línea proceso	TK Almac.	TK Almac.
ETAPA	6	6	1	1	17
CAUDAL [kg/h]	4863.00	34.65	113	65.75	4720
FASE VAPOR [%]	95	5	100	0	0
TEMPERATURA [°C]	110.5	110.5	65	65	285.3
PRESION [Kg/cm2]	5	5	1.7	1.7	2.2
DENSIDAD [Kg/m3]	810.18	4	2.20	766.27	686.34
CAIDA DE PRESION [kg/cm2]			0.5		
DATOS CONSTRUCTIVOS					
MATERIAL DE CONSTRUCCION		Acero al carbono		ESQUEMA DEL EQUIPO 	
PRESION DE DISEÑO [kg/cm2]		3.95			
TEMP. TOPE DISEÑO [°C]		313			
TEMP. FONDO DISEÑO [°C]		313			
GEOMETRIA CUERPO		Cilíndrica			
GEOMETRIA CABEZAL		Torisféricos			
PESO COLUMNA VACÍA [kg]		4524			
PESO COLUMNA EN OPERACIÓN [kg]		8916			
ALTURA DEL CUERPO [m]		14.14			
ALTURA DEL CABEZAL [m]		0.86			
ALTURA TOTAL [m]		15.00			
DIAMETRO INTERNO [m]		1.07			
ESPESOR CUERPO [m]		0.01			
ESPESOR DEL CABEZAL [m]		0.17			
CONEXIONES BRIDADAS		5			
JUNTAS DE ENTRADA DE HOMBRE		1			
TIPO		BRIDADA/C-DAVIT			
ACCESORIOS					
-La unidad no cuenta con "Side Strippers" por lo que el balance de masa queda simplificado					
-Condensador parcial líquido-vapor y rehervidor tipo kettle.					



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE COLUMNA DE DESTILACIÓN		
DENOMINACION: FRACCIONADORA DE HIDROCARBUROS		FECHA:		
UNIDAD: T-101		REVISION:		
SERVICIO: FRACCIONA DISTINTOS PRODUCTOS DE PROCESO		LOCACION:		
DATOS GENERALES				
DENOMINACION DE EQUIPO	COLUMNA DE PLATOS	Hoja	2 de 2	
FUNCIÓN	Separación de los distintos cortes de hidrocarburos			
DISEÑO DISPOSITIVO DE CONTACTO (INTERNOS)				
Nº DE PLATOS	24		<p>ESQUEMA DE PASO</p> <p>Vertederos laterales</p> <p>Dirección de flujo</p> <p>1 paso por unidad de transferencia</p>	
TIPO DE PLATO	Platos con válvulas			
ESPESOR [m]	0.04			
AREA TOTAL [m2]	0.89			
AREA DE BURBUJEO [m2]	0.73			
DIAMETRO DE VALVULAS [mm]	47.63			
ANCHO VERTEDERO LATERAL [m]	0.18			
ESPACIADO ENTRE PLATOS [m]	0.4			
PASOS	1			
FACTOR DE INUNDACION (FF) [%]	60			
TIPO DE VALVULAS	Valvula tipo "A"			
Nº DE VALVULAS	89			
DIAMETRO DEL ORIFICIO [mm]	12.70			
% DE APERTURA	25			
ALTURA ESTIMADA DE APERTURA [m]	0.01			
PROVEEDOR	Koch-Flexitrays			
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero al carbono			
EFICIENCIA DE PLATO [%]	56			
ESQUEMA DEL DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA				
<p>0,71 m</p> <p>0,18 m</p> <p>0,18 m</p> <p>Área lateral de vertedero-bajante</p> <p>Ø 12,7 mm</p>				
OBSERVACIONES				
- Se detallara mas informacion de internos en ingenieria de detalle.				



7.3.6. Diseño del intercambiador de calor E-109

Para el diseño del equipo en cuestión se cuentan con los datos del tipo de fluido que circulará por el mismo, los datos de temperatura de entrada y salida son conocidos, el caudal másico también es dato. Además, se cuentan como dato las propiedades físicas en función de la temperatura de trabajo (calórica) de los fluidos caliente y frío. Esta temperatura corresponde a una temperatura media para los fluidos en cuestión. Los datos fueron proporcionados por el simulador de procesos PRO II para las corrientes del caso de estudio.

Los datos requeridos son, para las cuatro corrientes (corriente caliente de entrada y salida, y corriente fría de entrada y salida): viscosidad (μ), calor específico (c_p), conductividad térmica (k) y densidad (ρ). Se utilizará el sistema inglés para las cuentas y luego se hará la conversión al sistema internacional.

	Unidades	Corriente fría	Corriente caliente
Corrientes		19-19A	21B-21C
T_e	°C	40	146
T_s	°C	100	56
P_e	kg/cm ²	39	5.2
P_s	kg/cm ²	38.5	4.7

Datos	Unidades	Corriente fría	Corriente caliente
T_e	°F	104.7	295.2
T_s	°F	212	134.6
T intermedia	°F	158.4	214.9
Caudal (m)	lb/s	2.3	2.2
C_p	BTU/lb °F	0.88	0.90
k	BTU/h pie °F	0.17	0.19
Viscosidad (μ)	cp	1.28	0.64
Densidad (ρ)	kg/m ³	975.8	971.3

Tabla 50: Características y propiedades de los fluidos de intercambio.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de PRO II.

Para el cálculo de la temperatura media efectiva ΔT_m , se calcula la diferencia de temperatura media logarítmica MLTD o ΔT_{ML} , según la siguiente expresión:

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_h^0 - T_c^s) - (T_h^s - T_c^0)}{\ln \frac{(T_h^0 - T_c^s)}{(T_h^s - T_c^0)}} = \frac{(295,2 - 212) - (134,6 - 104,7)}{\ln \frac{(295,2 - 212)}{(134,6 - 104,7)}} = 52,1 \text{ } ^\circ F$$

Luego, se calcula el factor de corrección de temperatura, o F_t , para ello, se calculan los parámetros R y P, según la configuración del equipo seleccionado.

En el caso del equipo a diseñar, se selecciona un equipo de 1 paso por coraza y 1 paso por tubos (pudiendo emplearse múltiplos de 2), donde los parámetros R y P se calcularán con la siguiente expresión:



$$\text{Parámetro } P = \frac{T_c^s - T_c^0}{T_h^0 - T_c^0} = 0,56$$

$$\text{Parámetro } R = \frac{T_h^0 - T_h^s}{T_c^s - T_c^0} = 1,5$$

Con el valor obtenido de los parámetros en cuestión, se ingresa a la gráfica y se obtiene el valor de Ft:

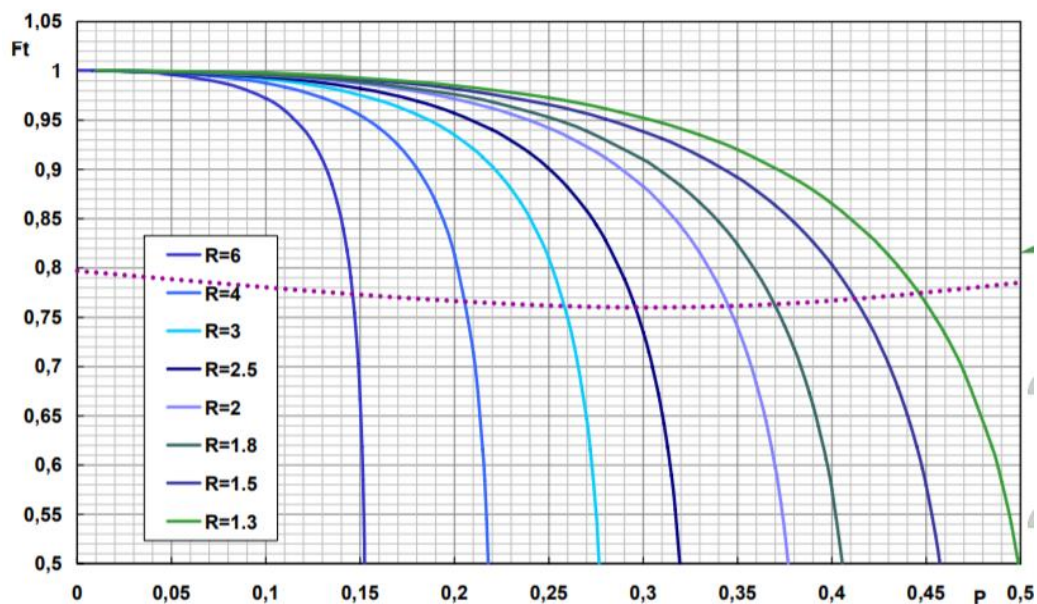


Figura 74: Valores de Ft según configuración del equipo de intercambio (1 paso coraza- 2, 4, 6, 8 o múltiplos de 2 en pasos por tubos).

Fuente: Cátedra de Tecnología de la Energía Térmica.

Como en la gráfica no existe un valor de Ft para valores de P superiores a 0,5, tendremos que suponer una disposición diferente, probaremos dos pasos en coraza y 4 o múltiplo de 4 pasos en tubos. Sin embargo, en este caso nos da un Ft de 0,65, un valor inferior al recomendado (0,8), debido a esto pasamos a la suponer que el intercambiador tendrá 3 pasos en coraza y 6 o múltiplo de 6 en tubos. Para este caso sí encontraremos un valor de Ft que se adapte, como veremos en la *figura 75*.

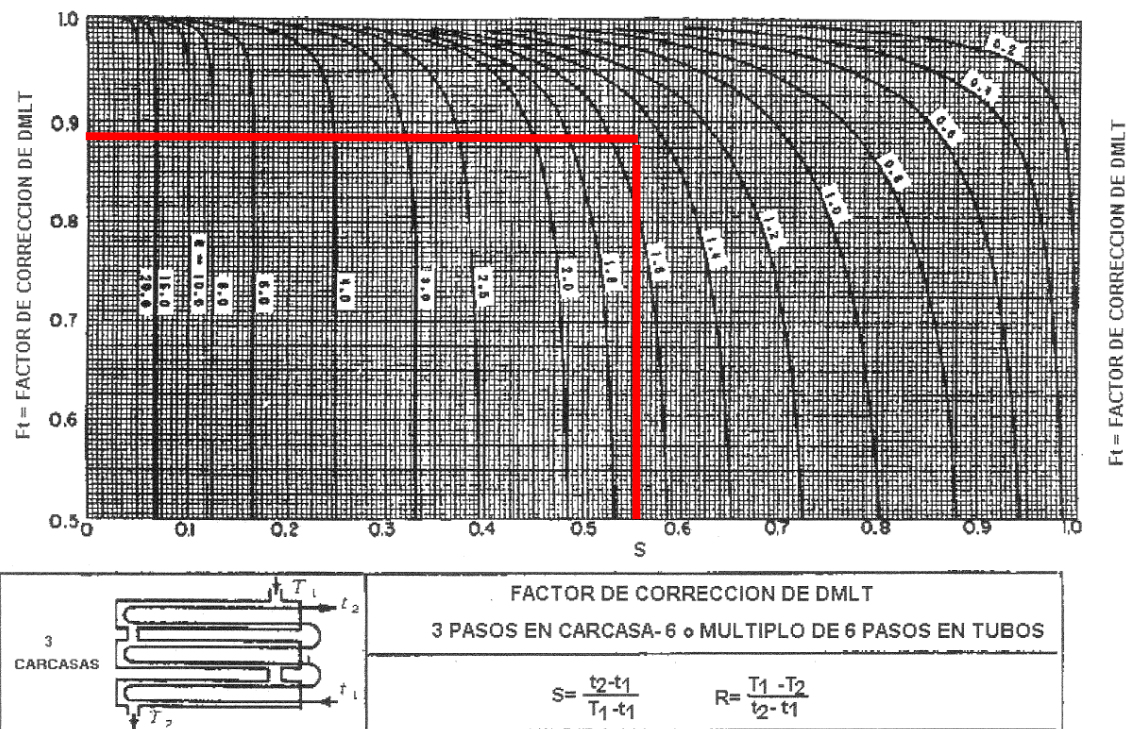


Figura 75: Valores de Ft según configuración del equipo de intercambio
3 pasos coraza - 6 o múltiplos de 6 en pasos en tubos.

Fuente: Cao, E. (2004).

El valor del factor Ft se fija en 0,89. Como el valor obtenido es mayor a 0,8, entonces el valor se considera aceptable, y se escoge la configuración planteada con anterioridad, esto es: 3 paso por coraza, y 6 o múltiplo de 6 pasos por tubos.

Finalmente, se calcula la ΔT_m :

$$\Delta T_m = \Delta T_{ML} \cdot Ft = 52,1^\circ F \cdot 0,89 = 46,4^\circ F$$

Lo siguiente es calcular el balance calórico, el cual debe cumplir la siguiente igualdad en cada parte del equipo:

$$Q_c = Q_h$$

Donde:

$$Q_h = m_h \cdot cp_h \cdot \Delta T_h$$

$$Q_c = m_c \cdot cp_c \cdot \Delta T_c$$

Con:

$$Q_h = 2,22 \frac{lb}{s} \cdot 0,8956 \frac{BTU}{lb^\circ F} \cdot (295,23 - 134,6)^\circ F$$

$$Q_c = 2,3 \frac{lb}{s} \cdot 0,8765 \frac{BTU}{lb^\circ F} \cdot (212 - 104,7)^\circ F$$



$$Q_h = 319,37 \frac{BTU}{s}$$

$$Q_c = 216,32 \frac{BTU}{s}$$

Promediando los valores obtenidos:

$$Q_c = Q_h = 267,85 \frac{BTU}{s}$$

Respecto a la selección de las dimensiones y características de los tubos, primero, se estima el coeficiente global de transferencia de servicio sucio U_d de tablas.

Este valor se determina a partir de la siguiente figura.

Range of overall heat-transfer coefficients in two-fluid heat exchangers [26]			
Hot fluid	Cold fluid	Overall heat-transfer coefficient	
		Btu/h · ft ² · °F	W/m ² · K
<i>Coolers</i>			
Water	water	250 – 500	1220 – 2440
Ammonia	water	250 – 500	1220 – 2440
Aqueous solutions	water	250 – 500	1220 – 2440
Light organics ^a	water	75 – 150	370 – 730
Medium organics ^b	water	50 – 125	240 – 610
Heavy organics ^c	water	5 – 75 ^d	25 – 370
Gases	water	2 – 50 ^e	10 – 240
Water	brine	100 – 200	490 – 980
Light organics	brine	40 – 100	200 – 490
<i>Heaters</i>			
Steam	water	200 – 700	980 – 3400
Steam	ammonia	200 – 700	980 – 3400
Steam	aqueous solutions		
	< 2 cP	200 – 700	980 – 3400
	> 2 cP	100 – 500	490 – 2940
Steam	light organics	100 – 200	490 – 980
Steam	medium organics	50 – 100	240 – 490
Steam	heavy organics	6 – 60	30 – 300
Steam	gases	5 – 50 ^e	25 – 240
<i>Exchangers</i>			
Water	water	250 – 500	1220 – 2440
Aqueous solutions	aqueous solutions	250 – 500	1220 – 2440
Light organics	light organics	40 – 75	190 – 370
Medium organics	medium organics	20 – 60	100 – 290
Heavy organics	heavy organics	10 – 40	50 – 200
Heavy organics	light organics	30 – 60	150 – 300
Light organics	heavy organics	10 – 40	50 – 200

^a Fluids with viscosities < 0.5 centipoise (= 0.5 m Pa s)
^b Viscosities between 0.5 – 1.0 centipoise (= 0.5 – 1.0 m Pa s)
^c Viscosities > 1.0 centipoise (= 1.0 m Pa s)

Figura 76: Típicos valores de coeficientes de transferencia global para las distintas combinaciones de fluidos.

Fuente: Kern, 1999, p. 945.



Como ambas corrientes son muy similares y están compuestas por aproximadamente un 30% de DEA, podemos considerarlas como “médium organics” (figura 76) u orgánicos medios, ya que su viscosidad se encuentra entre 0,5 cp y 1 cp.

Entonces, el valor de U_d se fija en 20 BTU/h.ft².°F, el mínimo valor del rango.

El cálculo del área mínima A_{\min} se determina con la siguiente expresión.

$$A_{\min} = \frac{Q}{(U_d \cdot \Delta T_m)} = \frac{964248,3 \text{ BTU/h}}{\left(20 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft}^2} \cdot 46,4^\circ\text{F}\right)} = 1039,9 \text{ ft}^2 = 96,6 \text{ m}^2$$

Esta área representa el total del equipo, sin embargo, para este caso, conviene separarlo en 3 equipos iguales de 1 paso por coraza y 2 o múltiplo de 2 pasos en tubos, de esta forma es más sencillo su diseño.

Para determinar el número de tubos, tenemos que suponer algunos datos constructivos y el número de pasos en tubos que vamos a utilizar, luego de ir variando estos valores y analizando los resultados, se determinó que los parámetros óptimos son los siguientes.

Datos	Unidades	Valor
d ₀	pulg.	1
d _i	pulg.	0.75
n		4
L	m	4

Tabla 51: Datos del intercambiador supuestos.

Fuente: Elaboración propia.

Con el diámetro externo (1”), interno (0,75”), un número de pasos de 4 por cada paso en coraza y un largo de 4 metros, pasamos a calcular el número de tubos, suponiendo que el área de flujo es igual al área mínima dividido 3 (debido a que consideramos 3 equipos de 1 paso por coraza).

$$A_t = \pi \cdot d_0 \cdot L \cdot N_p \cdot n$$

$$N = N_p \cdot n$$

Donde:

A_t = área de flujo

d_0 = diámetro interno

L= largo de tubos

N_p = número de tubos por paso

n= número de pasos

N= número de tubos



$$N = \frac{A_t}{\pi \cdot d_0 \cdot L} = \frac{\frac{1040}{3} ft^2}{\pi \cdot 0.083 ft \cdot 13,12 ft} = 100,9 \text{ tubos}$$

Con este número de tubos y los datos supuestos, vamos a la figura 77 a escoger el número de tubos que mejor se adecue.

25	23 1/4	21 1/4	19 1/4	17 1/4	15 1/4	13 1/4	12	10	8	Diámetro carcasa (pulgada)	
553	481	391	307	247	193	135	105	69	33	3/4 en 15/16" Δ	Tubos fijos
493	423	343	277	217	157	117	91	57	33	3/4 " en 1" Δ	
419	355	287	235	183	139	101	65	33	33	3/4 " en 1" □	
307	247	205	163	133	103	73	57	33	15	1" en 1 1/4 " Δ	
255	215	179	139	111	83	65	45	33	17	1" en 1 1/4 " □	
528	452	370	300	228	166	124	94	58	32	3/4 " en 15/16" Δ	Dos pasos tubos fijos
468	398	326	264	208	154	110	90	56	28	3/4 " en 1" Δ	
408	346	280	222	172	126	94	78	48	26	3/4 " en 1" □	
292	244	204	162	126	92	62	52	32	16	1" en 1 1/4 " Δ	
248	218	172	136	106	76	56	40	26	12	1" en 1 1/4 " □	
460	398	304	234	180	134	94	64	34	8	3/4 " en 15/16" Δ	Dos pasos tubos en "U"
406	336	270	212	158	108	72	60	26	8	3/4 " en 1" Δ	
362	304	242	188	142	100	72	52	30	12	3/4 " en 1" □	
234	192	154	120	84	58	42	26	8	XX	1" en 1 1/4" Δ	
214	180	134	100	76	58	38	22	12	XX	1" en 1 1/4" □	
484	412	332	266	196	154	108	84	48	XX	3/4 " en 15/16" Δ	Cuatro pasos tubos fijos
424	360	292	232	180	134	96	72	44	XX	3/4 " en 1" Δ	
366	308	242	192	142	126	88	72	48	XX	3/4 " en 1" □	
258	212	176	138	104	78	60	44	24	XX	1" en 1 1/4 " Δ	
214	188	142	110	84	74	48	40	24	XX	1" en 1 1/4 " □	
438	378	286	218	166	122	84	56	28	XX	3/4 " en 15/16" Δ	Cuatro pasos tubos en "U"
386	318	284	198	146	98	64	52	20	XX	3/4 " en 1" Δ	
342	286	226	174	130	90	64	44	24	XX	3/4 " en 1" □	
218	168	142	110	74	50	36	20	XX	XX	1" en 1 1/4" Δ	
198	166	122	90	66	50	32	16	XX	XX	1" en 1 1/4" □	

Figura 77: Disposición de tubos en intercambiador de calor.

Fuente: Cao, E. (2004).

Vamos a elegir un arreglo triangular para nuestro intercambiador, ya que es el recomendado para servicios limpios como es nuestro caso, ya que son más económicos que los arreglos cuadrados.

Para 4 pasos fijos por tubos, arreglo triangular, 3/4". de diámetro interno y 1" de diámetro externo, el número de tubos más grande y cercano es 134 tubos, con un diámetro de coraza de 15,25".

Luego calculamos el nuevo largo de tubos con la misma ecuación del área de flujo, pero despejando L, en lugar de N.

$$L = \frac{A_t}{\pi \cdot d_0 \cdot N} = \frac{\frac{1040}{3} ft^2}{\pi \cdot 0.083 ft \cdot 134} = 9,88 ft = 3m$$

Lo siguiente es determinar los datos constructivos de la coraza, para esto suponemos un valor de espaciamento entre baffles (B), que según las buenas prácticas debe ser al menos el 20% del diámetro de coraza, consideramos un valor de B igual a 1,5 ft. Con este dato podemos determinar el número de baffles con la siguiente ecuación:



$$NB = \frac{L}{B} - 1$$

$$NB = \frac{10 \text{ ft}}{1.5 \text{ ft}} - 1 = 6 \text{ baffles}$$

De la misma forma, vamos a determinar otros datos constructivos como los siguientes:

RP: se considera de buena práctica valores entre 1,25 y 1,5.

Pt: es la longitud del paso y se suele calcular como el diámetro externo por el valor de RP.

c: es la distancia entre tubos (ligament), es la diferencia entre Pt y D₀.

Resumimos estos datos en la siguiente tabla:

Baffles	Unidades	Valor
B	ft	1.50
N° de baffles		6
RP		1.25
Pt	ft	0.10
c	ft	0.02
Porcentaje de corte		0.25

Tabla 52: Datos constructivos de la coraza.

Fuente: Elaboración propia.

Para la selección de los fluidos que circularán por tubos y por coraza, se seguirá el criterio de que el fluido con mayor temperatura va a pasar por los tubos. No se tendrán en cuenta los otros criterios debido a que los fluidos tienen características muy similares.

El siguiente paso es calcular el coeficiente de transferencia para tubos (h_{io}) en los tubos, el cual depende de parámetros adimensionales como son el Reynolds (Re), el Prandtl (Pr) y el Nusselt (Nu), para calcularlos detallamos los siguientes datos que nos serán útiles para aplicar en las ecuaciones.

Tubos	Valor	Unidades
Fluido caliente:	30%	Sc. DEA
Densidad	60.76	lb/ft ³
C _p	0.896	BTU/lb °F
k	0.191	BTU/h ft °F
Viscosidad	0.00043	lb/ft.s
Caudal	2.220	lb/s
Numero de tubos (N)	134	
Numero de pasos (n)	4	
D _i	0.063	ft
D ₀	0.083	ft

Tabla 53: Datos necesarios para el cálculo del coeficiente h_{io} en tubos.

Fuente: Elaboración propia.



Para calcular el Reynolds vamos a aplicar la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{di \cdot Gt}{\mu} \quad Gt = \frac{mt}{af}$$
$$af = \frac{\pi \cdot di^2}{4} \cdot Np$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

di: diámetro interno

Gt: flujo másico por unidad de área.

μ : viscosidad

mt: flujo másico

af: área de flujo

Np: número de tubos por paso

$$af = \frac{\pi \cdot (0,063ft)^2}{4} \left(\frac{134}{4} \right) = 0,1 ft^2$$
$$Gt = \frac{2,2 lb/s}{0,1 ft^2} = 21,6 \frac{lb}{s \cdot ft^2}$$
$$Re = \frac{0,063ft \cdot 21 \frac{lb \cdot s}{ft^2}}{0,00043 \frac{lb \cdot s}{ft^2}} = 3140$$

El Reynolds nos da un valor de 3140, lo que significa que el régimen es de transición, ya que se encuentra entre 3000 y 10000. Para cada régimen existe una forma de calcular el Nusselt, para este caso, la ecuación es la siguiente.

$$Nu = 0,012 \cdot (Re^{0,87} - 280) \cdot Pr^{0,4}$$

$$Pr = \frac{CP \cdot \mu}{k} = 7,26$$

$$Nu = 0,012 \cdot (3140^{0,87} - 280) \cdot 7,26^{0,4} = 21,81$$

Una vez que tenemos el Nusselt, podemos calcular el coeficiente de transferencia para tubos limitado al diámetro interno (hi) y luego el coeficiente de transferencia para tubos, pero referido al diámetro externo (hi_0).

$$hi = \frac{Nu \cdot k}{di} = \frac{21,81 \cdot 0,191 BTU}{0,063 h^{\circ}F ft^2} = 66,61 \frac{BTU}{h^{\circ}F ft^2}$$



$$hi_0 = \frac{hi \cdot di}{d0} = 66,61 \frac{BTU}{h \text{ } ^\circ F} \cdot \frac{0.063}{0.083} = 49,96 \frac{BTU}{h \text{ } ^\circ F ft^2}$$

Como resultado, tenemos un valor de hi_0 de 50 BTU/h °F ft².

Lo siguiente es calcular el coeficiente para el lado de la coraza, para esto vamos a necesitar de los siguientes datos:

Tubos	Valor	Unidades
Fluido frío:	30%	Sc. DEA
Densidad	60.91	lb/ft ³
Cp	0.877	BTU/lb °F
k	0.174	BTU/h ft °F
Viscosidad	0.00086	lb/ft.s
Caudal	2.300	lb/s
Ds	1.27	ft
c	0.02	ft
B	1.50	ft
Pt	0.10	ft
Di	0.063	ft
D0	0.083	ft

Tabla 54: Datos necesarios para el cálculo del coeficiente hs en carcaza.

Fuente: Elaboración propia.

Primero vamos a determinar el área de flujo por coraza (A_s), la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{D_s \cdot c \cdot B}{P_t} = \frac{1,27 \cdot 0,02 \cdot 1,5}{0,1} ft^2 = 0,4 ft^2$$

Para el cálculo del Reynolds en la coraza, tenemos que determinar un diámetro equivalente (Deq), el cual se calcula de la siguiente forma para un arreglo triangular:

$$Deq = 4 \cdot \left(\frac{P_t^2}{2} \right) \cdot \text{sen } 60^\circ - \frac{\pi \cdot \frac{d0^2}{8}}{\pi \cdot \frac{d0}{2}}$$

$$Deq = 4 \cdot \left(\frac{0,13^2}{2} \right) \cdot \text{sen } 60^\circ - \frac{\pi \cdot \frac{(0,083 ft)^2}{8}}{\pi \cdot \frac{(0,083 ft)}{2}} = 0,1115 ft$$

Al igual que en la zona de los tubos, tenemos que calcular un flujo másico por área para la coraza (G_t), a partir del flujo másico sobre el área de flujo.



$$Gt = \frac{mt}{As} = \frac{2,3 \frac{lb}{s}}{0,4 ft^2} = 5,79 \frac{lb}{s \cdot ft^2}$$

Con estos datos ya podemos calcular el Reynolds equivalente para la coraza:

$$Re_{eq} = \frac{Gt \cdot Deq}{\mu}$$

$$Re_{eq} = \frac{5,79 lb \cdot 0,1115 ft \cdot ft \cdot s}{0,00086 lb \cdot s \cdot ft^2} = 752$$

En este caso el Reynolds nos da un flujo laminar en coraza, lo cual es algo buscado, para aumentar el intercambio de calor.

Procedemos con el cálculo del Prandtl y el Nusselt:

$$Pr = \frac{CP \cdot \mu}{k} = 15,54$$

Para un porcentaje de corte del 25% se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del Nusselt:

$$Nu = 0,36 \cdot Re^{0,55} \cdot Pr^{0,33}$$

$$Nu = 0,36 \cdot 752^{0,55} \cdot 15,54^{0,33} = 34$$

Finalmente, se calcula el coeficiente de transferencia para la coraza (h_0 o h_s), con la siguiente ecuación:

$$h_0 = \frac{Nu \cdot k}{Deq} = 34 \cdot \frac{0,174 \frac{BTU}{h \cdot ^\circ F \cdot ft^2}}{0,1115 h \cdot ^\circ F \cdot ft^2} = 53,15 \frac{BTU}{h \cdot ^\circ F \cdot ft^2}$$

Una vez que tenemos ambos coeficientes calculados, pasamos al cálculo del coeficiente de transferencia global (U), pero para determinarlo, primero tenemos que definir un valor para la resistencia de ensuciamiento (r_d). Este parámetro tiene que ver con el tipo de fluidos que se utilizan en el equipo, cuyos valores se determinan a continuación con la *figura 78*:



RESISTENCIAS DE ENSUCIAMIENTO PARA CORRIENTES DE PROCESOS QUIMICOS	
LIQUIDOS	
Soluciones MEA y DEA	0,0004
Soluciones DEG y TEG	0,0004
Extracciones laterales y producto de fondo de Columnas fraccionadoras	0,0002
Soluciones causticas	0,0004
Aceites vegetales	0,0005

Figura 78: Valores de las resistencias de ensuciamiento r para distintos compuestos.

Fuente: Cao, 2004, p. 417.

Definimos de esta forma el coeficiente que indica la tabla para soluciones DEA que es el siguiente:

$$r_d = 0,0004 \text{ h } ^\circ\text{F ft}^2/\text{BTU}$$

Estos valores son iguales para ambos fluidos, los que circulan por tubos y coraza, ya que se trata de soluciones acuosas que contienen DEA, y deben tratarse como un conjunto.

La ecuación para calcular el coeficiente U es la siguiente:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{hi_0} + \frac{1}{h_0} + Rf$$

Los resultados serán representados en la siguiente tabla y gráfico:

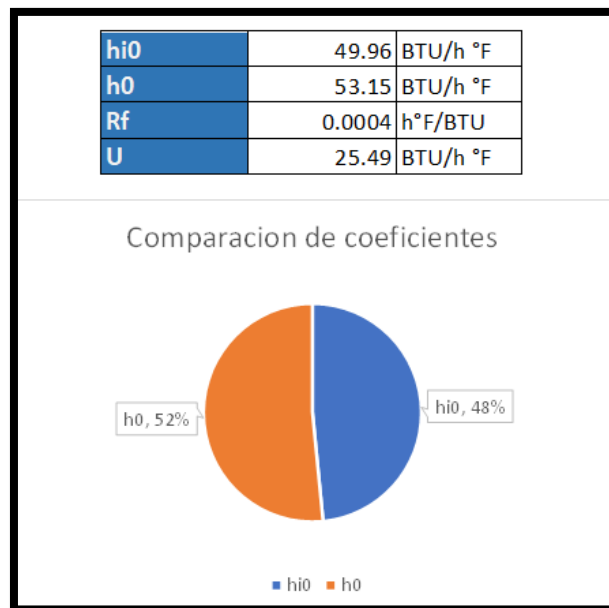


Figura 79: Comparación de coeficientes de transferencia.

Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver en la *figura 79* que los coeficientes tienen prácticamente la misma influencia en el valor de U.

Lo siguiente es el cálculo del área mínima requerida (A_t):

$$A_{min} = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m}$$
$$A_t = \frac{964248,3 \text{ BTU/h}}{24,5 \frac{\text{BTU}}{\text{h}^\circ\text{F ft}^2} \cdot 46,4^\circ\text{F}} = 848,2 \text{ ft}^2 = 78,8 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del área disponible vamos a utilizar la siguiente ecuación:

$$A_{disp} = N \cdot \pi \cdot d_0 \cdot L$$
$$A_{disp} = 135 \cdot \pi \cdot 0,083 \text{ ft} \cdot 10 \text{ ft} = 349,23 \text{ ft}^2 = 32,4 \text{ m}^2$$

Como en este caso dividimos el equipo original, que consistía en 3 pasos por coraza y 12 pasos por tubos, en 3 intercambiadores iguales de 1 paso por coraza y 4 pasos por tubos conectados en serie, a este valor de área disponible hay que multiplicarlo por 3 para compararlo con el área mínima requerida.

$$A_{disp} = 3 \cdot 349,23 \text{ ft}^2 = 1047,7 \text{ ft}^2 = 97,3 \text{ m}^2$$



El área en exceso entonces se calcula de la siguiente forma:

$$A_{exc} = \frac{1047,7 \text{ ft}^2}{815,94 \text{ ft}^2} - 1 = 0,235 = 23,5\%$$

Como es un valor superior al 10% recomendado, se considera que el diseño es óptimo y se aceptan las suposiciones realizadas.

El último paso es comprobar que la pérdida de carga del equipo es inferior a la admisible, para esto vamos a utilizar una ecuación para tubos y otra para la carcasa, los datos que vamos a utilizar se detallan en la siguiente tabla:

Datos	Valor	Unidades
L	10	ft
di	0.0625	ft
Gt	21.6	lb/ft ² s
p	60.91	lb/ft ³
n	4	
f	0.013	

Tabla 55: Datos necesarios para el cálculo de la pérdida de carga en tubos.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos son los calculados para los tubos y el valor f, corresponde a la pérdida de carga por fricción, para régimen turbulento y acero comercial. Si bien el régimen es transitorio, se supone el caso más desfavorable.

La ecuación para pérdida de carga para los tramos rectos de los tubos queda expresada de la siguiente forma:

$$\Delta Pt = 4 \cdot f \cdot \left(\frac{L}{di}\right) \cdot \left(\frac{Gt^2}{2\rho}\right) \cdot n$$

Reemplazando:

$$\Delta Pt = 4 \cdot 0,013 \cdot \left(\frac{10}{0,0625}\right) \cdot \left(\frac{21,6^2}{2 \cdot 60,91}\right) \cdot 4 \cdot 1,49 = 191 \text{ Pa}$$

El valor 1,49 surge del cambio de unidades hasta llegar a Pascal. Como resultado tenemos una pérdida de carga de 191 Pa para los tubos, pero hay que sumarle la pérdida de carga por los cabezales para determinar la pérdida de carga total en tubos.

$$\Delta Pc = 4 \cdot n \cdot \frac{Gt^2}{2\rho} = 4 \cdot 4 \cdot \frac{21,6^2}{2 \cdot 60,91} \cdot 1,49 = 91 \text{ Pa}$$



$$\Delta PtT = \Delta Pt + \Delta Pc$$

$$\Delta PtT = 191 Pa + 91 Pa = 282 Pa$$

La pérdida de carga total en tubos es de 282 Pa, un valor muy bajo y claramente inferior a la pérdida de carga admisible, que se había fijado en 0,15 kg/cm² o lo que es lo mismo 14700 Pa. Por lo tanto, verifica que del lado de los tubos no habrá inconvenientes con la presión.

Ahora pasamos a la coraza, en este caso los datos y la ecuación son los siguientes:

Datos	Valor	Unidades
NB	6	
ds	1.27	ft
Gs	5.79	lb/ft ² s
ps	60,64	lb/ft ³
Deq	0,111	ft
f	0.49	

Tabla 56: Datos necesarios para el cálculo de la pérdida de carga en coraza.

Fuente: Elaboración propia.

$$\Delta PC = f \cdot \frac{(Nb + 1) \cdot ds}{Deq} \cdot \frac{Gs^2}{2ps}$$

Todos son datos conocidos a excepción de f, que para Reynolds superior a 500 se calcula de la siguiente forma:

$$f = 1,728 \cdot Re^{-0,188} = 0,49$$

De esta forma, reemplazando los datos, obtenemos la pérdida de carga en coraza:

$$\Delta PC = 0,49 \cdot \frac{(6 + 1) \cdot 1,27}{0,111} \cdot \frac{5,79^2}{2 \cdot 60,64} \cdot 1,49 = 16 Pa$$

De igual forma que en los tubos, nos da un valor de pérdida de carga muy bajo, esto se debe a que el flujo en coraza es muy laminar principalmente porque el flujo másico por unidad de área es bastante reducido. Como 16 Pa es inferior a



la pérdida de carga admisible (14700 Pa), verificamos que el equipo cumple con las especificaciones.

Como conclusión se acepta el diseño del equipo el intercambiador E-109 se va a componer por 3 equipos de estas características conectados en serie, en la siguiente tabla se detallan los parámetros importantes:

Intercambiador E-109	Valor	Unidades
Q	283,6	kJ/s
L	3	m
Pasos en tubos	4.00	
D0	1.00	pulg.
Di	0,75	pulg.
N	134	
hi0	283,7	W/m ² K
Pasos en coraza	1	
Ds	0,39	m
NB	6	
Porcentaje de corte	25%	
B	0,45	m
hs	301,8	W/m ² K
U	144,8	W/m ² K
A _{disp}	32,4	m ²

Tabla 57: Resumen del diseño del intercambiador E-109.

Fuente: Elaboración propia.

La hoja de especificación del equipo se adjunta a continuación.



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE INTERCAMBIADOR DE CALOR				
DENOMINACION: EQUIPO DE INTERCAMBIO TÉRMICO		FECHA:				
UNIDAD: E-109		REVISION:				
SERVICIO: INTERCAMBIO TÉRMICO ENTRE CORRIENTES DE ABSORBEDORA		LOCACION:				
DATOS GENERALES						
DENOMINACION DE EQUIPO		EQUIPO DE INTERCAMBIO TÉRMICO		Hoja	1 de 2	
FUNCION		Intercambio térmico entre las corrientes de absorbidora				
PROVEEDOR/FABRICANTE				TAG Nº:	E-109	
DIRECCIÓN	Camino Vergara entre kilómetros 2 y 2,5			TELÉFONO		
CIUDAD	Ensenada	DPTO/ESTADO	Pcia. De Buenos Aires	PAÍS	Argentina	
DATOS DE OPERACIÓN						
TAMAÑO	0,39 x 3 m		TIPO	Casco y tubo	CONEXIÓN	en serie
SUPERFICIE/UNIDAD [m ²]	32,4		CORAZAS POR UNIDAD		3	
PERFORMANCE DE LA UNIDAD						
COLOCACIÓN DEL FLUIDO		LADO CORAZA		LADO TUBOS		
TIPO DE FLUIDO		SOLUCIÓN CON DEA AL 30%		SOLUCIÓN CON DEA AL 66%		
CAUDAL FASE LÍQUIDA [kg/h]		3755,7		3625,1		
CAUDAL FASE VAPOR [kg/h]		No admite		No admite		
CAUDAL FASE GAS [kg/h]		No admite		No admite		
CAUDAL FASE NO CONDENSABLE [kg/h]		No admite		No admite		
DENSIDAD ESTÁNDAR LÍQUIDO [kg/m ³]		975,8		971,3		
VISCOSIDAD LÍQUIDO [cp]		1,28		0,64		
CALOR ESPECÍFICO LÍQUIDO [J/kg.°C]		3670,00		3750,00		
COND. TÉRMICA LÍQUIDO [W/m.°C]		0,301		0,33		
PESO MOLECULAR		44		45		
VISCOSIDAD VAPOR [Pa.s]		-		-		
CALOR ESPECÍFICO VAPOR [J/kg.°C]		-		-		
COND. TÉRMICA VAPOR [W/m.°C]		-		-		
TEMPERATURA (EDA/SDA) [°C]		40/100		146/56		
PRESIÓN DE OPERACIÓN [kg/cm ²]		39,00		5,2		
VELOCIDAD [m/s]		0,02		0,02		
PÉRDIDA DE CARGA [kg/cm ²]		0,087		0,014		
RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO [°C.m ² /W]		0,000535		0,000535		
CALOR INTERCAMBIADO [kW]		283,6		MLDT (corregida) [°C]	8	
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA [W/m ² .°C]		102,3	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA LIMPIO[W/m ² .°C]		146,2	
DISEÑO DE LA CORAZA						
PRESIÓN DE DISEÑO [kg/cm ²]		LADO CORAZA		LADO TUBOS		
		39		5,2		
TEMPERATURA MÁXIMA DE DISEÑO [°C]		210				
NÚMERO DE PASOS		1		4		
CORROSIÓN PERMITIDA [mm]		3,000		3,000		
NÚMERO DE TUBOS	134	DE BWG	20	LONGITUD [m]	3,00	
				PITCH [cm]	4,76	
MATERIAL DE TUBOS		Acero al carbono		TIPO DE TUBOS		
				Acero comercial		
CORAZA OD [m]		0,39		CUBIERTA DE CORAZA	Desmontable	
				CANAL	Desmontable	
CUBIERTA DEL CABEZAL		Flotante. Admite dispositivo de respaldo y anillo seleccionado				
PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS						
Admite al utilizar altos caudales						
BAFFLES TRANSVERSALES	Admite	% CORTE	25%	ESPACIADO [m]	0,45	
BAFFLES LONGITUDINALES	No admite	TIPO DE SELLO		Mandrilado (expansión de tubo)		
SOPORTES- TUBO	Acero comercial	JUNTAS	Amianto comprimido	CABEZAL FLOTANTE	Admite	
REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO		TEMA	CLASE		B	



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE INTERCAMBIADOR DE CALOR	
DENOMINACION: EQUIPO DE INTERCAMBIO TÉRMICO		FECHA:	
UNIDAD: E-109		REVISION:	
SERVICIO: INTERCAMBIO TÉRMICO E/ CORRIENTES DE ABSORBEDORA CON DEA		LOCACION:	
DATOS GENERALES			
DENOMINACION DE EQUIPO	EQUIPO DE INTERCAMBIO TÉRMICO	Hoja	2 de 2
FUNCION	Intercambio calórico entre las corrientes de absorbadora		
DISEÑO			
PARTE DEL INTERCAMBIADOR	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	
CABEZAL	A	Canal con tapa desmontable .	
CORAZA	E	Coraza de un paso, tiene placas de apoyo y desviadores transversales.	
CABEZAL POSTERIOR	S	Permite extraer el mazo de tubos y llevar a cabo la limpieza tanto mecánica como química del interior de los mismos. Se imposibilitan las mezclas y fugas de fluidos. Permite la construcción de la placa de tubos con un diámetro prácticamente igual al diámetro de la coraza. El cabezal flotante aprisiona a la placa de tubos contra un anillo de respaldo con el que está abulonado.	



7.4. Otros equipos

Además de los equipos diseñados, vamos a especificar dos equipos más, el aerofriador y el horno.

Equipo	Identificación en el PFD
Aerofriador	EA-102
Horno	B-101

Tabla 58: Equipos adicionales para especificar.

Fuente: Elaboración propia.

7.4.1. Aerofriador – EA-102

El aerofriador no lo vamos a diseñar, pero sí lo vamos a dimensionar, utilizando los datos del fluido caliente, del aire y unos datos propios del equipo, vamos a poder determinar un valor aproximado para su tamaño. Se van a utilizar unidades inglesas porque así lo requiere el método utilizado.

Datos:

Fluido caliente= “hidrocarburo de 48° API”

$m = 31331 \text{ lb/h}$

$T_e = 271^\circ\text{F}$

$T_s = 176^\circ\text{F}$

$CP = 0,4951 \text{ BTU}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$

$\mu = 0,93 \text{ cP}$

$k = 0,054 \text{ BTU}/(\text{h}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F})$

$$Q = m \cdot CP \cdot (T_e - T_s)$$

Q= 1479843 BTU/h

Fluido frio= “aire”

$T = 100^\circ\text{F}$

$CP = 0,24 \text{ BTU}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$

Datos del aerofriador:

Tiro= forzado

Tubos= aletados

OD= 1 pulg

BWG= 16

ID= 0,87 pulg

Hfin (5/8) = 0,625 pulg

pt= 2,5 pulg

Arreglo= triangulo



Banco de tubos:

Pasos por tubos= 3

Hileras de tubos= 3

Largo de tubos= 15 ft

Primero vamos a seleccionar el coeficiente global de transferencia de calor (U_x) a partir de la siguiente figura:

Typical Overall Heat-Transfer Coefficients for Air Coolers				
Service	1 in. Fintube			
	$\frac{1}{2}$ in. by 9		$\frac{5}{8}$ in. by 10	
	U_b	U_x	U_b	U_x
1. Water & water solutions				
	(See note below)			
Engine jacket water ($r_d = 0.001$)	110	7.5	130	6.1
Process water ($r_d = 0.002$)	95	6.5	110	5.2
50-50 ethylene glycol- water ($r_d = 0.001$)	90	6.2	105	4.9
50-50 ethylene glycol- water ($r_d = 0.002$)	80	5.5	95	4.4
2. Hydrocarbon liquid coolers				
Viscosity, cp, at avg. temp.	U_b	U_x	U_b	U_x
0.2	85	5.9	100	4.7
0.5	75	5.2	90	4.2
1.0	65	4.5	75	3.5
2.5	45	3.1	55	2.6
4.0	30	2.1	35	1.6
6.0	20	1.4	25	1.2
10.0	10	0.7	13	0.6

Figura 80: Típicos valores de U_x para aerofriador.
Fuente: "H. Rueda. Material de la cátedra".

Para seleccionar el U_x , primero tenemos que conocer el valor de viscosidad de nuestro fluido caliente, el cual vamos a obtener de la simulación. El valor promedio entre la corriente de entrada (0,5184 cP) y la de salida (0,4718 cP), nos da un valor de 0,5 cP aproximadamente.

Con este dato podemos ir a la *figura 80* y vamos a encontrar que para el valor 0,5 corresponde un U_x de 4,2.

Ya conociendo el valor de U_x , pasamos a calcular la temperatura estimada de salida (t_s) del aire mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta t_a = \left(\frac{U_x + 1}{10} \right) \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - t_1 \right)$$
$$\Delta t_a = \left(\frac{4,2 + 1}{10} \right) \left(\frac{271,4 + 176}{2} - 100 \right)$$

$$\Delta t_a = 64,3 \text{ } ^\circ\text{F}$$



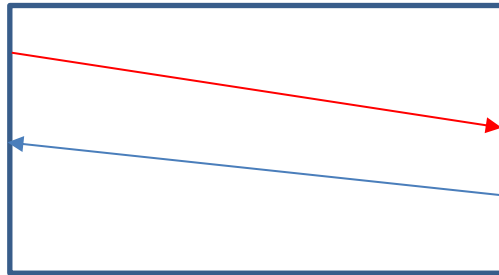
$$ts = 164,3 \text{ } ^\circ F$$

Conociendo todas las temperaturas de entrada y de salida de ambos fluidos podemos calcular la diferencia de temperatura media logarítmica (MLDT), de la siguiente forma:

$$MLDT = \left(\frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln\left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2}\right)} \right)$$

$$MLDT = \left(\frac{95,4 - 64,3}{\ln\left(\frac{95,4}{64,3}\right)} \right)$$

$$MLDT = 90,7 \text{ } ^\circ F$$



El siguiente paso es calcular el área extendida requerida:

$$A_x = \frac{Q}{(U_x)(CMTD)}$$

$$Ax = \left(\frac{1479842}{4,2 \cdot 90,7} \right)$$

$$Ax = 3887 \text{ } ft^2$$

Con este dato podemos calcular el área proyectada (Fa), mediante la siguiente ecuación:

$$F_a = \frac{A_x}{APSF}$$

El valor de APSF lo podemos sacar de la siguiente tabla:

Fintube Data for 1-in. OD Tubes

Fin Height by Fins/inch	½ in. by 9		¾ in. by 10		
APF, sq ft/ft	3.80		5.58		
AR, sq ft/sq ft	14.5		21.4		
Tube Pitch	2 in. Δ	2¼ in. Δ	2¼ in. Δ	2⅜ in. Δ	2½ in. Δ
APSF (3 rows)	68.4	60.6	89.1	84.8	80.4
(4 rows)	91.2	80.8	118.8	113.0	107.2
(5 rows)	114.0	101.0	148.5	141.3	134.0
(6 rows)	136.8	121.2	178.2	169.6	160.8

Notes: APF is total external area/ft of fintube in sq ft/ft. AR is the area ratio of fintube compared to the exterior area of 1 in. OD bare tube which has 0.262 sq ft/ft. APSF is the external area in sq ft/sq ft of bundle face area.

Tabla 59: Datos para tubos de aletas.
Fuente: "H. Rueda. Material de la cátedra".



Para un tubo con aletas de 5/8 pulgadas de alto, una relación de aletas por pulgadas igual a 10, 3 hileras de tubos y un valor de pt igual a 2,5 pulgadas, tenemos que el valor de APSF es de 80,4.

$$Fa = \frac{3887}{80,4} \qquad Fa = 48$$

Suponemos un largo de tubos (L) de 20 ft y en base a esto calculamos el ancho de la unidad con la siguiente ecuación:

$$\text{Width} = \frac{F_a}{L}$$

Width=Ancho= 3,2 ft

Seguimos con el cálculo del número de tubos (N_t).

$$N_t = \frac{A_x}{(APF)(L)}$$

El dato de APF lo sacamos de lo sacamos de la *tabla 59*, el cual vale 5,58. Este valor es el área total externa por unidad de longitud de tubos con aletas.

$$N_t = \frac{3887}{5,58 \cdot 15}$$

$N_t = 46$

Con estos datos podemos calcular el área de flujo en los tubos.

$$At = \frac{\pi \cdot ID^2}{4}$$

El valor del ID lo suponemos como 0,87 pulg, reemplazando este valor el área queda igual a 0,5945 pulg². El cual nos sirve para calcular el flujo masico por área (G_t) con la siguiente ecuación:

$$G_t = \frac{144 \cdot m \cdot N_p}{3600 \cdot N_t \cdot At}$$

$$G_t = \frac{144 \cdot 31331 \cdot 3}{3600 \cdot 46 \cdot 0,5945}$$

$$G_t = 136 \frac{lb}{ft^2 \cdot s}$$

Cálculo del número de Reynolds y Prandt



$$Re = \frac{Gt \cdot ID}{\mu}$$

$$Re = \frac{136 \cdot \left(\frac{0,87}{12}\right)}{(0,000625)}$$

$$Re = 15798$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu \cdot 2,42}{k}$$

$$Pr = \frac{0,5 \cdot 0,93 \cdot 2,42}{0,054}$$

$$Pr = 20,7$$

Cálculo del coeficiente pelicular de transferencia de calor basado en el diámetro exterior del serpentín ($hi0$).

$$hi0 = 0,027 \frac{k}{\left(\frac{ID}{12}\right)} (Re^{0,8})(Pr^{0,33})$$

$$hi0 = 124,8 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$$

Ahora podemos calcular el caudal de aire que vamos a requerir (Wa).

$$W_a = \frac{Q}{(0,24)(\Delta t_a)}$$

$$W_a = 95859 \text{ lb/h}$$

Luego vamos a calcular la velocidad másica del aire en el área del banco (fase velocity).

$$G_a = \frac{W_a}{F_a} = \text{lb}/(\text{hr} \cdot \text{sq ft of face area})$$

$$G_a = 1983 \text{ lb}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \text{ área de cara})$$

Lo siguiente es calcular el coeficiente de película del aire, este lo podemos obtener con el dato de G_a a partir de la *figura 81*.

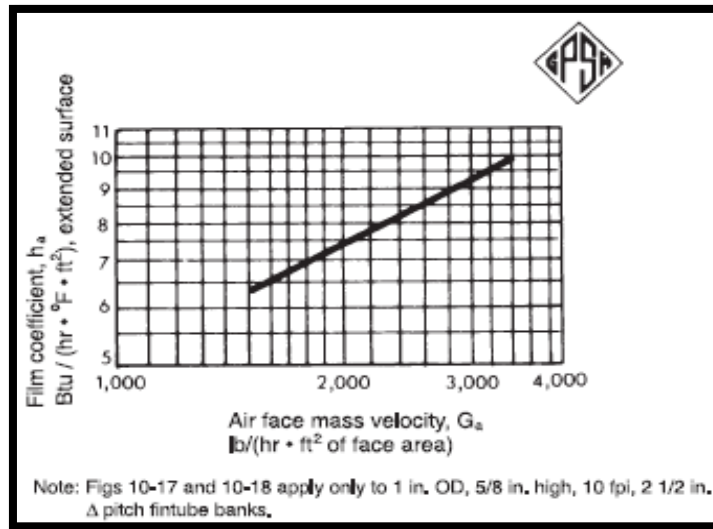


Figura 81: Gráfico de h_a vs G_a .
Fuente: "H. Rueda. Material de la cátedra".

G_a	h_a
1500	6.4
2000	7.4
3000	9.2
3400	10

Tabla 60: Tabla del gráfico de h_a vs G_a .
Fuente: "H. Rueda. Material de la cátedra".

Con la herramienta de Excel sacamos la función para calcular el valor exacto de h_a :

$$y = 0,0019 \cdot x + 3,6111$$

$$h_a = 7,38 \text{ BTU}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$$

Recalculamos U_x

$r_{dt} = 0,001$ (factor de ensuciamiento dentro de los tubos)

$r_{mx} = 0$ {resistencia metal tubo (despreciable)}

$AR = 21,4$ {Relación de área superficie extendida/área tubo desnudo (tabla 59)}

$AR \times OD / ID = 24,6$

$$\frac{1}{U_x} = \left(\frac{1}{h_{i0}}\right)(24,6) + r_{dt}(24,6) + r_{mx} + \left(\frac{1}{h_a}\right)$$

$$U_x = 2,8$$



Para el cálculo del área del ventilador suponemos que el número de ventiladores (N_f) es 3 y aplicamos la siguiente ecuación:

$$\text{Fan area/fan} = \text{FAPF} = \frac{(0.40) (F_a)}{(N_f)}$$

FAPF= 6

Luego podemos calcular el diámetro del ventilador.

$$\text{Fan diameter} = [4 (\text{FAPF})/\pi]^{0.5}$$

Dvent= 2,86 ft

Redondeamos el valor del diámetro a 3 ft con el fin de que sea un número entero.

Como resumen podemos establecer las siguientes tablas:

Ancho	1 m
Largo	4,6 m
Área proyectada	4,5 m²
Área superficie extendida	361 m²

Cantidad de ventiladores	3
Diámetro ventilador	0,92 m
Potencia	20 HP

Tabla 61: Resumen de las dimensiones y propiedades del aerofriador.
Fuente: "Elaboración propia".

A continuación, se muestra un diagrama ilustrativo del aerofriador:

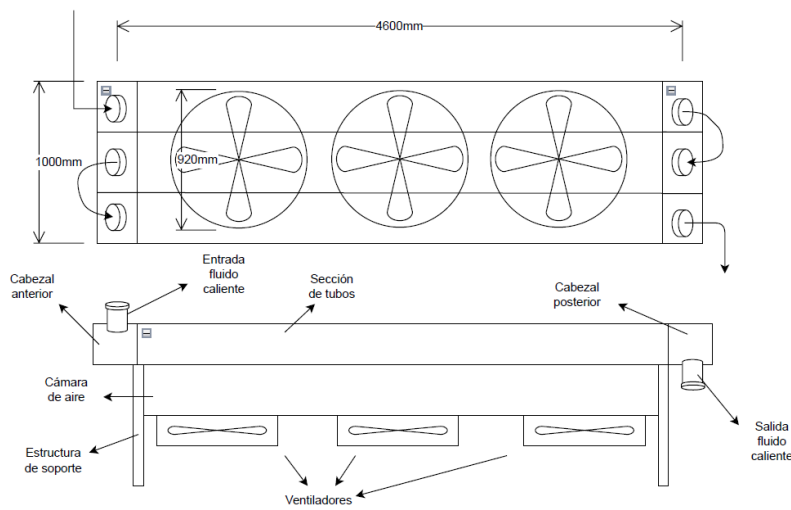


Figura 82: Diagramas del aerofriador.
Fuente: Elaboración propia.

7.4.2. Horno – B-101

Para especificar el horno vamos a utilizar la bibliografía de la cátedra en la cual a partir del dato de calor aplicado que lo sacamos de la simulación, vamos a determinar el tipo de horno que vamos a necesitar.

Duty	Tipo de Horno
0,5 a 4 MMKcal/h	Cilíndrico Vertical
4 a 10 MMKcal/h	Cilíndrico Vertical con zona convectiva
10 a 50 MMKcal/h	Horno tipo Cabina

Tabla 62: Tipo de horno según el “duty”.
Fuente: “H. Rueda. Material de la cátedra”.

Para un valor de 3,2 MMKcal/h, si nos fijamos en la *tabla 62*, podemos ver que vamos a utilizar un horno cilíndrico vertical sin zona convectiva. Ahora para calcular las dimensiones vamos a sacar ciertos datos de la simulación, se utilizarán medidas inglesas porque así lo requiere el método utilizado para aproximar el dimensionamiento del equipo.

Datos:

$$T_e = 333 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_s = 572 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$G_{hc} (\text{caudal de entrada}) = 26370 \text{ lb/h}$$



he (entalpia de entrada) = 467,7 BTU/lb

hs (entalpia de salida) = 858,9 BTU/lb

El calor que ingresa(q_e) se calcula con la siguiente ecuación:

$$q_e = G h c * (h_s - h_e)$$

$$q_e = G h c * (h_s - h_e)$$

$$q_e = 26370 * (858,9 - 467,7)$$

$$q_e = 10315944 \frac{BTU}{h} = 10,32 \frac{MMBTU}{h}$$

La eficiencia la vamos a considerar del 75%, por lo tanto, el calor real (q_n) va a ser igual a 13,75 MM BTU/h.

Ahora con los datos del aire y del gas que vamos a utilizar como combustible, vamos a calcular el exceso de aire.

Aire Gas (a') = 1010 lb/MMBTU (dato del autor)

$$G_{gas} = q_n * a'$$

$$G_{gas} = 13,75 * 1010$$

$$G_{gas} = 13892 \text{ lb/h}$$

$$G_{aire} = G_{gas} + \% \text{ de exceso de aire}$$

El porcentaje de exceso de aire lo podemos obtener de la *figura 83* y podemos ver que es de 25%, ya que vamos a utilizar fuel gases.

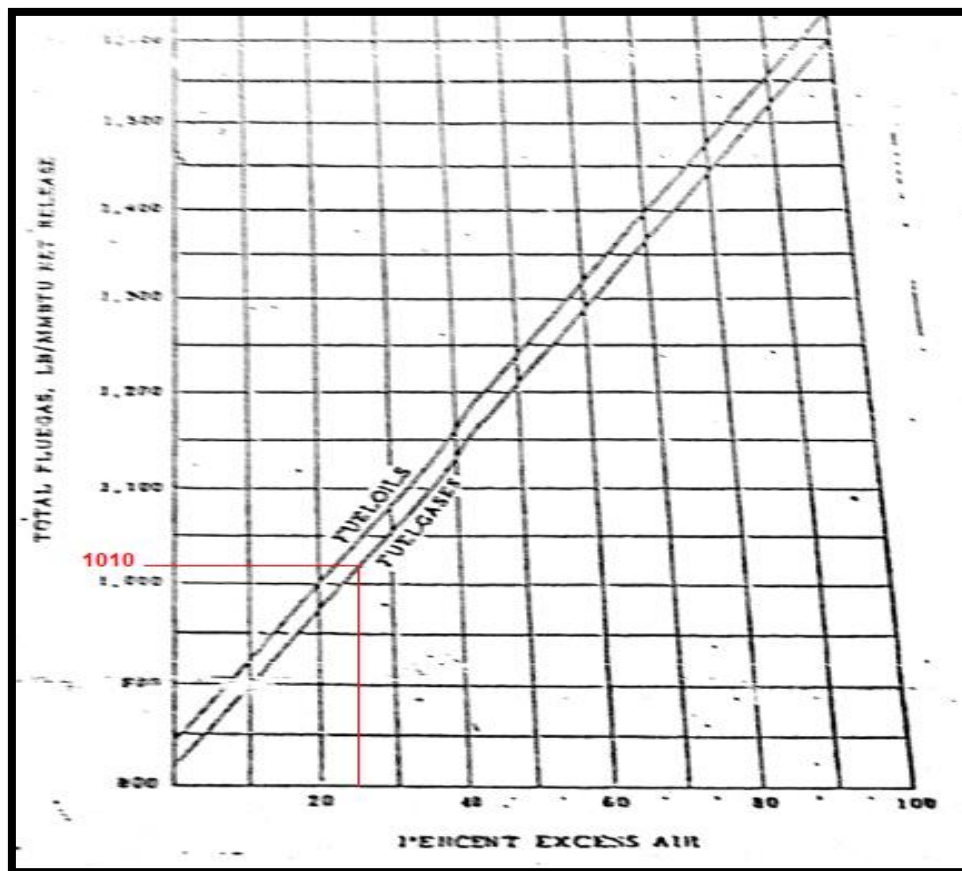


Figura 83: Gráfico para determinar el % de exceso de aire.
Fuente: "H. Rueda. Material de la cátedra".

Con el dato del porcentaje de exceso de gas, podemos entonces calcular el flujo de masa de aire:

$$G_{aire} = 13892 + 25\%$$

$$G_{aire} = 17365 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 7877 \text{ kg/h}$$

Para determinar el número de quemadores vamos a utilizar un dato de calor nominal (q_{nom}) que cada quemador aporta y al calor real lo vamos a dividir por este (q_n/q_{nom}), de esta forma sabremos la cantidad de quemadores que vamos a utilizar.

$$q_{nom} = 15500000 \text{ BTU/h}$$

$$q_n = 13754592 \text{ BTU/h}$$

El número de quemadores que vamos a requerir es igual a 1 unidad. Según estos



datos, la altura recomendada por la bibliografía es de 8 metros, el diámetro de 4 metros.

También podemos calcular el gasto de gas anual que va a tener el horno, para esto vamos a cambiar las unidades de Ggas a toneladas/año.

$$G_{gas} = \frac{13892 \frac{lb}{h} 1tn}{2205 lb} \left(\frac{24h}{1dia} \right) \left(\frac{335dia}{1año} \right)$$

$$G_{gas} = 50654 \frac{Tn}{año}$$

El gasto anual de gas va a ser de 50654 toneladas por año.

7.5. Requerimientos de servicios auxiliares

Los servicios auxiliares cumplen la función de que, a pesar de no formar parte de la actividad central de la planta, garantizan un flujo de producción continuo acorde a las especificaciones que requieran.

Se componen por varios elementos, los cuales se detallan a continuación.

7.5.1. Aire para instrumentos y equipos

El aire comprimido es muy útil en la planta, se va a utilizar para proveer a las válvulas neumáticas de control y para uso del sector de mantenimiento, ya que también se utiliza para limpiar equipos.

Se estimará el uso de dos válvulas de seguridad y una de control por equipo. Luego, teniendo en cuenta los datos de consumo base de las válvulas y la simultaneidad de cada una, vamos a obtener el consumo total de aire comprimido.

Item	Consumo base (Nm ³ /h)	Cantidad	Simultaneidad	Consumo total base(Nm ³ /h)
Valvulas de control	1	27	0.8	21.6
Valvulas de seguridad	0.2	54	0.2	2.16
Consumo total (Nm ³ /h)	23.76			

Tabla 63: Consumo de aire comprimido de las válvulas.

Fuente: "Producción de polímero biodegradable a partir de almidón modificado, glicerina y lignina (s.f.). G. Aiello Et."

Si consideramos un 25% extra, obtenemos un consumo total de 30 Nm³/h.



Se contará con un suministro de aire a partir del equipamiento proporcionado por la empresa SULLAIR Argentina, el cual abastecerá el fluido a todos los instrumentos neumáticos de planta.

El aire de instrumentos deberá ser limpio, seco, libre de aceite y comprimido, su rango de presión recomendado es de 2,5 a 6,3 kg/cm². Su temperatura recomendada está fijada en 15,6 °C.

El aire de planta, por otro lado, también deberá ser limpio, libre de aceite y comprimido, a lo que se le suma su carácter húmedo. La presión recomendada oscila entre los 7 y 8,8 kg/cm², mientras que la temperatura recomendada también es de 15,6 °C.

7.5.2. Gas natural de servicio

La planta presentará un cuadro de consumo de gas natural para combustible abastecido por la empresa Camuzzi gas. Se utilizará para la alimentación de los equipos que emplean gas natural como combustible.

El gas combustible se distribuye a 7 kg/cm², pudiendo disminuir dicho valor en cada consumo de acuerdo con el requerimiento específico.

La cantidad de gas demandada será aquella proveniente (en su mayor parte) del horno de precalentamiento, el cual necesita la cantidad de 50654 tn/año, para reducir la cantidad de gas, vamos a utilizar la corriente de propano que obtenemos por tope de la columna T-101 como combustible complementario.

Esta corriente está compuesta principalmente por propano (53% molar) e hidrógeno (36% molar) y su poder calorífico es de 10 Mcal/kg, como se producen anualmente aproximadamente 371 toneladas, supone un ahorro de 3,7 millones de Mcal por año.

Este ahorro energético se traduce en 7291 tn/año de gas natural que no vamos a requerir, por lo que el consumo anual teniendo en cuenta el resto de los consumos de la planta, se puede redondear en 44000 tn/año.

7.5.3. Venteos y drenajes

Los líquidos del drenaje provenientes de equipos y tanques son recogidos por un colector y se depositan en una fosa, existiendo tres tipos: pluviales, químicos y sanitarios, los cuales dependerán de acuerdo con la normativa vigente y a los niveles existentes en la zona geográfica sobre la cual se desarrolla la construcción. En el complejo vecino, Parque Industrial Ensenada (Ex IPAKO),



hay piletas de tratamiento de efluentes, las cuales podríamos utilizar para tratar el agua residual.

La cantidad de efluentes que produce nuestra planta es mínima, sin embargo, hay que tenerla en cuenta, el caudal de agua es de 185 kg/h. Además de este flujo constante de efluente vamos a sumarle un 10% adicional que va a ser necesario tratar producto de la limpieza de los equipos en los paros de planta planificados y en situaciones indeseadas como puede ser un posible derrame accidental, el cual debe ser recogido con la ayuda de agua para que no lo absorba el suelo y contamine la capa freática. Aproximadamente se van a tratar 1675 m³ por año.

Los venteos, por su parte, provienen de la corriente de purga, la descarga de las válvulas de seguridad de la planta y el venteo manual de los equipos, cuando se ponen fuera de funcionamiento debido al mantenimiento. Todos los venteos serán colectados y enviados a la antorcha de YPF. La purga consiste en una corriente de 644 kg/h, compuesta en su mayor parte por hidrógeno, con pequeños porcentajes de propano, y otros gases.

7.5.4. Sistema de energía eléctrica

El servicio será suministrado por la empresa Edelap. La corriente para alumbrado será de 120 volts (1 fase) para interiores, y de 220 volts (3 fases) para exteriores. El alumbrado, por su parte, será del tipo fluorescente para interiores y tipo V.S.A.P. para exteriores.

La alimentación eléctrica para los equipos se estima en el siguiente cuadro según los datos obtenidos de la simulación:

Equipo	Tasa de consumo promedio [kW]
Bombas	47
Compresores	1550

Tabla 64: Demanda eléctrica de los equipos de proceso.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la simulación.

Para asegurar la continuidad en el suministro eléctrico, se instalará un grupo electrógeno en caso de inconvenientes relacionados al suministro eléctrico de la planta, lo cual, permitiría garantizar un funcionamiento casi continuo en los sistemas de control y de seguridad, sumado a los equipos que así requieran cierta potencia eléctrica; como los compresores y bombas de proceso. El mismo se utilizará con el fin de evitar la parada completa de la planta, la cual funcionará a razón de una producción mínima para ahorrar la mayor cantidad de energía.



7.5.5. Vapor de alta presión para proceso

El vapor de proceso será suministrado por la compañía vecina YPF, a través del sistema de calentamiento por caldera. El servicio se destinará para calentar corrientes de proceso en los intercambiadores de calor, o, en este caso, rehervidores de las columnas tanto de destilación como de la regeneradora del sistema absorción-regeneración.

El vapor, es requerido en las siguientes condiciones y cantidades:

Sección proceso (identificación del equipo)	Temperatura del vapor, en °C	Presión del vapor, en kg/cm ²	Volumen específico del vapor, en m ³ /kg	Consumo del vapor [kg/h]	Calor latente del vapor [kJ/kg]
Torre de destilación (E-107)	300	17.5	0,02166	1607,27	1404,8
Torre regeneradora (E-110)	300	17.5	0,02166	283,70	6,14

Tabla 65: Demanda de vapor de calentamiento para los equipos de proceso.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la simulación.

Por lo tanto, la cantidad total de vapor será de 1891 kg/h, lo que nos da un consumo anual de 15206 toneladas por año.

7.5.6. Agua de enfriamiento para proceso

El agua de enfriamiento será suministrada por la compañía vecina de YPF, a través del sistema de enfriamiento de fluidos. El servicio se empleará para enfriar corrientes de proceso en los intercambiadores de calor, particularmente se destaca un enfriamiento en la columna de destilación T-101, el cual ocurre en el intercambiador de calor (condensador) E-106.

El agua se deberá suministrar de forma limpia, libre de sólidos, materia orgánica, gases y con una baja dureza. También se deberá recibir una alimentación del servicio que permita operar con velocidades de flujo asociadas a patrones de flujo turbulentos (de entre 120 y 240 cm/s), se considera la temperatura máxima, ya que será el peor escenario, la cual es 29 °C, y presiones que rondan los 4 kg/cm².

El agua, deberá suministrarse en las siguientes condiciones y cantidades:



Sección proceso (identificación del equipo)	Temperatura del agua, en °C	Presión del agua, en kg/cm ²	Consumo del agua, en kg/h
Salida del reactor de HDO – Entrada a separador flash (E-102)	29	4	39634
Salida del aerofriador – Entrada a separador flash (E-104)	29	4	35604
Torre de destilación (E- 106)	29	4	10875
Salida y enfriamiento del producto DV desde T-101 (E-108)	29	4	14329

Tabla 66: Demanda de agua de enfriamiento para los equipos de proceso.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la simulación.

Por lo tanto, la cantidad total de agua para enfriamiento será de 100441 kg/h, tomando una densidad de 0,995 tn/m³ (dato obtenido a partir de la simulación con PRO II), tenemos un consumo anual de 811606 m³/año.

7.5.7. Productos químicos

En el complejo absorbadora-desorbadora se utiliza como disolvente DEA en solución al 30% con agua, será el único costo asociado a productos químicos. Según los datos de la simulación se requieren 157,7 tn/h de DEA, sin embargo, se regenera y se vuelve a utilizar, por lo que solo se pierde un pequeño porcentaje de lo que se utiliza, el cual se va con el CO₂ esta cantidad es de 91.5 kg/h de DEA que si lo transformamos a un consumo anual nos da un total de 736 tn/año, a este valor le vamos a sumar un 5% como buena práctica con el fin de evitar faltantes por pérdidas no tenidas en cuenta, por lo que vamos a consumir 773 tn/año.

La DEA tiene ciertas ventajas frente a otros disolventes, principalmente su bajo coste y baja presión de vapor, lo que se traduce en pocas perdidas potenciales de disolvente. El producto lo vamos a comprar en “pipas” de 10000 kg c/u a la empresa BRENNTAG, la cual tiene una sucursal en Vicente López.

Por otro lado, el catalizador es un insumo fundamental, el cual nos permite llevar a cabo la reacción de una forma más efectiva, en nuestra planta tenemos dos reactores, cada uno con su catalizador.

Para R-101 se utiliza un catalizador NiMo-(Al₂O₃), existen muchas variaciones según las proporciones de los metales, en este caso utilizaremos el catalizador



HR 538 de la empresa Axens. Se necesitan 1,8 tn del mismo y tiene una vida útil de 5 años con un funcionamiento normal.

Para R-102 se utiliza un catalizador Pt/ZSM-12 soportado en alúmina, que también provee Axens con el nombre de OPARIS PLUS, del cual se requiere aproximadamente 1,7 tn. Tiene una vida útil de 5 años.



8. DIAGRAMAS Y PLANOS

8.1. P&I. Columna.

En este apartado se analizarán los controles posibles que se pueden aplicar en la columna de destilación de la planta productora de DV. La corriente de aceite de soja se mezcla con el hidrógeno en el reactor de hidrodeshidrogenación, donde como producto se obtienen alcanos lineales que luego pasan a un segundo reactor en el que ocurren reacciones de isomerización, con el fin de aumentar el número de cetano y mejorar las propiedades del combustible.

Luego de estos procesos, se debe separar el producto principal (DV) de los subproductos (Jet Fuel Verde y Propano Verde), esto se va a llevar a cabo durante el proceso de destilación en la columna. Esta columna está constituida por 24 platos reales, un termosifón y un condensador total. Además, existe un acumulador de reflujo luego del condensador total, en el que se acumula líquido (Jet Fuel Verde), el cual se va a dividir en dos partes, una ingresante a la columna y otra que se envía a los tanques de almacenamiento de Jet Fuel Verde.

La corriente de alimentación va a ser calentada hasta 110 °C y se le va a disminuir la presión hasta 5 kg/cm² antes de ingresar a la columna. Por el tope de la columna va a salir el propano (gas) y el combustible para aviación (líquido) y por fondo el DV, el cual se va a dividir: una parte dirigida al reboiler para reingresar a la columna y otra parte enfriada para enviarse a los tanques de almacenamiento, el producto principal contará con una pureza del 97%.

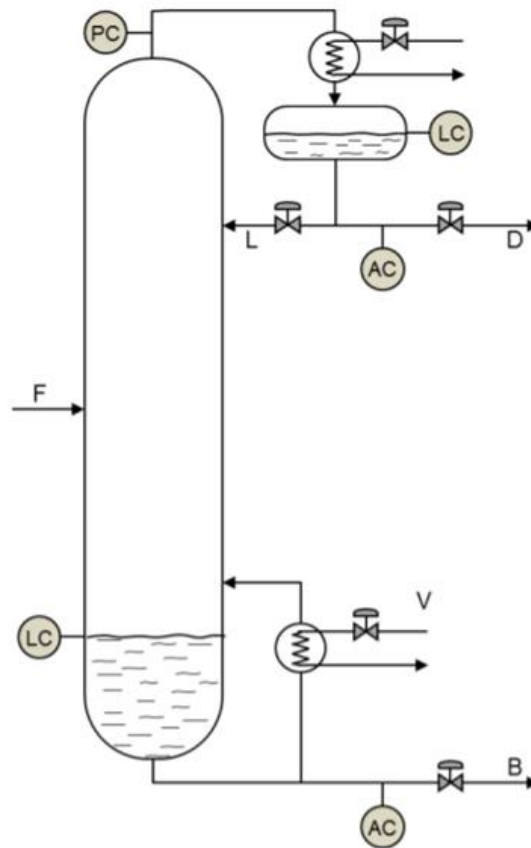


Figura 84: Componentes principales en un sistema de control en columnas de destilación.

Fuente: Material de la cátedra control automático de procesos.

La temperatura en la parte superior de la columna será baja respecto al fondo, por lo tanto, existirá un perfil de temperatura en la totalidad de la columna, suponiendo que la presión permanece constante. Sin embargo, la presión no permanece constante, haciendo que el perfil de temperatura cambie en cada instante, dificultando aún más el control del proceso global, ya que existen interacciones entre la presión y la temperatura. La forma de solucionar este problema es tratando de desacoplar el sistema y mantener la presión constante. En un problema de control existen tres tipos de variables de estudio: variables manipuladas, variables controladas y, por último; las perturbaciones.

Las variables controladas en una columna de destilación sin extracciones laterales son la presión, los niveles de líquido en el fondo de la columna – cámara de reflujos, y la composición de destilado – producto de fondo.

Dentro del rubro de las variables que deben ser controladas se incluyen a la presión y los niveles, donde 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. Entonces, será 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.

Con respecto a las variables que pueden ser controladas, se incluyen las composiciones de destilado y producto de fondo. Estas variables se controlan para cumplir con el segundo objetivo de control, por 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, es decir, midiendo una propiedad representativa de la composición del producto, como por ejemplo la densidad, la presión de vapor, punto de congelación, o, el más común: la temperatura de plato.

Las variables manipuladas, por otra parte, son aquellas que se manipulan variando sus caudales a través del elemento final de control. Manipulando estas corrientes se consiguen controlar las variables deseadas. Las variables manipuladas son las siguientes enlistadas:

- ❖ 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.

Las perturbaciones son variables que afectan a la operación de la columna cuyo valor está impuesto. Dichas perturbaciones deben ser evitadas eficazmente por el sistema de control, priorizando que el mismo sistema actúe antes de que afecten a las variables controladas. Las más habituales son las siguientes:

- ❖ Caudal de alimentación.
- ❖ Composición de la alimentación.
- ❖ Temperatura de la alimentación.
- ❖ Presión de suministro del vapor calefactor.
- ❖ Temperatura y presión del agua de refrigeración.

Existen diversos tipos de control que son aplicables en distintos casos, para esta columna vamos a utilizar el siguiente sistema de control:



Para mantener la presión constante en la columna se va a utilizar un controlador de presión (PC) en el acumulador de flujo que se encuentra posterior al condensador, el cual va a enviar una señal a un controlador de flujo (FC) que a su vez tiene un doble comando, el primero va a controlar la válvula que regula el paso de agua de enfriamiento en el condensador, el cual es el más importante, ya que el segundo controla la válvula de salida de propano, que tiene un uso limitado, debido al reducido caudal que se obtiene del mismo.

Con la presión controlada, podemos agregar controles en la temperatura que nos permitan obtener la composición esperada de producto, por el tope de la columna, unos platos por debajo de donde ingresa el reciclo, se encuentra un sensor de temperatura que envía la señal a un controlador de temperatura (TC), que está conectado a un FC, el cuál va a controlar la válvula de reciclo. Se mide por debajo para que exista un tiempo de respuesta ante el aumento o reducción del caudal de reflujo. Por otro lado, en el acumulador tendremos un controlador de nivel (LC), el cual va a determinar si el FC al que está conectado debe mantener, aumentar o disminuir el caudal de la corriente de Jet Fuel verde, sin embargo, la corriente de este producto es escasa, por lo que se utiliza un segundo lazo que va a manipular la corriente de reflujo, éste lazo será el principal.

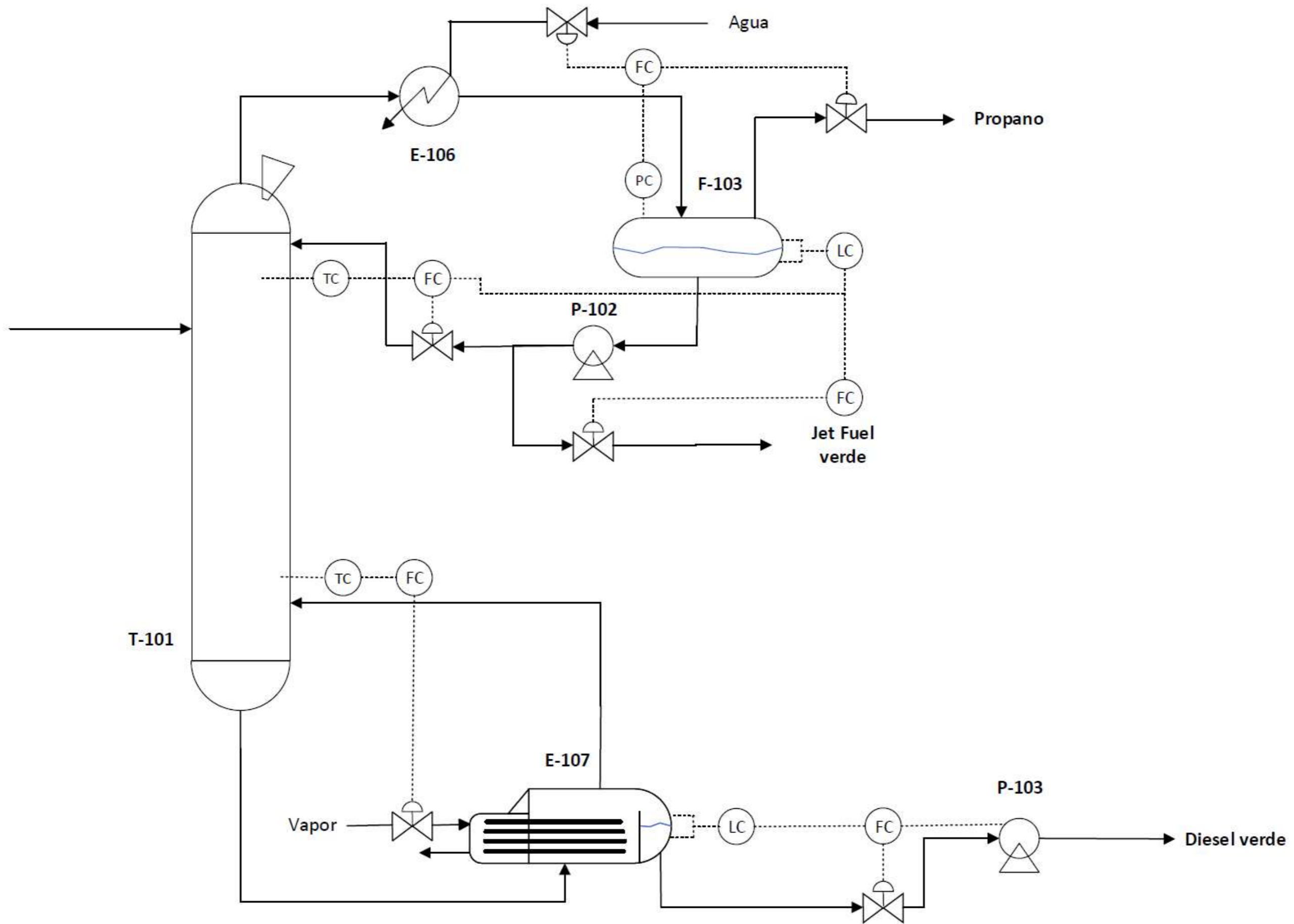
En la parte inferior de la columna vamos a tener un TC que va a recibir la señal desde unos platos por encima de la zona en la que ingresa el reciclo del reboiler, este controlador va a indicar al FC cuánto vapor dejar pasar para mantener la temperatura en la columna lo más cerca posible al valor establecido como “set point”.

Finalmente, en el reboiler tipo kettle vamos a encontrar un LC que nos va a indicar si el nivel de líquido, el cual va a ser en mayor porcentaje DV, se encuentra en un valor óptimo y para regularlo, está conectado a un FC que va a controlar la válvula de salida de producto y a su vez, va a estar conectado a la bomba, para en caso de que deba disminuir su caudal de bombeo, ésta no cavite.

De esta forma, manteniendo la presión constante y regulando la temperatura, se va a lograr obtener de la columna, un producto que cumpla con las especificaciones.

En el caso de emergencia, la columna tiene una válvula de seguridad en la parte superior de la misma, la cual sólo va a ser accionada cuando la presión alcance valores muy críticos o se necesite parar la planta de forma rápida. Al abrirse esta válvula, se despresuriza la columna y las corrientes dejan de estar controladas.

El diagrama P&I para la columna se adjunta a continuación.



UTN FRLP	Integración V	
	P&ID de la columna T-101.	
PROFESORES: Ing. Juan D Vrcic.	Ayudantes: Ing. Hernán Rueda, Ing. Paola Nieto	Plano N° 3
Alumnos: Facundo De Blasi, Francisco Risculese		2021



8.2. P&I. Reactor.

Para el control del reactor se propone un sistema de control que consiste en la regulación de la concentración del producto, manipulando la temperatura. Las variaciones internas de concentración y temperatura son las perturbaciones que afectan la dinámica del proceso. Como en el lecho catalítico existe un perfil de temperaturas, es necesario tener distintos sensores, especialmente cerca de la zona donde ingresa la alimentación, ya que es donde suelen encontrarse los puntos calientes.

Como mencionamos anteriormente, en la parte superior del reactor pueden aparecer puntos calientes (hot spots) que no son deseados y deben ser controlados, la temperatura tiene que ser lo suficientemente alta para que la reacción mantenga una tasa de conversión adecuada, pero no puede ser muy elevada de lo contrario puede producir daños en el lecho catalítico, en la estructura del reactor o se pueden generar productos de reacción que no son los deseados. Para controlar estos puntos calientes se van a utilizar múltiples sensores de temperatura a lo largo del reactor, los cuales van a tener cada uno su propio set point y en base a lo que miden se va a regular la válvula de la tubería de hidrógeno que forma parte del sistema de quench, este hidrógeno va a actuar como refrigerante.

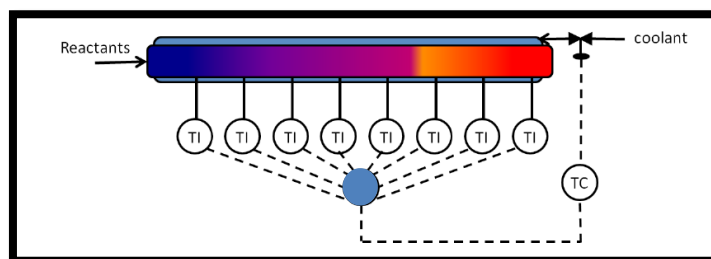
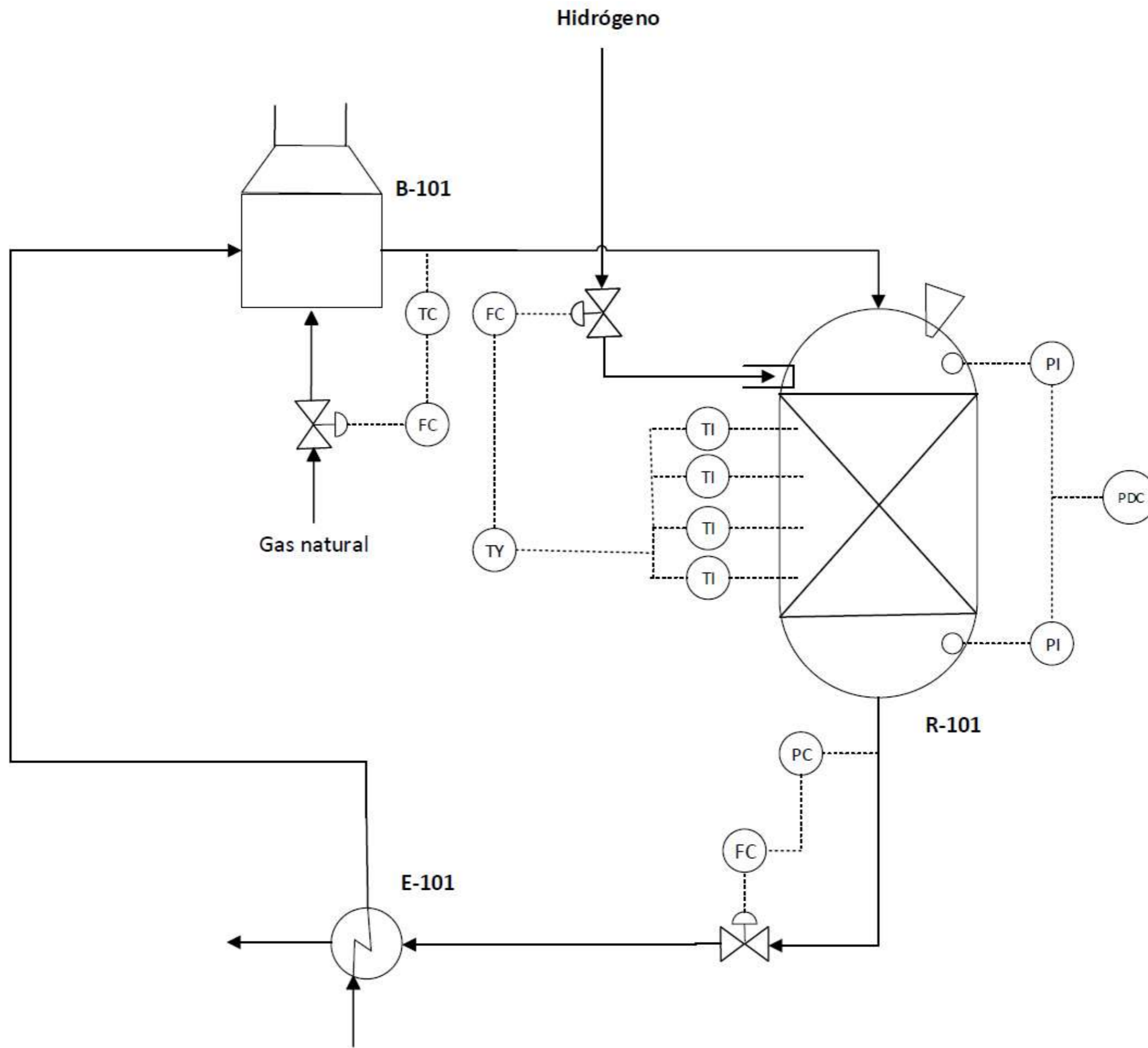


Figura 85: Múltiples indicadores a lo largo del reactor.

Fuente: "Essential Process Control for Chemical Engineers (2017). Dr. Bruce Postlethwaite."

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado diseñamos el control para el reactor R-101 y lo representamos en el siguiente diagrama P&I.



UTN FRLP	Integración V	
	P&ID del reactor R-101.	
PROFESORES: Ing. Juan D Vrcic.	Ayudantes: Ing. Hernán Rueda, Ing. Paola Nieto	Plano N° 4
Alumnos: Facundo De Blasi, Francisco Risculese		2021



En este diagrama tenemos múltiples sensores de temperatura a lo largo del reactor, principalmente cerca del quench que es donde se podría encontrar con mayor probabilidad los puntos calientes, los cuales van a enviar una señal a los indicadores (TI), por medio del transductor de temperatura (TY) se analizan los resultados con respecto al set point y luego se envía una señal como corriente eléctrica a un controlador de flujo (FC) que según la información que reciba va a abrir o cerrar la válvula dependiendo si la temperatura está por encima o por debajo del set point, respectivamente. De esta forma se logra un control rápido de la temperatura, que es lo más importante para lograr que se produzcan las reacciones sin que se dañe el lecho.

Para reducir aún más las fluctuaciones de temperatura en el reactor, se decidió agregar un TC que mida la temperatura de la corriente que sale del horno y que esté conectado a un FC que regule el caudal de gas natural utilizado en el mismo para calentar la corriente. De esta forma se reducen las posibles variaciones en la temperatura de la corriente de aceite que alimenta al reactor.

Además de la temperatura, también es importante controlar la presión, la misma se puede regular mediante un controlador (PC) que va a recibir el valor de presión a la salida del reactor y en base a la diferencia con el valor definido como set point, a enviará una señal a un FC que va a regular el flujo de esta corriente. Dentro del reactor vamos a tener indicadores de presión (PI) en los extremos del mismo que van a enviar su señal a un controlador de presión diferencial (PDC), éste nos va a decir la pérdida de carga que tiene el reactor y es un valor que el operador va a tener que revisar, en caso de que comience a aumentar y el operador no se dé cuenta, puede superar un valor determinado y que accione la secuencia de parada de planta.

De igual forma que en la columna, en el reactor vamos a tener una válvula de seguridad, la cual no necesita de ningún controlador, simplemente se activa cuando la presión alcanza cierto valor definido y produce la despresurización del equipo, frenando inmediatamente las reacciones.



8.3. Plano de distribución de áreas

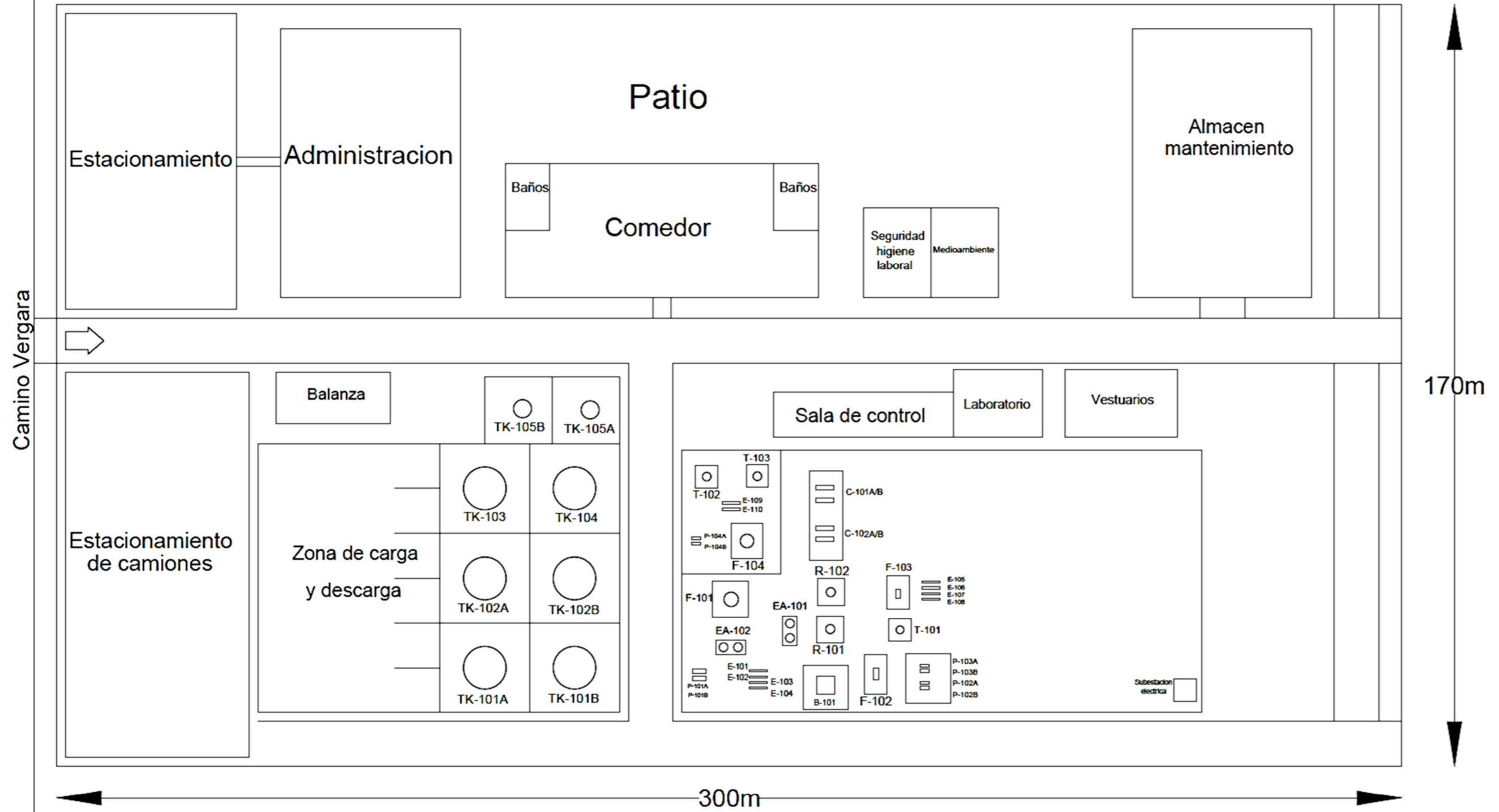
La distribución en planta debe quedar perfectamente definida. Si no existe una gran experiencia previa conviene seguir alguno de los métodos existentes, como el Método de Richard Muther SLP.

El layout definitivo debe ser discutido por el equipo de proyectos con el promotor y se debe analizar cada una de las partes del sistema, valorando los recorridos, los elementos de mantenimiento, los espacios muertos, etc.

Esta etapa implica generalmente, tanto para las áreas de producción como para la de distribución de equipos, la ubicación casi definitiva de los equipos a utilizar en planta. La construcción del layout preverá los posibles cambios futuros, producidos por ampliaciones, cambios de tecnologías u otros.

El plano detallado de la solución de este apartado (plano de distribución de áreas), que, a su vez, logra justificar el layout exponiendo el método empleado, y su aplicación, lo podemos ver a continuación.

Petrocuyo



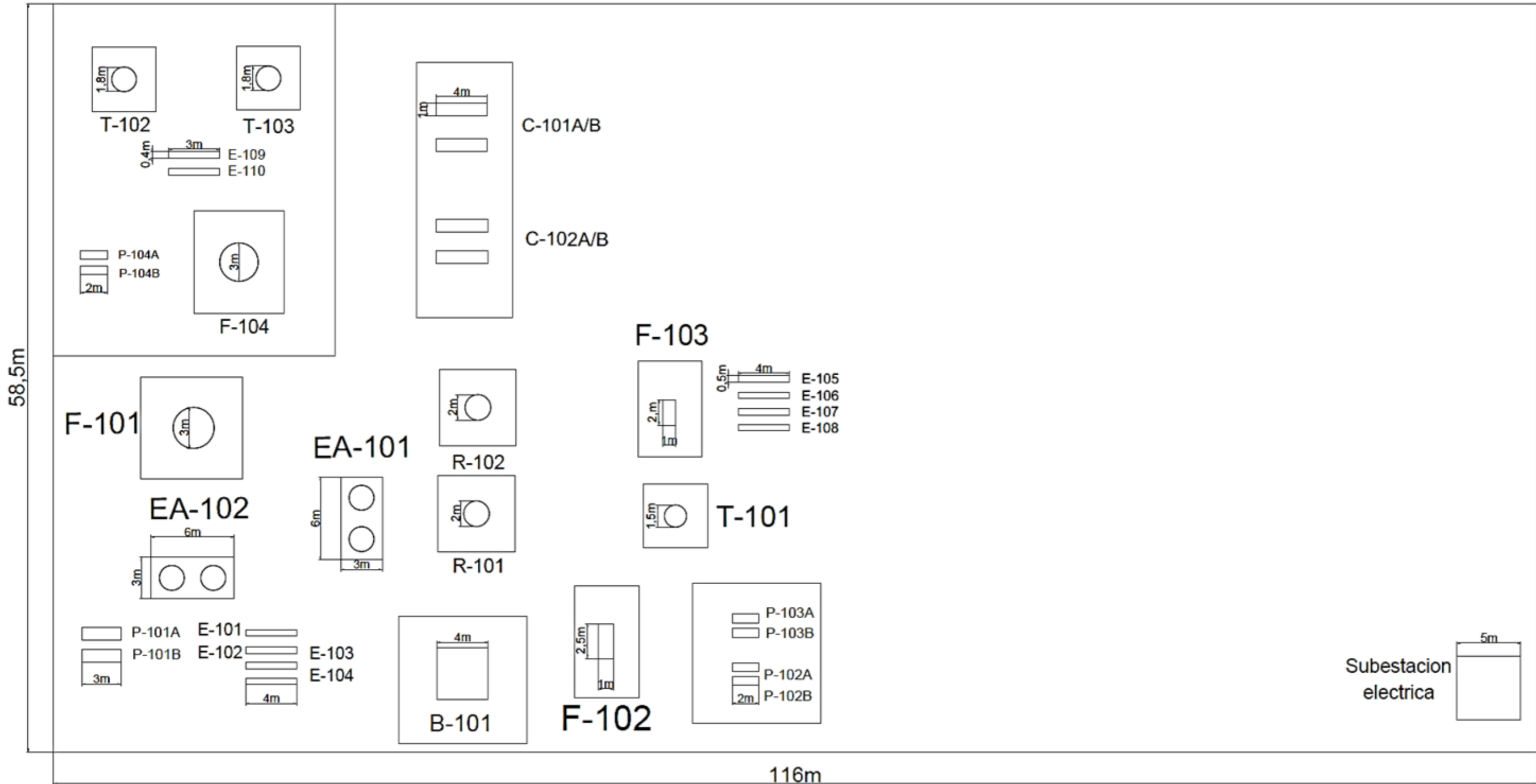
Complejo industrial ensenada ex ipako

UTN FRLP	Integración V	
	Plano de distribución de áreas de la planta.	
PROFESORES: Ing. Juan D Vrcic. Ayudantes: Ing. Hernán Rueda, Ing. Paola Nieto		Plano N° 5
Alumnos: Facundo De Blasi, Francisco Risculese		2021



8.4. Plano de distribución de equipos

Análogamente al apartado anterior, el plano detallado de distribución de equipos se puede ver en la siguiente imagen, el cual, sigue los mismos fundamentos que lo desarrollado anteriormente.



UTN FRLP	Integración V	
	Plano de distribución de equipos de la planta.	
PROFESORES: Ing. Juan D Vrcic.	Ayudantes: Ing. Hernán Rueda, Ing. Paola Nieto	Plano N° 6
Alumnos: Facundo De Blasi, Francisco Risculese		2021



8.5. Importancia de la disposición de equipos y requisitos que debe reunir un Layout. Método de Richard Muther SLP.

Como se mencionaba en los últimos dos apartados, según el método de Muther, conociendo de manera ordenada los diversos elementos o particularidades implicadas en la distribución de la planta, y también teniendo datos de los procedimientos de cómo debe ser realizada una óptima distribución para integrar todos los elementos, se podrá establecer un medio sistemático y ordenada para estudiar la disposición de equipos y requisitos a reunir en un plano maestro de layout.

La distribución en planta, de por sí, implica el ordenamiento físico de los elementos industriales, donde, se incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos, y todas las actividades extras o servicios (equipo de trabajo y personal de taller).

Así, el objetivo será hallar una ordenación de las áreas de trabajo y de los equipos, que sean lo más viables económicamente para el trabajo en planta, y al mismo tiempo que garanticen la mayor seguridad y satisfacción para los empleados. Esto, específicamente, se enlista a continuación:

- ❖ Reducción del riesgo para la salud y aumento de seguridad de los trabajadores.
- ❖ Mejora en la moral y la satisfacción de los trabajadores.
- ❖ Incremento de la producción, reducción de los retrasos en la misma y del material en proceso.
- ❖ Ahorro del área ocupada.
- ❖ Reducción del manejo de materiales, mayor utilización efectiva de la maquinaria, de la mano de obra y de los servicios.
- ❖ Reducción del trabajo administrativo y del trabajo indirecto.
- ❖ Logro de una supervisión más sencilla y efectiva.
- ❖ Disminución en la congestión y en la confusión.
- ❖ Disminución del riesgo en el uso del material o su calidad.
- ❖ Mayor facilidad para el ajuste por cambios en ciertas condiciones.

En conclusión, se determina y demuestra que los principios impuestos por Muther son cumplidos por los diagramas diseñados y presentados en los apartados de este capítulo. A su vez, el desarrollo presentado permite adquirir soluciones versátiles y mejoradas frente a varios escenarios, como por ejemplo una expansión de la planta con el fin de aumentar la producción.



9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación de Impacto Ambiental es el procedimiento obligatorio que permite identificar, predecir, evaluar y mitigar los potenciales impactos que un proyecto de obra o actividad puede causar al ambiente en el corto, mediano y largo plazo. Es un instrumento técnico-administrativo que permite una toma de decisión informada por parte del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) respecto de la viabilidad ambiental de un proyecto y su gestión ambiental.

Los principales objetivos de la EIA son:

- Determinar la viabilidad ambiental de un proyecto a través de una toma de decisión informada.
- Promover la transparencia y la participación pública en el proceso de planificación y toma de decisiones.
- Propiciar la prevención y adecuada gestión de los potenciales impactos ambientales asociados al proyecto.

El documento técnico central de la EIA es el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), el cual contiene descripción de proyecto, línea de base ambiental, el marco legal, el análisis de alternativas, la identificación y valoración de los potenciales impactos ambientales y sociales que el proyecto (en todas sus etapas), puede causar, con esta información se puede seleccionar las mejores alternativas para evitar los efectos negativos (prevenir, mitigar y/o compensar) y potenciar los positivos, las cuales forman parte del Plan de Gestión Ambiental, también se incluye un Plan de Contingencia que nos permite planificar cómo actuar frente a distintas amenazas.

9.1. Línea de base ambiental

Una línea de base ambiental nos permite tener una idea de la situación ambiental actual de la región, teniendo en cuenta todas las variables ambientales, es el primer paso a la hora de realizar un estudio de impacto ambiental.

La región cercana a la ubicación de la planta muestra un conjunto de atributos que se pueden sintetizar como beneficios, impactos y amenazas. Dentro de los primeros existen una serie de recursos, tales como agua y peces y en menor grado aves y mamíferos; funciones como el control de las inundaciones, refugio de vida silvestre, protección costera, provisión de agua y recreación, y por último atributos como la diversidad biológica y el patrimonio cultural.



Entre los impactos y amenazas se destacan las actividades desarrolladas por refinerías de petróleo y petroquímicas y la infraestructura de transporte, que atraviesa este ambiente y que ha contribuido a aumentar la presión urbana sobre los humedales como así también a alterar en parte su funcionamiento. Existe asimismo sobreexplotación de recursos, destrucción de la vegetación, extracción de suelos y fuerte presión demográfica a pesar de los riesgos de inundación y anegamiento.

Ronco et al (2008), analizaron las cargas de contaminación en los sedimentos de fondo de tres cuencas de drenaje que atraviesan áreas urbanas e industrializadas y compararon los resultados con los sectores menos afectados por la actividad antrópica. Las mayores concentraciones se encontraron en el Canal Oeste y en el Riachuelo.

En el Canal Oeste también se detectaron sulfuros en los sedimentos del fondo con concentraciones que superan los 1000 mg/kg de peso seco. Además, se detectó enriquecimiento de fósforo total, contaminación por cianuro en estos sedimentos, y se observaron altas concentraciones de cloruro, sulfato, nitrato y altas cargas de hidrocarburos.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, Pelusso (2011), analizó sedimentos obtenidos del sector medio del Canal Oeste. La actividad antrópica fue señalada como la causa de serios problemas de contaminación en aguas superficiales, debido a la existencia de numerosas fuentes puntuales de contaminación asociadas con industrias petroquímicas, petrolera, metalúrgicas, plantas de madera y papel, sumado a efluentes urbanos sin tratamiento y relleno sanitario, entre otros. Informó un importante sumidero de metales y compuestos orgánicos en sedimentos del canal Oeste.

Teniendo estos puntos en cuenta, sabemos que la región ya ha sido afectada por la contaminación, en especial el canal Oeste que se encuentra en las cercanías de nuestro proyecto, por lo que no estamos frente a una región que va a ser muy susceptible a los impactos ambientales como lo sería una zona más virgen.

9.2. Síntesis descriptiva

Con todo lo definido hasta ahora en cuanto a la ubicación, clima, suelo, vientos y la línea de base ambiental, podemos realizar un resumen.

El proyecto de la planta industrial para producir DV se encuentra en Ensenada sobre el camino Vergara, en frente a la zona natural comprendida por el Parque



Provincial Martín Rodríguez, el cual no tiene cualidades excepcionales o únicas. El sitio se encuentra a unos 4 kilómetros del núcleo urbano de La Plata.

El terreno donde se va a ubicar el proyecto consiste en una parcela de 300 metros por 170 metros, entre la empresa Petrocuyo y el Parque Industrial Ensenada ex IPAKO. A 3 kilómetros encontramos el Aero Club La Plata y a poco más de 3 kilómetros del Puerto La Plata, cerca del cual se encuentra la estación de tren Dock Central, que conecta La Plata con Buenos Aires y muchos otros puntos del país.

Cerca del sitio, a unos 500 metros, se encuentra la Central Dique, donde hay estación eléctrica de donde salen líneas de alta tensión. También existe acceso a la red de gas y detrás de la planta se encuentra la refinería de YPF, por lo tanto, están al alcance distintos servicios que pueden proveer. Por otro lado, el canal Oeste pasa por detrás de la planta, el cual desemboca en el Río de La Plata y tiene un caudal reducido.

La planta está rodeada de diversos tipos de plantas industriales, las cuales son fuentes de contaminación, por lo que el impacto que va a tener la ubicación de nuestra planta en este lugar es más reducido, ya que es un lugar que ya fue alterado por la influencia humana. El viento por lo general proviene del sureste (SE), lo que significa que el sitio se encuentra a barlovento de la ciudad, por lo tanto, las emisiones gaseosas van a ser usualmente arrastradas a la ciudad.

La altura sobre el nivel del mar (msnm) del terreno está apenas por encima del 0, en Ensenada en promedio el valor es de 5 msnm. El terreno es relativamente llano y la pendiente se considera nula. El micro relieve es plano, existe vegetación no implantada como por ejemplo árboles y arbustos autóctonos los cuales, en su mayoría, van a tener que ser removidos.

La unidad basal está constituida por limos arcillosos a arcillas limosas, de color verde oliva a negro con intercalaciones de capas de arena fina del mismo color, de alto límite líquido. Por encima y en forma transicional los sedimentos se hacen más firmes, plásticos y adhesivos y con colores verdosos a castaños.

Los suelos que se encuentran en Ensenada son fuertemente hidromórficos, con una capa freática cercana a la superficie, con cierta depresión que favorece las inundaciones. Son suelos con condiciones geoquímicas estables en el tiempo debido a la textura arcillosa, la cual impide el acceso rápido de oxígeno y presenta condiciones reductoras. Tiene propiedades de baja permeabilidad, lo que tiene aspectos positivos, como que en caso de que caiga algún contaminante al suelo, no va a llegar fácilmente a la fuente de agua subterránea, pero también tiene aspectos negativos como es la frecuente inundación.



9.3. Nivel de complejidad ambiental

Se determina a partir de una ecuación y nos clasifica a las empresas en tres categorías según el peligro que supone su funcionamiento para la seguridad, salubridad e higiene de la población y el medio ambiente.

$$NCA = Ru + ER + Ri + Di + Lo$$

Donde:

Ru: Rubro de la actividad, tiene que ver con las materias primas, materiales que se manipulan, elaboran o almacenan, y el proceso desarrollado. Las industrias se dividen en tres grupos según el tipo de industria, en nuestro caso entramos en la clasificación petroquímica y pertenecemos al grupo 3, el cual tiene un valor de **10 puntos**.

ER: Calidad de los efluentes y residuos que se generan. Se clasifican como de tipo 0, 1 o 2, para nuestra planta, al tener emisiones de CO₂ y CO, agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no genera residuos peligrosos, entramos en la clasificación de tipo 1, la cual se le asigna un valor de **3 puntos**.

Ri: Riesgos potenciales de la actividad, se asigna 1 punto por cada uno que corresponda, en nuestro caso tendremos en cuenta: incendio, explosión, derrames y por aparatos de presión. Por lo tanto, suman **4 puntos**.

Di: Dimensión del emprendimiento, considerando la dotación de personal, la potencia instalada y la superficie. Según la cantidad de personal tenemos entre 51 y 150 empleados, por lo que suma 2 puntos, por la potencia instalada nos encontramos entre 101 y 500 HP, por lo que de igual forma suma 2 puntos y por último entre superficie cubierta y superficie total tenemos un valor entre 0,51 y 0,81, por lo que suma 2 puntos más. En total suman **6 puntos**.

Lo: Localización de la empresa, teniendo en cuenta la zonificación municipal y la infraestructura de servicios que posee. Al ubicarnos en un parque industrial, no suma puntos por la zona y suma **1,5 puntos** por la carencia de infraestructura de servicio de cloacas, gas y agua.

Sumando todos los puntajes, obtenemos un total de **24,5 puntos**, por esta razón entramos en la segunda categoría del nivel de complejidad ambiental. Esto significa que nuestra planta constituye una molestia para la salubridad e higiene de la población u ocasiona daños a los bienes materiales y al medio ambiente.

Para la segunda categoría va a ser necesario presentar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Además se exige una nota de solicitud del Certificado de Aptitud Ambiental (CAA), factibilidad de provisión e informe sobre los consumos máximos estimados de agua, energía eléctrica y gas, memoria



descriptiva de los procesos productivos con detalle de cada etapa, croquis con identificación de equipos productores de efluentes gaseosos, líquidos, sólidos y/o semisólidos, y una descripción de elementos e instalaciones para la seguridad y preservación de la salud del personal y prevención de accidentes. Esta información será evaluada por el OPDS y otorgará o denegará el CAA.

9.4. Lista de comprobaciones ambientales

Esta lista nos va a permitir tener una idea cualitativa del impacto ambiental que se puede generar en la región que nos vamos a ubicar, ya sea negativo o positivo, teniendo en cuenta la línea de base ambiental, la síntesis descriptiva y el marco legal.

¿Podría el proyecto afectar a los ecosistemas naturales?	Observaciones	Valoración +/- /neutro
¿Podría el proyecto afectar sitios de valor ecológico significativo?	Sí, debido a que enfrente se encuentra el Parque Provincial Martín Rodríguez y podría ser afectado por el aumento de tráfico de vehículos, contaminación sonora y emisiones gaseosas.	-
¿Podría verse afectada alguna característica significativa en el sitio o área de influencia?	Sí, en caso de derrames podría contaminarse el suelo, el agua superficial y con menor probabilidad el agua subterránea.	-
¿Podría verse afectarse la fauna silvestre?	No existe fauna silvestre que podría ser afectada.	Neutro
¿Podría afectarse la vegetación implantada o no implantada?	Sí, para la etapa de construcción va a ser necesario talar algunos árboles y retirar algunos arbustos y pastizales.	-
Otra		
¿Podría el proyecto afectar la calidad del paisaje?	No.	Neutro
¿Podría el proyecto afectar la calidad de los suelos?	Sí, aunque debido a que es una zona en donde ya hay ubicadas industrias, el impacto va a ser mínimo.	-
¿Podría el proyecto incrementar el coeficiente de escurrimiento superficial, por compactación del suelo?	No.	Neutro
¿Podría el proyecto incrementar el coeficiente de escurrimiento superficial, por la construcción de nuevas áreas impermeables?	Si.	-



¿Podrían contaminarse los suelos por vertido de distintos contaminantes?	Sí.	-
¿Podrían degradarse suelos de buena calidad aptos para la agricultura?	No.	Neutro
¿De dónde se extraerán los suelos para la ejecución de las obras de relleno y nivelación?	Se extraerán de canteras habilitadas por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable (OPDS).	+
¿Cómo podría minimizarse la degradación de suelos en zonas de préstamo?	Cumpliendo estrictamente con las normas y procedimientos establecidos para minería de suelos por OPDS.	+
¿Cómo podría prevenirse la contaminación de los suelos por vertidos de sustancias contaminantes?	Implementando medidas de mantenimiento preventivo y correctivo para minimizar fallas, fugas y accidentes que conlleven derrames de contaminantes.	+
Otras		
¿Podría el proyecto afectar la calidad del aire?	Sí.	-
¿Se afectará la calidad del aire por la emisión de material particulado? ¿Pueden estimarse los niveles de emisión antes y después del tratamiento?	La emisión de material particulado va a ser entre mínima y nula, por lo que no va a tener un impacto significativo.	Neutro
¿Cómo podría minimizarse la contaminación del aire por emisión de material particulado?	-	Neutro
¿Se afectará la calidad del aire por emisiones gaseosas? ¿Cuál será la concentración de los distintos parámetros? ¿Cuáles serán los niveles de emisión antes y después del tratamiento?	Sí, en la planta se produce CO ₂ y CO como subproducto de la reacción y separa en su gran mayoría para ser llevado a la antorcha de la petroquímica, donde va a ser quemado con otros combustibles y gases. Se emiten cerca de 135 kg/h de CO ₂ y 65 kg/h de CO.	-
¿Cómo podría minimizarse la contaminación del aire por emisiones gaseosas?	Mediante la aplicación de medidas preventivas y correctivas para evitar fallos en los equipos, respetar las condiciones de operación y las indicaciones del catalizador para evitar una producción mayor de estos gases.	+
¿Se afectará la calidad acústica por ruidos y vibraciones? ¿Cuáles serán los niveles de emisión?	Sí, los niveles de emisión van a ser bajos.	-



Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

¿Cómo podría minimizarse la contaminación acústica?	Podría minimizarse mediante la implementación de edificios que aíslen el sonido y con un mantenimiento adecuado de los equipos.	+
¿Cuál es la ubicación del proyecto respecto a la dirección de los vientos dominantes?	La planta se ubica a barlovento de la ciudad de La Plata.	-
Otras		
¿Podría el proyecto afectar la calidad de los recursos hídricos superficiales?	Sí.	-
¿Podría el proyecto comprometer la capacidad de transporte hidráulico de la red de drenaje natural al incrementar el coeficiente de escurrimiento superficial?	Sí, debido a la instalación de edificios, caminos pavimentados y a la modificación del terreno.	-
¿Podría aumentar la carga de sedimentos a cuerpos superficiales?	No.	Neutro
¿Podrían contaminarse las aguas superficiales por la descarga de efluentes líquidos en los cuerpos receptores? ¿Cuáles serán los parámetros de emisión antes y después del tratamiento?	Sí, aunque el impacto es mínimo ya que solo podría ser afectado por los posibles derrames.	-
¿Podría comprometerse la presencia y diversidad de la fauna ictícola en el cuerpo receptor de los efluentes líquidos?	No.	Neutro
¿Cómo podría minimizarse la contaminación de las aguas superficiales?	Respetando las medidas de seguridad, prevención y corrección, para evitar principalmente los posibles derrames.	+
Otras		
¿Podría el proyecto afectar la calidad de los recursos hídricos subterráneos?	No.	Neutro
¿Podría el proyecto contribuir a la depleción/abatimiento del acuífero subterráneo?	No, debido a que el suelo tiene una permeabilidad muy bajo.	Neutro.
¿Podría verse afectada la calidad del agua	No.	Neutro



subterránea por sobreexplotación?		
¿Podría afectarse la calidad del agua subterránea por contaminación con vertidos? ¿Cuáles serían los principales contaminantes?	Si, el riesgo va a ser mínimo, existe una pequeña probabilidad, los principales contaminantes serian aceite de soja e hidrocarburos.	-
¿Podría alterarse el mecanismo de la infiltración/recarga?	No.	Neutro
¿Cómo podría minimizarse la degradación de los acuíferos subterráneos?	No.	Neutro.
¿Podría el proyecto generar situaciones de riesgo ambiental por desastres naturales o tecnológicos?	Sí.	-
¿Podría contribuir el proyecto a la ocurrencia de desastres tecnológicos?	Sí, debido a que se manipula grandes cantidades de hidrogeno a altas presiones, el cual es altamente inflamable y explosivo.	-
¿Qué tipos y/o subtipos de desastre tecnológicos podrían producirse en el sitio de funcionamiento del proyecto?	Según la clasificación del EM-DAT, los posibles desastres van a ser del grupo tecnológico, del subgrupo accidente industrial y los más probables son del tipo derrame químico, explosión y fuego.	-
¿Cómo podría prevenirse la ocurrencia de desastres tecnológicos en el sitio de funcionamiento del proyecto?	Mediante la aplicación de medidas preventivas y correctivas, y respetando las normas de seguridad e higiene.	+
¿Contribuiría el proyecto a aumentar el riesgo hídrico en sus zonas de influencia?	No.	Neutro.
¿Qué impacto tendrá el proyecto sobre la infraestructura de servicios?		
¿Podría el proyecto afectar la seguridad y eficiencia en el servicio de distribución de gas natural? ¿Cuál es la demanda estimada de gas natural?	Sí, ya que se requiere hacer una instalación de gas natural, pero la demanda de gas natural no es muy elevada, por lo que no va a tener un impacto muy relevante.	-
¿Podría el proyecto afectar la seguridad y	Sí, la demanda estimada de electricidad va a ser media.	-



eficiencia en el servicio de distribución de energía eléctrica? ¿Cuál es la demanda estimada de energía eléctrica?		
¿Podría el proyecto afectar la seguridad y eficiencia en el servicio de distribución de agua potable? ¿Cuál es la demanda estimada de agua potable?	Sí, la demanda estimada de agua potable es media.	-
¿Podría el proyecto afectar la seguridad y eficiencia en el servicio de recolección de líquidos cloacales? ¿Cuál es el caudal estimado?	No, el caudal va a ser mínimo.	Neutro
¿Podría el proyecto afectar la capacidad de transporte hidráulico del sistema de drenajes pluviales? ¿Cuál es el caudal estimado?	No, el caudal va a ser mínimo.	Neutro
¿Podría el proyecto afectar los usos del suelo?	No.	Neutro
¿Podría el proyecto afectar a la población asentada en sus zonas de influencia?	Sí.	Neutro
¿Podría el proyecto tener influencia sobre la salud de la población?	Sí, ya que contribuye con las emisiones que, frente a exposiciones constantes y concentraciones considerables, pueden producir enfermedades cardiacas y pulmonares, incluso cáncer.	-
¿Podría el proyecto tener efectos sobre la seguridad pública en sus zonas de influencia?	Sí, por la probabilidad de accidentes, principalmente de explosión, que es el que mayores daños podría producir.	-
¿Podría el proyecto incidir sobre el medio socio económico?	Si.	+
¿Podría generarse empleo de mano de obra local en cada una de sus etapas?	Si, tanto en el ámbito de administración como empleados de planta, entre otros puestos de trabajo.	+
¿Se producirán impactos sobre el valor de la tierra?	No.	Neutro
¿Podría el proyecto dinamizar la economía local y regional?	Sí.	+



¿Podría el proyecto generar nuevas actividades productivas?	Sí.	+
¿Tendrá impacto el proyecto sobre la recaudación tributaria a nivel local y regional?	Sí.	+
¿Qué residuos se generarán durante el funcionamiento del proyecto?		
¿Qué tipo y cantidad de residuos sólidos y semisólidos se generarán durante el funcionamiento del proyecto?	Dentro de los residuos sólidos, tenemos al catalizador, el cual tiene una vida útil de 5 años.	-
¿Qué estrategias de gestión de residuos sólidos y semisólidos se aplicarán para minimizar los impactos negativos?	Para evitar impactos negativos se enviará el catalizador a lugares especiales donde se encarga de su correcta deposición.	+

Tabla 67: Lista de comprobación ambiental

Fuente: Elaboración propia



9.4. Matriz de identificación de impactos

MTRIZ DE IDENTIFICACIN DE EFECTOS			ETAPA DE CONSTRUCCIN								PRODUCCIN DE GREEN DIESEL														
			Limpieza del terreno e instalacin del obrador 1	Desmonte, relleno del terreno, compactacin y nivelacin 2	Movimiento de suelos para excavaciones 3	Fundaciones de hormign armado 4	Montaje de naves industriales e instalaciones especiales 5	Construccin red vial interna 6	Obras menores de albaileria 7	Pintura, trabajos de terminacin, y limpieza 8	ETAPA DE FUNCIONAMIENTO														
FACT. SUSCEP. DE POTENCIALES IMPACT.											Ingreso y almacenamiento de insumos	Hidrotratamiento	Isomerizacin	Sep. CO2	Columna de absorcin de CO2	Recuperacin de amina	Columna de destilacin	Almacenamiento del producto obtenido	Mantenimiento correctivo y preventivo de las instalaciones	Gestin de residuos lquidos dolidos y semisolidos	Gastin de efluentes gaseosos y material particulado	Gestin de efluentes lquidos			
Medio Natural	Medio fisico inerte	Aire	Contam. por emisiones gaseosas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X			
			Contam. por material particulado	X	X	X	X	X	X	X	X	X											X		
			Calidad acstica	X	X	X	X	X	X	X	X	X													
		Suelos	Capacidad de uso																						
			Topografia																						
			Compactacin		X																				
			Permeabilidad		X					X															
			Contaminacin por vertidos	X	X	X	X	X	X	X															X
			Modificacin de los patrones de infiltracin y escurrimiento		X																				
	Agua subterfnea	Imperm. de reas de recarga																							
		Deplecin y abatimiento																							
	Agua superficial	Contaminacin por percolado	X	X	X	X	X	X																X	
		Contaminacin qumica	X	X	X				X		X													X	
	Flora	Aporte a la escorrentia		X					X	X															
		Abundancia																							
	Fauna	Diversidad																							
		Abundancia																							
Medio Antropico	Paisaje	Calidad intrinseca																							
		Valoracin perceptiva																							
	Poblacin	Seguridad Pblica y Riesgos por desastres nat. y tec.	X	X	X	X	X	X														X	X		
		Generacin de residuos	X	X	X	X	X	X	X	X													X	X	
	Condiciones higinicas	Riesgo de inundaciones o anegamiento																							
		Activ. econmicas afectadas																							
	Economia	Activ. econmicas inducidas	X	X	X	X	X	X	X	X												X	X	X	
		Ingresos Pblicos	X	X	X	X	X	X	X	X												X	X	X	
		Economia Local/Regional	X	X	X	X	X	X	X	X												X	X	X	
	Uso del suelo	Economia Local/Regional	X	X	X	X	X	X	X	X												X	X	X	
		Valor de la tierra		X																					
	Infraestructura servicios	Subdivisin de la tierra																							
		Compet. de usos del suelo																							
		Sist. circulatorio vehicular - Accesibilidad y conectividad	X	X	X	X	X	X																X	
		Sist. circulatorio vehicular - Accesibilidad a prop. frentistas.																							
		Recoleccion y transporte de Sist. de distr. de en. elctrica	X	X	X	X	X	X	X	X													X	X	



9.5. Matriz de evaluación de impactos

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS			ETAPA DE CONSTRUCCION								SUMA IMPORTANCIA	CANTIDAD DE ACCIONES	IMPORTANCIA POR FACTORES		
			Limpieza del terreno e instalación del obrador 1	Desmonte, relleno del terreno, compactación y nivelación 2	Movimiento de suelos para excavaciones 3	Fundaciones de hormigón armado 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					
FACT. SUSCEP. DE SER AFECTADOS POR															
Medio Natural	Medio físico inerte	Aire	Contam. por emisiones gaseosas	-3.7	-4.4	-5.6	-6.4	-6.9	-6.9	-3.9	-3.9	-41.7	8	-5.2	
			Contam. por material particulado	-3.8	-3.9	-5.4	-5.2	-5.1	-5.6	-3.7	-3.9	-36.8	8	-4.6	
			Calidad acústica	-3.8	-4.0	-4.8	-4.8	-5.3	-5.5	-3.8	-3.9	-35.7	8	-4.5	
		Suelos	Capacidad de uso										0.0	0	0.0
			Topografía										0.0	0	0.0
			Compactación		-5.9								-5.9	1	-5.9
			Permeabilidad		-5.6				-5.4				-11.0	2	-5.5
		Agua subterránea	Contaminación por vertidos	-3.6	-4.1	-4.1	-4.1	-4.1	-4.9		-4.9		-29.9	7	-4.3
			Modificación de los patrones de infiltración y escurrimiento		-5.4								-5.4	1	-5.4
			Imperm. de áreas de recarga										0.0	0	0.0
	Depleción y abatimiento											0.0	0	0.0	
	Contaminación por percolado		-4.4	-4.9	-5.1	-4.9	-4.6	-5.1				-29.0	6	-4.8	
	Contaminación química		-3.2	-3.4	-3.4			-3.7		-3.9		-17.7	5	-3.5	
	Agua superficial	Aporte a la escorrentía		-3.9			-3.4	-3.6				-10.9	3	-3.6	
		Abundancia										0.0	8	0.0	
	Flora	Diversidad										0.0	8	0.0	
		Abundancia										0.0	8	0.0	
	Fauna	Diversidad										0.0	8	0.0	
		Abundancia										0.0	8	0.0	
	Medio Antrópico	Paisaje	Calidad intrínseca										0.0	8	0.0
Valoración perceptiva												0.0	8	0.0	
Población		Seguridad Pública y Riesgos por desastres nat. y tec.	-4.9	-5.1	-5.4	-4.9	-5.9	-5.6		-5.1		-36.9	7	-5.3	
		Generación de residuos	-4.6	-5.1	-4.6	-6.1	-6.1	-6.1	-4.1	-5.6		-42.5	8	-5.3	
Condiciones higiénicas		Riesgo de inundaciones o anegamiento										0.0	0	0.0	
		Actividades económicas afectadas										0.0	0	0.0	
Economía		Actividades económicas inducidas	6.1	7.1	7.1	6.9	7.6	7.1	6.1	6.4		54.5	8	6.8	
		Ingresos Públicos	6.1	6.6	6.4	7.1	7.1	6.9	6.1	6.1		52.5	8	6.6	
		Economía Local/Regional	6.1	6.9	6.9	6.6	7.4	6.9	5.9	5.9		52.5	8	6.6	
Uso del suelo		Valor de la tierra		5.1								5.1	1	5.1	
		Subdivisión de la tierra										0.0	0	0.0	
		Compet. de usos del suelo										0.0	0	0.0	
Infraestructura servicios		Sist. circulatono vehicular - Accesibilidad y conectividad	-4.9	-5.4	-5.4	-5.4	-5.9	-5.4		-4.9		-37.2	7	-5.3	
	Sist. circulatono vehicular - Accesibilidad a prop.										0.0	0	0.0		
	Recolección y transporte de residuos.	-4.9	-4.9	-4.4	-5.1	-6.3	-5.3	-4.1	-4.8		-39.8	8	-5.0		
	Sist. de distr. de en. eléctrica										0.0	0	0.0		
SUMA IMPORTANCIA POR FACTORES													-43.1		
CANT. DE FACT. SUSCEP. DE SER IMPACT.													18.0		
IMPORTANCIA RELATIVA													-2.4		
JUICIO SOBRE EL IMPACTO POR ACCIONES													MB		
SUMA IMPORTANCIA POR ACCIONES			-23.4	-40.3	-27.9	-26.2	-31.4	-42.3	-1.5	-22.6	-215.6				
CANT. FACT. IMPACTADOS POR ACCION			13.0	18.0	13.0	12.0	13.0	15.0	8.0	12.0	104.0				
IMPORTANCIA POR ACCIONES			-1.8	-2.2	-2.1	-2.2	-2.4	-2.8	-0.2	-1.9	-2.1				
JUICIO SOBRE EL IMPACTO POR ACCIONES			MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB				



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

ETAPA DE FUNCIONAMIENTO																	SUMA IMPORTANCIA	CANTIDAD DE ACCIONES	IMPORTANCIA POR FACTORES
Ingreso y almacenamiento de insumos	Hidrotratamiento			Isomerización			Separación de CO2			Almacenamiento del producto obtenido	Mantenimiento correctivo y preventivo de las instalaciones	Gestión de residuos líquidos dólidos y semisólidos	Gestión de efluentes gaseosos y material particulado	Gestión de efluentes líquidos					
	Envío a intercambiadores de calor y hornos	Envío a reactor HDO	Separación de impurezas	Envío a intercambiadores de calor y hornos	Envío a reactor de isomerización	Envío a intercambiadores de calor y aerofriador	Separación de corrientes	Columna de absorción de CO2	Recuperación de amina						Columna de destilación				
-5.9	-5.6	-5.4		-7.4	-5.4	-5.6		-6.6	-5.6	-6.6			-4.1	-6.6	-4.9	-64.9	12	-5.4	
	-4.9			-4.9		-5.4							-5.1	-5.6		-25.9	5	-5.2	
-6.4	-6.4			-6.4		-6.9		-5.2	-5.2	-5.9		-5.7				-48.3	8	-6.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
-7.5	-6.5	-8.8		-6.5	-8.8	-6.5		-7.8	-7.8	-9.4	-8.3	-5.0			-6.4	-82.6	12	-6.9	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
-7.0	-6.0	-8.0	-5.0	-6.0	-8.0	-6.0	-5.0	-6.8	-6.8	-8.8	-7.3	-4.5			-5.9	-85.0	14	-6.1	
-6.5	-5.8	-6.3	-4.8	-5.8	-6.3	-5.8	-4.8	-6.3	-6.3	-7.5	-7.0	-5.3			-6.1	-78.0	14	-5.6	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
-7.9	-6.6	-9.1	-6.1	-6.6	-9.1	-6.6	-6.1	-7.6	-7.6	-8.1	-7.6	-5.9	-5.9	-5.9	-5.4	-107.0	16	-6.7	
-6.3	-5.8	-7.5	-4.9	-5.8	-8.0	-5.8	-4.9	-7.3	-7.3	-6.8	-6.0	-6.5	-8.0	-6.1	-4.9	-96.6	16	-6.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
7.4	4.9	5.6	4.1	4.9	5.6	4.9	4.1	5.6	5.6	6.1	5.6	5.1	5.4	4.9	5.4	80.0	16	5.0	
6.9	4.6	5.4	3.9	4.6	5.4	4.6	3.9	5.4	5.4	5.9	5.4	4.6	5.1	4.9	5.1	76.0	16	4.7	
6.9	4.6	5.4	3.9	4.6	5.4	4.6	3.9	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.1	4.9	5.1	76.2	16	4.8	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
																0.0	0	0.0	
-6.1																-6.1	1	-6.1	
																0.0	0	0.0	
-5.1	-4.6	-5.1	-4.4	-4.6	-5.9	-4.6	-4.4	-4.9	-4.9	-5.1	-5.1	-4.1	-5.1	-4.6	-4.9	-72.7	16	-4.5	
-6.1	-6.6			-6.6		-7.1										-26.5	4	-6.6	
																		-50.7	
																		14.0	
																		-3.6	
																		MB	
-43.7	-44.7	-33.8	-13.3	-46.5	-35.0	-46.2	-13.3	-35.9	-34.9	-40.8	-24.9	-21.8	-12.6	-14.3	-22.8	-484.3			
13.0	13.0	10.0	8.0	13.0	10.0	13.0	8.0	11.0	11.0	11.0	8.0	10.0	8.0	8.0	10.0	165.0			
-3.4	-3.4	-3.4	-1.7	-3.6	-3.5	-3.6	-1.7	-3.3	-3.2	-3.7	-3.1	-2.2	-1.6	-1.8	-2.3	-2.9			
MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB			



En la matriz de evaluación de impactos podemos ver que la importancia por acciones en todas las etapas del proyecto, tanto de construcción como de operación, da valores inferiores a -4, por lo que el juicio sobre estas acciones es que tiene un impacto negativo muy bajo (MB).

9.5. Residuos, efluentes y emisiones gaseosas

Analizaremos los residuos y efluentes generados durante la etapa de construcción de la planta y la etapa de funcionamiento.

En la etapa de construcción se generarán residuos sólidos producto de la tala de árboles y limpieza del terreno, además de los residuos que generen los trabajadores, comparables a los domiciliarios. También por momentos existirá emisión de material particulado, cuando se realicen trabajos de corte o excavaciones, por ejemplo. Por otra parte, estarán los residuos que surgen de los materiales de construcción.

En la etapa de funcionamiento tendremos como residuo sólido al catalizador desactivado, cada 5 años, el cual se considera residuo peligroso y se deberá tomar las medidas correspondientes para su disposición. Luego tendremos los residuos provenientes del trabajo de oficina, del comedor, de los baños, que son comparables a los domiciliarios. Estos residuos comparables a los domiciliarios serán almacenados en bolsas y basureros, y luego serán entregados al servicio de recolección municipal de residuos urbanos.

En cuanto a los efluentes, en ambas etapas se generarán del tipo cloacal, por el uso de los sanitarios y la limpieza de las instalaciones. En lo que respecta a efluentes industriales, vamos a tener una corriente de agua que sale del separador flash trifásico (F-102), la cual puede contener ciertos hidrocarburos como contaminantes y va a requerir ser enviada a una planta de tratamiento.

Por último, las emisiones gaseosas, para la etapa de construcción tendremos las provenientes de los motores de la maquinaria utilizada para excavar, las grúas, camiones y demás. Luego, para la etapa de funcionamiento vamos a tener una emisión continua de gases debido a que se forman como producto indeseable en las reacciones del primer reactor (R-101), principalmente tendremos CO₂ y CO, que será purgado hacia la antorcha junto con una cantidad de hidrógeno, propano y pequeñas cantidades de DEA. Adicionalmente, tenemos las emisiones que se producen por la combustión de gas natural en el horno y la combustión de otra maquinaria.



9.6. Plan de Gestión Ambiental

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) Es un instrumento que ayuda a las organizaciones a establecer las pautas a seguir a fin de lograr el desarrollo sostenible de su actividad, mitigando, controlando y/o compensando su impacto negativo sobre el medio ambiente y potenciando los impactos positivos. Esto lo logra a través de medidas o acciones que se pueden clasificar en medidas de control, de mitigación, compensatorias, proactivas.

Las medidas de control son aquellas relacionadas al monitoreo de consumos de recursos y emisiones de efluentes y venteos. En general incluye todas las medidas relacionadas con la verificación (mediante indicadores físicos o de gestión) de que no se producen impactos negativos por encima de los estimados.

Las medidas compensatorias son aquellas que buscan generar un beneficio ambiental proporcional a un impacto negativo que es inevitable para el normal funcionamiento de la planta.

Las medidas proactivas son aquellas que puedan sugerirse como de cumplimiento deseable (se anexan como propuesta a aquellas medidas obligatorias). Adquieren obligatoriedad cuando son aceptadas por la Autoridad Competente.

Las medidas de mitigación son fundamentales y se encargan de anular, atenuar o corregir los impactos no controlables.

A continuación, mencionamos algunas medidas para cada etapa:

Etapa de construcción:

- Funcionamiento y movimiento de maquinarias, equipos, vehículos y personal. El contratista deberá controlar mensualmente el correcto estado de mantenimiento y funcionamiento del equipamiento utilizado, así como verificar el cumplimiento de las normas de tránsito vigentes, adecuada señalización diurna y nocturna y deberá realizar un plan o cronograma de tareas con el fin de obstaculizar lo menos posible el tránsito.
- Control de emisiones gaseosas, material particulado y ruidos y vibraciones. Se deberán organizar excavaciones y movimientos de suelos de modo que de minimizar a lo estrictamente necesario el área, se evitarán en días muy ventosos. Se preservará al máximo la vegetación en la zona de obra, se regarán los caminos de acceso y vías de acceso a la obra. Se evitarán el uso simultaneo de máquinas con elevado nivel de ruido y vibraciones. Se verificará el correcto funcionamiento de los motores, los cuales deberán tener mecanismos y filtros destinados a minimizar las emisiones.
- Gestión de los residuos. Se deberá contar en todo momento con recipientes adecuados y en cantidad suficiente para el almacenamiento seguro de la totalidad de los residuos generados. Los productos de derrames accidentales y los residuos especiales generados durante las



tareas de mantenimiento serán transportados a sitios de disposición en relleno sanitario o de seguridad previo tratamiento contratado.

- Control de excavaciones, remoción del suelo y cobertura vegetal. El contratista se asegurará de solo realizar lo estrictamente necesario. Se evitará el uso de herbicidas. Todos los suelos para relleno procederán de canteras habilitadas. Los árboles retirados serán replantados en los espacios libres de la planta.
- Control de acopio y utilización de materiales e insumos. Control de la manipulación y utilización de productos químicos y pinturas, capacitación del personal responsable del manejo de estos. Almacenamiento seguro para aquellos materiales peligrosos.
- Forestación. el contratista deberá efectuar la parquización y forestación del predio con una capa de pasto, el cual se va a sembrar. Se regará y cortará el pasto.
- Control de la señalización de la obra. Señalización permanente del riesgo, se incluirán vallados, carteles indicadores y señales luminosas.
- Notificaciones a la población: comunicación y notificación permanente a las autoridades y poblaciones locales sobre las tareas que se van a realizar.

Etapa de funcionamiento:

- Mantenimiento preventivo y correctivo de vehículos y equipos móviles. Se controlará el perfecto estado de mantenimiento y funcionamiento del parque automotor, se controlará de forma mensual que no existan derrames de combustibles y lubricantes, equipos que funcionen mediante motores de combustión, estarán equipados con mecanismos y filtros destinados a minimizar las emisiones. También se controlarán el cumplimiento de las normas de tránsito.
- Mantenimiento preventivo y correctivo de instalaciones fijas. Se buscará minimizar los impactos negativos a la calidad acústica, contaminación por emisiones y de material particulado. También se minimizarán las eventuales fugas y derrames de sustancias contaminantes por desperfectos. Mantenimiento de la totalidad de las instalaciones destinadas a la detección de incendios como sistemas de monitoreo y alarma, pero también a los sistemas de extinción de fuegos como extintores, reservas de agua, etc.
- Gestión de residuos sólidos y especiales. Coincide con la medida de mitigación para la etapa de construcción.
- Control de las emisiones gaseosas y efluentes, ruidos y vibraciones. Se deberá controlar que las emisiones de los diferentes gases y los efluentes no superen los parámetros establecidos como máximos por ley. Los equipos que generen ruidos y vibraciones serán cubiertos con barreras de aislamiento acústico.

Se podrán adicionar nuevas medidas si así lo requiere la Autoridad Competente.



El Plan de Gestión Ambiental deberá incluir además de las medidas, un programa de capacitación del personal y un programa de comunicación a la comunidad.

Durante la etapa de construcción, el contratista será el responsable general de todos los aspectos de la obra proyectada, y que se encargará de velar por el correcto cumplimiento de la política ambiental. Además, se deberá contar con un profesional Responsable Ambiental de la Obra que será el encargado de coordinar todas las actividades específicas del PGA, monitoreo de los parámetros ambientales, supervisión, e implementación de protección ambiental, tratamiento y seguimiento de eventos o impactos. El PGA de esta etapa deberá incluir los siguientes programas, con obligación de describirlos con detalle y la posibilidad de agregar aquellos que el Contratista crea necesario.

- Programa de gestión de residuos, efluentes líquidos y emisiones gaseosas.
- Programa de seguimiento de las medidas de protección ambiental.
- Programa para el control de movimiento de suelos.
- Programa para el control del transporte y la circulación de vehículos y peatones.
- Programa de seguridad e higiene en el trabajo.
- Plan de cumplimiento y control de medidas de mitigación.
- Plan de comunicaciones a la comunidad.

En cambio, durante la etapa de operación, el responsable será el Gerente General y los encargados de coordinar todas las actividades del PGA, los controles y medidas serán los jefes de las áreas Medioambiente y Seguridad e Higiene. En este caso los programas mínimos que contendrá la planificación ambiental serán los que se indican a continuación, pudiendo agregarse y detallarse cualquier otro programa que se considere necesario.

- Programa de gestión de residuos, efluentes líquidos y emisiones gaseosas.
- Programa de monitoreo ambiental.
- Programa para el control del transporte y la circulación de vehículos y peatones.
- Programa de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Programa de mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones.
- Programa de prevención de emergencias y plan de contingencias ambiental.
- Plan de cumplimiento y control de medidas de mitigación.

9.7. Análisis y evaluación de riesgos

Se evalúan los riesgos sobre el ambiente natural y social, tanto para la fase de construcción como para la fase de funcionamiento de la planta. Se toma en cuenta las consecuencias potenciales de un peligro, como la probabilidad de que



la misma se materialice. El objetivo principal es determinar los peligros naturales o antrópicos que podrían afectar al medio ambiente mediante la ejecución de las actividades del proyecto.

En la siguiente tabla se identifican distintos eventos y los riesgos que implican para las distintas para los distintos elementos, teniendo en cuenta la probabilidad (puntaje de 1 a 5) y la severidad (puntaje de 1 a 5) de los mismos.

Amenazas	Probabilidad	Severidad	Riesgo
Vientos fuertes	5	2	10
Tormenta eléctrica	5	3	15
Incendios y explosiones	4	5	20
Accidentes operacionales (derrames, fugas, goteos)	4	3	12
Accidentes vehiculares	3	2	6
Accidentes de trabajo	4	3	12
Cese de actividades por factores operativos o externos al proyecto	5	3	15
Corte de luz	5	3	15
Sismos	1	2	2
Inundaciones	5	1	5

Tabla 68: Análisis de riesgo de las distintas amenazas.

Fuente: Elaboración propia a partir del Estudio de Impacto Ambiental del Parque Eólico Pampa II.

Una vez identificadas las amenazas y estimando el riesgo de cada una como el producto de la probabilidad con la severidad, podemos clasificar a las amenazas en 3 grupos, de riesgo aceptable (verde), riesgo tolerable (amarillo) y riesgo crítico (rojo). Los incendios y explosiones tienen el mayor puntaje de riesgo por lo que hay que darle prioridad a la hora de implementar seguridad, diagramar un plan de contingencia y capacitar a los empleados para evitar este tipo de amenazas.

9.8. Plan de contingencia

En un plan de contingencia se involucra un conjunto de personas y procedimientos adecuados con el fin de controlar y neutralizar situaciones fuera de lo normal en la planta, para lograr este objetivo se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Política y responsabilidades para la ejecución del plan.
- Niveles de respuesta de acuerdo con el tipo de situación.
- Coordinación con otros organismos y empresas privadas.
- Capacitación del personal y realización de simulacros.



- Revisión y actualización del plan

El plan es fundamental para conseguir una respuesta rápida y efectiva frente a cualquier situación imprevista que ocurra en la planta. Se busca que el plan sea lo más ágil y dinámico posible para que sea interpretado y entendido por todo el personal, esto se logra analizando con anticipación los siguientes aspectos:

- Evaluación de los riesgos.
- Recursos amenazados.
- Prioridades para la protección de vidas, medio ambiente y bienes.
- Selección de la estrategia.
- Disponibilidad de sistemas y medios para combatir los siniestros.
- Personal capacitado y entrenado para dirigir y ejecutar las operaciones.
- Identificación de los lugares para la disposición de los residuos generados.

Todas las acciones de seguridad buscan reducir al mínimo posible los riesgos con el propósito de garantizar condiciones de trabajo libres de accidentes.

En nuestro caso vamos a considerar uno de los posibles accidentes que produce un estado de emergencia en la planta, los incendios, ya que son una de las amenazas más riesgosas como vimos anteriormente, donde corre riesgo no solo los equipos, sino también la vida de las personas que trabajan en el lugar, por lo que debe realizarse un análisis y establecer un protocolo específico para esta situación.

Un incendio puede ser causado por factores internos (asociados al funcionamiento de la planta) como el mal funcionamiento del horno o externos (actividad de proveedores) como es el vuelco de un camión iba a descargar en la planta.

Otro de los aspectos que hay que analizar es la probabilidad de ocurrencia, para esto analizamos los datos del EM-DAT y pudimos obtener la siguiente figura:

	Desde 1901		Desde 1981		Desde 2001	
	Numero	Promedio	Numero	Promedio	Numero	Promedio
Total de accidentes industriales:	1535	12.79	1289	25.78	800	40
Causados por fuego:	212	1.77	183	3.66	96	4.8
Cantidad de años:	120	-	50	-	20	-
Porcentaje	100%		84%		52%	

Figura 86: Estadísticas de accidentes industriales.

Fuente: Elaboración propia a partir de: "EM-DAT | The international disasters database".

A partir de estos resultados pudimos obtener ciertas conclusiones, de la totalidad de accidentes industriales que hay registro desde 1901, casi el 14% fueron ocasionados por fuego, lo que nos da un valor aproximado de 1,77 incendios por año en el mundo.

Lo curioso es que de los 1535 accidentes industriales que ocurrieron en los últimos 120 años, el 84% ocurrió en los últimos 50 años y el 52% ocurrió en los



últimos 20 años, es decir que con el paso del tiempo hay cada vez mayor cantidad de accidentes industriales, dando como resultado un total de 4,8 incendios por año si analizamos los últimos 20 años.

Podemos suponer que el incremento en el número de accidentes se debe al aumento en el número de industrias instaladas en el mundo, ya que, si tenemos en cuenta las mejoras tecnológicas, la implementación de protocolos de seguridad y demás ventajas que se fueron adquiriendo con el paso de los años, cualquiera pensaría que los accidentes se van reduciendo con el paso de los años, pero este no es el caso.

Conociendo estos datos a nivel mundial, podemos clasificar a los incendios con un criterio de probabilidad de Nivel 4, lo que se traduce como en un evento posible y que se espera que ocurra durante el tiempo de operación de la planta, en una primera instancia, se considera una frecuencia de 1 vez por año.

Con el paso del tiempo vamos a poder analizar en particular en nuestra planta cuál es el nivel de ocurrencia, según la cantidad de incendios que ha sufrido la planta durante cierta cantidad de años, de esta forma vamos a tener una frecuencia mucho mejor adaptada a las condiciones específicas. El Nivel 4 se puede mantener o se puede ver un aumento o reducción en la frecuencia de ocurrencia de los incendios.

Por último, podemos analizar la severidad de ocurrencia, en este caso un incendio se encontraría en un nivel 5, ya que se produce una contaminación importante que puede llegar a ser duradera, requiere evacuación del personal, el personal puede sufrir lesiones por quemaduras y derrumbe de instalaciones que puedan hacer que peligre su vida.

Teniendo en cuenta la probabilidad y la severidad, podemos hacer un análisis de riesgos, el máximo valor de riesgo es 25 y equivale a un evento que ocurre de forma muy frecuente (nivel 5) y tiene un impacto mayor (nivel 5), en nuestro caso los incendios estarían cercano al máximo puntaje de riesgo, con 20 puntos.

El Comité de Crisis es la institución dentro de la organización que es responsable de actuar de forma rápida y efectiva ante un incendio o cualquier otra situación que afecte a la compañía. Está formado por un grupo de personas que forman parte de distintas áreas de la empresa, por lo general, lo constituye el gerente general y los gerentes de los distintos departamentos (Producción, Administración, Recursos Humanos, Mantenimiento y Servicio Técnico). Además, en algunos casos que así lo requiera, puede ser necesario un equipo de consultores y especialistas.

Es importante a su vez, contar con un Manual de Procedimiento de Crisis, el cual va a contener el Plan de Contingencia para las distintas crisis según importancia, da a conocer cuáles son sus etapas y establece protocolos e instructivos para saber cómo actuar frente a los diferentes eventos fortuitos que puedan afectar la vida de muchas personas, la vitalidad de la organización o poner en riesgo el prestigio y reputación de la misma.



Por otro lado, es fundamental la comunicación, todos los empleados deben estar informados, cuando sea necesario, de las medidas que toma el Comité. Asimismo, el Comité de Crisis debe tener de forma previa su estrategia de comunicación y una relación con los medios dentro de sus actividades habituales. De esta forma nos aseguramos de que tendremos los canales ya establecidos para comunicar a la sociedad en caso de ser necesario, evitando de esta forma que alguien ajeno a la empresa publique información de forma imprecisa acerca del evento ocurrido. Toda la estrategia de comunicación debe estar en el Manual de Procedimiento de Crisis y se debe establecer la forma de actuar frente a los diferentes escenarios, los elementos de comunicación que se utilizaran y se nombra a un portavoz o responsable de comunicación, que va a ser el encargado de contactar con los medios, autoridades locales y con los empleados de la empresa, por lo general el Gerente General tiene este rol, aunque puede contratarse a alguien ajeno que esté acostumbrado a estas tareas. En caso de ser necesario el portavoz es el encargado de comunicarse con los bomberos, policía, ambulancias, defensa civil, etc.

El protocolo para seguir en caso de incendio va a estar basado en los siguientes pasos:

- Al detectar un incendio avisar a algún empleado que sea brigadista, que son los encargados de activar el protocolo de emergencia (alarma). En cada área de la empresa se contará con un grupo de brigadistas coordinados por el Comité de Brigada.
- En caso de ser posible, intentar mitigar el incendio con los matafuegos que se encuentran distribuidos en el predio, si no es posible, retirarse inmediatamente.
- Los brigadistas van a determinar la importancia del incendio e informar al Comité de Crisis, quienes se van a comunicar con los bomberos, policía, ambulancias, entre otros, según sea necesario.
- Si el incendio tiene una magnitud considerable, se acciona la secuencia de parada de planta.
- Cortar el suministro de gas.
- Cortar el suministro de vapor.
- Cortar el suministro de hidrógeno.
- Apagar bombas y compresores, cerrar válvulas correspondientes.
- Avisar al encargado de la antorcha de YPF que se va a enviar todos los gases que estaban en proceso en la planta.
- Sacar todo el líquido circundante al tanque de almacenamiento de producto fuera de especificación.
- Los evacuadores se encargarán de evacuar a la gente que se encontraba dentro de la planta, indicando el punto de encuentro, van a seguir las indicaciones del Comité de Brigada.
- El comité de crisis deberá tomar medidas en base a la magnitud del incendio y deberá comunicarse con la prensa.



El comité de brigada está conformado por el coordinador de primeros auxilios, el coordinador del equipo de rescate y contra incendio y el coordinador del equipo de evacuación. Son los encargados de auditar la gestión de la brigada.

La auditoría se realiza, una vez que la planta se encuentra funcionando, cada 2 años de forma imprevista y van preguntando a los empleados distintas cuestiones fundamentales que tienen que ver con su rol frente a una emergencia, los empleados que son brigadistas deben saber cómo actuar para que el protocolo de emergencia funcione correctamente. Luego de la auditoría se realiza un informe (Auditoría Ambiental) en el que se incluye información actualizada de los requisitos mínimos de funcionamiento, las medidas de mitigación, plan general de emergencias, entre otros aspectos. Las correcciones realizadas por OPDS deberán ser corregidas para la siguiente auditoría, de lo contrario, si los errores se mantienen, podrían llegar a clausurar la planta.

Es importante tener un Plan de Contingencias para todas las amenazas descritas en el apartado anterior, a continuación, desarrollaremos brevemente cómo deberíamos actuar frente a algunos de estos eventos desafortunados.

Frente a un derrame accidental se deberá evaluar el incidente, notificarlo al Comité de Crisis, los brigadistas coordinados por su comité se encargarán de controlar el incidente y aislarlo, luego se deberá limpiar la zona contaminada, depositar transitoriamente los residuos en sitios adecuados y habilitados, registrar el incidente. Solo se parará la planta en caso de que por culpa del derrame no se pueda mantener la producción.

Un evento muy común y que trae grandes complicaciones es un corte de luz, que, si bien existen los generadores eléctricos, no entran en funcionamiento enseguida y una vez que lo hacen, tienen una duración reducida. Para este caso lo primero que hay que hacer es iniciar la secuencia de parada de planta, cortando el gas que alimenta el horno y el vapor que alimenta a los intercambiadores de calor, con el fin de que no se genere un aumento de presión en los equipos. Luego hay que despresurizar los equipos abriendo las válvulas de emergencia y hay que enviar todo el producto líquido al tanque de producto fuera de especificación y todos los gases a la antorcha.

Podemos afirmar que la planta de producción de DV cumple con todas las normas que expone la ley, ya que la contaminación del aire es mínima y los efluentes líquidos consisten en agua con pocas impurezas, por lo tanto, el impacto es mínimo, de igual forma, los impactos negativos serán prevenidos mediante buenas prácticas de operación, buen manejo de efluentes y la aplicación de tecnologías más limpias. Por otro lado, la contaminación del suelo solo podría ocurrir en caso de derrame e incluso en ese caso se diagramó un plan para mitigar el daño. Finalmente, la contaminación acústica es prácticamente nula y la contaminación visual también, ya que no existe población viviendo en las cercanías.



La etapa de construcción tiene ciertos impactos negativos, pero, por otro lado, se genera un impacto positivo debido a la generación de empleo y el desarrollo industrial de la zona.

Nuestro producto tiene un impacto ambiental positivo, ya que frente a su competencia es un combustible más limpio y amigable con el medioambiente, de ahí que se lo conozca como diésel verde o diésel renovable, por lo que este impacto es mucho más importante frente a los puntos negativos, en los que destacan la emisión de GEI en la combustión y el CO₂ y CO producido en el proceso de producción.

Como conclusión, considerando la información procesada como parte del Estudio de Impacto Ambiental, se concluye que la EIA del proyecto de producción de DV, que enfoca tanto el punto de vista ambiental como el socioeconómico, presenta una matriz de valoración de impactos negativos, pero de intensidades muy leves o leves, duración temporal, dimensión localizada y reversibles o mitigables.

La implementación del Plan de Gestión Ambiental planteado en este estudio servirá para la gestión adecuada de las actividades. Habiéndose presentado en este apartado los estudios requeridos por la OPDS, se queda a espera de la aprobación del CAA, previa visita de Auditoría.



10. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL

10.1. Problemas generales de organización

De manera genérica, se considerarán las eventuales discrepancias en dos etapas del proyecto, la primera es en la etapa de construcción, en donde la sociedad empresarial, que encabeza el presente proyecto de inversión, tendrá que responder a los intereses demandados por los sindicatos de la región, tales como la Unión Obrera Metalúrgica (UOM) y la Unión Obrera de construcción de la República Argentina (UOCRA). La segunda, ocurrirá en la etapa operativa, donde se deberán acordar ciertas bases con dos sindicatos, el primero es la Federación Argentina de Trabajadores de Industrias Químicas y Petroquímicas (FATIQYP), el ente que representa a nivel nacional al sector químico y petroquímico, el cual incluye más de 14000 trabajadores. El segundo sindicato es la Federación Argentina Sindical del Petróleo, Gas y Biocombustibles (FASiPGyBIO), quizás sea más conveniente para los trabajadores afiliarse a este segundo sindicato, ya que ofrece mayores beneficios.

Las demandas sociales podrían impactar económicamente en el costo de inversión, para el primer caso, y en los costos de producción para el segundo. Adicionalmente, los paros efectuados por FATIQYP y los gremios del sector camioneros y ferroviarios podrían afectar el esquema de producción, razón en base a la cual se definieron la política de stocks.

10.2. Puestos de trabajo

La planta se mantendrá funcionando 335 días al año las 24 horas del día. Los 30 días restantes del año corresponderán a los días que la planta debe estar parada para realizarle mantenimiento a ciertos equipos. A continuación, se describen los sectores que conforman la empresa y los puestos de trabajo que luego se van a establecer su jerarquía en un organigrama.

Gerencia general: tiene como función determinar objetivos a nivel macro a alcanzar por la empresa y a nivel micro destinados a los departamentos. Se encarga de supervisar y controlar que se cumplan y para eso asigna diferentes recursos, tanto humanos como capitales y materiales.

Los departamentos a los cual el gerente tiene a cargo son cinco: Recursos Humanos, Producción, Mantenimiento, Servicio Técnico y Administración. Cada uno de estos tiene su propio jefe, de los cuales en los primeros cuatro van a tener



que realizar guardias semanales, en las que deberán permanecer en su domicilio, y serán los encargados de responder ante un problema o emergencia en la planta. Para facilitar la comunicación el jefe de turno contará con un teléfono celular específico para este fin.

Recursos Humanos: este departamento tiene tareas como elaborar y controlar el proceso de reclutamiento y selección del personal, con el fin de incorporar a los candidatos que mejor se puedan adaptar al puesto de trabajo al cuál aplican. Planificar diferentes programas de capacitación, garantizar buena comunicación entre todos los niveles de la organización y controlar las recompensas laborales como por ejemplo las vacaciones, anticipos, entre otros.

Producción: debe gestionar los materiales y los trabajadores, asegurándose de que la producción sea lo más óptima posible y que se cumplan con las especificaciones requeridas. Dentro del mismo se van a encargar de planificar las actividades de la producción, supervisión de los operarios, seguimiento de los trabajos realizados en la planta, control y gestión del stock de materias primas y producto terminado, optimizar los recursos de la empresa, entre otras actividades.

Mantenimiento: los trabajadores en este sector deberán planificar y programar las tareas de mantenimiento necesarias, con el fin de prolongar la vida útil de los equipos. Además, se encargarán de instalar nuevas maquinarias y confeccionar un plan de mantenimiento periódico de todos los equipos que se encuentran en la planta.

Servicio técnico: dentro de este departamento vamos a tener diferentes áreas distinguidas como laboratorio de calidad, seguridad e higiene y medio ambiente.

En el área de laboratorio se encargarán de que los productos cumplan con los requisitos y especificaciones establecidas por el cliente, realizando las pruebas y ensayos necesarios.

Por otro lado, los de seguridad e higiene deberán encargarse de hacer cumplir con los requisitos de seguridad e higiene establecidos por la empresa. También deberán ocuparse de identificar focos o posibles focos de peligro y llevar un plan de mejora continua.

Por último, el área de medio ambiente se encargará de asegurar el cumplimiento de la normativa de calidad y de medio ambiente. Van a ser los responsables de liderar proyectos para asegurar la calidad dentro de la empresa, incluyendo análisis de riesgos, auditorías, entre otros. Deben buscar que los diferentes sectores interactúen entre sí para aprender de los distintos puntos de vista y lograr una mejora continua. También se ocupan de almacenar



y administrar la información de calidad, marcos legales y jurídicos que los sustentan.

Administración: en este departamento se van a encargar de planificar, dirigir y coordinar la logística y distribución de la cadena de suministro, garantizando la calidad y eficacia en el movimiento y almacenaje tanto de productos como de materias primas. Otra área dentro de este departamento se va a encargar de la contabilidad y finanzas, en donde deben asegurar una óptima utilización de los recursos financieros y físicos que forman parte de la empresa; además se encargan de evaluar económicamente los proyectos propuestos por cada sector y deben registrar todos los movimientos económicos y financieros realizados con el fin de cumplir con la legislación.

10.3. Organigrama

Para calcular el número de empleados se tuvo en cuenta la siguiente estructura: Para los puestos rotativos que van a ser los supervisores y operarios de Producción, Mantenimiento y Servicio Técnico, también los puestos de servicios auxiliares, porteros y seguridad; se consideraron 2 turnos de 12 horas, y un tercer turno en el que los empleados de relevo cumplirán siempre y cuando no se necesiten cubrir otros.

- Turno mañana: de 7:00 hs a 19:00 hs
- Turno noche: de 19:00 hs a 7:00 hs
- Turno diurno: de 8:00 hs a 17:00 hs

En el caso de los empleados encargados del despacho de producto y recepción de materia prima, como es una tarea que solo se va a realizar durante el día, se asignaron horarios de 7:00 AM a 19:00 PM todos los días de la semana, en el que el empleado tendrá 1 hora libre para almorzar. Este grupo de empleados va a realizar el control de la carga y balanzas desde consola, sumadas a la recepción y carga del camión in situ. A su vez los empleados que realicen turnos rotativos cumplirán 4 días de trabajo seguidos y luego tendrán libre 4 días, de esta forma se puede mantener la planta siempre funcionando.

Por último, los empleados administrativos cumplirán la típica jornada diurna de 8 horas (lunes a viernes de 8:00 AM a 5:00 PM, con un descanso de una hora para comer).

Para diseñar el organigrama vamos a tener con mayor jerarquía al gerente general, luego cada uno de los gerentes de los cinco departamentos por igual y luego tendremos supervisores, técnicos, analistas y operarios, con su jerarquía



correspondiente. A continuación, presentamos los distintos organigramas que diseñamos, tanto generales como específicos.

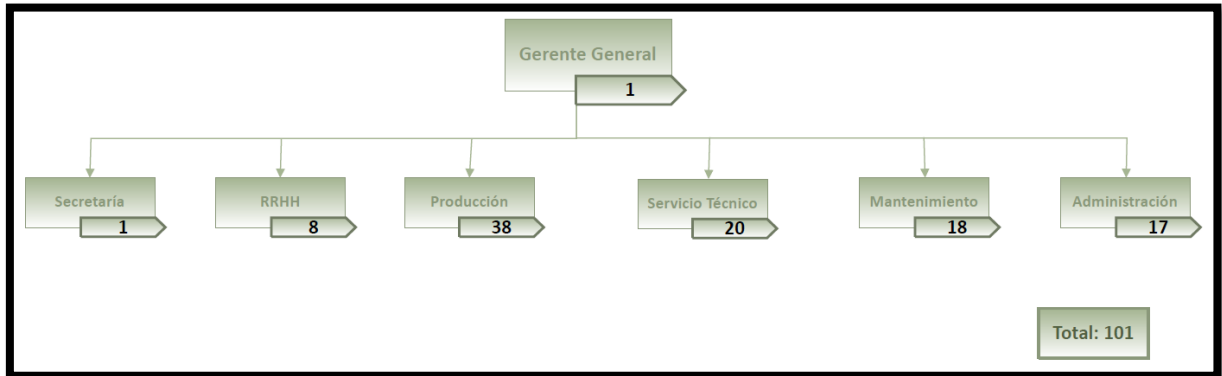


Figura 87: Organigrama de la empresa y cantidad de empleados por departamento.

Fuente: Elaboración propia.

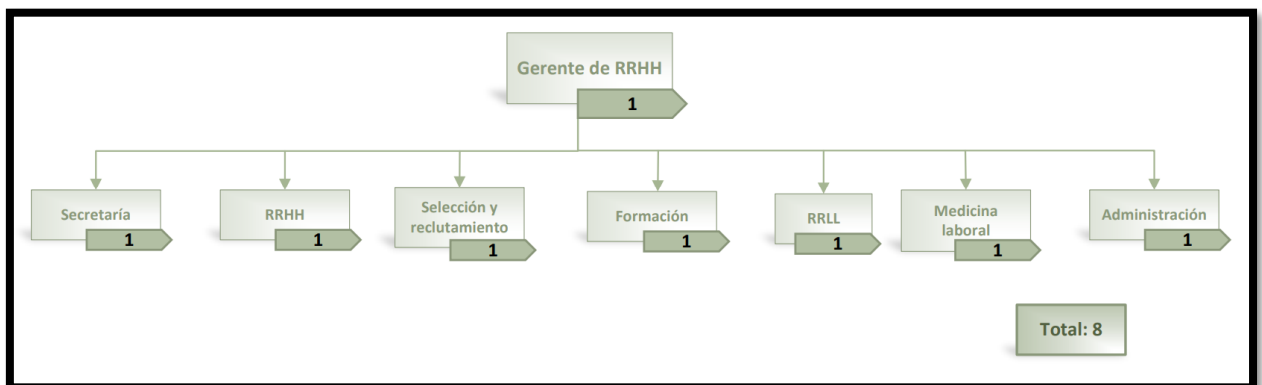


Figura 88: Organigrama del departamento de Recursos Humanos.

Fuente: Elaboración propia.

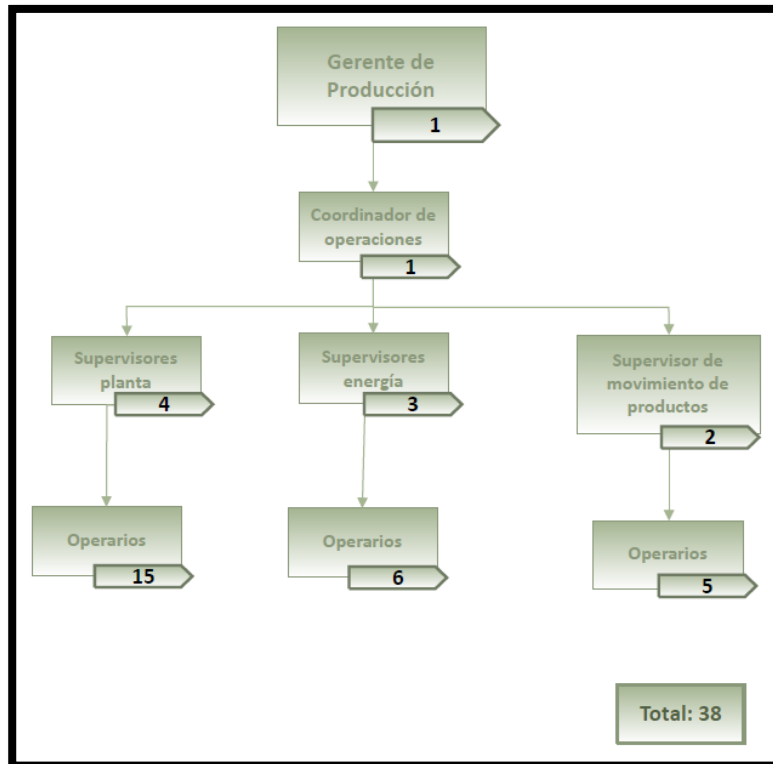


Figura 89: Organigrama del departamento de Producción.

Fuente: Elaboración propia.

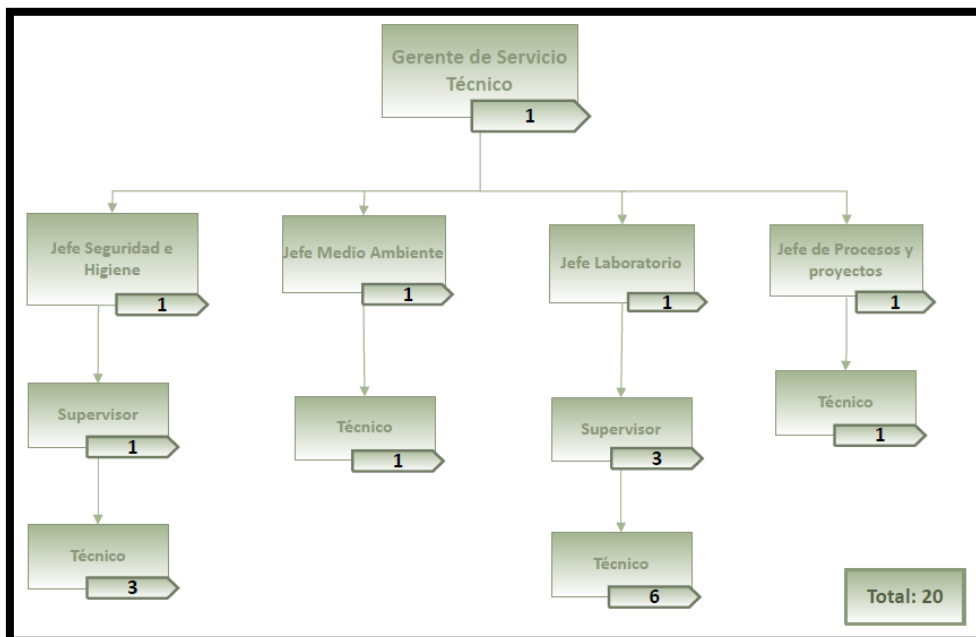


Figura 90: Organigrama del departamento de Servicio Técnico.

Fuente: Elaboración propia.

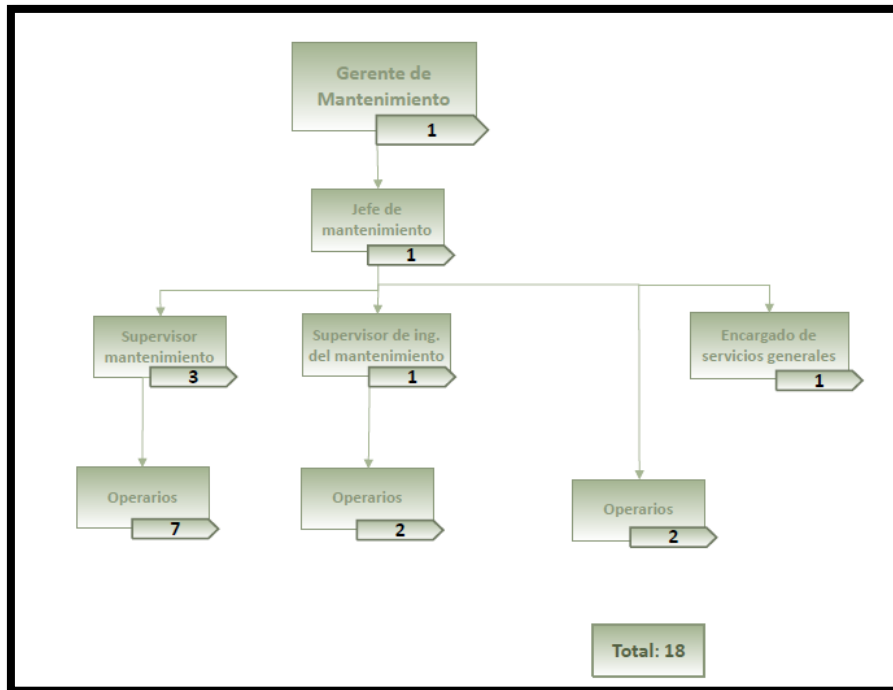


Figura 91: Organigrama del departamento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

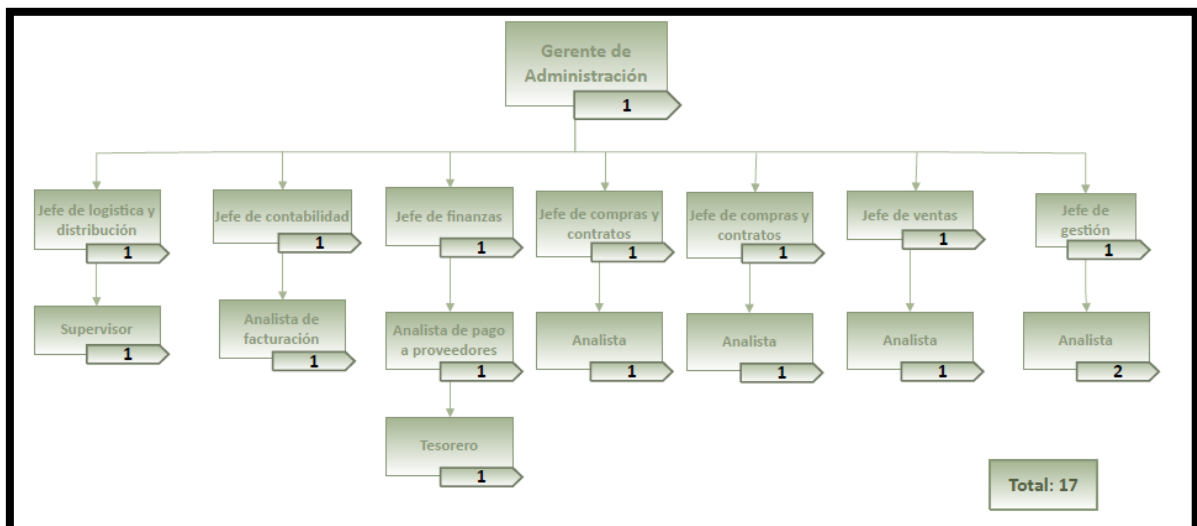


Figura 92: Organigrama del departamento de Administración.

Fuente: Elaboración propia.

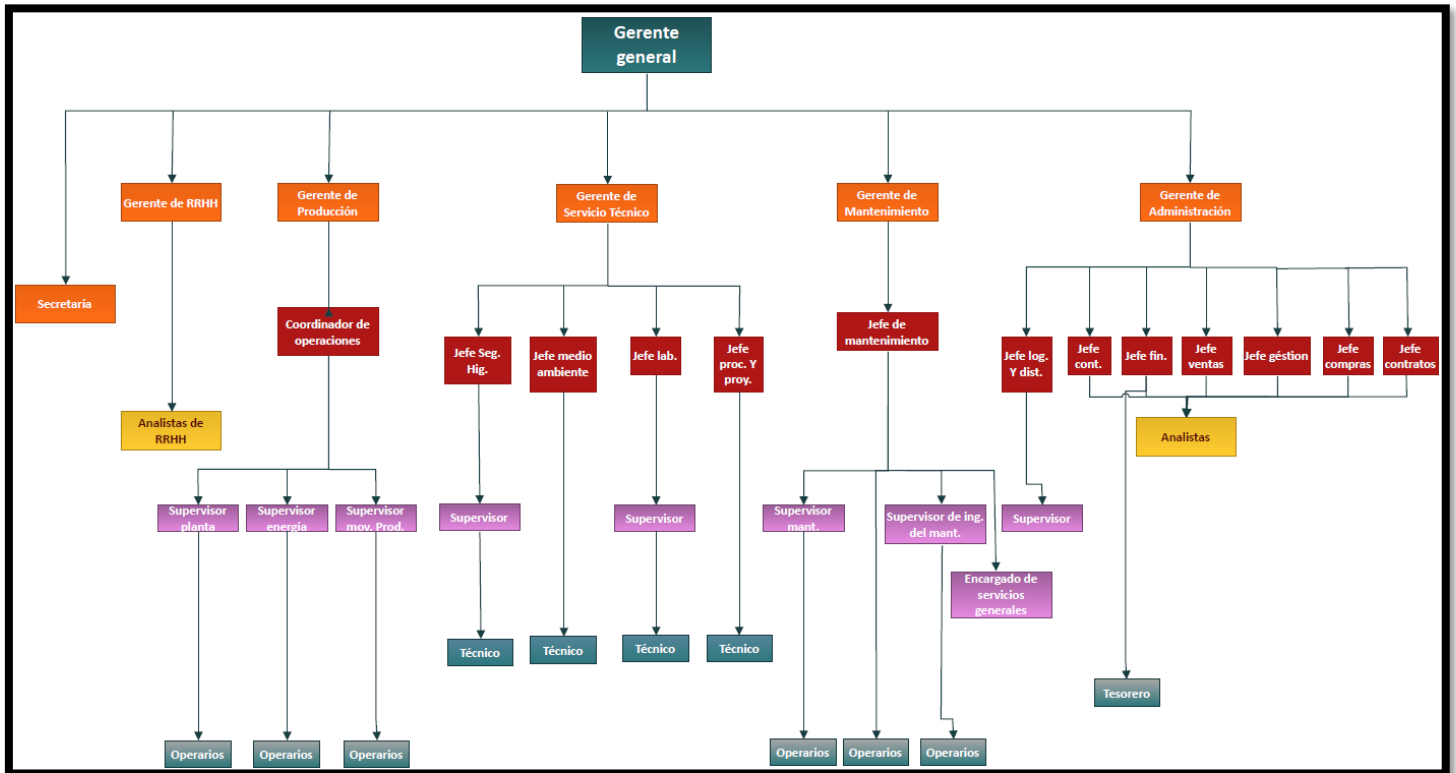


Figura 93: Organigrama general con sus respectivas jerarquías.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se van a detallar la cantidad de personal que corresponde a cada puesto de trabajo, el total de puestos totales, relevos totales, personas totales contratadas y cuántas personas asignadas a cada turno.

- Gerente general (1)
- Secretaria (1)

- Gerente de Recursos Humanos (1)
- Analista de Recursos Humanos (2)
- Selección y reclutamiento de personal (1)
- Formación (1)
- Relaciones laborales (1)
- Medicina Laboral (1)
- Secretaría (1)



- Gerente de producción (1)
- Coordinador de operaciones (1)
- Supervisor de planta (4)
- Operarios de planta (15)
- Supervisor de Energía (3)
- Operarios de Energía (6)
- Supervisor de movimiento de productos y materia prima (2)
- Operarios de movimiento de productos y materia prima (5)

- Gerente de Servicio técnico (1)
- Jefe de Seguridad e Higiene (1)
- Supervisor de Seguridad e Higiene (1)
- Técnico de Seguridad e Higiene (3)
- Jefe de Medio Ambiente (1)
- Técnico en Medio Ambiente (1)
- Jefe de Laboratorio (1)
- Supervisor de Laboratorio (3)
- Técnico de laboratorio (6)
- Jefe de Procesos y proyectos (1)
- Técnico de Procesos y proyectos (1)

- Gerente de mantenimiento (1)
- Jefe de mantenimiento (1)
- Supervisor de mantenimiento (3)
- Operarios de mantenimiento y verificación de equipos (7)
- Supervisor de ingeniería del mantenimiento (1)
- Operarios de ingeniería del mantenimiento (2)
- Operarios de almacenes (2)
- Encargado de servicios generales (1)

- Gerente de Administración (1)
- Jefe de logística y distribución (1)
- Supervisor de logística y distribución (1)
- Jefe de contabilidad (1)
- Analista de facturación (1)
- Jefe de finanzas (1)
- Analista de pago a proveedores (1)
- Tesorero (1)



- Jefe de ventas (1)
 - Analista de ventas (1)
 - Jefe de compras (1)
 - Analista de compras (1)
 - Jefe de contratos (1)
 - Analista de contratos (1)
 - Jefe de gestión (1)
 - Analista de gestión (2)
-
- Puestos totales: 91
 - Relevos totales: 10
 - Personas contratadas: 101
-
- Personal turno día: 85
 - Personal turno noche: 19

Diagrama de operaciones

En el siguiente diagrama se detallará el horario que deberán cumplir los empleados según el puesto de trabajo que tienen.

Diagrama de operaciones	Turno mañana							Turno tarde							Turno noche								
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5
Gerente general																							
Secretaria																							
Gerente de Recursos Humanos																							
Analista de Recursos Humanos 1																							
Analista de Recursos Humanos 2																							
Selección y reclutamiento de personal																							
Formación																							
Relaciones laborales																							
Medicina Laboral																							
Secretaría																							
Gerente de producción																							
Coordinador de operaciones																							
Supervisor de planta 1																							
Supervisor de planta 2																							
Supervisor de planta 3																							
Supervisor de planta 4																							
Supervisor de planta relevo 1																							
Operario de planta 1																							



Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi
Supervisor 1	1	1	1	1	F	F	F	F	2	2	2	2	F	F	F	F	1	1	1	1	F	F	F	F
Supervisor 2	2	2	2	2	F	F	F	F	1	1	1	1	F	F	F	F	2	2	2	2	F	F	F	F
Supervisor 3	F	F	F	F	1	1	1	1	F	F	F	F	2	2	2	2	F	F	F	F	1	1	1	1
Supervisor 4	F	F	F	F	2	2	2	2	F	F	F	F	1	1	1	1	F	F	F	F	2	2	2	2
Supervisor 5	D	D	D	D	D	F	F	D	D	D	D	D	F	F	D	D	D	D	F	F	D	D	D	

	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi
Supervisor 1	1	1	1	1				2	2				1	1	1	1				2	2			
Supervisor 2	2				1	1	1	1				2	2			1	1	1	1					2
Supervisor 3				2	2				1	1	1	1			2	2					1	1	1	1

Turno 1: 7:00 hs a 19:00 hs
 Turno 2: 19:00 hs a 7:00 hs
 Turno diurno: 8:00 hs a 17:00 hs

Figura 95: Diagrama de operaciones.
 Fuente: Elaboración propia.

El segundo plan horario, será para aquellos puestos que, si bien son útiles que estén todos los días, todo el día, pueden prescindirse o dejarse las tareas ya definidas con el fin de dejar a cargo a los operarios más experimentados, los cuales en caso de emergencia van a poder recurrir al jefe que se encuentre haciendo guardia desde su domicilio.

Los operarios con puestos rotativos trabajaran todos con el primer plan horario de forma análoga a los supervisores. El resto de los empleados cumplirá con el turno diurno, el cuál trabajarán en un principio de lunes a viernes y tendrán sábados y domingos libres.

Además de estos puestos de trabajo fijos, vamos a tener una cierta cantidad de personal extra que se encargan de lo que es jardinería, seguridad, viandas para el comedor, limpieza y, por otro lado, empleados que funcionan por contratos temporales, como por ejemplo para el caso de la instalación de equipos específicos, limpieza de equipos o reparaciones que requieren especialistas, y también servicios temporales como ambulancias, grúas y otras maquinarias que se puedan llegar a requerir. El jefe de contratos es la persona encargada de conseguir estos servicios especiales.

10.4. Seguridad industrial Ley nº 19587

Las condiciones de Higiene y Seguridad Laboral se ajustarán a las establecidas en la Ley Nacional 19.587 y su decreto reglamentario (351/79).

Según el artículo 4º de la misma:

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 de los trabajadores.
- ❖ Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo.
- ❖ Estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

Como empleador debemos cumplir una serie de pautas establecidas por la ley para garantizar los objetivos que establece.

- ❖ Disponer el examen pre-ocupacional y revisión periódica del personal, registrando sus resultados en el respectivo legajo de salud.
- ❖ Mantener en buen estado de conservación, utilización y funcionamiento, las maquinarias, instalaciones y útiles de trabajo.
- ❖ Instalar los equipos necesarios para la renovación del aire y eliminación de gases, vapores y demás impurezas producidas en el curso del trabajo.
- ❖ Mantener en buen estado de conservación, uso y funcionamiento las instalaciones eléctricas y servicios de aguas potables.
- ❖ Evitar la acumulación de desechos y residuos que constituyan un riesgo para la salud, efectuando la limpieza y desinfecciones periódicas pertinentes.
- ❖ Eliminar, aislar o reducir los ruidos y/o vibraciones perjudiciales para la salud de los trabajadores.
- ❖ Instalar los equipos necesarios para afrontar los riesgos en caso de incendio o cualquier otro siniestro.
- ❖ Depositar con el resguardo consiguiente y en condiciones de seguridad las sustancias peligrosas.
- ❖ Disponer de medios adecuados para la inmediata prestación de primeros auxilios.
- ❖ Colocar y mantener en lugares visibles avisos o carteles que indiquen medidas de higiene y seguridad o adviertan peligrosidad en las maquinas e instalaciones.
- ❖ Promover la capacitación del personal en materia de higiene y seguridad en el trabajo, particularmente en lo relativo a la prevención de los riesgos específicos de las tareas asignadas.
- ❖ Denunciar accidentes y enfermedades de trabajo.

De igual forma, el empleado también está sujeto a obligaciones según la ley, las cuales están detalladas a continuación:

- ❖ Cumplir con las normas de higiene y seguridad y con las recomendaciones que se le formulen referentes a las obligaciones de uso,



conservación y cuidado del equipo de protección personal y de los propios de las maquinarias, operaciones y procesos de trabajo.

- ❖ Someterse a los exámenes médicos preventivos o periódicos y cumplir con las prescripciones e indicaciones que a tal efecto se le formulen.
- ❖ Cuidar los avisos y carteles que indiquen medidas de higiene y seguridad y observar sus prescripciones.
- ❖ Colaborar en la organización de programas de formación y educación en materia de higiene y seguridad y asistir a los cursos que se dictaran durante las horas de labor.

10.5. Vinculación con sindicatos (CCT)

El Convenio Colectivo de Trabajo es un contrato entre los sindicatos de un determinado sector de actividad y el empleador, que regula las condiciones de trabajo (salarios, jornada, descansos, vacaciones, licencias, capacitación profesional, etc.) y establece reglas sobre la relación entre los sindicatos y la parte empleadora. Las regulaciones contenidas en el CCT son de aplicación obligatoria para todos los trabajadores del sector, estén o no afiliados a los gremios respectivos, y tienen un impacto significativo en la organización del trabajo y en la calidad del empleo.

Los trabajadores son quienes van a escoger el sindicato al que se van a afiliarse, como mencionamos anteriormente, tienen dos opciones, el más conveniente es el de petróleo, gas y biocombustibles, pero también está la posibilidad de afiliarse al sindicato de los químicos.

El sindicato FASiPGyBio permite la afiliación de todo personal que desempeñe tareas de inspección y control cuantitativo y cualitativo de hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos a granel, lo que incluye petróleo crudo y sus derivados, LPG/LNG, productos petroquímicos, biocombustibles y afines. El personal comprendido en el CCT incluye personal de planta, técnico, de servicios de oficinas, administrativo, de maestranza y todo otro que desempeñe tareas dentro de las plantas.

Para todos los puntos que no se detallan en el acuerdo, rigen las distintas leyes que se aplican en el ámbito laboral, como son:

- Ley 20.744: legislación del trabajo
- Ley 19.587: seguridad e higiene
- Ley 23.551: asociaciones sindicales
- Ley 24.557: accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.



Los trabajadores deben aportar el 2% de la totalidad de su salario, la cual va a ser retenida por la empresa y luego esta va a ser quien va a transferirla a una cuenta bancaria del sindicato, en la misma fecha que deben realizarse los aportes y contribuciones al sistema de la seguridad social. Además, la empresa es responsable de informar mensualmente el personal comprendido, sus remuneraciones y cualquier alta o baja que se produzca y los aportes correspondientes.

Según la categoría (de la A a la F), va a ser el salario básico que van a percibir los empleados. A su vez, las horas extras serán pagas con un 20% extra y por cada año de antigüedad se percibe una bonificación del 1,5% del salario de la categoría más baja. Para medir antigüedad se consideran las ausencias por enfermedad, accidentes, maternidad, suspensiones, vacaciones y licencias. Además, existen bonos adicionales para distintos casos como, por ejemplo, si se trabaja los sábados, domingos o feriados, si se trabaja en turnos nocturnos, o si se trabajó embarcado con el fin de supervisar una operación de carga y/o descarga "offshore".

Por otro lado, en sindicato químico (FATIQYP), los trabajadores se agrupan en diferentes categorías dentro de cada puesto (administrativo, producción, etc.), cada una de las cuales posee un salario base que depende a su vez de la antigüedad del puesto. Es un sistema más subjetivo y centrado en las habilidades de cada trabajador. Este sindicato también tiene bonos adicionales por trabajar sábados, domingos, feriados y también por trabajar en turnos nocturnos.

10.6. Riesgos laborales – ART

Se contratará una Aseguradora de Riesgos de Trabajo (ART) con el fin de brindarles un seguro a los operarios, es considerado por la empresa como un gasto fijo de producción. La ART además va a brindar asesoramiento en medidas de prevención y es el ente que se va a encargar de reparar los daños en caso de accidentes de trabajo o enfermedades profesionales.

Las obligaciones de la ART serán las siguientes:

- ❖ Brindar todas las prestaciones que fija la ley, tanto preventivas como dinerarias, sociales y de salud.
- ❖ Evaluar la verosimilitud de los riesgos que declare la empresa.
- ❖ Realizar la evaluación periódica de los riesgos existentes en la empresa y su evolución.



- ❖ Efectuar los exámenes médicos periódicos para vigilar la salud de los trabajadores expuestos a riesgo.
- ❖ Visitar periódicamente la empresa para controlar el cumplimiento de las normas de prevención de riesgos del trabajo.
- ❖ Promover la prevención, informando a la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) acerca de los planes y programas exigidos a la empresa.
- ❖ Mantener un registro de siniestralidad del establecimiento.
- ❖ Informar a los interesados acerca de la composición de la entidad, de sus balances y de su régimen de alícuotas.
- ❖ Controlar la ejecución del Plan de Acción de los empleadores y denunciar ante la SRT los incumplimientos.
- ❖ Brindar asesoramiento y asistencia técnica a la empresa y a sus trabajadores en materia de prevención de riesgos del trabajo.
- ❖ Denunciar los incumplimientos de la empresa a la SRT.

10.7. Selección, incorporación y capacitación, tiempos y costos.

La selección, incorporación y capacitación son todas tareas que va a realizar el departamento de Recursos Humanos, el cual tiene como uno de los aspectos fundamentales de su función al proceso de integración, es decir, todo lo que está relacionado con un nuevo empleado, las técnicas, medios, instrumentos, costos, beneficios y enfoques para incorporar a este nuevo empleado.

El proceso de selección consiste en una serie de técnicas y pruebas por las que se determina si el candidato es el adecuado para ubicar determinado puesto de trabajo. Es importante este proceso debido a que suministra los recursos humanos adecuados en tiempo oportuno, asegurando calidad, permanencia, desarrollo y favorece la efectividad de los procesos productivos de la organización. En este proceso se revisa la solicitud de empleo, el Currículum Vitae (CV), exámenes de conocimientos, test psicométrico, examen médico, antecedentes laborales, entre otros.

La incorporación comienza cuando el nuevo empleado comienza a trabajar y debe adaptarse a su puesto de trabajo en el menor tiempo posible. Se debe informar al trabajador aspectos como normas, políticas, valores, costumbres, procedimientos, plan de beneficios, etc. Es la etapa en la que se busca adaptar, socializar, integrar y orientar al empleado.

La capacitación proporciona el conocimiento y se desarrollan habilidades del personal para cubrir el puesto de forma exitosa. Es una de las mejores



inversiones en RRHH y una de las principales fuentes de satisfacción para los miembros de toda organización. Otorga múltiples beneficios como, por ejemplo:

- Mejores resultados económicos.
- Auxilia en el conocimiento de tareas, procesos y funciones.
- Mejora el clima organizacional y aumenta la satisfacción de los empleados.
- Ayuda al personal a identificarse con los objetivos de la empresa.
- Mejora la relación entre jefes y empleados.
- Se agiliza la toma de decisiones y la solución de problemas.
- Incrementa la productividad y la calidad de trabajo.
- Se promueve la comunicación a toda la organización.

Debido a lo descrito anteriormente, el departamento de RRHH tienen una gran importancia en la empresa, especialmente los encargados de selección, incorporación y posterior capacitación, los cuales van a formar parte de la empresa desde el momento en que se decida invertir. También el personal que se va a encargar de las compras, de igual forma que los cuadros directivos y puestos claves (como Seguridad e higiene y Medio ambiente), deben estar incorporados desde el inicio de los estudios de ingeniería.

El personal que operará la planta y los supervisores serán contratados con unos meses de antelación, esto es debido a que puedan familiarizarse con los sistemas de control y el funcionamiento general de la planta, así como también participar activamente en la selección de variables a observar en los monitores de la sala de control.

Dentro de las capacitaciones de personal, por la ley 19.587 de seguridad e higiene, la empresa está obligada a planificar un programa de capacitación para los distintos niveles (dirección, gerencia, jefaturas, supervisión, operario, administrativo, etc). Estas capacitaciones comenzaran a planificarse antes de que la planta se encuentre en funcionamiento con el fin de que al empezar los empleados puedan comenzar a capacitarse desde el principio.

Además, en el departamento de Recursos Humanos, una vez que esté en funcionamiento la planta, también se van a planear otras capacitaciones en diferentes ámbitos, por ejemplo, ciberseguridad, que es uno de los tópicos más relevantes en la actualidad, pero también en la concientización de la protección del medio ambiente, entre otras áreas.



11. CÁLCULO ECONÓMICO

La evaluación económica de un proyecto tiene el fin de determinar la viabilidad económica del mismo, considerando en el análisis las ventajas y desventajas de asignar al proyecto los recursos para su realización. Para poder llevar a cabo el análisis, se deben estudiar indicadores como la liquidez, la rentabilidad y el riesgo económico, los cuales se pueden estudiar una vez que se determinan los siguientes puntos:

- ❖ Capital fijo de inversión.
- ❖ Costos de los equipos.
- ❖ Costos de fabricación.
- ❖ Inversión inicial requerida.
- ❖ Cálculo de la depreciación.
- ❖ Cálculo de los ingresos por ventas.
- ❖ Cálculo de la rentabilidad de la plata.
- ❖ Cálculo de VAN.
- ❖ Cálculo del TIR.

Como se verá en los siguientes apartados que componen al capítulo, muchos de los anteriores ítems de la lista se desarrollarán completamente, lo cual nos permite contemplar el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su probable rendimiento durante su vida útil.

11.1. Capital Fijo. Concepto

El capital fijo es la cantidad de dinero que se necesita inicialmente para construir una planta de procesos, con sus servicios auxiliares y cualquier otro insumo que garantice las condiciones de iniciar la producción. También es conocido como CAPEX, que proviene de las palabras en inglés “*capital expenditure*”, que significa gasto en capital. Se compone, básicamente, por activos fijos que pueden ser directos o indirectos.

Dentro de lo que se consideran activos fijos directos se pueden identificar los siguientes en cualquier proyecto, incluido el presente:

- ❖ Equipos. Componen la parte más importante de la estimación del capital fijo, suele representar entre el 15% y el 40% del total. Por lo general, el resto de los componentes del gasto directo se basa en un porcentaje respecto al costo de los equipos, y es lo que se procederá a hacer en este trabajo.



- ❖ Transporte del equipo. Por lo general, la compra del equipo no incluye envío “libre a bordo”, por ende, conllevará un costo según su masa y volumen, distancia al punto de entrega y también según el método de transporte que se utilice (camión, tren, barco, avión, etc).
- ❖ Instalación de los equipos (Compra e instalación). Se compone principalmente por los gastos de mano de obra, soportes, plataformas, y otros factores relacionados con el punto antes de comenzar a operar el equipo. También incluye pintura y aislamiento requerido. Representa entre el 25 y el 55% del costo del equipo.
- ❖ Instrumentación y control. Este rubro es fundamental para mantener un estándar de calidad en el producto, según la planta y el proceso que se realice, se decidirá sobre cuál será la estrategia de control que se aplique y el gasto que arrojará. Incluye instrumentos, instalación, software, equipo auxiliar y materiales.
- ❖ Tuberías (piping). Es el segundo gasto más importante, por lo general representa hasta el 20% del capital fijo. Incluye los gastos de mano de obra, válvulas, tuberías, soportes, accesorios, entre otros.
- ❖ Tuberías extras. Además de las tuberías de planta, vamos a requerir una cierta longitud de tuberías para servicios, transporte de materia prima y producto (hidrógeno, vapor, agua de enfriamiento, DV, antorcha) debido al intercambio de recursos con las plantas industriales de YPF que se encuentran en las cercanías. Estos gastos van a representar un 20% del costo de los equipos.
- ❖ Sistemas eléctricos e instalación. Se basa en todo lo relacionado con el cableado, iluminación, paneles de control, motores, mano de obra, instalación, etc.
- ❖ Obras civiles. Comprende la construcción de edificios como oficinas, talleres, laboratorios, almacenes, baños, lo que incluye la mano de obra necesaria, materiales, plomería, iluminación, calefacción, ventilación, entre otros factores.
- ❖ Mejoras del sitio. Este punto incluye lo necesario para que la planta quede prolija y bien decorada, como por ejemplo vallas, caminos, bancos, estacionamiento, patios, entre otros.
- ❖ Servicios auxiliares. Son las instalaciones que proveen servicios como vapor, agua, energía, aire comprimido o combustible, también incluye las instalaciones de seguridad (cámaras, detectores de humo, etc), tratamiento de desechos, primeros auxilios, comedor y cafetería.
- ❖ Terreno. Es el costo relacionado a la compra del terreno.



Por otro lado, se tienen los activos fijos indirectos, estos no están directamente relacionados con la instalación de la planta, y son los siguientes:

- ❖ Ingeniería y supervisión. Rubro compuesto, principalmente, por el costo de diseño e ingeniería, también incluye el costo de software utilizado, planos, contabilidad, comunicación y viáticos.
- ❖ Cuestiones legales y contratos. Resultan de la adquisición del terreno, de equipos, de los contratos para construir, y demás burocracias gubernamentales, ambientales y de seguridad.
- ❖ Gastos de construcción. Incluyen la compra y alquiler de herramientas, maquinarias, mano de obra, impuestos, seguros, entre otros costos asociados.
- ❖ Honorarios de los contratistas.
- ❖ Contingencias. Estos costos se basan en considerar los posibles contratiempos, ya sean naturales o humanos, como pueden ser tormentas, inundaciones, accidentes de tránsito, aumento repentino de los precios, cambios en diseño, errores de estimación, cortes de calles o rutas, entre otros eventos inesperados que conlleven un gasto extra.

11.2. Determinación de costos por equipo

Con los datos que obtuvimos del diseño de equipos, la selección de equipos y con la ayuda de la simulación de procesos realizada en PRO II, se obtuvieron precios estimados en dólares de los equipos según sus características como, por ejemplo, volumen, medidas, presión, calor intercambiado, materiales requeridos, entre otros.

El precio fue determinado según dos fuentes, un archivo Excel brindado por la cátedra con una base de datos para estimar costos de equipos, y la otra fuente que utilizamos es Matches.com, una página web que funciona de igual forma que el archivo Excel. Para cada equipo hay que especificar distintos datos y te arroja un estimado, al cual le sumamos un porcentaje que corresponde al costo de envío y de instalación, que va a variar según cada equipo.



Equipos	Cantidad	Costo por unidad (usd)
Tanques de almacenamiento	6	\$ 1,208,556
Tanques de almacenamiento Jp	2	\$ 640,111
Bombas centrifugas	5	\$ 303,000
Intercambiador de calor E-101	1	\$ 816,840
Intercambiador de calor E-102	1	\$ 1,303,207
Intercambiador de calor E-103	1	\$ 461,583
Intercambiador de calor E-104	1	\$ 586,302
Intercambiador de calor E-105	1	\$ 276,272
Condensador E-106	1	\$ 609,674
Reboiler E-107	1	\$ 735,062
Intercambiador de calor E-108	1	\$ 391,014
Intercambiador de calor E-109	1	\$ 474,794
Reboiler E-110	1	\$ 277,248
Horno B-101	1	\$ 3,814,400
Aeroenfriadores EA-101 y EA-102	2	\$ 1,646,400
Reactores R-101 y R-102	2	\$ 4,321,082
Separador vertical F-101	1	\$ 193,330
Separador vertical F-102	1	\$ 109,896
Separador horizontal F-103	1	\$ 60,733
Columna de destilacion T-101	1	\$ 414,335
Columna de absorcion T-102	1	\$ 165,734
Columna de desorcion T-103	1	\$ 165,734
Compresor C-101	1	\$ 2,761,706
Compresor C-102	1	\$ 1,143,565
Total		\$ 36,742,947
Total en MUSD		\$ 36.74

Tabla 69: Costos por equipo

Fuente: Elaboración propia

11.3. Método para estimarlo

Con el dato del costo de los equipos podemos establecer el resto de los costos que nos van a determinar el CAPEX. En la siguiente tabla vemos los distintos puntos y un factor que va a ser la fracción del costo de equipos que representa. En el costo del equipo está incluido el envío y la instalación.



	Factor en base al costo del equipo	Costo en Musd
Costo directo		
Equipo+envío+instalación	1	36.74
Localización	0.2	7.35
Instrumentación y controles	0.1	3.67
Cañerías y accesorios	0.3	11.02
Tuberías extras	0.2	7.35
Instalación eléctrica	0.08	2.94
Obras civiles	0.25	9.19
Mejoras del sitio	0.01	0.37
Servicios auxiliares	0.2	7.35
Ingeniería y supervisión	0.08	2.94
Paro	0.03	1.10
Asuntos legales	0.02	0.73
Extra-Equipo	0.02	0.73
Honorarios	0.15	5.51
Contingencias	0.08	2.94
Total		99.93

Tabla 70: Cálculo detallado del costo en cada aspecto.

Fuente: Elaboración propia.

El CAPEX del proyecto va a ser de 99,93 Musd.

11.4. Costos de fabricación y ventas

Los costos de fabricación y ventas representan los gastos de la planta cuando esta se encuentra en régimen de operación, varían según el nivel de producción y comprenden los siguientes factores enlistados a continuación. A su vez, los costos de fabricación admiten una división en dos grandes grupos, por un lado, se encuentran los costos directos o variables, que son proporcionales a la producción, y por el otro los costos indirectos o fijos, los cuales son independientes a la producción. La lista que compone a este apartado es la siguiente:

- ❖ Mano de obra operativa. Corresponde al sueldo que se les paga a los operarios que ejercen las operaciones en planta.
- ❖ Mantenimiento y reparaciones. Surge de las revisiones anuales y consiste en la sustitución de piezas o reparaciones de equipos por problemas en su funcionamiento. Representan aproximadamente el 5% del capital fijo de inversión.
- ❖ Servicios generales. Incluyen los requisitos de vapor de alta presión para proceso, electricidad, aire para instrumentación y equipos, agua de enfriamiento, gas natural y tratamiento de desechos. Depende de las



cantidades que se necesitan y del costo según el lugar donde se ubique la planta.

- ❖ Gastos generales. Consisten en gastos como iluminación, suministros, envasados, aseguradoras, gastos de laboratorios para el control de calidad, derechos y patentes que se van a utilizar, catalizadores, expedición para el transporte y la venta del producto. Generalmente se estiman como el 50% del costo de mano de obra operativas más el 1% del capital fijo.
- ❖ Gastos administrativos. Se incluyen los gastos de la cantidad requerida de mano de obra, la complejidad para operar la planta y los estándares de calidad necesarios; por otro lado, aparecen los costos que consisten en marketing y administración como son los suministros y equipos de oficina, comunicación y los gastos por el proceso de venta y distribución del producto. La parte de marketing y administración difícilmente supere el 20% de la mano de obra.

11.5. Distintos métodos de estimación

Para estimar los distintos gastos y costos de producción nos basamos en bibliografía que brinda valores aproximados para industrias químicas y petroquímicas, por lo general tienen en cuenta un porcentaje del capital fijo y el costo de mano de obra, por esta razón primero definimos los salarios para los empleados.



Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Para establecer un salario justo nos basamos en el convenio colectivo de trabajo del Sindicato del Personal de Industrias Químicas y Petroquímicas de la Ciudad de Buenos Aires.

Diagrama de salarios	Salario base x hora	Categoría	Bono por título/cargo	Suma fija solidaria	Suelo base mensual	Cargas sociales	Sueldo mensual	Asignación no remunerativa	Costo anual (usd)
Gerente general	566.81	A3 (+80%)	104%	31458	239590	57502	297092	58166	29040
Secretaria	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58167	16069
Gerente de Recursos Humanos	482.99	A1 (+30%)	54%	31458	165343	39682	205025	58169	20174
Analista de Recursos Humanos 1	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58170	16069
Analista de Recursos Humanos 2	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58170	16069
Selección y reclutamiento de personal	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58171	16069
Formación	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58172	16069
Relaciones laborales	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58173	16069
Medicina Laboral	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58174	16069
Secretaría	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58175	15494
Gerente de producción	566.81	A3 (+30%)	54%	31458	188578	45269	233836	58177	22948
Coordinador de operaciones	566.81	A3 (+10%)	34%	31458	168172	40361	208534	58178	20512
Supervisor de planta 1	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58179	18695
Supervisor de planta 2	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58180	18695
Supervisor de planta 3	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58181	18695
Supervisor de planta 4	524.23	A2 (+5%)	29%	31459	153185	36764	189949	58182	18722
Supervisor de planta relevo 1	525.23	A2 (+5%)	30%	31460	154364	37047	191411	58183	18863
Operario de planta 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58182	15494



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

Operario de planta 2	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58183	14625
Operario de planta 3	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58184	14625
Operario de planta 4	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58185	14095
Operarios de planta relevo 1	411.56	B + (1%)	19%	31458	119614	28707	148321	58186	14714
Operario de planta 5	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58187	15495
Operario de planta 6	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58188	14625
Operario de planta 7	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58189	14625
Operario de planta 8	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58190	14095
Operarios de planta relevo 2	411.56	B + (1%)	19%	31458	119614	28707	148321	58191	14714
Operario de planta 9	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58192	15495
Operario de planta 10	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58193	14625
Operario de planta 11	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58194	14625
Operario de planta 12	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58195	14095
Operarios de planta relevo 3	445.83	A + (1%)	19%	31458	126955	30469	157424	58196	15590
Supervisor de Energía 1	566.81	A3 (+5%)	29%	31458	163071	39137	202208	58197	19903
Supervisor de Energía 2	567.81	A3 (+5%)	29%	31459	163304	39193	202497	58198	19931
Supervisor de Energía 3	568.81	A3 (+5%)	29%	31460	163537	39249	202786	58199	19959
Operario de Energía 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58198	15495
Operario de Energía 2	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58199	15495
Operario de Energía 3	411.56	A	18%	31458	118873	28530	147403	58200	14625
Operario de Energía 4	411.56	A	18%	31458	118873	28530	147403	58201	14625
Operario de Energía relevo 1	411.56	B + (1%)	13%	31458	115169	27641	142810	58204	14183
Operario de Energía relevo 2	411.56	B + (1%)	13%	31458	115169	27641	142810	58204	14183
Supervisor de mov. de prod. y mp. 1	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58205	18695
Supervisor de mov. de prod. y mp. 2	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58205	18695
Operario de mov. de prod. y mp. 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58206	15495
Operario de mov. de prod. y mp. 2	411.56	A	18%	31458	118873	28530	147403	58207	14625
Operario de mov. de prod. y mp. 3	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58208	14095
Operario de mov. de prod. y mp. 4	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58209	14095
Operario de m. de p. y mp. Relevo 1	411.56	B + (1%)	13%	31458	115169	27641	142810	58212	14183
Gerente de Servicio técnico	482.99	A1 (+30%)	54%	31458	165343	39682	205025	58214	20174
Jefe de Seguridad e Higiene	482.99	A1 (+10%)	34%	31458	147955	35509	183464	58215	18098
Supervisor de Seguridad e Higiene	482.99	A1 (+5%)	29%	31458	143808	34466	178074	58216	17579
Técnico de Seguridad e Higiene 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58217	15495
Técnico de Seguridad e Higiene 2	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58217	15495
Técnico de Seg. e Hig. relevo 1	445.83	A + (1%)	19%	31458	126955	30469	157424	58218	15591
Jefe de Medio Ambiente	482.99	A1 (+10%)	34%	31458	147955	35509	183464	58219	18098
Técnico en Medio Ambiente	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58220	15495
Jefe de Laboratorio	523.23	A2 (+10%)	34%	31458	157661	37839	195499	58222	19257
Supervisor de Laboratorio 1	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58223	18695
Supervisor de Laboratorio 2	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58223	18695
Supervisor de Laboratorio 3	523.23	A2 (+5%)	29%	31458	152952	36708	189660	58223	18695
Técnico de laboratorio 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58224	15495
Técnico de laboratorio 2	482.99	A1	18%	31458	134045	32171	166216	58225	16437
Técnico de laboratorio 3	482.99	A1	18%	31458	134045	32171	166216	58226	16437
Técnico de laboratorio 4	523.23	A2	18%	31458	142592	34222	176814	58227	17458



Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Técnico de laboratorio 5	523.23	A2	18%	31458	142592	34222	176814	58228	17458
Técnico de laboratorio relevo 1	445.83	A + (1%)	19%	31458	126955	30469	157424	58229	15591
Jefe de Procesos y proyectos	523.23	A2 (+10%)	34%	31458	157661	37839	195499	58230	19257
Técnico de Procesos y proyectos	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58231	15495
Gerente de mantenimiento	566.81	Oficial A3+(30%)	54%	31458	188578	45259	233836	58234	22949
Jefe de mantenimiento	566.81	Oficial A3+(10%)	34%	31458	168172	40361	208534	58235	20512
Empleado general de servicios	523.2	Oficial A2	24%	31458	148236	35577	183813	58236	18132
Supervisor de mantenimiento 1	566.81	Oficial A3	24%	31458	157970	37913	195883	58236	19294
Supervisor de mantenimiento 2	566.81	Oficial A3	24%	31458	157970	37913	195883	58236	19294
Supervisor de mantenimiento 3	566.81	Oficial A3	24%	31458	157970	37913	195883	58236	19294
Operario de mant. y verif. de equipos 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58237	15495
Operario de mant. y verif. de equipos 2	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58238	15495
Operario de mant. y verif. de equipos 3	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58239	14626
Operario de mant. y verif. de equipos 4	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58240	14626
Operario de mant. y verif. de equipos 5	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58241	14095
Operario de mant. y verif. de equipos 6	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58241	14095
Operario de m. y v. de equipos relevo	411.56	B + (1%)	18%	31458	118873	28530	147403	58242	14626
Supervisor de ing. del mantenimiento	566.81	Oficial A3	24%	31458	157970	37913	195883	58243	19294
Operario de ing. del mantenimiento 1	445.83	A	18%	31458	126152	30277	156429	58244	15495
Operario de ing. del mantenimiento 2	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58245	14626
Operarios almacen 1	445.83	A	12%	31458	121337	29121	150458	58246	14920
Operarios almacen 2	411.56	B	12%	31458	114428	27463	141891	58247	14095
Gerente de Administración	445.83	A1 (+30%)	54%	31458	155042	37210	192252	58251	18945
Jefe de logística y distribución	445.83	A1 (+10%)	34%	31458	138992	33358	172350	58252	17028
Supervisor de logística y distribución	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58253	16070
Jefe de contabilidad	445.83	A1 (+10%)	34%	31458	138992	33358	172350	58254	17028
Analista de facturación	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58255	16070
Jefe de finanzas	445.83	A1 (+10%)	34%	31458	138992	33358	172350	58256	17028
Analista de pago a proveedores	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58257	16070
Tesorero	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58258	16070
Jefe de ventas	445.83	A1 (+10%)	34%	31458	138992	33358	172350	58259	17028
Analista de ventas	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58260	16070
Jefe de compras	445.83	A1 (+10%)	34%	31459	138993	33358	172351	58261	17028
Analista de compras	445.83	A	24%	31460	130969	31433	162402	58262	16070
Jefe de contratos	445.83	A1 (+10%)	34%	31461	138995	33359	172354	58263	17029
Analista de contratos	445.83	A	24%	31462	130971	31433	162404	58264	16071
Jefe de gestión	445.83	A1 (+10%)	34%	31458	138992	33358	172350	58261	17028
Analista de gestión 1	445.83	A	24%	31458	130967	31432	162399	58262	16070
Analista de gestión 2	411.56	B	18%	31458	118873	28530	147403	58263	14626

Figura 96: Diagrama de salarios detallado.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que tenemos los datos de los salarios, podemos agruparlos en los que están directamente relacionados con la producción y los que se relacionan, pero de forma más indirecta, como son los puestos administrativos. Para los gastos de producción vamos a adicionar el personal extra que va a ser necesario tanto para trabajos como seguridad, limpieza y jardinería, como para los contratos temporales requeridos, lo vamos a considerar como un 20% del gasto anual de los salarios totales.



Puesto	Cantidad	Sueldo anual prom(usd)	Total anual (usd)
Operarios	32	14718	470976
Tecnicos	9	16162	145456
Supervisores	18	18918	340529
Gerentes y jefes	6	20713	124277
Total mano de obra producción			1081238
Total mano de obra producción + extras			1418721

Puesto	Cantidad	Sueldo anual prom(usd)	Total anual (usd)
Administración	23	15708	361292
Gerentes y jefes	13	18837	244886
Total mano de obra administración			606178

Tabla 71: Costos de mano de obra por sector.

Fuente: Elaboración propia.

En total la mano de obra representa un gasto anual de 2,02 Musd, de los cuales el mayor porcentaje corresponde al personal de planta. El otro punto que es fundamental con respecto a los costos de producción son las materias primas, en nuestro caso van a ser el aceite de soja y el hidrógeno, de los cuáles obtuvimos los datos de consumo a partir de la simulación.

Los precios de las materias primas los obtuvimos del material brindado por la cátedra y el costo de mantenimiento lo calculamos con el 5% del capital fijo de inversión.

Por otro lado, tenemos a los servicios generales, en los cuales vamos a considerar los consumos de agua de enfriamiento, energía eléctrica, vapor de alta presión, DEA, gas natural, tratamiento de desechos. Obtuvimos los consumos a partir de los cálculos realizados en los capítulos previos y los costos fueron obtenidos de la bibliografía consultada.

Luego tenemos los gastos generales, los cuales se estiman como el 50% del costo de mano obra de planta más el 1% del capital fijo de inversión. Dentro de estos vamos a especificar el gasto de la aseguradora (ART), esta última se estima como un 8% de la suma de los salarios.

Por último, tenemos los gastos administrativos, dentro de los cuáles el costo más relevante consiste en la mano de obra, el cual ya calculamos. Con este dato vamos a estimar el costo de marketing y administración, como un 20% del costo de mano de obra administrativa.



Costos de producción					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (usd)	Total (usd)
Materia prima	Aceite de soja	41808	ton	\$ 1,217	\$ 50,877,293
	Hidrógeno	4020	ton	\$ 2,932	\$ 11,785,997
Total materia prima (Musd)					\$ 62.7
Mano de obra planta	Operarios	32	año	\$ 14,718	\$ 470,976
	Técnico	9	año	\$ 16,162	\$ 145,456
	Supervisor	17	año	\$ 18,965	\$ 340,529
	Gerentes y jefes	6	año	\$ 20,713	\$ 124,277
	Extras		año		\$ 337,483
Total Mano de obra planta (Musd)					\$ 1.42
Mantenimiento (Musd)					\$ 5.00
Servicios generales	Agua de enfriamiento	811606	m ³	\$ 0.22	\$ 178,553
	Energía eléctrica	12839880	kW/h	\$ 0.03	\$ 398,036
	Vapor de alta presión	15205	ton	\$ 164.30	\$ 2,498,247
	DEA	809629	kg	\$ 0.02	\$ 18,359
	Gas natural	101402	MMBTU	\$ 3.50	\$ 354,907
	Tratamientos de desechos	1497.3	m ³	\$ 99.40	\$ 148,832
Total servicios generales (Musd)					\$ 3.60
Gastos generales	ART				\$ 156,696
	Otros				\$ 1,551,993
Total gastos generales (Musd)					\$ 1.71
Gastos administrativos	Mano de obra				
	Administración	21	año	\$ 15,674	\$ 329,151
	Gerentes y jefes	11	año	\$ 19,166	\$ 210,829
	Marketing y administración				\$ 107,996
Total gastos administrativos (Musd)					\$ 0.65
Total costos de producción (Musd)			\$	75.03	

Tabla 72: Detalle de los costos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

Los precios son resultado de una proyección realizada para el 2024, ya que éste será el primer año de funcionamiento de la planta y será el primer año que se deban realizar estos gastos. Finalmente tenemos como total de costo de producción un valor de 75.03 millones de dólares.

11.6. Costos fijos y variables.

Los costos se pueden clasificar en fijos o variables, vamos a considerar fijo a la mano de obra operativa, el mantenimiento, los gastos generales y los gastos administrativos. Se denominan fijos porque no dependen de la cantidad que se produce y se mantienen prácticamente constantes año a año. Si bien la mano de obra operativa podría considerarse semivariable, debido a que frente a grandes cambios de producción aumenta o disminuye la mano de obra requerida, la vamos a considerar como un costo fijo, suponiendo que la producción se va a mantener constante. En cambio, los costos variables, sí dependen y pueden variar con el paso de los años, dentro de este grupo tenemos al costo de materia



prima y a los costos de servicios generales como son el consumo de agua de enfriamiento, vapor, electricidad y demás servicios.

Con los datos calculados hasta el momento podemos determinar la inversión inicial requerida, la cual es igual a la suma del capital fijo de inversión y los costos de producción para el primer año, a continuación, se muestra su cálculo.

Capital fijo de inversión	\$ 99.93	Musd
Costos de producción	\$ 75.03	Musd
Capital total de inversión	\$ 174.97	Musd

Tabla 73: Calculo capital total de inversión.

Fuente: Elaboración propia.

11.7. Inventarios

Los inventarios son uno de los rubros principales que integran al capital de trabajo, siendo el valor asociado a los bienes vendidos durante el período analizado para determinar el flujo de dinero o caja, y, a su vez, el capital de trabajo. Dentro del mismo se encuentran los siguientes elementos:

- ❖ Stock de materias primas. Debe tenerse en cuenta, principalmente, su origen (importado o nacional), su disponibilidad, número de proveedores, etc. Como premisa, debe reducirse tanto como sea posible el inventario de estas materias primas, productos terminados, envases, repuestos, y demás elementos constitutivos, ya que el almacenamiento aumenta los costos e “inmoviliza” el capital.

Un valor promedio puede estimarse para 15 a 30 días de producción al valor puesto en fábrica, para el caso de la materia de origen nacional. En cambio, para aquellas materias primas importadas, el criterio es establecer un valor de 90 a 120 días de producción. Sin embargo, en otras fuentes utilizan inventarios de 5, 7 o 10 días, va a depender de cada caso.

- ❖ Productos en curso de elaboración. Se integra con el valor de materias primas, servicios y mano de obra directa de la producción en fabricación. Es importante tenerlo en cuenta si el proceso es discontinuo, en nuestro caso no lo vamos a considerar debido a que el proceso es continuo.
- ❖ Productos semi-terminados. Estos productos, serán aquellos que todavía deben pasar por otros procesos de fabricación o que esperan la aprobación final por parte del laboratorio. Tendrán especial relevancia en industrias donde los análisis de aprobación son muy largos, en nuestro caso no lo vamos a considerar.



- ❖ Productos terminados. El tipo de industria que se esté evaluando influirá bruscamente en la cantidad de productos terminados puestos en depósito, y de esta forma, afectará con un peso considerable sobre el capital de trabajo, igualando, en ocasiones, la importancia de la inversión fija. Cuando no se trata de un caso particular y muy riguroso, y si no se dispone de otros datos, se acostumbra a tomar como cantidad de producto terminado almacenado 30 días de producción.

Dentro de las materias primas el aceite de soja es la única que vamos a tener en inventario, luego de los gastos generales vamos a considerar el inventario de DEA, ambos productos son afectados por la inflación por lo que el costo de inventario va a ir aumentando con el paso de los años.

Para el aceite de soja vamos a considerar 10 días de stock debido a que existen gran cantidad de productores nacionales y su disponibilidad es elevada, por otro lado, vamos a tomar 30 días para la DEA, ya que se consume en menor proporción y por más que se produce a nivel nacional, no es tan elevada su disponibilidad.

Por otro lado, vamos a tener inventario de nuestro producto principal DV y también de jet fuel. Para el DV vamos a considerar la misma cantidad de inventario que para el aceite de soja, 10 días, ya que son flujos similares, nuestro comprador se encuentra cerca y es un producto que tiene demanda. Por último, el jet fuel se va a producir en mucho menor cantidad y vamos a estimar un inventario de 30 días.

11.8. Capital de trabajo

El capital de trabajo es la parte de la inversión que comprende las disponibilidades de capital necesario para que una vez la planta se haya instalado y puesta en operación pueda operar con los niveles previstos en los estudios técnico-económicos. En otras palabras, este concepto hace referencia a los activos corrientes y pasivos corrientes que forman parte del período a analizar el proyecto, donde los activos son aquellos que tienen la facultad de convertirse en dinero en efectivo antes del cierre de un determinado ejercicio, en tanto que los pasivos son obligaciones financieras y pagos que la organización deberá efectuar antes de culminar cierto ejercicio o período de actividad económica.

El capital de trabajo señala de forma muy valiosa el nivel de liquidez de una empresa, ya que se trata del dinero disponible para “costear” los gastos operativos que permiten el desarrollo de la actividad económica, también,



fomenta la gestión estratégica de activos y pasivos, al mostrar un balance entre los mismos, alerta sobre algunos patrones negativos y sirve como punto de partida para el diseño y ejecución de estrategias.

El capital de trabajo comprende al dinero en efectivo y sus equivalentes, son de bajo riesgo ya que solo están expuestos a un incremento de los precios por causa de la inflación, en cambio un activo no monetario, como pueden ser los equipos, tiene un valor que se deprecia con el tiempo. En detalle está conformado por los siguientes rubros:

- ❖ Efectivo. Es el dinero en caja y depósitos bancarios, donde, por caja se entiende el efectivo que debe tenerse disponible para hacer frente a la operación de la planta, pagos de materias primas, salarios, servicios, etc. Como valor de caja de un proyecto, se suele considerar un 2% de las ventas anuales, y es la liquidez necesaria para afrontar cualquier gasto inesperado.
- ❖ Inversiones a corto plazo. Están conformadas por los títulos financieros de deuda, ya sean bonos de empresas o entidades estatales. Dichos activos reditúan a su propietario una rentabilidad periódica.
- ❖ Cuentas a cobrar o crédito a compradores. Son compromisos de pago varían por diversos factores, los más importantes corresponden a las condiciones de crédito fijadas por el mercado. Surgen por no vender al contado, usualmente las refinerías operan con un periodo de pago de 1 mes.
- ❖ Inventario. Dentro de este rubro tenemos materias primas o insumos (en sus diversos estados de producción), que siempre y cuando se encuentren aptos para venderse rápidamente. También se encuentran los productos y subproductos de inventario.

Para poder realizar el cálculo de capital de trabajo primero debemos determinar los ingresos anuales por ventas, el precio del gasoil lo obtuvimos de la página web de Global Petrol Prices, la cual nos indica para Argentina un valor medio del último periodo de 1.1 dólares por litro.

Luego, debemos proyectar los precios del aceite de soja, DEA, diésel verde y jet fuel verde, tomando como punto de partida el precio en 2022 y proyectando a 12 años. Para realizar esta proyección nos basamos en informes del Banco Mundial (BM) y del Fondo Monetario Internacional (FMI). Según los cuales el precio del aceite de soja va a aumentar debido a un aumento de la producción de biocombustibles y de la demanda del aceite en general, pero a la vez se espera un aumento en la producción, por lo que el ajuste no sería muy grande.



Por otro lado, vamos a utilizar la variación del precio del barril de petróleo para estimar los precios a futuro del DV y el jet fuel. Según los informes, existe una disminución considerable en inversiones (38% con respecto al año 2020) al sector del petróleo, pero la demanda energética sigue aumentando, esto se debe a la actual crisis energética que estamos atravesando, la cual fue incrementada por la pandemia de COVID-19 y la actual guerra entre Rusia y Ucrania.

Para realizar las proyecciones además de los informes nos basamos en datos proyectados por estos dos organismos reconocidos a nivel mundial. Como resultado tenemos la siguiente tabla:

Año	Precio DV (usd/m3)	Precio JP (usd/m3)	Precio C3 (usd/m3)	Precio aceite de soja (usd/tn)	Precio Hidrogeno (usd/tn)	Precio DEA (usd/kg)
2024	\$ 1,957.4	\$ 1,665.5	\$ 208.3	\$ 1,221.9	\$ 2,931.8	\$ 0.0241
2025	\$ 2,022.1	\$ 1,720.6	\$ 208.4	\$ 1,233.7	\$ 2,990.5	\$ 0.0245
2026	\$ 2,216.2	\$ 1,885.8	\$ 208.6	\$ 1,246.4	\$ 3,050.3	\$ 0.0250
2027	\$ 2,280.9	\$ 1,940.8	\$ 208.7	\$ 1,267.2	\$ 3,111.3	\$ 0.0255
2028	\$ 2,394.1	\$ 2,037.2	\$ 208.9	\$ 1,277.1	\$ 3,173.5	\$ 0.0260
2029	\$ 2,555.9	\$ 2,174.8	\$ 209.1	\$ 1,292.5	\$ 3,237.0	\$ 0.0266
2030	\$ 2,588.2	\$ 2,202.4	\$ 209.4	\$ 1,302.5	\$ 3,301.7	\$ 0.0271
2031	\$ 2,766.2	\$ 2,353.8	\$ 212.0	\$ 1,309.7	\$ 3,367.8	\$ 0.0276
2032	\$ 2,911.8	\$ 2,477.6	\$ 216.0	\$ 1,335.1	\$ 3,435.1	\$ 0.0282
2033	\$ 3,138.2	\$ 2,670.4	\$ 219.0	\$ 1,358.6	\$ 3,503.8	\$ 0.0288
2034	\$ 3,178.0	\$ 2,704.2	\$ 222.0	\$ 1,377.6	\$ 3,573.9	\$ 0.0293

Tabla 74: Proyección de precios de materia prima y productos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del BM y el FMI.

Año	Ingresos DV (Musd)	Ingresos JP verde (Musd)	Ingresos anuales (Musd)
2024	\$ 84.05	\$ 1.11	\$ 85.16
2025	\$ 86.83	\$ 1.15	\$ 87.98
2026	\$ 95.17	\$ 1.26	\$ 96.42
2027	\$ 97.94	\$ 1.30	\$ 99.24
2028	\$ 102.81	\$ 1.36	\$ 104.17
2029	\$ 109.75	\$ 1.45	\$ 111.21
2030	\$ 111.14	\$ 1.47	\$ 112.61
2031	\$ 118.78	\$ 1.57	\$ 120.35
2032	\$ 125.04	\$ 1.65	\$ 126.69
2033	\$ 134.76	\$ 1.78	\$ 136.54
2034	\$ 136.47	\$ 1.80	\$ 138.27

Tabla 75: Calculo ingresos por ventas por año.

Fuente: Elaboración propia.



El propano producido no genera ingresos ya que es utilizado como combustible debido a su baja pureza, por otro lado, en la tabla anterior podemos ver que los ingresos aumentan con el tiempo debido a que se proyecta un aumento de los precios, la producción se mantiene siempre constante.

Para poder definir el capital de trabajo vamos a tener que determinar el tipo de financiación que vamos a recibir. Vamos a elegir el sistema americano, en el cual el prestatario se compromete a pagar al prestamista los intereses de forma periódica y en el último año y se pagará el interés del último año más el capital prestado.

Vamos a definir pagos anuales con una tasa de interés del 5% y un total de 5 cuotas, ya que los bancos no suelen dar préstamos con duraciones superiores a los 5 años. Con la siguiente tabla vamos a calcular los pagos que corresponden para cada año.

Capital total de inversión (MUSD)	\$ 99.93
Tipo de préstamo	Bancario
Porcentaje de préstamo	100%
Forma de pago	Anual
Número de cuotas	5
Tasa de interés	5%

Año	Intereses (MUSD)	Cuota (MUSD)	Saldo pendiente (MUSD)
2023			\$ 99.93
2024	\$ 1.00	\$ 1.00	\$ 99.93
2025	\$ 1.00	\$ 1.00	\$ 99.93
2026	\$ 1.00	\$ 1.00	\$ 99.93
2027	\$ 1.00	\$ 100.93	\$ -

Tabla 76: Cálculo sistema de financiación bancaria.

Fuente: Elaboración propia.

También se consideró la posibilidad de pedir un préstamo a accionistas, en este caso son más flexibles en la cantidad de años que pueden prestar el dinero, pero el interés que exigen es superior al de un préstamo bancario, y las cuotas se componen de la suma a pagar total (con los intereses correspondientes) dividido el número de años, por lo que la cuota anual será igual en todos los años.

Capital total de inversión (MUSD)	\$ 99.93
Tipo de préstamo	Accionistas
Porcentaje de préstamo	100%
Forma de pago	Anual
Número de cuotas	10
Tasa de interés	7%

Año	Intereses (MUSD)	Cuota (MUSD)	Saldo pendiente (MUSD)
2023			\$ 99.93
2024	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 89.94
2025	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 79.95
2026	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 69.95
2027	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 59.96
2028	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 49.97
2029	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 39.97
2030	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 29.98
2031	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 19.99
2032	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 9.99
2033	\$ 0.70	\$ 10.69	\$ 0.00

Tabla 77: Cálculo sistema de financiación con accionistas.

Fuente: Elaboración propia.



Más adelante comprobaremos que el método de financiación más conveniente es una combinación de los anteriores, pidiendo un 30% al banco y un 70% a los accionistas, se logra obtener la mayor rentabilidad. Los intereses y las cuotas quedarían conformados de la siguiente forma:

Capital total de inversion (Musd)	\$ 29.98
Tipo de prestamo	Bancario
Porcentaje de prestamo	30%
Forma de pago	Anual
Número de cuotas	5
Tasa de interés	5%

Capital total de inversion (Musd)	\$ 69.95
Tipo de prestamo	Accionistas
Porcentaje de prestamo	70%
Forma de pago	Anual
Número de cuotas	10
Tasa de interés	7%

Año	Intereses (Musd)	Cuota (Musd)	Saldo pendiente (Musd)
2023	\$ -	\$ -	\$ 99.93
2024	\$ 0.79	\$ 7.78	\$ 92.94
2025	\$ 0.79	\$ 7.78	\$ 85.94
2026	\$ 0.79	\$ 7.78	\$ 78.95
2027	\$ 0.79	\$ 37.76	\$ 41.97
2028	\$ 0.49	\$ 7.48	\$ 34.98
2029	\$ 0.49	\$ 7.48	\$ 27.98
2030	\$ 0.49	\$ 7.48	\$ 20.99
2031	\$ 0.49	\$ 7.48	\$ 13.99
2032	\$ 0.49	\$ 7.48	\$ 7.00
2033	\$ 0.49	\$ 7.48	\$ 0.00

Tabla 78: Calculo sistema de financiación 30/70.

Fuente: Elaboración propia.

Con la siguiente tabla se muestra el cálculo del capital de trabajo o lo que es lo mismo, el activo monetario neto, a lo largo de los primeros años del proyecto, para calcularlo se debe restar el pasivo monetario o pasivo de trabajo, al activo monetario. El pasivo monetario consiste en las deudas exigibles en el corto plazo usualmente debido a los proveedores.

Activos monetarios	2023	2024	2025	2026	2027
Caja mínima	-	\$ 1.71	\$ 1.76	\$ 1.93	\$ 1.99
Creditos por ventas	-	\$ 7.10	\$ 7.33	\$ 8.04	\$ 8.27
Inventario de aceite de soja	-	\$ 1.52	\$ 1.54	\$ 1.56	\$ 1.58
Inventario DV	-	\$ 2.51	\$ 2.59	\$ 2.84	\$ 2.92
Inventario JP	-	\$ 0.10	\$ 0.10	\$ 0.11	\$ 0.12
Inventario DEA	-	\$ 0.01	\$ 0.01	\$ 0.01	\$ 0.01
Total activos monetarios	-	\$ 12.94	\$ 13.33	\$ 14.48	\$ 14.88
Pasivos monetarios	2023	2024	2025	2026	2027
Creditos por compras	-	\$ 5.23	\$ 5.31	\$ 5.37	\$ 5.46
Total pasivos monetarios	-	\$ 5.23	\$ 5.31	\$ 5.37	\$ 5.46
Total activos monetarios neto	-	\$ 7.71	\$ 8.03	\$ 9.11	\$ 9.42

Tabla 79: Calculo activo monetario neto.

Fuente: Elaboración propia.



Como el valor neto de activos monetarios es positivo, nos indica que la empresa tiene solvencia para afrontar cualquier problema que pueda surgir y que se encuentra en buen estado.

Otro punto importante en la evaluación económica es el cálculo de la depreciación, para esta vamos a considerar que la vida útil promedio de los equipos es de 10 años y la construcción de edificios tiene una vida útil de 20 años.

	Vida útil promedio (años)	Inversión (MUSD)	Total (MUSD)
Equipos de planta	10	36.74	3.674
Edificios	20	3.28	0.164
Total anual (MUSD)		3.838	

Tabla 80: Calculo depreciación.

Fuente: Elaboración propia.

11.9. Construcción del diagrama de flujo de fondos

El flujo de fondos de un proyecto en marcha es considerado como la actividad de gestión más importante para evitar los contratiempos empresariales y para la marcha controlada de los resultados empresariales. Esto, tiene su fundamento en generar el excedente de fondos, que permita a la empresa alcanzar sus objetivos, en este caso son fundamentales los fines de lucro.

Un proyecto llevado a cabo por una empresa obtiene fondos a partir de su origen, pero una vez que el negocio continúa desarrollándose surge otro tipo de financiamiento: el endeudamiento. A la par de la determinación de la composición óptima del capital pasivo, se deben determinar los fondos, los cuales se aplican a la adquisición de materias primas e insumos.

Como se vio anteriormente, a estas materias primas, se les agrega valor mediante un proceso productivo que implicará costos fijos y variables, que son en su mayoría erogables (es decir, implican una salida de efectivo), a excepción de las amortizaciones y otros costos no erogables. Todo este proceso productivo, que es continuo, se realiza sin movimientos de tesorería, éstos recién se generan con el pago de los bienes y servicios adquiridos. Una vez que los productos en proceso se convierten en bienes terminados destinados a la venta, se produce la comercialización de estos.

En la actualidad la mayoría de las empresas realizan gran parte de sus operaciones a crédito. Esto produce la generación de la venta, pero no la entrada



de efectivo, que se producirá en un mes, ya que es el periodo de tiempo que se suele utilizar. Como se puede apreciar, existe un desfase temporal entre los egresos e ingresos de fondos, conocido como el “ciclo dinero – mercadería – dinero”, siendo por ello el tiempo la esencia de la gestión del capital circulante.

El flujo de fondos de un proyecto debe ser analizado desde dos puntos de vista complementarios:

- ❖ Punto estático: Constituido por el saldo de las cuentas representativas de los fondos, es decir, caja, cuentas bancarias y las inversiones temporarias de gran liquidez, en un momento dado.
- ❖ Punto dinámico: Conlleva implícitamente una dimensión temporal, y se vincula a la variación de los fondos durante un lapso de tiempo.

Los flujos de fondos proyectados destacan el análisis dinámico, pues analizan los cambios y sus causas en la posición financiera del ente durante el período cubierto por la proyección, así como permiten efectuar, al mismo tiempo, un análisis estático por medio del valor actual y los balances proyectados a un momento dado. Uno de los fines para el que pueden utilizarse estas proyecciones es para evaluar proyectos de inversión sobre una base de caja, determinando para ello los egresos iniciales de fondos, los ingresos y egresos de operación (generados por el proyecto), el momento en que ocurrirá este flujo y el valor residual del proyecto al final de la vida útil del mismo. Gracias a ello, se puede determinar cómo contribuye cada proyecto al valor presente de la empresa, lo que nos ayudará, más adelante a determinar la rentabilidad del proyecto.

A lo largo de los años de vida del proyecto se van a realizar otras inversiones, aparte de la inicial, estas corresponden al valor de OPEX de paro, los cuales se tienen en cuenta luego de 5 años de funcionamiento de la planta y se considera 5 millones de dólares para este caso, la continuidad, que suele ser entre 2% y 5% del CAPEX y es un gasto que está asociado al mantenimiento de tuberías, escaleras, rampas y demás instalaciones que son fundamentales para la normal operación de la planta. Luego también tenemos un gasto que está relacionado con la seguridad y medioambiente, se lo denomina SMASS, incluye los gastos en extintores, ambulancias, entre otras cosas y suele ser 1% del CAPEX. Por último, el valor de integridad, el cual corresponde a la rama del mantenimiento preventivo, incluye gastos en pruebas específicas en equipos como las pruebas hidráulicas en tanques y demás recipientes a presión, su valor suele ser entre 1% y 2% del CAPEX.

A continuación, presentamos una tabla en la que calculamos los flujos de fondos proyectados a lo largo de 12 años que es el periodo tomado como referencia, la



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional La Plata

tasa de corte se consideró de 12% y la tasa de impuesto a las ganancias de un 25%.

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ventas	\$ -	\$ -	\$ 85	\$ 88	\$ 97	\$ 99	\$ 104	\$ 111	\$ 113	\$ 120	\$ 127	\$ 137	\$ 137
Producto			\$ 85	\$ 88	\$ 97	\$ 99	\$ 104	\$ 111	\$ 113	\$ 121	\$ 127	\$ 137	\$ 137
Compras	\$ -	\$ -	\$ -63	\$ -64	\$ -96	\$ -65	\$ -66	\$ -67	\$ -68	\$ -68	\$ -70	\$ -71	\$ -71
MP1			\$ -51	\$ -52	\$ -52	\$ -53	\$ -53	\$ -54	\$ -54	\$ -55	\$ -56	\$ -57	\$ -57
MP2			\$ -12	\$ -12	\$ -12	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14
Cuota de Bancos		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -32								
Margen Bruto	\$ -	\$ -	\$ 23	\$ 25	\$ 1	\$ 34	\$ 38	\$ 44	\$ 45	\$ 52	\$ 57	\$ 66	\$ 66
OPEX			\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -15
Fijos			\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9	\$ -9
Mano de obra planta			\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4	\$ -1.4
Mantenimiento y reparación			\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0	\$ -5.0
Gastos generales			\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7	\$ -1.7
Gastos administrativos			\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7
Variables			\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -6	\$ -6
Químicos			\$ 0.1	\$ -0.0	\$ -0.0	\$ -0.0	\$ 0.1	\$ -0.0	\$ -0.0	\$ -0.0	\$ -0.0	\$ -0.0	\$ -0.0
Vapor			\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5	\$ -2.5
Agua			\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2
Tratamiento de desechos			\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1	\$ -0.1
Electricidad			\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.4
Logísticos			\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -0.7	\$ -1.0	\$ -1.1	\$ -1.3	\$ -1.4	\$ -1.6	\$ -1.7	\$ -2.0	\$ -2.0
Impuestos			\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.2	\$ -0.3	\$ -0.4	\$ -0.4	\$ -0.5	\$ -0.5	\$ -0.6	\$ -0.7	\$ -0.7
EBITDA	\$ -	\$ -	\$ 10	\$ 12	\$ -12	\$ 21	\$ 25	\$ 31	\$ 31	\$ 38	\$ 43	\$ 51	\$ 51
Amort.			\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8	\$ -3.8
EBIT	\$ -	\$ -	\$ 6	\$ 8	\$ -16	\$ 17	\$ 21	\$ 27	\$ 27	\$ 34	\$ 39	\$ 47	\$ 47
IG			\$ -1	\$ -2	\$ -	\$ -4	\$ -5	\$ -7	\$ -7	\$ -9	\$ -10	\$ -12	\$ -12
EBT	\$ -	\$ -	\$ 8	\$ 10	\$ -12	\$ 16	\$ 20	\$ 24	\$ 24	\$ 30	\$ 33	\$ 39	\$ 39
Int. Banc.	\$ -0.3	\$ -0.3	\$ -0.3	\$ -0.3	\$ -0.3								
Pago Accionistas		\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9	\$ -7.9
NI	\$ -	\$ -0	\$ -8	\$ 0	\$ 1	\$ -21	\$ 8	\$ 12	\$ 16	\$ 16	\$ 22	\$ 25	\$ 39
CAPEX	\$ 0	\$ -1	\$ 0	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ -9	\$ -4	\$ -4	\$ -4	\$ 48
Erogaciones	\$ -8	\$ -74	\$ -23										
Prest. Banc.	\$ 9	\$ 23	\$ -										
Accionistas	\$ -	\$ 50	\$ 24										
Paro			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Continuidad			\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2
SMASS			\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1
Integridad			\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1
VS (si se evalúa)													\$ 53
FF	\$ 0	\$ -1	\$ -8	\$ -4	\$ -3	\$ -25	\$ 4	\$ 7	\$ 7	\$ 12	\$ 17	\$ 21	\$ 88
Flujo Acum.	\$ -1	\$ -9	\$ -13	\$ -15	\$ -40	\$ -36	\$ -29	\$ -22	\$ -10	\$ 8	\$ 29	\$ 117	\$ 117

Tabla 81: Flujo de fondo

Fuente: Elaboración propia.

11.10. Distintas técnicas para la toma de decisión. Rentabilidad.

A continuación, se mencionarán y detallarán los distintos métodos o técnicas para la toma de decisión en proyectos de inversión. Existen dos tipos genéricos de métodos: aquellos que no consideran el valor del dinero en el tiempo, y aquellos que si consideran el valor del dinero en el tiempo.

Para los primeros, se tienen las siguientes técnicas presentadas a continuación.



11.10.1. Método de período de recuperación

Se define como el tiempo exacto que requiere una empresa para recuperar su inversión inicial en un proyecto, y puede estimarse a partir de las entradas en efectivo. Sus principales ventajas son las siguientes:

- ❖ Cálculo fácil e intuitivamente sencillo.
- ❖ Considera en los cálculos flujos de efectivos en lugar de las utilidades contables.
- ❖ Es empleado por pequeñas empresas para medir su exposición al riesgo.
- ❖ Como aplicaciones del método, resulta ventajoso ya que es excelente cuando se utiliza como una primera barrera para evaluar proyectos.

Por otro lado, también tiene ciertas desventajas:

- ❖ El periodo de tiempo máximo es determinado de forma subjetiva (por la gerencia).
- ❖ No toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo.
- ❖ No es capaz de reconocer los flujos efectivos que ocurren posterior al periodo de recuperación.
- ❖ Se complica cuando existe un valor de desecho para las inversiones.
- ❖ Solo se puede utilizar para comparar cuando son proyectos con vidas económicas iguales y con flujo de efectos uniformes.

En lo que respecta a los criterios de decisión, solo se aceptará el proyecto si el período de recuperación de inversión (PRI) es menor que el período de recuperación máximo aceptable.

En nuestro caso el PRI aplicado al flujo de fondos proyectado nos dio un valor de 9 años, el cuál es un valor bastante elevado y no es un buen indicador de la rentabilidad, de igual forma hay que analizar otros indicadores para tener una mejor visión de la rentabilidad del proyecto.

11.10.2. Valor Actual Neto (VAN)

Es un método muy utilizado como criterio económico para toma de decisiones, por definición, es una técnica que muestra los beneficios netos generados por el proyecto durante su vida útil, luego de cubrir la inversión inicial y obtenida la ganancia requerida por la inversión. Básicamente permite determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto, y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Se destacan



algunas ventajas de esta técnica, como son la aptitud para evaluar cualquier tipo de proyecto o ser un criterio de optimización muy aceptable.

El criterio de decisión consiste en cuantificar el valor del VAN, según lo siguiente:

- ❖ Si el VAN es mayor que cero ($VAN > 0$), se acepta el proyecto.
- ❖ Si el VAN es menor que cero ($VAN < 0$), se rechaza el proyecto.
- ❖ Si el VAN es igual a cero ($VAN = 0$), se acepta el proyecto.

El cálculo del Valor Presente Neto se presenta como sigue:

$$VAN = -I_0 + \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} \right)$$

Donde:

- ❖ I_0 : Inversión inicial [USD].
- ❖ FC: Flujo de caja anual del período t (ingresos menos egresos) [USD].
- ❖ i : Tasa de descuento (costo de oportunidad del capital).
- ❖ n : Número de períodos de vida útil del proyecto [años].
- ❖ VAN: Valor Actual Neto [USD].

Como consideración, entre mayor sea la tasa de descuento o de rentabilidad requerida, menor será el VAN. Sin embargo, se requiere conocer obligatoriamente esta tasa para proceder con la evaluación de cualquier proyecto, además de que un error en la determinación de este valor repercutirá en la evaluación. Un aumento o una disminución en esta tasa, nuevamente, podrá cambiar bruscamente la jerarquización de los proyectos.

Para nuestra planta tomamos una tasa de descuento de 12%, y aplicado al flujo de caja calculado para el proyecto, obtuvimos una VAN de 21,19 millones de dólares, como es considerablemente mayor que 0, vamos a decir que por este método el proyecto es factible económicamente y deberíamos aceptarlo.

11.10.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es otra técnica que constituye la tasa de interés a la cual se debe descontar los flujos de efectivos generados por el proyecto, a través de su vida económica para que estos se igualen con la inversión.

El criterio de decisión es el que se sigue:

- ❖ Si la TIR es mayor a la tasa de descuento, se acepta el proyecto.
- ❖ Si la TIR es menor a la tasa de descuento, se rechaza el proyecto.



- ❖ Si la TIR es igual a la tasa de descuento, se acepta el proyecto.

La TIR permite jerarquizar los proyectos de inversión conforme a su tasa de rendimiento, y, además, a diferencia del método anterior, no requiere el conocimiento de la tasa de descuento para poder calcularlo.

La metodología de cálculo, en este método, adopta dos variantes, la primera es cuando los flujos de ingresos netos anuales son uniformes, mientras que la segunda es cuando no son uniformes.

Para la primera variante, se deben seguir los siguientes pasos:

- ❖ Calcular el periodo máximo óptimo de recuperación de la inversión del proyecto. Una forma rápida de cálculo se basa en dividir la inversión entre el flujo anual.
- ❖ Determinar el factor de interés del valor presente más próximo al valor de recuperación (este factor variará de acuerdo con la vida del proyecto). Se debe contar con una tabla financiera de anualidades para poder determinar el factor de interés. Además, como consideración general, la tasa de interés relacionada con este factor es la tasa de rendimiento redondeada al 1% más próximo.

Como se ha indicado anteriormente, la TIR de un proyecto es la tasa que iguala el valor presente de los flujos anuales a la inversión inicial, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+TIR)^t} = FC \times \left[\frac{(1+TIR)^n - 1}{TIR \cdot (1+TIR)^n} \right]$$

Mientras que, para la segunda variante, se tiene un cálculo por interpolación mediante la siguiente ecuación:

$$TIR = i_1 + \left[(i_2 - i_1) \times \frac{(VAN_1)}{|VAN_1| + |VAN_2|} \right]$$

Donde:

- ❖ i_1 : Tasa de corte con la que se calcula el VAN del proyecto, cuyo resultado debe ser positivo.



- ❖ i_2 : Tasa de corte con la que se calcula el VAN del proyecto, cuyo resultado debe ser negativo.
- ❖ $|VAN_1|$: VAN positivo, en valor absoluto [USD].
- ❖ $|VAN_2|$: VAN negativo, en valor absoluto [USD].
- ❖ TIR: Tasa Interna de Retorno.

Análogamente, en esta variante se deben seguir otros pasos también:

- ❖ Determinar un VAN positivo, con una tasa de corte adecuada para dicha determinación (con valor 1 es aceptable).
- ❖ Elegir una tasa de corte mayor a la tasa del paso 1, con el fin de obtener un VAN con valor negativo (valor 2 es también aceptable).
- ❖ Sustituir en la fórmula los valores de VAN y tasa de cortes de los pasos anteriores, 1 y 2, determinando así la TIR.

Siguiendo diversas técnicas de prueba y error, es posible determinar la TIR, y siempre se buscará una con un valor superior a la tasa de rentabilidad requerida, de manera tal que se acepte el proyecto. Sin embargo, algunas desventajas de este método son las dificultades para calcular este valor cuando se presentan casos como el de flujos de efectivos no uniformes, además de que presenta ventajas para el cálculo de proyectos de bajo valor, en lugar de los de más alto. Otra desventaja radica en que se pueden obtener conclusiones erróneas cuando los flujos del proyecto a través de los años cambian de signo.

Gracias al documento Excel en el que calculamos el flujo de fondo a lo largo de los años para el proyecto, podemos obtener fácilmente el valor de la TIR, la cual nos da un valor de 23%, un valor considerablemente por encima de la tasa de corte definida en 12%, por lo que también nos indica que el proyecto es viable y deberíamos aceptarlo.

A continuación, ponemos una tabla resumen:

VAN	\$ 21.19
TIR	23%
Pay Back	9

Tabla 82: Resultado de indicadores de rentabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

11.11. Diagrama del punto de equilibrio.

El punto de equilibrio es el volumen en el cual los ingresos igualan al costo total, sus formas de representación son tanto algebraicas como gráficas. En la



primera, se incluyen los costos de producción, administración, ventas y financieros mediante la discriminación de costos variables y fijos. Empleando la siguiente fórmula, se obtiene el punto de equilibrio:

$$q_e = \frac{CF}{pv - cvu} = \frac{CF}{mc}$$

Donde:

- ❖ q_e : Es la cantidad de equilibrio, esto es: la cantidad de unidades de productos que deben venderse para alcanzar dicho punto. Como adición, se puede emplear otra expresión que tendrá en cuenta únicamente a las ventas [unidades].
- ❖ CF: Costo fijo total [USD].
- ❖ pv: Precio de venta unitario [USD/unidad].
- ❖ cvu: Costo variable unitario, o resultado de la división entre el número de unidades fabricadas y las unidades vendidas [USD/unidad].
- ❖ mc: Margen de contribución unitaria, donde este elemento es el exceso de ingresos con respecto a los costos variables, siendo la parte que contribuye a cubrir los costos fijos y proporciona una utilidad. Se puede presentar una variante, y es si se tomase el margen de contribución total de la empresa: en este caso, el margen quedaría igualado únicamente a los costos fijos totales, ya que no habría utilidad ni pérdida [USD].

El análisis se fundamenta en los siguientes puntos:

- ❖ La variabilidad de los costos según su clasificación en fijos y variables.
- ❖ Precio de venta constante a medida que se modifica el volumen.
- ❖ La mezcla de venta de múltiples productos permanece constante.
- ❖ Las políticas básicas no cambian a corto plazo.
- ❖ La estabilidad monetaria a corto plazo se mantiene.
- ❖ La eficiencia y productividad de la mano de obra permanece invariable a corto plazo.
- ❖ Igualdad en los niveles de producción y ventas, es decir, no se esperarán cambios en los niveles de inventario.

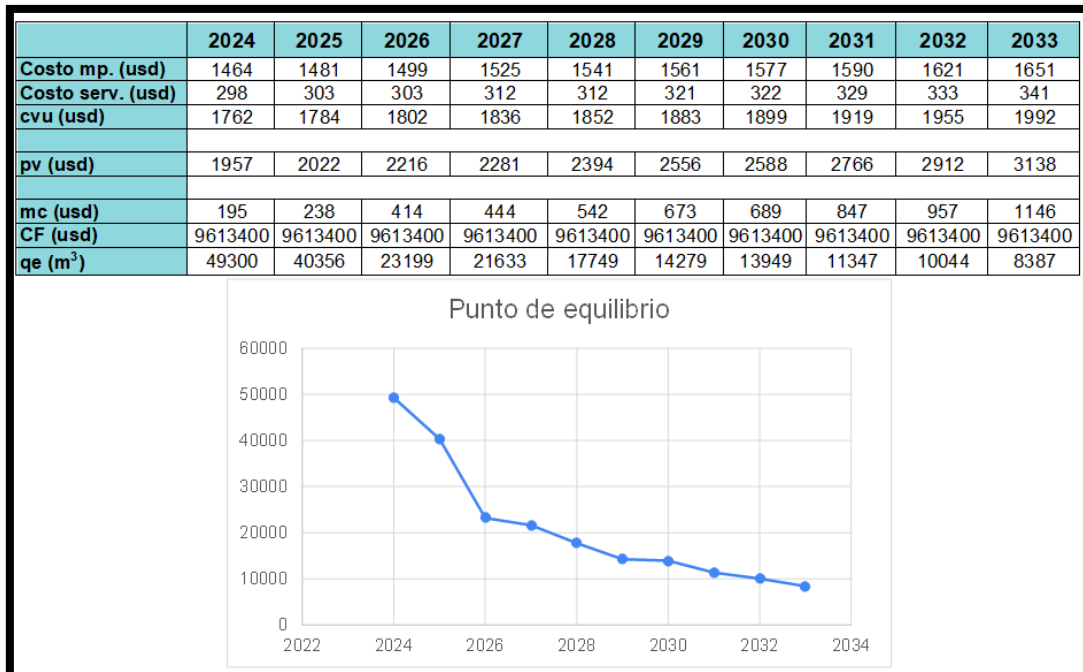


Tabla 83 y Figura 97: Punto de equilibrio

Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver que los primeros dos años, la cantidad que hay que producir para comenzar a obtener ganancias es bastante elevada, sin embargo, a partir del tercer año comienza a necesitarse menor cantidad y a la vez existe menos variación.

Por otro lado, empleando el método gráfico, se obtiene la relación costo – volumen – utilidad, permitiendo evaluar la repercusión sobre las utilidades a partir de cualquier movimiento o cambio de costos, volumen de ventas y precios. El punto de equilibrio mostrará cómo los cambios operados en los ingresos o costos por diferentes niveles de venta repercuten en el proyecto, generando utilidades o pérdidas.

En el eje horizontal se representan las ventas en unidades, mientras que en el vertical la variable en unidades monetarias (dólares para el proyecto en estudio), los ingresos, por su parte, se muestran calculando los diferentes niveles de venta. Uniendo dichos puntos, se obtendrá la recta que representa los ingresos, lo mismo sucede con los costos variables en diferentes niveles. Los costos fijos, están representados por una recta horizontal dentro de un segmento relevante. Sumando la recta de los costos variables con la de los costos fijos se obtiene la de los costos totales, y el punto donde esta última se intercepta con la recta de los ingresos representa el punto de equilibrio. A partir de dicho punto, entonces,



se podrá medir la utilidad o pérdida generada, ya sea como aumento o como disminución del volumen de ventas, esto se puede analizar como sigue: el área hacia el lado izquierdo del punto de equilibrio es considerada pérdida, mientras que el lado derecho es considerado utilidad.

Como ventajas del análisis, se pueden destacar los siguientes puntos:

- ❖ Los gráficos son fáciles de construir e interpretar.
- ❖ Garantiza la posibilidad de percibir con facilidad el número de productos que se necesitan vender para no generar pérdidas.
- ❖ Provee directrices en relación con la cantidad de equilibrio, márgenes de seguridad y niveles de utilidad/pérdida a distintos niveles de producción.
- ❖ Se pueden establecer paralelos a través de la construcción de gráficos comparativos para distintas situaciones (observando el comportamiento de una variable a raíz de la modificación de las condiciones de partida).
- ❖ La ecuación, además, entrega un resultado preciso del punto de equilibrio.

La gráfica representativa del punto de equilibrio es la que se muestra a continuación:

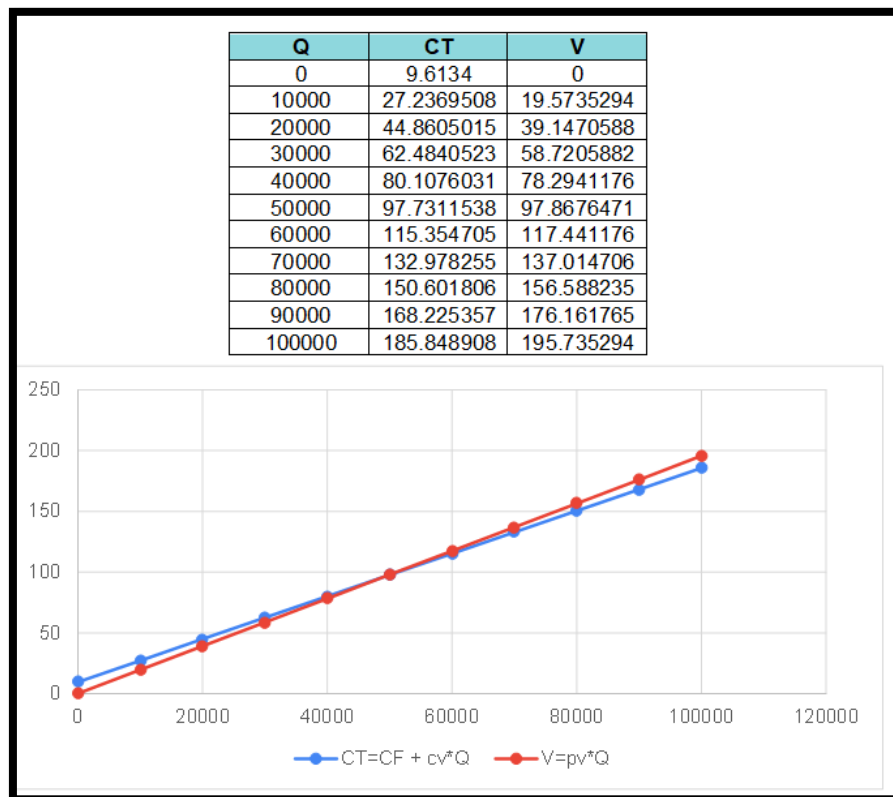


Tabla 84 y Figura 98: Método gráfico del punto de equilibrio para el primer año de producción.

Fuente: Elaboración propia.



Respecto a las limitaciones, se asume algo irreal que el aumento de los costos sea siempre lineal, ya que no todos cambian en forma proporcional con respecto a la variación en el nivel de producción, también, no todos los costos pueden ser fácilmente clasificables en fijos y variables, lo que añade otra dificultad en el análisis. Otra consideración tiene que ver con las unidades producidas en el proyecto, ya que no siempre todas se venden, repercutiendo en el análisis. Y, por último, podría considerarse que es poco probable que los costos fijos se mantengan constantes a distintos niveles de producción, dadas las diferentes necesidades de las empresas.

11.12. Sensibilidad a las diferentes variables

En el estudio financiero de un proyecto de inversión se encuentran presentes, como se comentó anteriormente, el riesgo y la incertidumbre, los cuales representan la probabilidad de cambio en las variables macroeconómicas y operacionales, pudiendo ocasionar la reducción o eliminación de la rentabilidad de la inversión. En dicho análisis, se consideran las variables posibles que modifiquen la información financiera y el analista, por lo que se deberán modificar los valores y cantidades con el fin de crear diferentes escenarios, y proponer diversas conclusiones. La dificultad para predecir con certeza los acontecimientos futuros hace que los valores estimados para los ingresos y costos de un proyecto no sean siempre los más exactos, estando sujetos a errores, por lo que todos los proyectos de inversión deben estar sujetos a riesgos e incertidumbres debido a diversos factores que no siempre son estimados con la certeza requerida en la etapa de formulación, parte de los cuales pueden ser predecibles y por lo tanto asegurables y otros sean impredecibles, encontrándose bajo el concepto de incertidumbre.

Indicadores tales como volumen de producción, ingresos por ventas, costos de inversión y costos de materias primas y materiales requieren ser examinados con una mayor precisión, ya que sus valores están sujetos a mayores variaciones, pero para ello se realizan los análisis de riesgo, los cuales no serán tratados en este apartado.

Por otro lado, los llamados análisis de sensibilidad se basan en procedimientos por los cuales se puede determinar cuánto se afecta, es decir, qué tan sensible es la TIR o el VAN ante cambios en determinadas variables de la inversión, considerando al resto invariables. La utilidad esencial de este análisis es conocer qué variable afecta en mayor medida el resultado de operación del proyecto de inversión, se estima que hay variables que están fuera del control del empresario, y sobre ellas es necesario practicar este análisis, entre las que se considera, por



ejemplo, el volumen de producción que afecta directamente a los ingresos, lo cual, no hace referencia al precio del producto, que sí depende del empresario y puede ser compensado inmediatamente.

A continuación, se presentará una lista de los diferentes factores a ser modificados, para ello, es preciso identificar aquellos factores y asignarles los valores tipo, ya sea por debajo o por encima del esperado, y, sin realizar modificaciones a los demás elementos de la evaluación, se calculan nuevamente los valores de rendimiento.

N° caso	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10	Caso 11
Descripción	Sin financiación	FF 50/50	FF 30/70	FF bancaria	Precio de venta +5%	Precio de venta -5%	Precio de MP +5%	Precio de MP -5%	CAPEX +15%	CAPEX -15%	Sin producción
VAN	\$ -10.5	\$ 19.8	\$ 21.2	\$ 16.5	\$ 38.1	\$ 0.4	\$ 11.7	\$ 29.7	\$ 11.1	\$ 30.4	\$ 6.6
TIR	10.2%	21.7%	22.8%	19.2%	33.9%	12.2%	17.6%	28.3%	16.8%	30.8%	15.1%
Pay Back	9	8	9	7	8	11	10	8	10	8	11

Tabla 85: Casos varios para sensibilidad financiera.

Fuente: Elaboración propia.

En un principio, se evalúa el caso sin financiamiento, en el cual el VAN da un valor muy negativo, por lo que se procede a recurrir a un financiamiento, de las tres opciones planteadas, el que brinda el mejor valor de VAN es el caso 3, con una financiación 30% bancaria y 70% por parte de accionistas, la cual tiene buenos valores de rendimiento.

Como base se considera el mejor caso, por lo que utilizando una financiación 30/70, se procede a analizar la sensibilidad en el resto de los casos.

El valor del CAPEX afecta negativamente de forma más pronunciada cuando lo aumentamos (+15%) que el efecto positivo que tiene disminuirlo (-15%). Para el caso en el que ocurre un siniestro y no se pueda producir por un año completo, tendríamos valores considerablemente inferiores de VAN y TIR, pero aún se mantendría en valores aceptables.

Los valores de variación en el ingreso por ventas (+/- 5%) y de gastos por compra de materia prima (+/- 5%) de la *tabla 85*, se realizaron con el precio del DV para el caso de las ventas (ya que representa el 99% de los ingresos totales anuales) y con el precio del aceite de soja (ya que representa el 81% de los gastos anuales en materia prima). Analizando los resultados, podemos ver que la variación en el precio de venta es nuestro producto principal tiene un impacto mayor que el precio de compra del aceite de soja, incluso si el precio del Diesel cae un 5% obtendríamos un valor de VAN cercano a 0, dentro de los escenarios analizados, este sería el más desfavorable para la economía de la empresa.

Sin embargo, el precio del Diesel es menos probable que disminuya, pero el aceite de soja, al ser tan demandada la soja a nivel internacional, ya sea como



grano, harina o aceite, es más probable que tenga un aumento mayor al esperado, por lo que conlleva un riesgo económico importante que no hay que dejar de lado.

Como conclusión del análisis de sensibilidad tenemos que asegurarnos que nuestro comprador, YPF, nos brinde un contrato de compra que nos fije un precio que no tenga variaciones, ya que una mínima variación negativa nos afecta de forma drástica en los ingresos de la empresa. Lo mismo se debe realizar con la aceitera Oleaginosas Moreno, para que el riesgo de inversión sea menor y de esta forma nos aseguremos cierta rentabilidad.

En función del estudio realizado aceptamos la factibilidad del proyecto debido a que, los valores de VAN y TIR que son fundamentales para determinar la rentabilidad del proyecto nos dan valores que son positivos. Según el análisis de sensibilidad realizado, en todos los escenarios considerados lograríamos tener valores positivos para la VAN y la TIR, lo que es un buen indicador de la seguridad del proyecto, ya que los riesgos de inversión son menores. Sin embargo, no hay que perder de vista que frente a una caída del 5% en los precios del gasoil la rentabilidad es muy sensible y disminuyen considerablemente los valores de la VAN y la TIR, al igual que con una subida del 5% del aceite de soja.

Como conclusión, se decidirá seguir adelante con la ingeniería de detalle, licencias de obras y actividades, el pedido de los equipos y los posteriores pasos hasta la puesta en marcha (PEM).



12. BIBLIOGRAFÍA.

- Douvartzides S. L., Charisiou N. D., Papageridis K. N. & Goula M. A. (2019). Green Diesel: Biomass feedstocks, production technologies, catalytic research, fuel properties and performance in compression ignition internal combustion engines. *Energies* 12 No 5.
- Ashraf Amin (2019). Review of diesel production from renewable resources: Catalysis, process kinetics and technologies. *Ain Shams Engineering Journal* 10 p. 821 – 839.
- Sari Elvan (2013). Green Diesel production via catalytic hydrogenation/decarboxylation of triglycerides and fatty acids of vegetable oil and brown grease. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy. Wayne State University, Detroit, USA.
- Balan-Chan, R. M. & Elizalde–Martínez (2018). Algunos aspectos de producción de diésel verde a partir de materias primas de segunda generación y la tecnología del hidrot ratamiento. *RIIIT. Revista internacional de investigación e innovación tecnológica*.
- Hannu Aatola, Martti Larmi, Teemu Sarjovaara & Seppo Mikkonen (2008). Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a renewable diesel fuel: trade-off between NOx, particulate emission, and fuel consumption of a heavy duty engine.
- Yoon JJ (2008). What is the difference between biodiesel and renewable (green) diesel. In: Presented at “Advanced Biofuels USA, 2011” & “Hydrocarbon Processing, 2008”
- Instituto Argentino de Petróleo y Gas (2020). Informe anual de producción por empresa.
- Acuña G., Caffarone S., Isaurralde F., Martínez Ortiz A. y Moens de Hase F. (2016). Construcción de una planta de biodiesel. Proyecto final de ingeniería industrial, ITBA.
- Secretaría de Energía (2020). Producción, ventas al mercado interno y exportaciones de biodiesel.
- Rueda H. (2021). Excel diésel verde, aportado por la cátedra proyecto final.
- FutureBridge (2020). Renewable Diesel: The Fuel of the Future.
- Sigaudó D. (2019). Fotografía del mercado mundial y local del aceite de soja. *Informativo Semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario*.
- Universidad de las Américas Puebla (s.f.). Extraído de: “Revisión bibliográfica, capítulo 4”.



- Storti L. (2019). Informes de cadenas de valor, oleaginosas: soja – septiembre 2019. Ministerio de hacienda.
- Giancola S. I., Salvador M. L., Covacevich M. & Iturrioz G. (2009). Análisis de la cadena de soja en la Argentina. Estudios socioeconómicos de los sistemas agroalimentarios y agroindustriales N° 3, INTA.
- Dulau D. (2014). Competitividad de la cadena de la soja, utilización de SIG para su mejora. Trabajo final de la carrera de posgrado en especialización en alta dirección en agronegocios y alimentos, Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Calzada J. y Treboux J. (2021). El Gran Rosario concentra el 80% de la capacidad de industrialización de semillas oleaginosas del país. Informativo semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario.
- Paollili M.C, Cabrini S.M. y Fillat F.A. (2021). Evolución de la cadena de soja en Argentina. Periodo 2000-2021. Informe técnico N° 5, INTA EEA Pergamino.
- Martín F. M. y Sala Gómez V. (2004). Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte. Proyecto final de carrera.
- Guzmán B. y Spinsanti C. (2016). Producción de Hidrógeno a partir de Energía Solar Fotovoltaica. Proyecto final de la cátedra integración IV.
- Sciara A. J. (2015). Biocombustibles en Argentina: Contexto y perspectivas. IPEC – Provincia de Santa Fe.
- Pisarello M. L. (2010). Producción de biodiesel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes catalizadores y alcoholes. Tesis para obtener el grado académico de Doctor en Ingeniería Química.
- Hilbert J. A., Sbarra R. y Amorós M. L. (2012). Producción de biodiesel a partir de aceite de soja, contexto y evolución reciente. Libro publicado, INTA.
- Epifanio D. y Ernst C. (2019). La cadena de suministro de biodiésel en Argentina: ¿una oportunidad para el avance social? Documento de trabajo N° 29. Organización Internacional del Trabajo.
- Bolsa de Comercio de Rosario (2017). Informativo semanal, Año XXXV – N° 1823 – Viernes 01 de septiembre de 2017.
- Orellano L. (2020). Argentina sangra por las barrancas del río Paraná – 1ª ed. Editorial Ágora. Buenos Aires.



- Weather Spark (s.f.). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ensenada. Recuperado de:
<https://es.weatherspark.com/y/29089/Clima-promedio-en-Ensenada-Argentina-durante-todo-el-año>
- Climate-Data-org (s.f.). Clima Ensenada (Argentina). Recuperado de:
<https://es.climate-data.org/americas-del-sur/argentina/buenos-aires/ensenada-1932/>
- Sistema Meteorológico Nacional (s.f.). Características: Estadísticas de largo plazo. Recuperado de:
<https://www.smn.gob.ar/estadisticas>
- Silvia M. (s.f.). Ensenada Buenos Aires: clima, ubicación y más. Recuperado de:
<https://descubrir.online/ensenada-buenos-aires/>
- El Día (2013). Cuánto llovió exactamente, un dato que genera controversia. Noticia del diario El Día del 5 de Abril de 2013. Recuperado de:
<https://www.eldia.com/nota/2013-4-5-cuanto-llovio-exactamente-un-dato-que-genera-controversia>
- Sistema de Información Geográfico (s.f.). SIG Eólico, mapa y herramientas de identificación y predicción energética preliminar de sitios con potencial. Recuperado de:
<https://sigeolico.energia.gob.ar/menu/>
- Fucks E., D'Amico G., Pisano M. F. y Nucceteli G. (2017). Evolución geomorfológica de la región del gran la plata y su relación con eventos catastróficos. Revista de la Asociación Geológica Argentina 74 (2): 141-154.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Sismo sentido con epicentro en Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas. Recuperado de:
<https://www.inpres.gob.ar/desktop/epicentro1.php?s=20181130132700>
- Honorable consejo deliberante de la municipalidad de Ensenada (2011). Ordenanza 3940. Código de construcciones para el partido de la Ensenada de Barragán.
- Manassero M. J., Da Silva M. M., Boff L. D. y Hurtado M. A. (2013). Metales pesados en suelos de la planicie costera del Río de La Plata, partidos de Ensenada y Berisso.
- Corrillo Machicado, F., y Gutiérrez Quiroga, M. (2016). Estudio de localización de un proyecto. Revista Ventana Científica, 7(11), 29-33.



- AulaFacil (s.f.). Localización del proyecto. Recuperado de:
<https://www.aulafacil.com/cursos/organizacion/gestion-de-proyectos/localizacion-del-proyecto-l19692>
- Corriolo Machicado F. y Gutiérrez Quiroga M. (2020). Estudio de localización de un proyecto. Ventana Científica, 7(11), 29-33. Recuperado de:
<http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ventana-cientifica/article/view/8>
- Secretaria de Política Económica – Subsecretaría de Programación Microeconómica. (2018). Informes de cadenas de valor. Recuperado de:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ssp_micro_cadenas_de_valor_hidrocarburos.pdf
- Página 12. (2018). De la quiebra a ponerla a punto. Recuperado de:
<https://www.pagina12.com.ar/145834-de-la-quiebra-a-ponerla-a-punto>
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2020). Camiones, trenes y barcas ingresarán al Gran Rosario a lo largo del año más de 34 Mt de soja. 2019/20. Recuperado de <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/78544>
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2015). La notable infraestructura portuaria del gran Rosario, uno de los pilares del desarrollo económico argentino. Recuperado de:
<https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-notable-0>
- Pontón R. (2013). La BCR y el transporte. Recuperado de:
<https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bcr-y-el>
- Di Sbroiavacca, N. (2019). Diagnóstico del sector refinación del petróleo. Recuperado de:
https://eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/04291605_08-DiagnosticoRefinerias.pdf
- ECyT-ar. (2015). Industria petroquímica en Argentina. Recuperado de:
https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Industria_petroqu%C3%ADmica_en_Argentina
- Aversa, M. (2019). Infraestructuras portuarias en las centralidades regionales: el Puerto de Buenos Aires en la escala local y metropolitana. Revista del área de estudios urbanos del Instituto de Investigaciones Gino Germani de la Facultad de Ciencias Sociales (UBA), 16(12), 114-143.



- Alz-mercados. (s.f.). Mapa de puertos. Recuperado de:
<https://www.alz-mercados.com.ar/mapa/>,
<http://aprobamegilli.blogspot.com/2012/11/blog-post.html>
- Aversa, M. (2019). Movilidad y territorio: los puertos en el sistema multimodal de transporte metropolitano en las últimas dos décadas. Reconocimiento de problemáticas y planteo de estrategias de planificación en el Puerto de Buenos Aires. (Trabajo final integrador para obtención de la especialización en Políticas y Planificación del Transporte). Universidad Nacional de San Martín– Instituto del Transporte, San Martín.
- Subsecretaría de Actividades Portuarias (2016). Anuario Portuario. Recuperado de:
https://www.mp.gba.gov.ar/sap/downloads/anuario_2016.pdf
- Carrizo, S., y Jacinto, G. (2018). Co-construcciones de redes energéticas. Acciones colectivas territoriales en Argentina, siglo XXI. *Confins*, 34, 1-34.
- Dirección Nacional de Agua potable y Saneamiento – Subsecretaría de Recursos Hídricos – Secretaría de Obras Públicas – Presidencia de la Nación. (2017). Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento. Recuperado de:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/interior_agua_plan_agua_saneamiento.pdf
- Lentini E. J., Brenner F. y Mercadier A. (2018). Los servicios urbanos de agua potable y saneamiento en Argentina: Estado actual y desafíos. Universidad Nacional de San Martín y FUNINTEC. Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua+Humedales.
- Neste. (2016). Safety Data Sheet – NEXBTL Renewable Diesel.
- Marco legal. Avecilla, M. (2019). Los elaboradores de biodiesel de la provincia de Buenos Aires y el mercado interno. Un análisis del corte obligatorio de la Ley 26.093 y el rol de los pequeños productores 2010-2013. (Trabajo Final Integrador para optar por el grado de Especialista en Planificación e Intervención para el Desarrollo). Universidad Nacional de La Plata –Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación – Secretaría de Posgrado.
- Tauber, F., Delucchi, D., Martino, H., y Rodríguez, C. (2006). Estudio para la localización del Parque Industrial Ensenada en el predio de la ex planta IPAKO. Convenio entre la Dirección de Asuntos Municipales – Ensenada y la UNLP.
- Topalian, G., y Lanardonne, T (s.f.). El marco regulatorio de los biocombustibles en la República Argentina. Recuperado de:



<http://www.colabogados.org.ar/larevista/pdfs/id12/marco-regulatorio-biocombustibles.pdf>

- (s.f.). Legislación sobre BIODIESEL. Recuperado de:
<https://biodiesel.com.ar/legislacion-sobre-biodiesel>

- Chidiak, M. y Stanley, L (s.f.). “Tablero de comando” para la promoción de los biocombustibles en Argentina - CEPAL. Recuperado de:
https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/3645/S2009117_es.pdf

- Secretaría de Obras y Servicios públicos - Dirección General de Política Ambiental (s.f.). Informe de línea de base ambiental en el partido de General San Martín. Recuperado de: <http://www.sanmartin.gov.ar/uploads/1569528887-Linea%20de%20Base%20Ambiental.pdf>

- Ministerio del Interior y del Transporte (s.f.). Estudio de Impacto Ambiental Corredor del Sudoeste – BRT Juan Manuel de Rosas (RN3) Matanza-CABA. CAPÍTULO 3 – MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL. Recuperado de:
<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/eias-metrobus-lamatanza-pages-143-423.pdf>

-Mojica, M. C. Sistema de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM) como instrumento de política ambiental local: Marco teórico y análisis de legislación comparada. (2014). Trabajo final de investigación - Licenciatura en información ambiental - Universidad Nacional de Luján. Recuperado de:
<https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/488/2014-07-03%20Marcelo%20Mojica%20Tesina%20Final%20E.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

- Zárate J. (2022). Hidrógeno verde, una alternativa energética que podría revolucionar el Paraguay. Recuperado de:
<https://www.lanacion.com.py/gran-diario-domingo/2022/07/17/hidrogeno-verde-una-alternativa-energetica-que-podria-revolucionar-el-paraguay/>

- González A. García-Conde (s.f.). Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

- Morante J. R., Andreu T., García G., Guilera J., Tarancón A. y Torrel M. (2020). Hidrogeno, vector energético de una economía descarbonizada N°35. Fundación Naturgy.

- Air Liquide (2016). Hoja de datos de seguridad. Hidrogeno comprimido/Hidrogeno SE/Alphagaz 1/ Alphagaz 1 Smartop.



- Bergero P., Calzada J., Di Yenno F. y Terré E. (2020). El Gran Rosario es el nodo portuario agroexportador más importante del mundo. Informativo Semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario.
- Sigaudó D. y Terré E. (2020). Los embarques de granos, subproductos y aceites superaron la marca de 100 millones de toneladas en 2019. Informe Semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario.
- Piemonte V. (s.f). Green Diesel. University UCBM – Rome (Italy).
- FutureBridge (2020). Renewable Diesel: The Fuel of the Future. (Repetido en la 1ra parte)
- Nylund N., Erkkilä K., Ahtiainen M., Murtonen T., Saikkonen P., Amberla A. & Aatola H. (2011). Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel. OPTIBIO. VTT, Finland.
- Khandelwal M. & van Dril A. W. N. (2020). Decarbonisation options for the dutch biofuels industry. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency & TNO Energy Transition, The Hague.
- Kalnes T. N. & Marker T. (s.f.). Green diesel production by hydrotreating renewable feedstock. Biofuels technology.
- Zanibelli L. (2010). Biofuels for transportation in an oil refiner's perspective. ENI R&M – R&D. National Workshop on Biofuels, S. Donato.
- Li X., Luo X., Jin Y., Li J., Zhang H., Zhang A. & Xie J. (2017). Heterogeneous sulfur-free hydrodeoxygenation catalysts for selectively upgrading the renewable bio-oils to second generation biofuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier.
- Pyl S. P., Schietekat C. M., Reyniers M., Abhari R., Marin G. B. & Van Geem K. M. (2011). Biomass to olefins: Cracking of renewable naphtha. Chemical Engineering Journal 176-187. Elsevier.
- Moreno Fernández J. -Villamil & Hurtado de Mendoza Paniagua A. (2018). Preliminary design of the green diesel production process by hydrotreatment of vegetable oils. Student Contest Problem. Eurecha.
- Lucidchart (s.f.). ¿Qué es un diagrama de flujo de procesos? Recuperado de: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo-de-procesos>
- M.M.J. (2005). Proyecto Fin de Carrera. Diseño de una Columna de DME. Anexo V: Diagramas de procesos. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Fernández Losa J. C. (2015). El glosario gordo del ingeniero de instrumentación y control. Recuperado de:



<https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/08/Instrumentacion-y-control.html>

- Inglesa (s.f.) Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento.
- CAC/RCP 36-1987 (Rev. 1999). Código internacional recomendado de prácticas para el almacenamiento y transporte de aceites y grasas comestibles a granel.
- Consulta FAO/OMS de expertos (1997). Grasas y aceites en la nutrición humana. Capítulo 5 - Elaboración y refinado de aceites comestibles.
Recuperado de:
<https://www.fao.org/3/v4700s/v4700s09.htm>
- Rodríguez de Vicente A. (2010). Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado. Proyecto fin de carrera de ingeniería mecánica. Universidad Carlos III de Madrid.
- American Petroleum Institute (2012). API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage.
- Venegas, E. A. (2018). Diseño de una planta de destilación para la obtención de etanol anhidro. (Trabajo de grado presentado para obtención de título de Ingeniería Química). Escuela Politécnica Nacional – Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito.
- Universidad de Granada. (s.f.). Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas. Recuperado de:
<https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- Octalsteel. (s.f.). Steel Pipe Dimensions & Sizes Chart (Schedule 40, 80 Pipe) Means. Recuperado de:
<https://www.octalsteel.com/steel-pipe-dimensions-sizes>
- Alegret Breña, E., y Martínez Valdés, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 40(3), pp. 41+.
- MF. T4.- Flujo de Fluidos en Tuberías. (s.f.). Renedo, C. J., Máquinas y Motores Térmicos. Universidad de Cantabria – Dto. De Ingeniería Eléctrica y Energética.



- González, P., Pastor, O., Peña, S., Smirnov, I., y Zafra, A. (2016). Planta de producción de ácido fórmico. (Trabajo final de grado). Universidad Autónoma de Barcelona – Escola d'enginyeria, Cerdañola del Vallés.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., y Harriott, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química (7^o ed.). McGraw-Hill, Interamericana.
- McGraw Hill, G. S. (s.f.). Mecánica de Fluidos e Hidráulica.
- Andritz (s.f.). Bombas de alta presión. Recuperado de:
<https://www.andritz.com/products-en/pumps/pumps/high-pressure>
- KSB (s.f.). Bomba instalada en seco, RPH. Recuperado de:
<https://www.ksb.com/es-ar/lc/productos/bomba/bomba-instalada-en-seco/rph/R05B>
- Powerzone. API Pump Types. Recuperado de
<https://powerzone.com/resources/api-pump-type-definitions-understanding-api-standards>
- Fesmex. (2020). Pérdidas por fricción en tuberías. Recuperado de:
<http://www.fesmex.com.mx/article/perdidas-por-friccion-en-tuberias/>
- Vélez Manco J. F. (2014). Conceptual desing of a palm oil hydrotreatment reactor for commercial diesel production. Universidad Nacional de Colombia.
- Mendoza Sepúlveda C. C. (2012). Simulación CFD de la transferencia de calor en un reactor de hidrotratamiento de aceites vegetales de segunda generación. Universidad Nacional de Colombia.
- Primavera M. (2021). Reactores. Material de la cátedra reacciones avanzadas de la carrera de ingeniería química. Universidad Nacional Tecnológica - Facultad Regional La Plata.
- Zikri A. & Aznury M. (2020). Green diesel production from crude palm oil (CPO) using catalytic hydrogenation method. IOP Conference Series: Materials Science Engineering 823.
- De La Rosa Reyna E. A. (2013). Hidrotratamiento de aceite vegetal jatropha curcas l. para la produccion de combustibles verdes. Tesis para maestro en ciencias en ingeniería química. Instituto Politécnico Nacional, Mexico DF.
- Kumar P., Maity S. K. & Shee D. (2019). Role of NiMo alloy and Ni species in the performance of NiMo/Alumina catalysts for hydrodeoxygenation of stearic acid: a kinetic study. ACS Omega, 4, 2833 – 2843.
- Kamyab A. (s.f.). Preparation and evaluation of sulfided NiMo/ γ -Al₂O₃ hydrotreating catalysts. Royal Institute of Technology.



- Ojagh H. (2018). Hydrodeoxygenation (HDO) catalysts, characterization, reaction, and deactivation studies. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology.
- The American Society of Mechanical Engineers (2004). Rules for Construction of pressure vessels, Section VIII, Division 1.
- Rodríguez Lezama F. (s.f.). Diseño y cálculo de recipientes a presión bajo especificaciones del código ASME sección VIII división 1. Instituto Politécnico Nacional Ensimé Azcapotzalco.
- ASME. (2003). Boiler and pressure Vessel Code, Division 1, Section VIII, The American Society of mechanical engineer.
- Requena, G., José, L., Rodríguez, M., y Mauricio, R. (2006). Diseño y evaluación de separadores bifásicos y trifásicos. (Trabajo especial de grado presentado para obtención de título Ingeniero de Petróleo). Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería – Escuela de Ingeniería de Petróleo, Caracas.
- Poppele, E. W. (1958). Correlation of maximum air velocity with liquid entrainment loading for wire mesh mist eliminators. (Trabajo presentado para obtención de Licenciatura en Maestría de Ciencias en Ingeniería Química). Newark College of Engineering, Newark.
- Oil and Gas Processing (s.f.). Separator Sizing. Recuperado de: <http://www.oilgasprocessing.com/Separator%20Sizing.htm#:~:text=Too%20low%20of%20a%20velocity,is%20between%200.15%20to%200.35>
- Filters.it (2016): Mesh & vane mist eliminator. Recuperado de <https://www.filters.it/media/2016/03/meshvane.pdf>
- “teegala_19” (s.f.). Sizing of Vertical Knock Out Drum with Wire Mesh. Blog recuperado de: <https://pdfcoffee.com/vertical-knock-out-drum-with-wire-mesh-for-n-pdf-free.html>
- Gómez L. (s.f.). DISEÑO Y SELECCIÓN DE SEPARADORES. Dimensionamiento de Separadores Bifásicos Horizontales. Recuperado de: https://www.academia.edu/24436516/DISE%C3%91O_Y_SELECCI%C3%93N_DE_SEPARADORES_Dimensionamiento_de_Separadores_Bif%C3%A1sicos_Horizontales.
- Koch-Glitsch, LP. (2007-2015). Flexitray. Valve Trays. Recuperado de: <https://www.koch-glitsch.com/technical-documents/brochures/flexitray-valve-trays>.



- Peters, M., Timmerhaus, K., y West, R. (2022). Plant Design and Economics for Chemical Engineers (5a ed.). (s.l.): McGraw Hill.
- Acedo, C. F. (s.f.). (Apunte de Cátedra Universitaria). ||Ing. Carlos Fernando Acedo. Apuntes de cátedra. ||
- Angeles Chero, P. (s.f.). (Apunte de Maestría en Ciencias Universitarias). ||Ing. Pedro Angeles Chero. Apunte MsC.||
- Rueda H. (2020). Destilación de Mezclas Complejas. (2020). Material de la cátedra Operaciones Unitarias II. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata.
- Kayode Coker, A. (2010). Ludwig's Applied Process Design for Chemical And Petrochemical Plants (4a ed.). Reino Unido: Elsevier.
- Broughton, D. B., y Vitti K. D. (1992). Distillation. In McKetta, J. J. (ed). Unit Operations Handbook (pp. 298-542). Recuperado de: https://books.google.com.ar/books?id=8KabDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Kennepohl, D., y Cunningham, K. (2015). 3.3: Conversion of Petroleum: Pyrolysis. Recuperado de: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_%28Vollhardt_and_Schore%29/03._Reactions_of_Alkanes%3A_Bond-Dissociation_Energies_Radical_Halogenation_and_Relative_Reactivity/3-03_Conversion_of_Petroleum%3A_Pyrolysis
- Torres Melchor, L. A., y Pérez Cortes, A. J. (2014). Evaluación de la capacidad de los principales equipos de procesos de las unidades de destilación primaria y al vacío para incremento de producción de la refinería Talara. (Trabajo de grado presentado para obtención de título Especialista en Ingeniería de Procesos de Refinación de Petróleo y Petroquímicos básicos). Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena – Facultad de Ingenierías, Arquitectura, Artes y Diseño, Cartagena.
- Durán, J. L. (s.f.). Combustibles Diesel de bajo azufre. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/5.-jornada-emisiones-vf-jose-luis-duran-ypf.pdf>
- Siurana Gómez, A. (2007). Métodos aproximados para el cálculo de operaciones de separación de mezclas multicomponentes – Universidad de Alicante. Dpto. Ingeniería Química. Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1889/1/AOSTEMA1.pdf>



- (s.f.). Memoria de cálculo. Recuperado de:
<https://www.coursehero.com/file/96007330/CAPITULO-2-MEMORIA-CALCULOpdf/>
- Montoya Mistretta, A. (2012). Diseño de una columna de destilación para recuperación de una sustancia termosensible. (Trabajo de grado presentado para obtención de título de Ingeniero Civil Químico). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – Facultad de Ingeniería – Escuela de Ingeniería Química, Valparaíso.
- (s.f.). Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia. Facultad de Ingeniería – UBA. Recuperado de <https://studylib.es/doc/5532710/unidad-3---torres-de-platos>
- Almengló, F. (2007). Diseño de la unidad de separación de la corriente dimetil éter, metanol y agua. España.
- Henley, E., y Seader, J. (2000). Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química. México: Reverté.
- Shaik Ayesha, K. M. (2017). Distillation Column AutoCAD Drawing Design. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/318503165_Distillation_Column_AutoCAD_Drawing_Design
- Leoz P. (s.f.). Tecnología del calor. Intercambiadores de tubo y coraza. Material de la cátedra tecnología de la energía térmica de la UTN-FRLP.
- Cao, E. (2004). Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos. (s.l.): Autor.
- Kern, D. Q. (1999). Procesos de Transferencia de Calor (31ª ed.). México: Compañía Editorial - Continental.
- Barrera, C. (2018). Instalaciones térmicas, mecánicas y frigoríficas: intercambiador de calor (Apunte de Cátedra Universitaria de la UTN-FRM). Recuperado de <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/INSTALACIONES%20TERMICAS%20MECANICAS%20Y%20FRIGORIFICAS/material/apuntes/INTERCAMBIADOR%202018.pdf>
- Aiello G., Beraldi A., Filipic M. y Sotelo L. (s.f.). Producción de polímero biodegradable a partir de almidón modificado, glicerina y lignina. Proyecto final. UTN-Fra.



- Ghiglia A. (2021). Como determinar el consumo de aire comprimido. KAESER compresores. Recuperado de:
<https://kaesertalk.com.ar/2021/02/03/como-determinar-el-consumo-de-aire-comprimido/>
- BEKO (s.f.). Aire comprimido en el sector químico. Recuperado de:
<https://www.beko-technologies.com/es-es/soluciones/sectores/quimico/>
- Muñoz, Hernández y José Aldemar (2014). Dinámica y control de procesos químicos. Sello Editorial Universidad del Tolima.
- Morales Sánchez (2007). Instrumentación básica de procesos industriales.
- Caraballo Zabaleta, Herrera Maza y Sierra González (2011). Modelado, simulación y control automática de la etapa de evaporación en el proceso de producción de leche en polvo en la empresa proleca LTDA. Universidad de Cartagena.
- Navas Herrera (2015). Control de columnas de destilación. Proyecto fin de carrera.
- Smith, C. A., y Corripio, A. B. (2014). Control automático de procesos, teoría y práctica, segunda edición en español. Limusa-Wiley, México.
- De la Fuente (s.f.). Control de unidades de proceso típicas. Material del Departamento de ingeniería de Sistemas de la Universidad de Valladolid.
- Dr. Bruce Postlethwaite (2017). Essential Process Control for Chemical Engineers, first edition. Bookboon.
- Jesus J. M., Santana P. L. & Silva F. V. (2013). Different Approaches in Concentration – Temperature Cascade Control of a Fixed Bed Reactor for the Phthalic Anhydride Synthesis. Chemical Engineering Transactions, Vol. 32.
- Tourton, Bailie, Whiting, Shaeiwitz & Bhattacharyya (2012). Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, Fourth Edition. Prentice Hall.
- Hernández Espinosa J., Urrea García G.R. y Solano G. L. (2017). Estructura de Control Variable en Cascada para Compensar Variaciones en Parámetros en un Reactor Tubular. Congreso Nacional de Control Automático.
- Vrcic J. D. (s.f.). Organización Industrial. Material aportado por la cátedra Integración V – Proyecto Final Ing. Qca. UTN-FRLP.
- Ámbito (2022). Paritarias: químicos y petroquímicos acordaron una suba salarial del 58%. Noticia de la sección de Economía recuperada de:
<https://www.ambito.com/economia/paritarias/quimicos-y-petroquimicos-acordaron-una-suba-salarial-del-58-n5403609>



- Acuña G., Caffarone S., Isaurralde F., Martínez Ortiz A. y Moens de Hase F. (2016). Construcción de una planta de biodiesel. Proyecto final de ingeniería industrial, ITBA.
- Argentina Ambiental (1979). Decreto 351/79 – Reglamentación de la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Recuperado de:
<https://argentinambiental.com/legislacion/nacional/decreto-35179-reglamentacion-la-ley-higiene-seguridad-trabajo/>
- CONADU (2014). Convenio Colectivo para los docentes de las instituciones universitarias nacionales. Recuperado de:
<https://conadu.org.ar/convenio-colectivo-de-trabajo/>
- Federación Argentina Sindical del Petróleo, Gas y Biocombustibles (2012). Convenio Colectivo de Trabajo con la Cámara Argentina de Empresas de Control de la República Argentina (CADECRA).
- Contabilidad Actual (s.f.). Reclutamiento, selección, contratación, inducción y capacitación de personal. Recuperado de:
<https://www.contabilidad-actual.com.mx/2013/08/10/reclutamiento-selecci%C3%B3n-contrataci%C3%B3n-inducci%C3%B3n-y-capacitaci%C3%B3n-de-personal/>
- Forte L. M. (2021). Material de la cátedra Ingeniería Ambiental. UTN FRLP.
- Cavallotto, JL. (1995). Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. 1995. 138 f. Tesis (Doctoral) - Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Fidalgo, F; Martínez, OR. (1983) Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires). Revista de la Asociación Geológica Argentina, 38, (2): 263-279.
- FREPLATA (Proyecto Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats). 2002. Taller “Bioensayos Aplicados a Sedimentos”.
- García, JM; Zanandrea, JF. (2017). Dinámica hídrica del acuífero Puelche en la ciudad de La Plata y alrededores. resultados preliminares. IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico de la provincia de Buenos Aires (CONCYT). Bernal, 1º de septiembre de 2017. Actas del Congreso, 9p.
- Goya, J. et al. (1992). Distribución y características estructurales de los talares de la reserva de biosfera Parque Costero del Sur. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 68, 53-64.



- Martínez, OR, et al. (2001) Geología, geomorfología y suelos de la planicie costera en los partidos de Ensenada y Berisso (provincia de Buenos Aires). In: Actas Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio y 1 Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Área del Mercosur, 3, Anales, Mar del Plata, Argentina, 153-158.
- Martins Barriga, A. (2019). Análisis de Contaminantes en Agua y Sedimentos del Río de La Plata. Informe de Práctica Profesional Supervisada. CITEMA, UTN-FRLP.
- Pelusso M.L. (2011). Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, 178p.
- Ronco A.E., Sobrero M.C., & Bulus Rossini G.D. (1993). Pollution studies in the Río Santiago basin, tributary of the Río de la Plata estuary: Preliminary risk assessment evaluation. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 51:657-664.
- Scudelati & Asociados S.A. (2018). Auditoría Ambiental de Renovación. Expediente N°4013-413/13. Cargill, Ibarra.
- Romero V. B. (2012). Plan de contingencia. Laguna Salinizada en Rada Tilly.
- CECORTI (2016). Capítulo 08 – Plan de Gestión Ambiental – Rev. A. Central Eólica Corti, Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Ambiente y Territorio S.A. (2018). Capítulo VI – Plan de Contingencias. Parque Eólico Pampa II, Escalante, Chubut.
- Aybar R. (2019). Guía para el proceso de auditoria ambiental y plan de gestión ambiental para conjuntos inmobiliarios consolidados. OPDS, Buenos Aires.
- Ámbito (2022). Paritarias: químicos y petroquímicos acordaron una suba salarial del 58%. Noticia de la sección de Economía recuperada de:
<https://www.ambito.com/economia/paritarias/quimicos-y-petroquimicos-acordaron-una-suba-salarial-del-58-n5403609>
- G. Acuña, S. Caffarone, F. Isaurralde, A. Martínez Ortiz y F. Moens de Hase (2016). Construcción
- Argentina Ambiental (1979). Decreto 351/79 – Reglamentación de la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Recuperado de:
<https://argentinambiental.com/legislacion/nacional/decreto-35179-reglamentacion-la-ley-higiene-seguridad-trabajo/>



- CONADU (2014). Convenio Colectivo para los docentes de las instituciones universitarias nacionales. Recuperado de:

<https://conadu.org.ar/convenio-colectivo-de-trabajo/>

- Federación Argentina Sindical del Petróleo, Gas y Biocombustibles (2012). Convenio Colectivo de Trabajo con la Cámara Argentina de Empresas de Control de la República Argentina (CADECRA).

- Contabilidad Actual (s.f.). Reclutamiento, selección, contratación, inducción y capacitación de personal. Recuperado de:

<https://www.contabilidad-actual.com.mx/2013/08/10/reclutamiento-selecci%C3%B3n-contrataci%C3%B3n-inducci%C3%B3n-y-capacitaci%C3%B3n-de-personal/>

-Facultad de Economía UNAM (s.f.). Unidad IV - Evaluación Económica. México.

- Zugarramurdi A. y Parín M. A. (1998). Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera. FAO. Capítulo 3, Inversión. Recuperado de:
<https://www.fao.org/3/v8490s/v8490s05.htm#3.2.1%20gastos%20de%20estudio%20e%20investigaciones%20previas%20del%20proyecto>

- s.a. (s.f.). Capítulo 1. Evaluación económica de plantas químicas.

- Biggeri M. y Dusek A. S. (2018). Desarrollo de estimados de costos de un proyecto. Petrotecnia-5.

- Sindicato del Personal de Industrias Químicas y Petroquímicas de la Ciudad de Buenos Aires y Zonas Adyacentes (2021). Convenio Colectivo de Trabajo – Convención Nacional N°790/21.

- Ing. Vargas N. M. (2010). Guía práctica para el cálculo de costos de producción y determinación de precios. PERÚCAMARAS.

-TLV (s.f.). Calculadora: Costo Unitario del Vapor. Recuperado de:
<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-unit-cost.html?advanced=on>

- “Patty” (2018). Dow MEA, DEA & TEA price increases February 2018. GreenChem. Recuperado de:
<https://greenchemindustries.com/dow-mea-dea-tea-price-increases-february-2018/>

- UNLP – FI (s.f.). Costos totales de una planta química de procesos. Material de la cátedra gestión de empresas.

- Westreicher G. (2018). Activo monetario. Recuperado de:
Economipedia.com



- Global Petrol Prices (2022). Argentina precios del diesel. Recuperado de: https://es.globalpetrolprices.com/Argentina/diesel_prices/
- World Bank Group (2021). Commodity Markets Outlook: Urbanization and Commodity Demand, October 2021. World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
- Fondo Monetario Internacional (2022). Perspectivas de la economía mundial: La guerra retrasa la recuperación mundial. Washington, DC.
- (s.f.). Unidad II: El Valor. Ejercicios.
- Dapena J. P. (2013). Finanzas corporativas: el “efecto portafolio” en la gestión financiera de la empresa en contextos inflacionarios. 1ª ed. – Buenos Aires: Universidad del CEMA.
- Consejo Profesional de Ciencias Económicas de la Pcia. De Buenos Aires (2000). Flujo de fondos proyectados en situación de incertidumbre. XIII Congreso Nacional de Profesionales en Ciencias Económicas, Ciudad de San Carlos de Bariloche.
- Canales Salinas R. J. (2015). Criterios para la toma de decisión de inversiones. REICE Vol. 3, No. 5.
- Lledó P. (s.f.) Comparación entre distintos criterios de decisión (VAN, TIR y PRI). MasConsulting.
- Traders Studio (2021). Índice de rentabilidad. Recuperado de: <https://traders.studio/indice-de-rentabilidad/>
- Zugarramurdi A. y Parín M. A. (1998). Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera. FAO. Capítulo 7, Rentabilidad. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/v8490s/v8490s09.htm#7.%20rentabilidad>
- Dr. Mallo P. E., Artola M. A., Galante M. J., Pascual M. E., Morettini M. y Busetto A. R. (2004). Análisis de Costo-Volumen-Utilidad bajo condiciones de incertidumbre. XXVII Congreso Argentino de Profesores Universitarios de Costos.
- Rodriguez Rojas C. I. (2012). Análisis del punto de equilibrio. Escuela de organización industrial. Recuperado de: <https://www.eoi.es/blogs/carollirenerodriguez/2012/04/26/analisi-del-punto-de-equilibrio/#:~:text=El%20punto%20de%20equilibrio%20se,fijos%20y%20proporcion%20una%20utilidad>
- Revista 2+2 (2019). ¿Qué es el Punto de Equilibrio? Recuperado de: <https://www.dosmasdos.com.ar>



- UNAM - Facultad de Economía (s.f.). Administración de Riesgos. Análisis de Riesgo y Portafolios de Inversión.
- Pérez Castañela S. S., Cruz Ramírez D. y Quiroz Salas L. G. (2011). Análisis de sensibilidad de indicadores financieros en la evaluación de inversiones en Mipymes.
- Kiziryan M. (2018). Flujo de caja. Recuperado de: Economipedia.com
- Rus Arias E. (2020). Sistema de amortización americano. Recuperado de: Economipedia.com

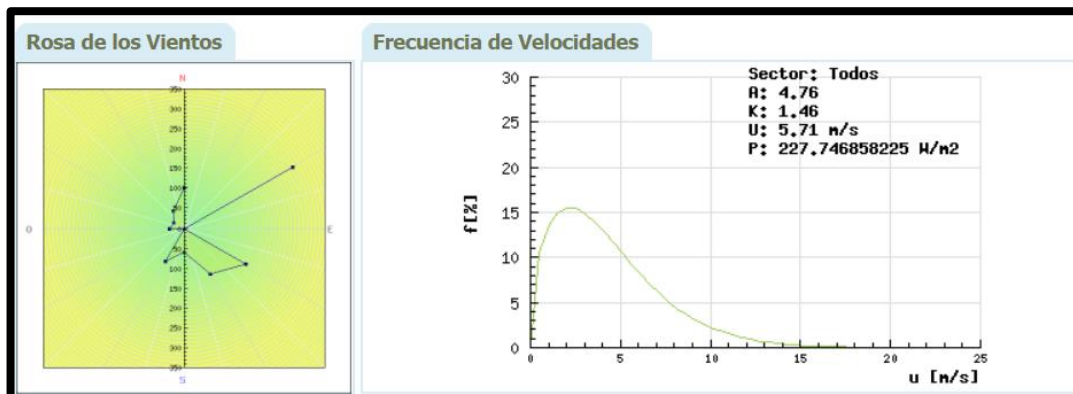


13. ANEXOS

13.1. Estudio de localización: Vientos en la zona

Nivel del mar:

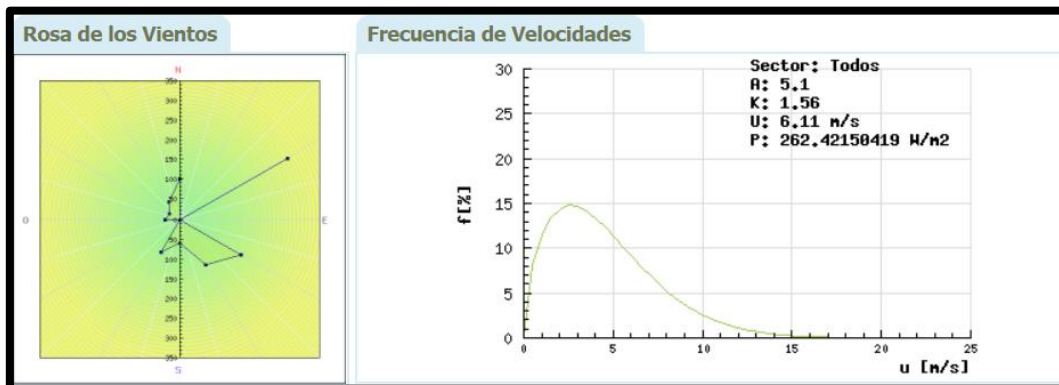
SECTORES		Clima de Viento			
#	Ángulo (°)	Freq (%)	W-A (m/s)	Weibull-k	Vel. Media (m/s)
1	0	10.3	6.30	1.91	5.59
2	30	0	0.00	0.00	0.00
3	60	31.1	6.56	1.97	5.81
4	90	0	0.00	0.00	0.00
5	120	17.7	6.56	1.97	5.81
6	150	13	6.90	1.93	6.12
7	180	5.8	6.56	1.93	5.82
8	210	9.5	6.39	1.93	5.67
9	240	0	0.00	0.00	0.00
10	270	3.7	5.87	1.95	5.20
11	300	2.9	5.70	1.96	5.05
12	330	5.2	6.30	1.97	5.58
Todos			6.47	1.95	5.71



20 metros:



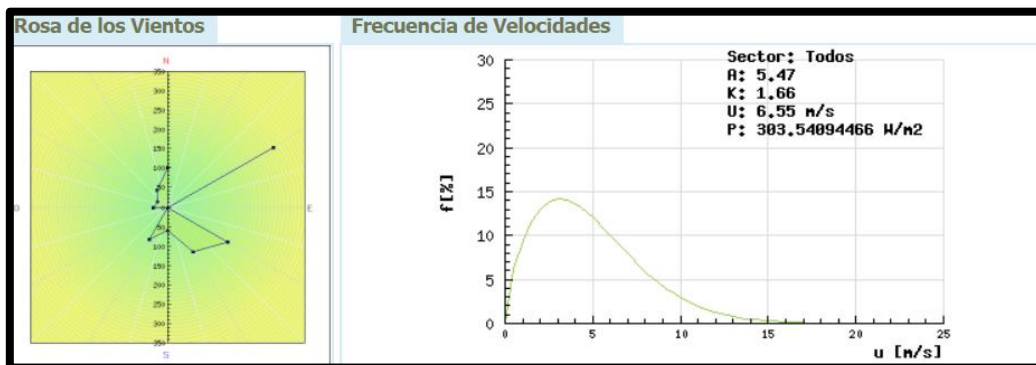
SECTORES		Clima de Viento			
#	Ángulo (°)	Freq (%)	W-A (m/s)	Weibull-k	Vel. Media (m/s)
1	0	10.3	6.75	2.04	5.98
2	30	0	0.00	0.00	0.00
3	60	31.1	7.03	2.09	6.22
4	90	0	0.00	0.00	0.00
5	120	17.7	7.03	2.10	6.22
6	150	13	7.39	2.06	6.54
7	180	5.8	7.03	2.06	6.22
8	210	9.5	6.84	2.06	6.06
9	240	0	0.00	0.00	0.00
10	270	3.7	6.30	2.08	5.58
11	300	2.9	6.11	2.08	5.41
12	330	5.2	6.75	2.09	5.98
Todos			6.93	2.08	6.11



40 metros:



SECTORES		Clima de Viento			
#	Ángulo (°)	Freq (%)	W-A (m/s)	Weibull-k	Vel. Media (m/s)
1	0	10.3	7.24	2.18	6.41
2	30	0	0.00	0.00	0.00
3	60	31.1	7.53	2.24	6.67
4	90	0	0.00	0.00	0.00
5	120	17.7	7.53	2.25	6.67
6	150	13	7.92	2.20	7.01
7	180	5.8	7.53	2.20	6.67
8	210	9.5	7.33	2.20	6.49
9	240	0	0.00	0.00	0.00
10	270	3.7	6.75	2.22	5.98
11	300	2.9	6.55	2.23	5.80
12	330	5.2	7.24	2.24	6.41
Todos			7.43	2.22	6.55



80 metros:



SECTORES		Clima de Viento			
#	Ángulo (°)	Freq (%)	W-A (m/s)	Weibull-k	Vel. Media (m/s)
1	0	10.3	7.76	2.34	6.87
2	30	0	0.00	0.00	0.00
3	60	31.1	8.07	2.41	7.15
4	90	0	0.00	0.00	0.00
5	120	17.7	8.07	2.42	7.15
6	150	13	8.49	2.36	7.52
7	180	5.8	8.07	2.36	7.15
8	210	9.5	7.86	2.36	6.96
9	240	0	0.00	0.00	0.00
10	270	3.7	7.23	2.38	6.41
11	300	2.9	7.02	2.40	6.22
12	330	5.2	7.76	2.41	6.88
Todos			7.97	2.38	7.03

