

Planta de producción de policloruro de vinilo (PVC)

Integración V - Proyecto Final Carrera: Ingeniería Química

ALUMNOS:

- Cardozo, Nicolás Martín
- Cristini, José Luis
- Mendoza, Pablo Nicolás
- Navarro Espinoza, Nathalie

DOCENTES:

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

Año 2023



Agradecimientos

Este proyecto es una colaboración académica, que nutre nuestra trayectoria universitaria de grado y nos da el cierre como estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.

Es por esto que nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento al cuerpo docente de la cátedra de Integración V, el Ing. Juan D. Vrcic y el Ing. Hernan Rueda, por su invaluable apoyo y orientación durante el desarrollo de este proyecto final. Su generosidad al compartir sus experiencias y conocimientos han sido fundamentales para el logro de los objetivos propuestos en el corriente año; principalmente su incondicional tiempo y compromiso brindado desde que comenzamos con nuestro trabajo. También queremos agradecer a la Ing. Camila Quinteros por la ayuda en estos últimos meses. A su vez, agradecemos el apoyo de nuestras familias, compañeros y amigos que nos brindaron la fortaleza, el amor y la seguridad de continuar con nuestro proyecto. Su presencia ha sido un pilar fundamental para lograr nuestros objetivos.

Finalmente, manifestamos nuestro agradecimiento al Ing Manuel Tierno y el Ing. Rodolfo Junior, ambos referentes en la industria del PVC, los cuales contribuyeron significativamente en la elaboración de nuestro proyecto final.



Contenido

1. OBJETIVO	7
2. ALCANCE DEL PROYECTO / HIPÓTESIS DE MERCADO	7
3. ANÁLISIS DE MERCADO.....	8
3.1. Producto	8
3.1.1. Características y uso	8
3.1.2. Evolución del precio promedio del PVC en el mercado argentino	13
3.2. Evolución de la competencia de policloruro de vinilo (PVC)	13
3.3. Consumo histórico de PVC	17
3.4. Proyección de demanda de PVC	18
3.5. Vida útil del producto - Productos sustitutos	19
3.6. Determinación de la capacidad de producción de la nueva planta	19
3.7. Subproducto	20
3.7. Materia prima e insumos.....	24
3.7.1 Materia Prima	24
3.7.2 Insumos	30
3.8. Clientes y competencia de productos y materias primas	42
3.8.1 Clientes de producto.....	42
3.8.2. Competencia de Materia Prima	43
3.8.3. Proveedores de Materia Prima e insumos	43
3.9. Variables macroeconómicas	45
3.9.5. Conclusión de variables económicas:	48
3.10. Logística	48
4. UBICACIÓN	49
4.1. Localización	49
4.1.1. Macrolocalización	50
4.1.2. Microlocalización	54
4.1.3. Conclusión de la localización:.....	56
4.2. Estudio de Clima.....	59
4.2.1. Temperatura	59
4.2.2. Precipitación	59
4.2.3. Vientos.....	60
4.2.4. Conclusión estudio de clima	63



4.3. Estudio de suelo	64
4.4. Estudio de requisitos legales (nacionales, provinciales y municipales, incluyendo los medioambientales).....	68
4.4.1. Legislación nacional	68
4.4.2. Legislación provincial	70
4.4.3. Legislación municipal	71
4.4.4. Conclusión estudio de requisitos legales:.....	71
5. ELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO - SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA .	71
5.1. Descripción de los distintos procesos posibles	71
5.2. Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno	73
5.3. Selección del óptimo.....	74
5.4. Patentes.....	75
5.5. Descripción del proceso elegido	77
5.5.1. Reacción.....	78
5.5.2. Desgasificación	78
5.5.3. Stripping	78
5.5.4. Centrifugado.....	79
5.5.5. Secado	79
5.5.6. Acondicionamiento del producto y tamizado	79
5.5.7. Sistema de recuperación de MCV	79
6. DISEÑO BASICO.....	80
6.1 Determinación de las base de balances de materia y energía:	80
6.2. Límite de batería.....	80
6.3. Balance de materia y energía:	81
6.3.1 Balance de materia y energía:.....	82
6.4. PFD.....	82
6.5. Diseño de equipos:	82
6.5.1 Diseño tanque Tk-101.....	83
6.5.1.1 Hoja de especificación:.....	88
6.5.2 Diseño de bomba “Booster” para P-102	90
6.5.2.1. Memoria de cálculo e isométrico	90
6.5.2.2. Isométrico:	99
6.5.2.3 Selección de bomba:	99
6.5.2.4 Hoja de especificación:.....	105



6.5.3	Diseño intercambiador de calor E-104.....	107
6.5.3.1	Memoria de cálculo del intercambiador E-104.....	107
6.5.3.2	Hoja de especificación:.....	124
6.5.4	Diseño torre de destilación T-101	127
6.5.4.1	Memoria de cálculo.....	127
6.5.4.2	Hoja de especificación del equipo	137
6.5.5	Acumulador de reflujo F-101.....	140
6.5.5.1	Memoria de cálculo.....	140
6.5.5.2	Hoja de especificación.....	144
6.5.6	Reactor de polimerización R-101.....	145
6.5.6.1	Cinética de la polimerización del MCV	147
6.5.6.2	Balance de materia:.....	151
6.5.6.3	Dimensiones del reactor:.....	155
6.5.6.4	Calculo de balance energético:	161
6.5.6.5	Hoja de especificación:.....	167
6.5.7	Compresor C-101	171
6.5.7.1	Memoria de cálculo.....	171
6.5.7.2	Hoja de especificación:.....	177
6.5.8	Descripción de equipos no diseñados:	179
6.5.8.1	Sección S-100	179
6.5.8.2	Sección S-200	181
6.6	Servicios Auxiliares ÷.....	188
6.6.1	Energía eléctrica:	188
6.6.2	Gas natural:.....	188
7.	CONTROL:	189
8.	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL .	189
8.1.	Organigrama.....	190
8.2.	Selección e incorporación del personal	190
8.3.	Esquema de Turnos:.....	192
8.4.	Servicios contratados:.....	192
9.	PLOT PLAN:	193
9.1	Acceso de la planta:.....	193
9.2	Plot Plan	195
9.2.1	Descripción de las áreas:	195



9.2.2 Plot plan del área de procesos:	198
10. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	199
10.1. Categorización de complejidad ambiental:	199
10.2. Identificación de actividades con impacto ambiental:	204
10.3. Riesgos de la operación:	228
10.4 Efluentes, emisiones y residuos de la planta:	234
10.5 Comité de crisis:	236
10.6 Matriz de impacto ambiental:	238
10.7 Conclusión	243
11. EVALUACIÓN ECONOMICA	244
11.1. Inversión inicial	244
11.1.1. Inversión del capital fijo:	244
11.1.2. Capital de trabajo:	248
11.1.3. Calculo del CAPEX:.....	253
11.2. Depreciación y amortización:.....	254
11.3. Calculo de ingreso bruto:	255
11.3.1. Estimación de Ingresos:	256
11.3.2. Estimación de Egresos:.....	257
11.4. Estimación de OPEX:	259
11.4.1. Costos fijos:	259
11.4.2. Costos variables:	262
11.5. Flujo de caja:	263
11.6. Indicadores económicos:	265
11.7. Análisis de sensibilidad:.....	266
12. CONCLUSIÓN:.....	267
13. REFERENCIAS:.....	268



1. OBJETIVO

Desarrollo de Ingeniería Básica para aprobación de inversión de una planta de poli cloruro de vinilo (PVC), cumpliendo con todas las especificaciones técnicas, de seguridad y medioambiente asociadas a esta industria.

2. ALCANCE DEL PROYECTO / HIPÓTESIS DE MERCADO

2.1. Alcance del proyecto

Desarrollo de estudio de viabilidad técnico económico y ambiental, para instalar una planta con una producción anual de 35000 tn/año y una pureza superior a 98,8%.

El desarrollo del estudio, implica realizar FEL I, FEL II Y FEL III, en un periodo de tiempo no superior al año, debiendo entregar la información para toma de decisión en marzo 2024. Esto incluye localización de la empresa, obtención de certificado de aptitud ambiental, organigrama y análisis económico y de sensibilidad.

2.2. Hipótesis de mercado

- El Ministerio de Producción gravará las importaciones de PVC, para fomentar la industria nacional.
- La competencia nacional no tiene planes de expansión de la producción que afecte a nuestro proyecto.
- Se ha firmado un contrato por 15 años para la provisión de monómero de cloruro de vinilo con la empresa DAK-Pilar.
- Los clientes incluidos en nuestra lista de clientes (tabla 13 - Pag50) aumentarán su demanda de tuberías de PVC en los próximos 15 años en Argentina debido a un plan integral de crecimiento económico en el sector de la construcción. Se espera que este crecimiento económico alcance el 4%, lo que permitiría a nuestros clientes expandir su capacidad productiva y, por ende, aumentar su consumo de compuestos de PVC para sus operaciones.



3. ANÁLISIS DE MERCADO

3.1. Producto

El Policloruro de vinilo o PVC es uno de los polímeros más usados debido a sus propiedades químicas y físicas. Es resistente a la abrasión y al impacto, ligero, impermeable, química y biológicamente inerte, duradero y resistente al fuego, no arde salvo en caso de estar en contacto continuo con la llama. Mediante el uso de aditivos tales como estabilizantes, plastificantes u otros, la resina de PVC se transforma en un material rígido o flexible, que permite una gran variedad de aplicaciones.

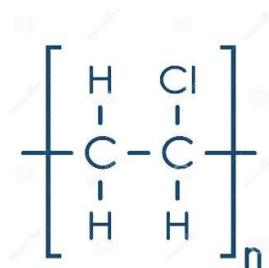


Figura 1. Estructura química del PVC. Fuente: <https://es.dreamstime.com/estructura-qu%C3%ADmica-de-pvc-policloruro-vinilo-utilizado-en-la-producci%C3%B3n-tuber%C3%ADas-protecci%C3%B3n-por-cable-el%C3%A9ctrico-con-marcos-image187168482>

3.1.1. Características y uso

Las aplicaciones más empleadas en el mercado actual son mencionadas a continuación:

- El 9% del PVC fabricado es utilizado para la fabricación de materiales eléctricos resistentes a la acción de la luz y el calor.
- El 12% se destina en films de embalajes, botellas (aceites, jugos, agua, detergentes, cosméticos, etc.).
- El 24% abarca un sector en la industria automotriz, electrodomésticos, mangueras, juguetes, etc.
- El 55% restante se usa en la industria de la construcción para aplicarlo en tuberías de agua, revestimiento y ventanas, muebles, etc.

El producto se obtiene mediante un proceso de polimerización en donde su materia prima principal es el monómero de cloruro de vinilo (MCV). La forma de comercializar el PVC es a partir de polvo, gránulos, pellets o fibras. En nuestro caso se comercializará en forma de pellets.



Dentro de lo que son los materiales poliméricos, comercialmente estos se diferencian por sus valores de peso molecular y temperatura de transición vítrea. El conocimiento de estos valores permite brindar la información necesaria para ser empleados como material para un determinado uso particular. Esta información se relaciona con la resistencia mecánica y térmica principalmente.

La definición del peso molecular de los polímeros se hace en función del peso molecular promedio en número (M_n) y peso molecular promedio en peso (M_w). Esto se debe a que la síntesis de nuestro producto genera una distribución de distintos tamaños de cadenas poliméricas.

El M_w representa el promedio de peso del conjunto de las cadenas polimérica que conforman el material dividido el peso total del polímero, y el M_n representa el peso total de todas las moléculas poliméricas dividido el número total de las mismas.

Además, podemos definir una magnitud que nos permite conocer el grado de dispersión de la fracción de peso de las cadenas de un polímero:

$$PDI = M_w / M_n \quad (1)$$

Donde:

PDI : Índice de polidispersidad.

M_w : Peso molecular promedio en peso.

M_n : Peso molecular promedio en número.

Esto hace factible reconocer de forma generica distintas propiedades mecánicas como rigidez, tenacidad, entre otras. Otro parámetro importante para caracterizar un polímero es la temperatura de transición vítrea (T_g) donde dicha temperatura indica el valor térmico en el que los polímeros comienzan a adoptar un comportamiento gomoso, caracterizando su estabilidad térmica que soporta el material. El arreglo de la estructura molecular del polímero es amorfa.

La especificación de nuestro producto es:

M_n [g/mol]	PDI	M_w [g/mol]	TG [°C]
62500	2,0	125000	82

Tabla 1. Elaboración propia. Fuente: Technical progress for PVC production. Progress in Polymer Science, 27, 2055–2131. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00045-7)



Propiedades del poli-cloruro de vinilo	
Fórmula molecular	$(C_2H_3Cl)_n$
Peso molecular	60.000 - 150.000
Densidad	1.41 g/cm ³
Solubilidad	Insoluble en: agua, álcalis concentrados, ácidos no oxidantes, hidrocarburos alifáticos, aceite mineral, etanol y fenol.
	Ligeramente soluble en: agua; soluble en alcohol etílico y éter dietílico.
	Soluble en: ciclohexanona, metilciclohexanona, dimetilformamida, nitrobenzeno, tetrahidrofurano, isofoforona, dipropil-cetona, metil-n-amil cetona, metil isobutil cetona, metil etil cetona, dioxano y cloruro de metileno.
Punto de fusión	212 - 310 °C
Temperatura de transición vítrea (Tg)	82°C

Tabla 2. Propiedades - Policloruro de vinilo. Fuentes: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.



Hoja/ficha de seguridad

Las Fichas de Datos de Seguridad poseen una información mucho más completa que el contenido que aparece en la etiqueta y está destinada para información del empleador y de todos los trabajadores. También para los Servicios de Higiene y Seguridad; los Servicios de Medicina Laboral y los Servicios de Medio Ambiente que, con esa información, podrán desarrollar un programa activo de medidas de protección para el trabajador, incluida su capacitación, que resulta ser específica para cada lugar de trabajo y que determina las medidas más apropiadas para proteger el medio ambiente.

POLICLORURO DE VINILO	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre comercial	Cloruro de polivinilo; Polímero de cloroetileno; PVC
Número de identificación internacional - Chemical Abstracts Service (CAS)	9002-86-2
Fórmula química	$(C_2H_3Cl)_n$
DESCRIPCIÓN Y USO	
El cloruro de polietileno (PVC) es un polímero del cloruro de vinilo. En la polimerización se forma un polvo blanco, fino, inodoro y químicamente inerte. Aplicado en distintas áreas como construcción, embalaje, mobiliario, industria eléctrica, industria del automóvil, aplicaciones médicas, servicios, agricultura y otros.	
PELIGROS	
Físicos	Posible explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.



Químicos	Descomposición por calentamiento. Esto produce humos tóxicos (cloruro de hidrógeno y fosgeno). Reacciona violentamente con flúor.	
INCENDIO Y EXPLOSIÓN		
Peligros	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	
Prevención	Evitar las llamas. Sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión de polvo. Evitar el depósito del polvo.	
Lucha contra incendios	Usar agua pulverizada, polvo, espuma, dióxido de carbono.	
DERRAMES Y EMERGENCIA		
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado.		
EFFECTOS SOBRE LA SALUD Y PREVENCIÓN		
Inhalación	Tos	Evitar la inhalación de polvo.
Ojos		Utilizar gafas de protección de montura integral.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.



PRIMEROS AUXILIOS	
Inhalación	Aire limpio, reposo.
Ojos	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.

Tabla 2. Hoja de seguridad - Policloruro de vinilo. Fuentes: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

3.1.2. Evolución del precio promedio del PVC en el mercado argentino

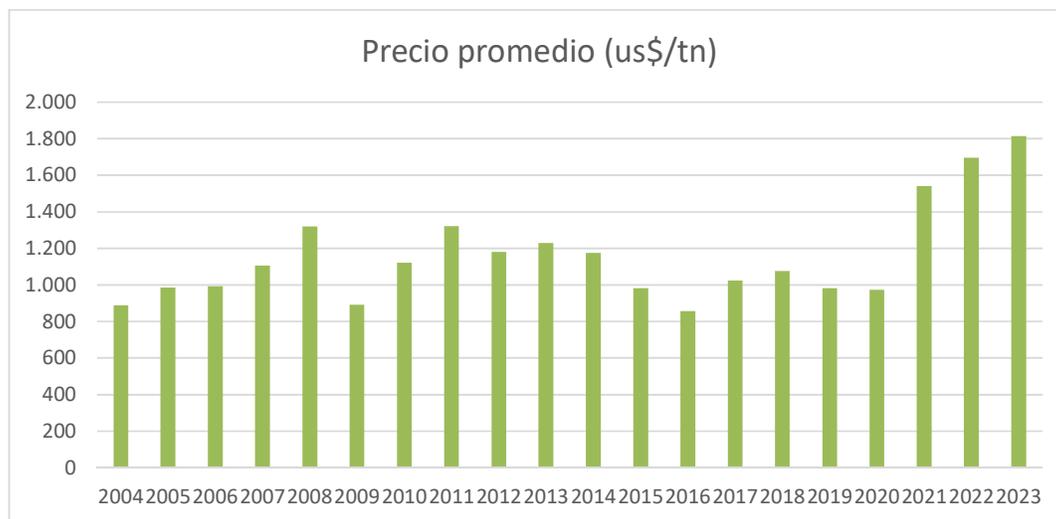


Gráfico 1. Evolución del precio del PVC. Fuente IAPG

3.2. Evolución de la competencia de policloruro de vinilo (PVC)



El mercado de PVC en Argentina está integrado por productores locales privados, productos provenientes de la importación, consumidores locales e internacionales. El mercado argentino de PVC es del tipo competitivo, donde el precio está regido en función de la oferta y demanda.

Existen al año 2023 en Argentina 4 plantas productoras de PVC:

- **Princz Ipasa:** es un grupo de complejos productores de polímeros que se encuentra en funcionamiento en Argentina desde 1995. La líneas de producción de PVC de esta industria se encuentra en funcionamiento desde 1997, y ofrecen a su cartera comercial dos específicos productos de PVC uno con características flexibles y PVC de característica rígida. La planta productora de PVC se encuentra actualmente en la zona norte del conurbano bonaerense en la localidad de San Martín.
- **Tecnocom:** Elaboradores de gran variedad de productos basados en PVC rígido y flexible, incluyendo Compuestos de PVC, Tubos Flexibles (mangueras) y Productos Eléctricos (anillados, caños rígidos y cajas), cumpliendo con las principales normas de Calidad Nacional e Internacional. La planta de producción de compuestos de PVC está ubicada en Pablo Podestá, provincia de Buenos Aires.
- **Unipar (grupo carboclor):** el grupo carboclor es una empresa química líder en América del Sur y una referencia en la producción de cloro y derivados, así como de soda cáustica y PVC, que suministra insumos a los sectores textiles, celulosa, aluminio, alimentos, bebidas, medicina y construcción, entre otros. La planta se encuentra ubicada en la localidad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, conocida como Unipar es la única productora de PVC de este grupo empresarial, y ofrece tanto compuestos de PVC flexibles como rígidos.
- **Alfavinil:** Empresa argentina, fundada en 1992. Con una única planta de varias líneas de producción de PVC, para su cartera comercial ofrece diversos tipos de productos PVC rígido de extrusión, PVC rígido para inyección y PVC plastificado. Es la principal empresa exportadora de la región. Ubicada en San Andres, Provincia de Buenos Aires

Además de empresas productoras de PVC dentro del territorio nacional, podemos observar, según los datos obtenidos por el instituto argentino de petróleo y gas (IAPG), la presencia de compuestos de PVC importados. Por lo que consideramos un mercado satisfecho por tanto producción nacional e internacional.

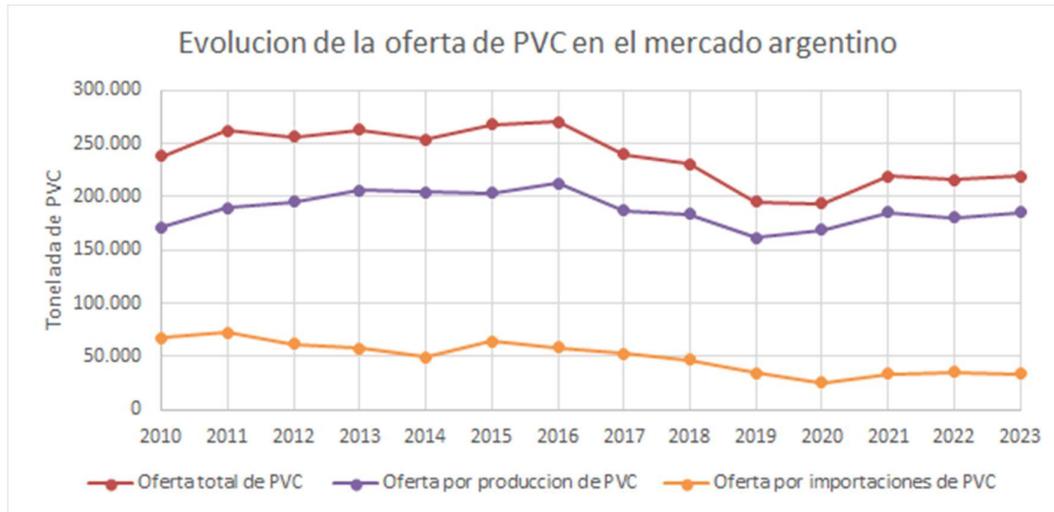


Gráfico 2. Producción e importación de PVC. Fuente: Anuario estadístico IAPG

Según las estadísticas obtenidas a partir del año 2018 podemos observar un flujo de importaciones de PVC que se mantiene por debajo de las 50000 toneladas, donde dicho valor es menor que aquel volumen comercializado desde el año 2018. Esto puede deberse a la crisis desencadenada con la pandemia del COVID en el 2020, la cual afectó en gran medida a la producción industrial de diversas áreas. Tras la correspondiente disminución las industrias participantes comienzan a aumentar de forma tímida la cantidad de PVC que se importan.

En cuanto a la producción de PVC, el máximo histórico obtenido se da en el año 2016 con un total de 212000 toneladas. Según el gráfico anterior podemos observar nuevamente un descenso de la producción de compuestos de PVC a nivel nacional a partir del año 2016, disminuyendo alrededor de unas 25000 toneladas hasta el actual periodo del 2023, como también una desaceleración del volumen de producción que dura hasta el año 2021 donde esto puede ser consecuencia de un descenso en el área de la construcción, la cual conforma una importante área de consumo de PVC como material de los productos empleados en esta área. A partir del año 2021, se considera un comportamiento constante en la producción, es decir que no se observa una ampliación considerable de la capacidad instalada para la producción de materiales poliméricos. Sin embargo se puede apreciar que debido a un incipiente incentivo en diversas áreas, principalmente el de la construcción, se puede entender que el requerimiento de materiales poliméricos se mantiene estable, ya que la posible falta de necesidad de consumo podría generar un descenso de la producción industrial del área.



Gráfico 3. Producción e importación de PVC. Fuente: Anuario estadístico IAPG

En cuanto a las exportaciones, la fuente consultada nos brinda datos que varían a lo largo del tiempo hasta la actualidad. En rasgos generales se aprecia que durante el periodo desde 2006 hasta el 2018 se mantiene muy errático el volumen de PVC que es exportado, donde se conoce que la mayor cantidad de exportaciones en este periodo eran dirigidas a países limítrofes con escasa capacidad de producir este material. A partir del año 2018 el volumen de PVC exportado desciende drásticamente por motivo de dos causas principales. La primera de ellas está relacionada a la economía de las regiones circundantes, donde si bien estamos ante la presencia del periodo de crisis de la pandemia de COVID del 2020 en adelante, y también se entiende que aquellas industrias extranjeras dependientes del PVC producido en Argentina comenzaron a consumir preferencialmente a empresas de sus propias naciones, en consecuencia a las políticas desarrolladas en su región que formatearon a la creación de empresas que produzcan PVC, para poder suplir el desbalance comercial que generaba la exportación de PVC argentino.

El periodo de creación de las empresas de PVC en el extranjero se produjo en el periodo desde el 2010 hasta el 2018, por lo que justifica el hecho del propio decrecimiento de la exportación argentina, hasta lograr números de alrededor de 60000 toneladas en el año 2023 es decir una reducción de alrededor de 45000 toneladas de PVC.

La segunda causa y aquella de total interés para nuestro proyecto es que durante el periodo desde el 2017 en adelante se crean nuevas empresas consumidoras de PVC dentro de la argentina debido al empleo de este como material de elementos destinado a la construcción y el embalaje o packaging.



Se puede proveer a futuro de unos 10 años las empresas participantes en la exportación de PVC, concretan convenios de larga duración que mantiene estable el volumen total de producto comercializado.

3.3. Consumo histórico de PVC

El análisis del consumo de PVC en la Argentina está plenamente conectado con la cantidad de PVC importado y producido en la región. Concretamente para la elaboración de un preciso informe de mercado se analiza el consumo aparente el cual frente al PVC importado y producido, se le considera aquella cantidad de PVC exportado. Tal que así podemos analizar los datos obtenidos por el IAPG, que nos determina que la mayor cantidad de PVC producido en el país se da en el año 2016 con 212500 toneladas y anterior a este periodo se registra un volumen de importación de material de PVC en pellets de 72700 toneladas en el año 2011. Es decir, podemos dejar en evidencia un crecimiento de la necesidad del mercado en consumir PVC desde hace más de 10 años. Pudiendo asumir pronósticos de necesidad cada vez mayor, como tendencia desde el análisis histórico.

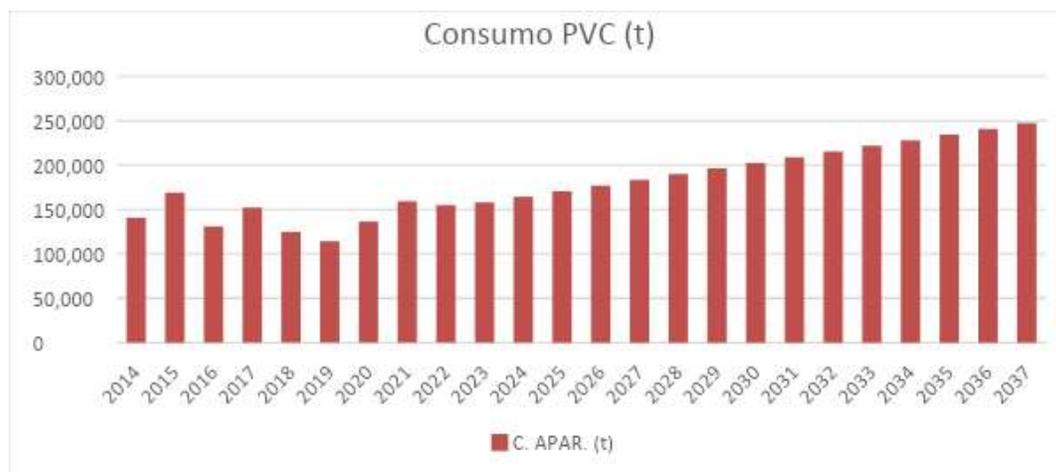


Gráfico 4. Proyección de la producción e importación de PVC. Fuente: Anuario estadístico IAPG



3.4. Proyección de demanda de PVC

Se estima que para un crecimiento del 4% anual de la economía a nivel nacional, valor estimado a nivel mundial, dentro de un periodo de 15 años el consumo para el año 2037 será alrededor de las 247000 toneladas de PVC.

En el mercado argentino podemos observar que existe una política de libre competencia entre los productores de PVC. Considerando las hipótesis anteriormente mencionadas destinadas a estabilizar los valores del mercado de interés, tales como que la producción de los competidores se mantiene estable sin aumentar su capacidad instalada, la cantidad de importaciones que ingresa al país se ve reducida debido a un conjunto de medidas estatales y considerando el crecimiento de la economía nacional a un 4%, podemos realizar un pronóstico de la evolución de la oferta y demanda de PVC.

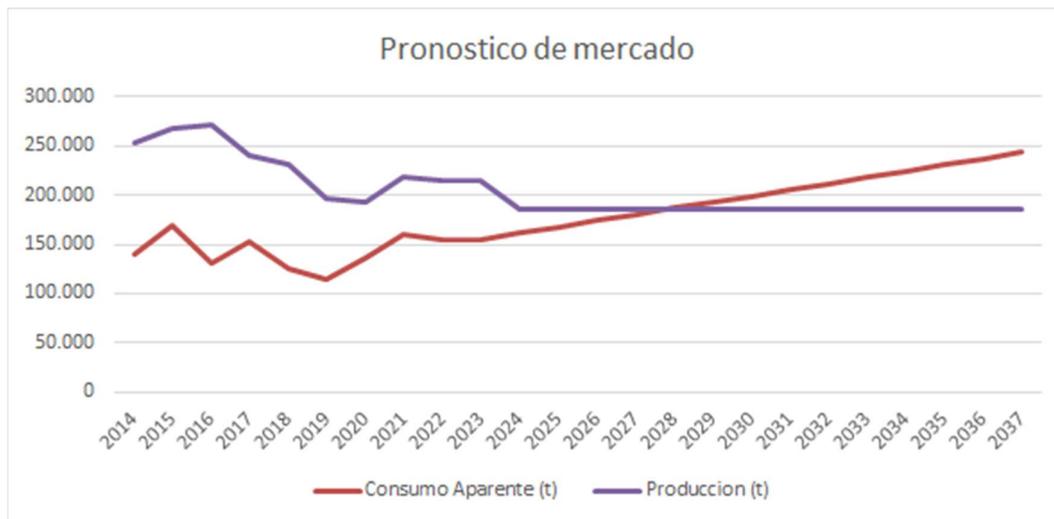


Gráfico 5. Consumo, producción e importación de PVC. Fuente: Anuario estadístico IAPG

El periodo más adecuado para la puesta en marcha del proyecto será dentro de 4 años desde la fecha de esta publicación. Consideramos el año 2027 como el año inicial.



3.5. Vida útil del producto - Productos sustitutos

3.5.1. Vida útil

El PVC es un material plástico que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones debido a sus propiedades de resistencia al agua, a los productos químicos y a la corrosión, así como su bajo costo. La vida útil puede variar dependiendo del entorno y las condiciones de uso. En condiciones normales, se espera que tenga una vida útil de al menos 50 años. Sin embargo, puede ser afectada por factores externos como la exposición a los rayos UV, la temperatura y los productos químicos. En general, el PVC es un material duradero y resistente, pero es importante considerar las condiciones de uso para garantizar su vida útil óptima.

3.5.2 Productos sustitutos

En cuanto a la materia prima utilizada para la producción de PVC, es importante destacar que la única opción viable es el cloruro de vinilo. Cualquier otra alternativa ha sido analizada y descartada, ya que no es posible obtener el producto sin esta materia prima.

De igual manera, nuestros clientes cuentan con tecnología específica y contratos comerciales que limitan su capacidad de utilizar otro producto que no sean los compuestos de PVC. En caso de no poder producir PVC, nuestros clientes se verían obligados a importar dicho producto. Por lo tanto, es crucial asegurarnos del suministro estable de cloruro de vinilo para garantizar la continuidad de la producción de PVC y satisfacer la demanda de nuestros clientes.

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

En base al gráfico sobre la evolución de la demanda y oferta del PVC según las estimaciones e hipótesis mencionadas (gráfico 5), se determina que el presente proyecto tendrá una duración de 4 años hasta su puesta en marcha en 2027. A partir del año 2027 y por un periodo de 10 años se proyecta una creciente demanda insatisfecha de 63700 toneladas. Siendo la demanda insatisfecha para el año 2037, según las aproximaciones del pronóstico del mercado, de alrededor de 58000 toneladas de PVC. Considerando cubrir un 60% de la brecha de la demanda en el último periodo esperado según el pronóstico, es decir una porción de la demanda insatisfecha, podemos asegurar que la capacidad instalada de la planta será de 35000 toneladas por año. Se considera que la planta cubrirá un 14% del consumo nacional de PVC. Esto ofrece una capacidad de 106000 kg de PVC por día, con 8000 horas de trabajo/año.



La planta operará 330 días, y se considera un periodo de 35 días para mantenimientos generales, parada de emergencia y otras actividades resultado de eventualidades inesperadas.

3.7. Subproducto

Acetileno

El acetileno o etino es el compuesto alquino más sencillo que existe.



Figura 2. Estructura química del acetileno. Fuente: <https://tecnicman.es/usos-del-acetileno/>

Es un hidrocarburo insaturado, en condiciones normales, se encuentra en forma gaseosa y es considerado más liviano que el aire e incoloro. El acetileno 100% puro es inodoro, pero el gas de uso comercial tiene un olor característico, semejante al ajo. No es un gas tóxico ni corrosivo. Es muy inflamable, inestable y reactivo. Arde en el aire con llama luminosa, humeante y de alta temperatura.

Este subproducto es obtenido debido a la contaminación de nuestra principal fuente de materia prima, por lo que es una vez separado devuelto a través de un ducto a la planta DAK-MCV Pilar.

Propiedades del Acetileno	
Fórmula molecular	C ₂ H ₂
Peso molecular	26,04 g/mol
Punto de ebullición	-57°C
Punto de fusión	-81 °C
Densidad relativa del vapor (aire=1)	0,907
Densidad (Vapor a 15°C)	0,011 g/cm ³



Solubilidad en agua (20°C)	1,66 g/100 ml
Presión de vapor (20°C)	4460 kPa
Punto de inflamación	Gas inflamable
Temperatura de auto ignición	305°C
Límites de explosividad	2,5 – 100% volumen en aire

Tabla 3. Propiedades - Acetileno. Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

Hoja o ficha de seguridad

Acetileno	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre comercial	Acetileno – Etino
Número de identificación internacional - Chemical Abstracts Service (CAS)	74-86-2
Número de identificación del producto - CE	200-816-9
Fórmula química	C ₂ H ₂
DESCRIPCIÓN Y USO	



EL acetileno es un gas incoloro con olor semejante al ajo. Se utiliza principalmente para el corte y la soldadura de metales. Y es fundamental en la producción de MCV.	
PELIGROS	
Físicos	El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.
Químicos	Se descompone por calentamiento y aumento de la presión. Esto genera peligro de incendio y explosión. La sustancia es un reductor fuerte. Reacciona violentamente con oxidantes y flúor o cloro bajo la influencia de la luz. Esto genera peligro de incendio y explosión. Reacciona con cobre, plata, mercurio y sus sales. Esto produce compuestos sensibles al choque (acetiluros).
CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO	
	
Gas extremadamente inflamable, reactivo, y presenta alto riesgo de incendio y explosión.	
Gas a presión.	
Puede provocar asfixia.	
Categoría de peligro: 2.1 (gas inflamable).	
MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO	
Almacenar en un área fresca y a prueba de incendio.	
Los sistemas de acetileno deben ser a prueba de fugas, y de producirse, deben ser reparadas inmediatamente. Por ser más ligero que el aire, las zonas de trabajo en el que el acetileno se utiliza deben ser ventiladas en la parte superior del espacio para	



<p>evitar una peligrosa acumulación de acetileno en el aire ambiente en caso de fugas. Bajo ciertas condiciones, el acetileno puede combinar con el cobre o la plata para formar acetiluros. Por lo tanto, el cobre o aleaciones de cobre que contiene más del 70% de cobre y aleaciones de plata o la plata, no deben ser utilizados para los sistemas de acetileno.</p>		
INCENDIO Y EXPLOSIÓN		
Peligros	Extremadamente inflamable. Las mezclas gas/aire son explosivas.	
Prevención	Evitar las llamas, no producir chispas y no fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra). Utilídense herramientas manuales no generadoras de chispas.	
Lucha contra incendios	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo, dióxido de carbono.	
DERRAMES Y EMERGENCIA		
Eliminar toda fuente de ignición. Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Utilizar protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilar.		
EFFECTOS SOBRE LA SALUD Y PREVENCIÓN		
Inhalación	El acetileno no es tóxico, pero no debe ser inhalado en forma concentrada ya que puede causar vértigo, apatía, dolor de cabeza, y asfixia.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.



Piel	-	Guantes de protección. Guantes aislantes del frío. Traje de protección.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección de montura integral o protección ocular en combinación con protección respiratoria.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.
PRIMEROS AUXILIOS		
Inhalación	Aire limpio, reposo. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica.	
Ojos	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.	

Tabla 4. Hoja de seguridad - Cloruro de vinilo. Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

3.7. Materia prima e insumos

3.7.1 Materia Prima

- Cloruro de vinilo monómero (MCV).

Características y usos.

Compuesto orgánico halogenado del tipo vinílico, con un bajo peso molecular y polaridad relativamente media. Es un gas incoloro que se incendia fácilmente y es inestable a altas temperaturas. Por otro lado, su forma líquida se mantiene



bajo alta presión o a temperaturas bajas. Tiene un leve olor dulce y se detecta en aire a concentraciones de 3000 ppm.

El cloruro de vinilo es una sustancia sintética y no de origen natural. Se puede formar cuando otras sustancias, como el tricloroetano, el tricloroetileno y el tetracloroetileno se degradan. Cerca del 99% de la producción mundial se usa para fabricar policloruro de polivinilo o PVC.

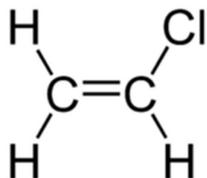


Figura 3. Fórmula estructural de cloruro de vinilo.

Por otro lado, cuando se encuentra en estado líquido se evapora fácilmente; en agua o tierra sucede lo mismo si se encuentra cerca de la superficie, mientras que en el aire se degrada en unos pocos días hasta transformarse en otras sustancias, que pueden resultar dañinas.

Es uno de los 100 compuestos químicos más importantes, y negativo en la salud debido a que es un veneno muy potente con efectos carcinógenos, mutagénicos y teratogénicos.

Propiedades del Cloruro de vinilo	
Fórmula molecular	C ₂ H ₃ Cl
Peso molecular	62.5 g/mol
Punto de ebullición	-13°C
Punto de fusión	-154 °C



Punto de inflamación	-78°C
Densidad relativa (agua=1)	0.9 (líquido)
Densidad relativa del vapor (aire=1)	2.2
Densidad (Vapor a 15°C)	8 g/l
Solubilidad en agua (25°C)	1.1 g/l
Presión de vapor (20°C)	334 kPa

Tabla 5. Propiedades - Cloruro de vinilo. Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

Hoja/ficha de seguridad.

COLORURO DE VINILO	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre comercial	Cloruro de vinilo; Cloroeteno; Cloroetileno; Cloruro de vinilo monómero (CVM)
Número de identificación internacional - Chemical Abstracts Service (CAS)	75-01-4
Número de identificación del producto - CE	200-831-0



Fórmula química	C ₂ H ₃ Cl
DESCRIPCIÓN Y USO	
Es un gas incoloro con leve aroma dulce que se incendia fácilmente y es inestable a altas temperaturas. Uso principal producción de policloruro de vinilo (PVC).	
PELIGROS	
Físicos	El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Los vapores no están inhibidos y pueden polimerizar y bloquear los venteos.
Químicos	La sustancia puede formar peróxidos explosivos en circunstancias específicas. La sustancia polimeriza fácilmente por calentamiento intenso y bajo la influencia de aire, luz y en contacto con un catalizador, oxidantes fuertes y metales tales como cobre y aluminio. Esto genera peligro de incendio o explosión. Se descompone al arder. Esto produce humos tóxicos y corrosivos de cloruro de hidrógeno y fosgeno. Ataca el hierro y el acero en presencia de humedad.
CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO	
	
Gas extremadamente inflamable	
Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta	
Puede provocar somnolencia o vértigo	
Puede provocar daños en el hígado tras exposiciones prolongadas o repetidas	



Susceptible de provocar defectos genéticos

Puede provocar cáncer

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

A prueba de incendio. Separado de: ver Peligros Químicos. Fresco. Almacenar solamente si está estabilizado. Bien cerrado. Mantener en lugar bien ventilado. Separado de materiales oxidantes.

INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Peligros

Extremadamente inflamable. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. Las mezclas gas/aire son explosivas.

Prevención

Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícese herramientas manuales no generadoras de chispas.

Lucha contra incendios

Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo, dióxido de carbono, agua pulverizada.

DERRAMES Y EMERGENCIA

Evacuar la zona; Protección personal completo incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. No verter nunca agua sobre el líquido.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD Y PREVENCIÓN



Inhalación	Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Pérdida del conocimiento. Visión borrosa. Entumecimiento. Sensación de hormigueo.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.
Piel	En contacto con líquido: congelación.	Guantes de protección. Guantes aislantes del frío. Traje de protección.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección de montura integral o protección ocular en combinación con protección respiratoria.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.
PRIMEROS AUXILIOS		
Inhalación	Aire limpio, reposo. Asistencia médica inmediata.	
Piel	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Asistencia médica inmediatamente.	
Ojos	Enjuagar con agua abundante (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica.	
MEDIO AMBIENTE		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente; debería prestarse especial atención a la contaminación de las aguas subterráneas.		

Tabla 6. Hoja de seguridad - Cloruro de vinilo. Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.



3.7.2 Insumos

- Iniciador.

Características y uso.

El iniciador es comercialmente conocido como luperox 26 o nacionalmente PEROXIKEN. Estos productos son polvos sólidos que se preparan en una solución determinada antes de ser añadidos. Los iniciadores de la polimerización son del tipo peróxidos, ya que poseen una gran capacidad de producir radicales libres que inician la polimerización por el mecanismo de radicales libres. La capacidad de lograr esta generación de radicales se debe a la inestabilidad del enlace O-O presentes en su estructura molecular.

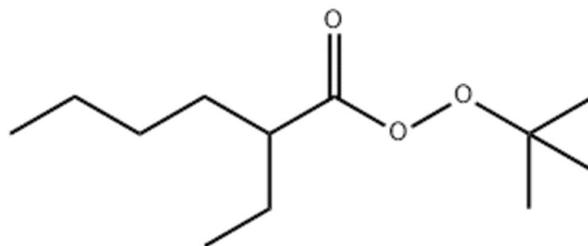


Figura 4. Fórmula estructural del Luperox 26.

Es un iniciador rápido y de alta eficiencia, que puede iniciar rápidamente polimerización a una temperatura más baja y aumentar la capacidad de producción del reactor de polimerización.

Propiedades del Iniciador	
Fórmula molecular	C ₁₂ H ₂₄ O ₃
Peso molecular	216.32
Densidad	0.89



Punto de fusión	-30°C
Punto de inflamación	85°C
Solubilidad en agua (20°C)	0.0463 g/l
Presión de vapor (20°C)	2 Pa

Tabla 7. Propiedades – Iniciador. Fuente: ChemBK.com

Hoja/ficha de seguridad.

INICIADOR	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre comercial	Luperox 26; 2-etilperoxihexanoato de terc-butilo
Número de identificación internacional - Chemical Abstracts Service (CAS).	3006-82-4
Número de identificación del producto - CE.	221-110-7
Fórmula química	C ₁₂ H ₂₄ O ₃
DESCRIPCIÓN Y USO	
Uso como iniciador de polimerización/agente de curado. Usos de sustancias como tales o preparados en sitios industriales. Fabricación de productos plásticos, incluida la composición y conversión.	



PELIGROS	
Físicos y químicos.	Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición. El contacto con material combustible puede causar un incendio. Descomposición térmica dando productos inflamables y tóxicos.
CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO	
	
PELIGRO	
Peligro de incendio si se calienta.	
Puede provocar una reacción alérgica en la piel.	
Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos	
MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO	
Manipulación	Llevar guantes de protección/ ropa de protección/ protección para los ojos/ protección para la cara.
Almacenamiento	Mantener alejado de llamas abiertas/superficies calientes. Conservar a temperaturas no superiores a 20 °C. Almacenar lejos de otros materiales.



INCENDIO Y EXPLOSIÓN	
Medios de extinción adecuados.	Agua pulverizada, Después de enfriar: Polvo seco.
Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla.	Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición. El producto arde violentamente (proteger a las personas de posibles proyecciones). El contacto con material combustible puede causar un incendio. Por descomposición térmica, formación de radicales libres muy reactivos.
Descomposición térmica dando productos inflamables y tóxicos.	Tertiobutanol, 2-Ethylhexanol, Óxidos de carbono (por combustión).
Extinción de incendios	Combatir el fuego a distancia (más de 15 m). Enfriar los contenedores/tanques con agua pulverizada. En caso de incendio cercano, retire los contenedores expuestos.
DERRAMES Y EMERGENCIA	
Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia.	Evacuar al personal no imprescindible y que no disponga de aparatos de protección individual. Prohibir todas las fuentes de chispas e ignición - No fumar. Prohibir el contacto con la piel y los ojos y la inhalación de vapores. Use equipo de protección personal. En caso de ventilación insuficiente, Llevar equipo respiratorio adecuado. No liberar al medio ambiente. No permita que el producto entre en los desagües. No permita que el



	material contamine el sistema de agua subterránea. No contaminar las aguas superficiales. Nunca devuelva los derrames en los contenedores originales para su reutilización.
Métodos y materiales de contención y limpieza.	Después de la limpieza, elimine los restos con agua. Recuperar aguas residuales para su posterior procesamiento.
EFFECTOS SOBRE LA SALUD Y PREVENCIÓN	
Contacto con la piel	Puede causar sensibilización por contacto con la piel.
Contacto con los ojos	Ligeramente irritante para los ojos.
PRIMEROS AUXILIOS	
Contacto con ropa de trabajo	Quítese inmediatamente la ropa contaminada. Riesgo de ignición. En caso de salpicaduras, quitar la ropa contaminada y sumergirla en agua inmediatamente.
Inhalación	Inhalación de vapores/nieblas: Salga al aire libre. Oxígeno o respiración artificial si se necesita. En caso de problemas persistentes: Consultar a un médico.
Contacto con la piel	Inmediatamente lavar con abundante agua y jabón.
Contacto con ojos	Lavar inmediata, abundante y minuciosamente con agua. Si la irritación persiste, consulte a un oftalmólogo.



Ingestión	En caso de problemas, consultar a un médico.
-----------	--

Tabla 8. Hoja de seguridad - Iniciador. Fuente: Manipulación segura de peróxidos orgánicos – ARKEMA.

- Agente suspensor

Características y usos.

El alcohol polivinílico (PVOH o PVA) es un polímero sintético soluble en agua cuya fórmula química es $(C_2H_4O)_n$. Posee un aspecto granulado de color blanco y es inodoro.

Tiene excelentes propiedades filmógenas, emulsionantes y adhesivas, resistente al aceite, la grasa y los disolventes. Tiene alta resistencia a la tracción y flexibilidad, así como propiedades de barrera de oxígeno y aroma. Sin embargo, estas propiedades dependen de la humedad: el agua absorbida a niveles más altos de humedad actúa como un plastificante, lo que reduce la resistencia a la tracción del polímero, pero aumenta su elongación y resistencia al desgarro.

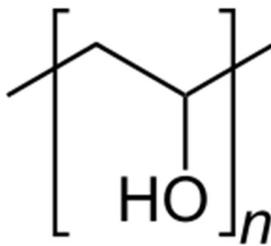


Figura 5. Fórmula estructural del alcohol polivinílico.

Propiedades del agente suspensor	
Fórmula molecular	$(C_2H_4O)_n$
Peso molecular (ver viscosidad)	25.000 – 300.000
Densidad relativa	1.19 – 1.31 g/cm ³



Punto de fusión	250 °C
Solubilidad	Soluble en agua
Punto de inflamabilidad	79°C

Tabla 9. Propiedades - Agente suspensor. Fuente: SIGMA-ALDRICH SA.

Hoja/ficha de seguridad.

AGENTE SUSPENSOR	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre comercial	Alcohol polivinílico
Número de identificación internacional - Chemical Abstracts Service (CAS)	9002-89-5
Número de identificación del producto - CE	618-340-9
Fórmula química	$(C_2H_4O)_n$
DESCRIPCIÓN Y USO	
Sólido cristalino incoloro e inodoro. Usos: Reactivos para laboratorio; fabricación de sustancias.	
PELIGROS	



No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.	
INCENDIOS	
Medios de extinción apropiados	Agua, CO2, polvo seco.
Peligros específicos derivados de la sustancia o mezcla	Inflamable. En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.
Personal de lucha contra incendios	Proteger con equipo respiratorio autónomo.
DERRAMES Y EMERGENCIA	
Precauciones personales, equipo de protección y emergencia.	Evitar la inhalación de polvo, evacuar el área de peligro, contar con equipos de protección individual.
Medio ambiente	Impedir el ingreso del producto en el sistema de aguas subterráneas.
Contención y limpieza	Aspirar los derrames, recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Evitar formación de polvo.
PRIMEROS AUXILIOS	
Inhalación	Tomar aire fresco.
Contacto con la piel	Quitar prendas contaminadas. Usar agua.



Contacto con los ojos	Lavar con abundante agua.
Ingestión	Beber agua (cantidad necesaria). Consultar con un médico si se presenta malestar.

Tabla 10. Ficha de seguridad – Agente suspensor. Fuente: Ficha de datos de seguridad – SIGMA-ALDRICH SA.

- Estabilizante

Características y usos.

El estearato de calcio es un polvo fino, blanco y sedoso. Es utilizado como un agente deslizante y lubricante en diferentes resinas tales como PVC, polietileno, polipropileno entre otras. Es estable a altas temperaturas, resistente al agua (hidrófobo), co-estabilizador y lubricante en compuestos de PVC, fácil de producir y de baja toxicidad.

Dentro de los posibles usos de dicho compuesto se pueden mencionar su participación en la fabricación de lápices de cera, lubricante interno para la aplicación de PVC rígido, lubricante/deslizante/desmoldante en plásticos, fabricación de materiales resistentes al agua, aditivo para concreto, aditivo para pinturas, producción de cemento, entre otros.

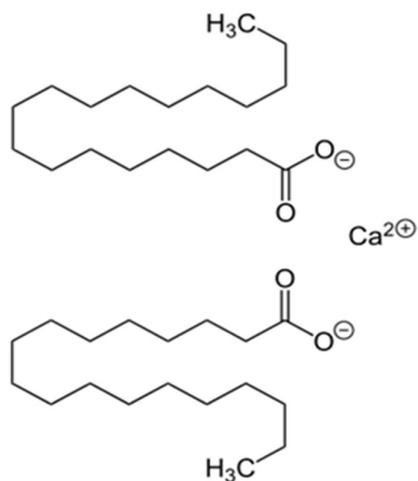


Figura 6. Fórmula estructural del estearato de calcio.



Propiedades del estearato de calcio	
Fórmula molecular	C ₃₆ H ₇₀ O ₄ Ca
Masa molecular	607
Punto de fusión	179°C
Densidad	1.12 g/cm ³
Solubilidad en agua g/100 ml (15°C)	0.004

Tabla 11. Propiedades – Estabilizante. Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

Hoja/ficha de seguridad.

Estearato de calcio	
IDENTIFICACIÓN	
Nombre comercial	Estearato de calcio; Distearato de calcio; Ácido octadecanoico, sal de calcio; Ácido esteárico, sal de calcio
Número de identificación internacional - Chemical Abstracts Service (CAS).	1592-23-0



Número de identificación del producto - CE.	216-472-8
Fórmula química	C ₃₆ H ₇₀ O ₄ Ca
DESCRIPCIÓN Y USO	
Es un polvo fino y blanco utilizado como agente deslizante y lubricante en diferentes resinas tales como PVC, polietileno, polipropileno entre otras.	
PELIGROS	
Físicos	Posible explosión del polvo si se mezcla con aire en forma de polvo o gránulos.
Químicos	Se descompone al arder. Esto produce vapores irritantes.
MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO	
Manipulación	Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo.
Almacenamiento	Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	
Peligros	Combustible. En incendio desprende humo irritantes o tóxicos. Las partículas dispersas forman mezclas explosivas en el aire.



Prevención	NO llamas abiertas. Sistema cerrado, equipos eléctricos e iluminación a prueba de explosión de polvo. Evitar la deposición de polvo. Evite la acumulación de cargas electrostáticas	
Lucha contra incendios	Usar agua pulverizada, polvo, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono.	
DERRAMES Y EMERGENCIA		
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Aspire el material derramado con equipo especializado.		
EFFECTOS SOBRE LA SALUD Y PREVENCIÓN		
Inhalación	Tos	Use escape local o protección respiratoria.
Ojos	Enrojecimiento	Utilizar gafas de seguridad.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.
PRIMEROS AUXILIOS		
Inhalación	Aire limpio, reposo.	
Ojos	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.	



Ingestión	Enjuague la boca.
-----------	-------------------

Tabla 12. Hoja de seguridad – Estabilizante. Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

3.8. Clientes y competencia de productos y materias primas

3.8.1 Clientes de producto

Dentro del mercado argentino, se encuentran una enorme variedad de empresas que consumen y demandan compuestos de PVC con distintas especificaciones. A partir de la clasificación según el uso al que se destina el PVC, podemos encontrar un conjunto de empresas vinculadas al sector de la construcción. Para una mejor objetividad productiva y debido a diversos factores de disponibilidad de materia prima se planifica la producción de compuestos de PVC destinada a la producción de **tuberías**. Dentro de la disponibilidad de negocios con empresas consumidoras de PVC, se obtuvieron convenios para cumplir con la creciente demanda de una lista de empresas interesadas las cuales comenzaron a ampliar su capacidad instalada, acarreado la necesidad de un mayor consumo de PVC. Esta decisión es tomada debido a la creciente demanda en el área de construcción del país, que requiere la fabricación de tuberías y caños de PVC, además de otras aplicaciones. La lista de empresas a las cuales vamos a vender nuestro producto son:

Empresa	Localización
Amanco Wavin	Pablo Podestá, Provincia de Buenos Aires
Plastiferro tubos S.A.	Esteban Echeverría, Provincia de Buenos Aires
Tigre argentina S.A.	Fátima, Provincia de Buenos Aires

Tabla 13. Elaboración propia

Por lo que mediante un contrato comercial con cada uno de los clientes, podemos asegurar que la suma de todos sus pedidos da un volumen que compromete a comprar el 100% de nuestra producción.



3.8.2. Competencia de Materia Prima

En la actualidad se tiene una gran cantidad de industrias que requieren de nuestras mismas materias primas con las cuales se deberá competir.

En el caso de monocloruro de vinilo, este se usa principalmente para fabricar PVC, el cual tiene la ventaja de ser utilizado en procesos de conversión y fabricación con gran flexibilidad, de tal manera que los productos finales incluyen tuberías y accesorios, revestimientos, ventanas, puertas, pisos, alambre, cables y botellas. Para nuestra principal materia prima, la principal competencia radica en tres empresas a nivel nacional. La primera es Unipar, ubicada en Bahía Blanca, y su principal proveedor de materia prima es Carboclor (ambas situadas en el mismo parque industrial). La segunda se ubica en la localidad de Pablo Podestá (Tecnocom), y la tercera se encuentra en la localidad de San Martín (Alfavinil). La cuarta competencia es una empresa que integra la producción de MCV en su respectiva línea de producción y cartera comercial, esta es Princz Ipassa que se encuentra en el parque industrial de San Martín.

3.8.3. Proveedores de Materia Prima e insumos

Para la obtención de nuestra materia prima, MCV, contamos con un principal proveedor y un productor auxiliar en caso de que el primero no cumpla con la cantidad requerida por nuestra planta.

PROVEEDOR	UBICACIÓN
DAK-Pilar	Parque Industrial Pilar, Km 60, Ruta Nacional N°8. Localidad de Pilar, provincia de Buenos Aires.
UNIPAR- INDUPA S.A.I.C	Av. Del Desarrollo Presidente Frondizi 2450, Puerto Galván. Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.

Tabla 14. Ubicación de proveedores - MCV. Elaboración propia.

En el caso de los insumos, para el Luperox 26 se tienen las siguientes opciones. La primera opción es comercializar con Arkema en el parque industrial de Carlos Casares.



PROVEEDOR	UBICACIÓN
ARKEMA	Parque Industrial Carlos Casares, paralelo a la Ruta Nacional N°5. Localidad de Carlos Casares, provincia de Buenos Aires.
PERALKEN S.A	Parque Industrial de Burzaco, provincia de Buenos Aires.

Tabla 15. Ubicación de proveedores - Iniciador. Elaboración propia

El alcohol polivinílico (PVOH o PVA) se obtendrá del siguiente proveedor.

PROVEEDOR	UBICACIÓN
CENTAURO ALPHA S.R.L	Florida Oeste, provincia de Buenos Aires.

Tabla 16. Ubicación de proveedores - Agente suspensor. Elaboración propia.

El Estearato de Calcio se podrá obtener de cualquiera de las opciones siguientes. Nuestro principal proveedor será Química los Olivos, en la localidad de Villa Bosch.

PROVEEDOR	UBICACIÓN
QUÍMICA LOS OLIVOS ARG S.R.L	Calle Pellegrini N°5166, Localidad de Villa Bosch, provincia de Buenos Aires.
OLEOCHEMICALS	Camusso N°1302, Mar del Plata, provincia de Buenos Aires

Tabla 17. Ubicación de proveedores - Estabilizante. Elaboración propia.



3.9. Variables macroeconómicas

La inclusión de variables macroeconómicas en este trabajo se justifica por su importancia como punto de referencia en la toma de decisiones de inversión y financiamiento del proyecto. Al analizar la evolución de estas variables en un período de cinco años, es posible proyectar su comportamiento futuro y obtener una visión externa de los factores que pueden afectar la inversión y el desarrollo del proyecto. En este sentido, el estudio de las variables macroeconómicas resulta crucial para una planificación estratégica efectiva y la identificación de oportunidades y riesgos en el entorno económico.

3.9.1. PBI

El PBI (Producto Bruto Interno) es el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de un país en un período determinado, por lo general un año. Es una medida importante del nivel de actividad económica de un país y se utiliza para comparar el tamaño de las economías de diferentes países. El PBI se calcula sumando el valor de todos los bienes y servicios producidos dentro del país, incluyendo los consumidos tanto por los ciudadanos como por los extranjeros. Existe una gran variación en el PBI dentro del periodo del 2018 al 2023.

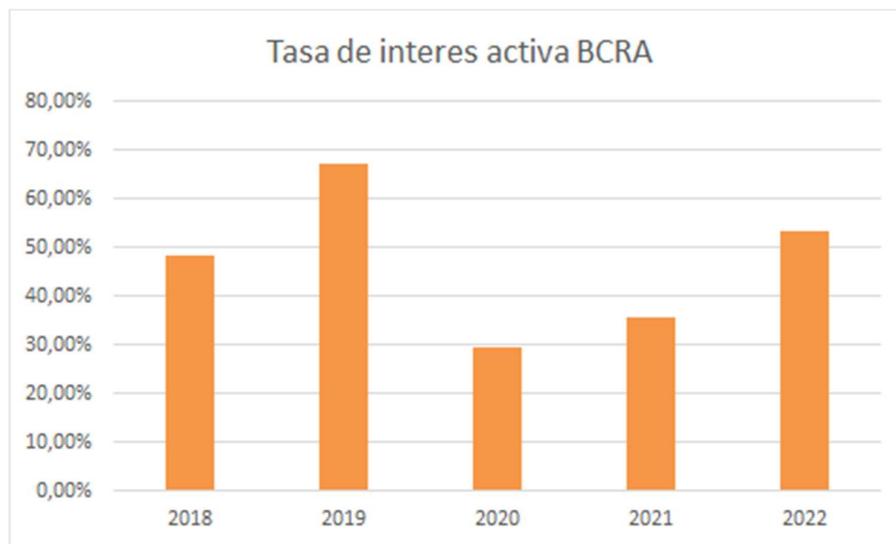


Gráfica 6. Elaboración propia. Fuente: Banco Mundial
<https://www.bancomundial.org/es/home>



3.9.2. Tasa de interés

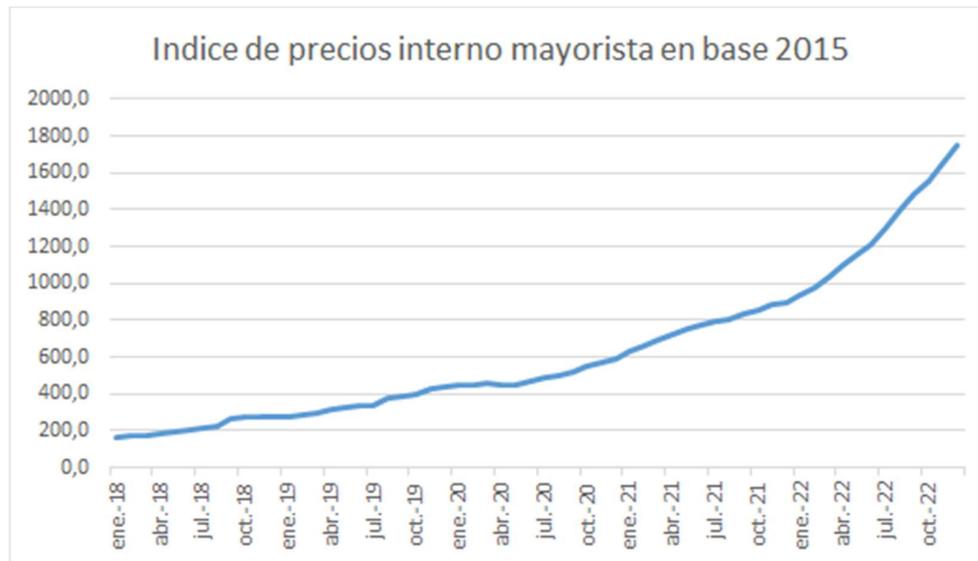
La tasa de interés del Banco Central de la República Argentina (BCRA) es la tasa de interés que establece el banco central para regular la oferta monetaria y el nivel de inflación en la economía del país. Esta tasa es utilizada por las entidades financieras como referencia para establecer sus propias tasas de interés en sus préstamos y depósitos. En Argentina, la tasa de interés del BCRA ha tenido fluctuaciones significativas en los últimos años debido a la situación económica del país y las políticas económicas implementadas por el gobierno y el banco central.



Gráfica 7. Elaboración propia. Fuente: Banco Mundial
(<https://datos.bancomundial.org/indicador/FR.INR.LEND?end=2021&locations=AR&start=2010&view=chart>)

3.9.3. Índice de precios al consumidor

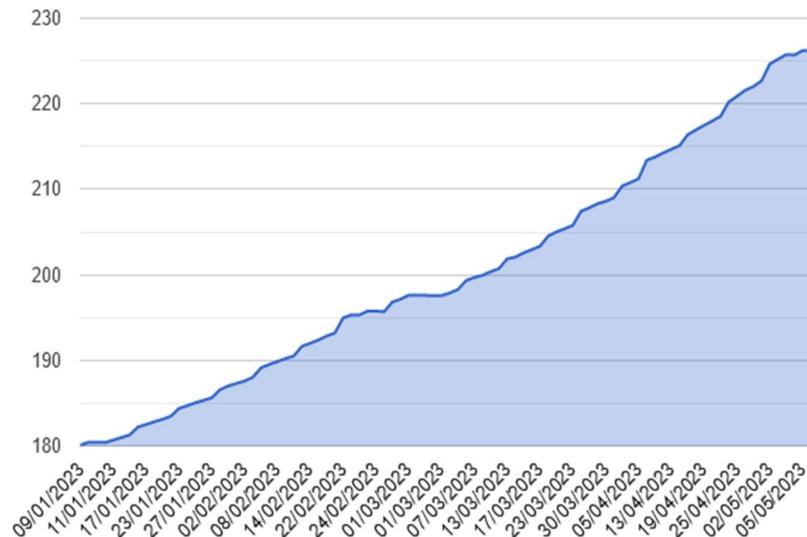
El IPIM (Índice de Precios Internos al por Mayor) es un índice que mide la variación de precios de los bienes y servicios vendidos en el mercado interno a nivel mayorista. Este índice se utiliza para medir la inflación en la economía, y es uno de los indicadores económicos más importantes en países como Argentina. Podemos observar un aumento exponencial en los últimos 5 años.



Gráfica 8. Elaboración propia. Fuente: INDEC
<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-5-31>

3.9.4. Precio del dólar

El dólar es una divisa hegemónica, empleada para diversos contratos comerciales y empleada en el país como una base para diversas compras de carácter internacional. Podemos observar varias fluctuaciones a lo largo de 5 años, pero siempre mostrando una tendencia al aumento. Por lo que denota una demanda creciente a lo largo de estos 5 años



Gráfica 9. Evolución del precio del dólar oficial mayorista. Fuente: <https://www.ambito.com/contenidos/dolar-informal-historico.html>

3.9.5. Conclusión de variables económicas:

Luego de detallar brevemente y observar las variables macroeconómicas entre los periodos de 2017 a 2022, se desprende un análisis de un alto riesgo financiero. Esto amerita a que el proyecto debe ser muy atractivo para poder llevarse a cabo según el contexto macroeconómico observado.

3.10. Logística

Se considera a la cadena logística como una serie de etapas que abarca a los proveedores de materia prima e insumos y la distribución de producto terminado a los clientes. Donde también se acopla el concepto de almacenamiento de stocks de insumos, materia prima y producto terminado, con la estructura adecuada para el almacenamiento y el sistema de gestión pertinente.

Dentro de lo que es el almacén se van a considerar adecuados sistemas de gestión de inventario, ya que ha de considerarse todos los stocks que requiere el funcionamiento de planta. Se requiere que la materia prima principal, en este caso el monocloruro de vinilo, ingresa por cañería y se almacena en tanques ubicados cercanos al ducto de distribución. Por otro lado, los insumos ingresarán



a la planta por camión (propiedad de los proveedores) debido a que las características físicas y su forma de comercializarse es a través de contenedores. Estos serán alojados en el almacén general.

En cuanto al producto a comercializar, son bolsas de 50 kg de Pellets, el material de las bolsas es de PET. Se emplea un sistema de gestión de inventarios adecuado y se despacha el producto terminado por camiones (propiedad de los clientes).

4. UBICACIÓN

4.1. Localización

La localización de un proyecto es una decisión de carácter crítico para el éxito de este porque impacta sobre factores económicos, legales, entre otros. Nuestra planta de producción necesitará de infraestructura adecuada y servicios auxiliares acordes a las características de nuestro proceso. Dentro de lo que es Argentina, y por lo anteriormente visto en el análisis de competencias, la mayor cantidad de industria que produce PVC se encuentran localizadas en la provincia de Buenos Aires, como también aquellas empresas relacionadas con insumos para la industria y consumidores de material de PVC. Por lo que como primera aproximación, la elección más óptima es que el análisis de la localización se base en la provincia de Buenos Aires

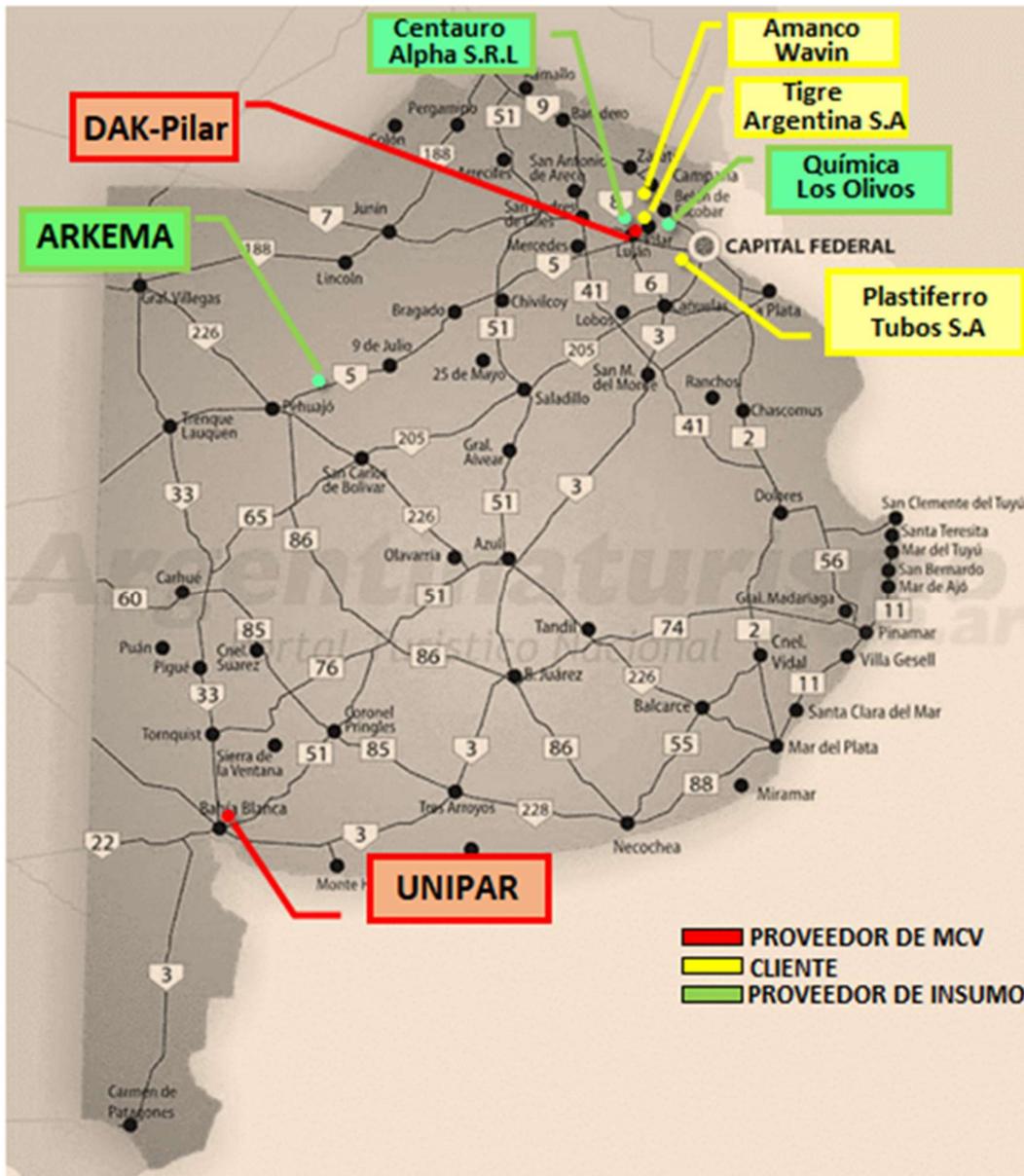


4.1.1. Macrolocalización

Para la macrolocalización tomando en consideración las empresas con vínculos comerciales y su ubicación, se construyó la tabla 18 y el mapa 1.

Materia prima/insumos	Empresa (proveedor)	Ubicación
Cloruro de vinilo	DAK-Pilar	Calle 9 #2800, en el Parque Industrial Pilar, Partido de Pilar, Prov. de Buenos Aires.
Iniciador	ARKEMA	Parque Industrial Carlos Casares, paralelo a la Ruta Nacional N°5. Localidad de Carlos Casares, provincia de Buenos Aires.
Agente suspensor	CENTAURO ALPHA S.R.L	Florida Oeste, provincia de Buenos Aires.
Estabilizante	QUÍMICA LOS OLIVOS ARG S.R.L	Calle Pellegrini N°5166, Localidad de Villa Bosch, provincia de Buenos Aires.
Producto de consumo	Empresa (cliente)	Ubicación
Policloruro de vinilo	Plastiferro tubos S.A.	Esteban Echeverría - Prov. de Buenos Aires
	Tigre argentina S.A	Fatima - Prov. de Buenos Aires
	Amanco wavin	Pablo Podesta - Prov. de Buenos Aires

Tabla 18. Elaboración propia. Ubicación de proveedores de materia prima, insumos, y clientes.



Mapa 1. Mapa de la provincia de Bs. As. La leyenda indica los puntos de localización de las empresas con vínculos comerciales. Elaboración propia

Es importante destacar que la mayoría de las empresas con las que nos vamos a vincular se encuentran principalmente en la provincia de Buenos Aires. Esta



opción resulta especialmente atractiva y, en última instancia, la más adecuada para beneficiar en gran medida a nuestro proyecto.

Hemos seleccionado la Provincia de Buenos Aires como el objetivo principal para la ubicación macro de nuestro proyecto. Esta elección se basa en el hecho de que es la única provincia donde se produce monocloruro de vinilo, que es una materia prima fundamental para nuestro producto. Además, se encuentran cerca las empresas que comercializan los aditivos necesarios para obtener el tipo y calidad de producto que buscamos.

La región cuenta con una amplia gama de centros urbanos que pueden proporcionar la mano de obra adecuada para poner en marcha y operar el proyecto. También existe una diversidad de industrias y una demanda potencial de PVC en la zona.

Contamos con la presencia de diversos parques industriales para potenciales emplazamientos que tienen la capacidad de brindar la infraestructura y servicios auxiliares necesarios. Por último, posee adecuadas vías de comunicación para el transporte tanto de las materias primas como del producto terminado para comercializar.

Para esta etapa utilizaremos como método de decisión el método de puntuaciones ponderadas que consiste en: definir una serie de factores para tener en cuenta que son a nuestro criterio los más críticos para el proyecto y asignarle un puntaje de ponderación (importancia) a cada factor.

Factores elegidos:

1. Proximidad a las materias primas. (30)
2. Proximidad al mercado de consumo. (30)
3. Logística.(15)
4. Disponibilidad de espacio y servicios auxiliares. (15)
5. Beneficios legislativos y exenciones regionales dirigidos a la industria. (10)
6. Otros

Total 100

Luego se definirán las potenciales localizaciones de nuestra planta y se evaluarán cada uno de los factores en cada localización asignándoles una calificación de 1 a 5.



Localizaciones posibles:

- A. Parque Industrial Pilar (Pilar, Bs. As.).
- B. Parque Industrial de Bahía Blanca. (Bahía Blanca, Bs. As.).
- C. Ciudad de San Martín (Bs. As.).

N°	Factores	Puntaje	Posibles Localizaciones					
			A		B		C	
1	Proximidad a las materias primas	30	5	150	3	90	4	120
2	Proximidad al mercado de consumo	30	4	120	3	90	4	120
3	Logística	15	4	60	5	75	3	45
4	Espacio y servicios auxiliares	15	5	75	5	75	3	45
5	Beneficios legislativos y eximiciones	10	3	30	4	40	3	30
6	Otros			0		0		0
Total Puntaje * Calificación				435		370		360

Tabla 19. Ponderación de macro localizaciones. Elaboración propia.

Conclusión de macro localización:

Luego de evaluar las tres posibles ubicaciones, el Parque Industrial de Bahía Blanca destaca por su ventaja estratégica y logística debido a su cercanía al puerto. Además, ofrece beneficios impositivos a nivel municipal que se extienden por 8 años ¹ a diferencia de Pilar donde estos beneficios no están vigentes desde el año 2001. En Pilar se consideró que las empresas se instalan allí debido a su ubicación estratégica en la provincia, no tanto por los beneficios impositivos². Sin embargo, todas las ubicaciones evaluadas cuentan con los mismos beneficios provinciales.

El Parque Industrial de Pilar, desde 2018, cuenta con la opción de transporte ferroviario con una capacidad de hasta 1500 toneladas, lo que lo conecta con el NOA (Noroeste Argentino). Por otro lado, la ubicación en San Martín presenta la dificultad de no estar situada en un parque industrial, aunque tendría una proximidad similar a las materias primas y al mercado de consumo en comparación con el Parque de Pilar.

¹ <https://pibb.com.ar/#services>
²

http://www.pilar.com.ar/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=90%3Aparque-industrial-pilar&Itemid=65&limitstart=52



Luego de analizar los resultados de la tabla 19 utilizando el método descrito y considerando todos los aspectos relevantes, llegamos a la conclusión de que la mejor ubicación para nuestra planta es el Parque Industrial de Pilar.

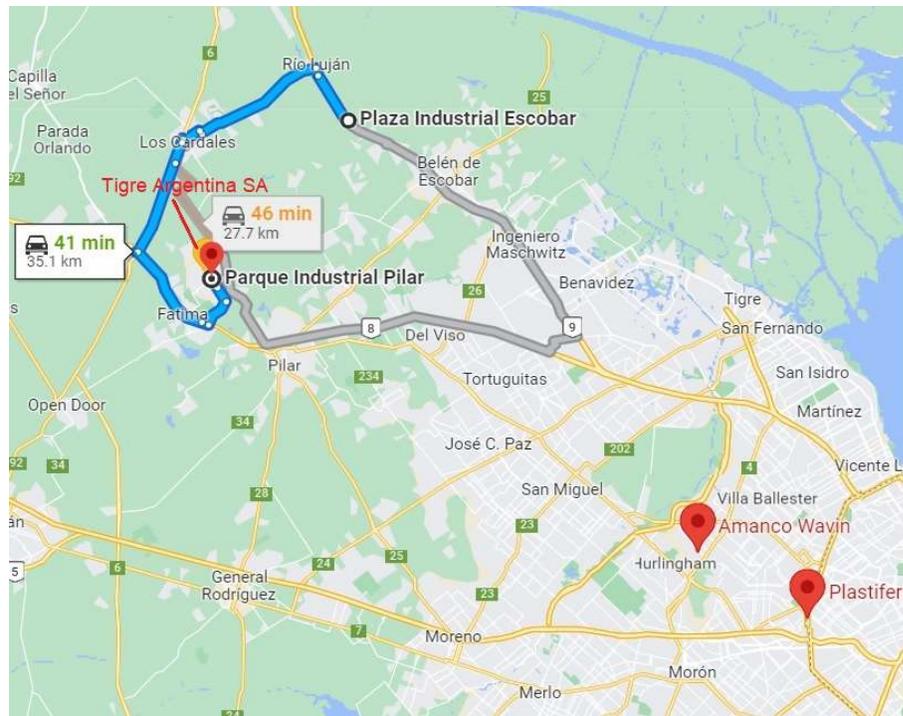
4.1.2. Microlocalización

A continuación, compararemos de manera resumida, a) el Parque Industrial Pilar y b) el Parque Industrial Escobar, ambos ubicados a aproximadamente 30 km de distancia entre sí, con el objetivo de definir la localización definitiva para nuestro proyecto. Tomaremos en consideración los siguientes factores, al igual que hemos hecho previamente:

Factores elegidos:

1. Proximidad a las materias primas. (35)
2. Proximidad al mercado de consumo. (35)
3. Logística.(15)
4. Disponibilidad de espacio y servicios auxiliares. (15)

A	Parque Ind. Pilar
B	Parque Ind. Escobar



Mapa 2. Mapa de la región de Pilar-Escobar con los principales clientes *Elaboración propia*

N°	Factores	Puntaje	Posibles Localizaciones			
			A		B	
1	Proximidad a las materias primas	35	5	175	3	105
2	Proximidad al mercado de consumo	35	4	140	3	105
3	Logística	15	4	60	4	60
4	Espacio y servicios auxiliares	15	5	75	5	75
6	Otros			0		0
Total Puntaje * Calificación				450		345

Tabla 20 Ponderación de microlocalizaciones. *Elaboración propia.*



4.1.3. Conclusión de la localización:

El análisis de la tabla 20 revela que el factor decisivo para la elección de la ubicación fue la proximidad a la materia prima (MCV), la cual se encuentra dentro del Parque Industrial Pilar. Al examinar el mapa 2, se observa una ligera preferencia por Pilar en cuanto a la proximidad a los clientes, ya que se encuentra más cerca de los tres principales clientes. En cuanto a la logística y los servicios auxiliares, no se identificaron diferencias significativas entre ambos parques. En vista de estos resultados, se concluye que la localización definitiva será el Parque Industrial Pilar.

El Parque Industrial de Pilar, se encuentra en kilómetro 60 de la Ruta Nacional N°8 en la localidad de Fátima, partido de Pilar, provincia de Buenos Aires.



Mapa 2: Predio del Parque Industrial Pilar, vista satelital. Fuente: elaboración propia en base a Google Maps.

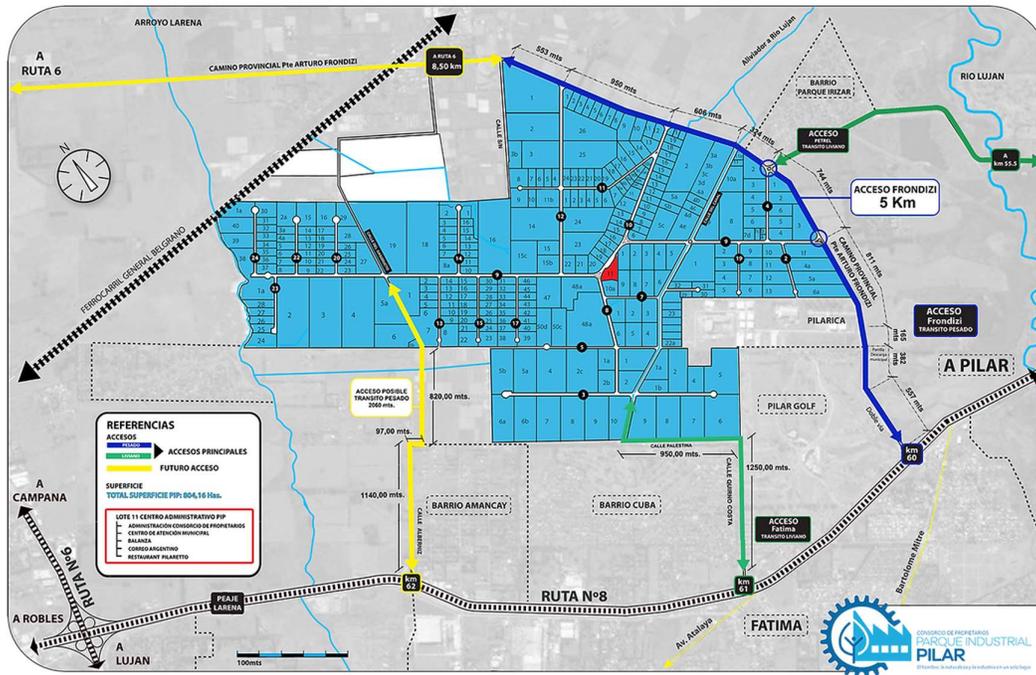


Figura 7. Predio del Parque Industrial Pilar. Fuente: www.parqueindustrialpilar.org.ar

El parque industrial cuenta con los siguientes servicios:

- Red eléctrica de baja y media tensión.
- Red de agua corriente.
- Red de media y alta presión de gas natural.
- Red de cloacas.
- Sistema de desagües pluviales.
- Red de telefonía.
- Servicio de Internet / Wi-fi
- Servicio de transporte publico
- Alumbrado público exterior.
- Servicios auxiliares (Vapor y agua de servicio)
- Antorcha.

Además, cuenta con:

- Bomberos: El destacamento Bomberos Voluntarios del Pilar, cuenta con dos autobombas, un Camión Cisterna y un Camión HAZAP. El personal de Bomberos cuenta con guardia las 24 horas y un tiempo de respuesta de hasta 5 minutos para llegar a los extremos del Parque.



- Consorcio de Propietarios del Parque: Es la administración del Parque, donde se administran las expensas y la parte edilicia de todo el Parque.
- Policía: Subcomisaría de la Policía de la Provincia de Buenos Aires.
- Sistema de Comunicaciones de Bomberos y Policía
- Centro de Atención Municipal (CAM) donde funciona una delegación en el que agilizan los procedimientos para que las empresas realicen sus consultas y trámites municipales.
- Bancos: En el parque industrial se encuentran sucursales de 5 bancos.
- Estación de Servicio YPF: con despacho de combustibles líquidos, gomería, taller de mecánica liviana y servicio de Bar y Restaurant.
- Transporte Colectivo: desde la localidad de Pilar llegan al parque industrial tres líneas de colectivos: 176, 350 y 510. La duración del viaje es de 15 a 30 minutos dependiendo el destino del pasajero.
- Balanza pública de Camiones: Brinda el servicio de pesaje de camiones mediante una balanza pública y fiscal, electrónica.



Figura 8. Ampliación con la ubicación de nuestra parcela (N°17), de la planta de monocloruro de vinilo (A). Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que queríamos ubicarnos en la parcela libre más cercana a la localización de nuestras materias primas y del comprador, decidimos ubicarnos en la parcela N°17 ubicada en calle 9 al 2850, en el Parque Industrial Pilar, Partido del Pilar, Provincia de Buenos Aires, Argentina.



4.2. Estudio de Clima

La localidad de Pilar se encuentra en la región Este de la Argentina a 50 km de Ciudad de Buenos Aires, el clima de la región es Subtropical húmedo con cuatro estaciones bien definidas. En Pilar, los veranos son calurosos, húmedos, mojados y mayormente despejados y los inviernos son fríos y parcialmente nublados.

Los estudios de clima realizados en el proyecto nos brindan la información requerida para poder llevar a cabo un adecuado diseño de los sistemas y estructuras que lo conforman.

4.2.1. Temperatura

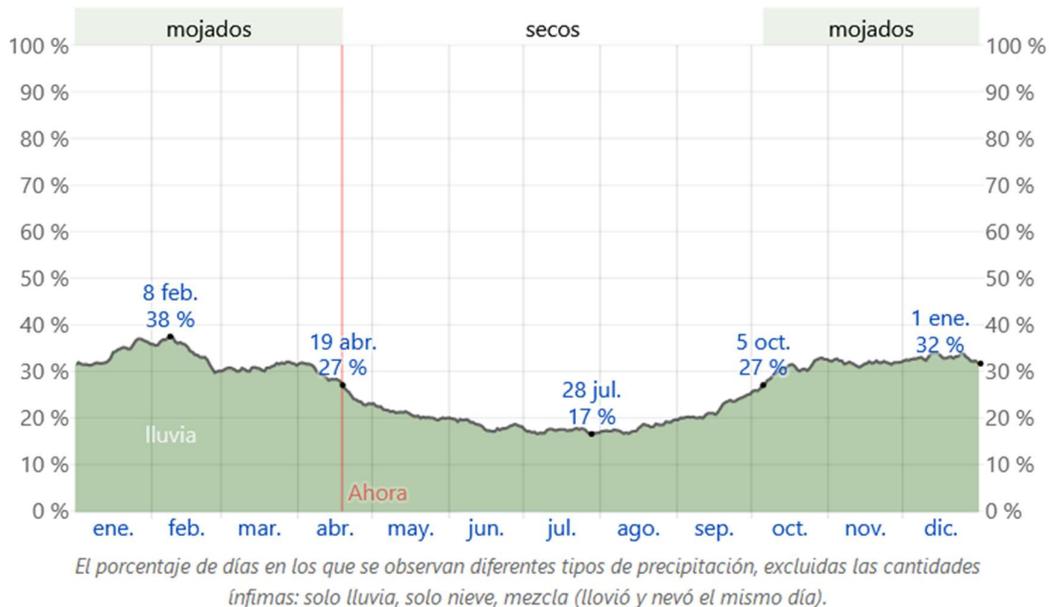
Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 30 °C y, rara vez baja a menos de -2 °C o sube a más de 35 °C.

Los datos relevantes para nuestro proyecto, tanto para su construcción como su operación, son los valores de las temperaturas máximas y mínimas registradas en un periodo de 10 años (2012 - 2022). Siendo el valor de la temperatura máxima registrada 41°C y su temperatura mínima registrada -2°C, para el periodo anteriormente mencionado.

4.2.2. Precipitación

Dentro del interés en el proyecto, los datos de precipitación son clave para poder realizar un adecuado sistema de desagüe que impida problemas de inundación dentro del predio. La información más preponderante son los periodos del año donde existe un mayor registro de precipitación y la mayor cantidad de precipitación registrada. Las precipitaciones se miden en función a la cantidad de milímetros de agua por metro cuadrado.

Como primera información se obtiene la probabilidad histórica de lluvias en la localidad de Pilar. Para esto nos basamos en la siguiente gráfica, definiendo la probabilidad de lluvia durante todo el año en Pilar.



Gráfica 10. Probabilidad de lluvia - Localidad de Pilar. Fuente:

<https://es.weatherspark.com/y/28965/Clima-promedio-en-Pilar-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>

El dato más relevante para nuestro proyecto está asociado a la máxima cantidad de agua de lluvia caída, donde se observa un registro de 113 mm de lluvia en una hora. En total fue una jornada en donde cayeron 225 mm de lluvia.

4.2.3. Vientos

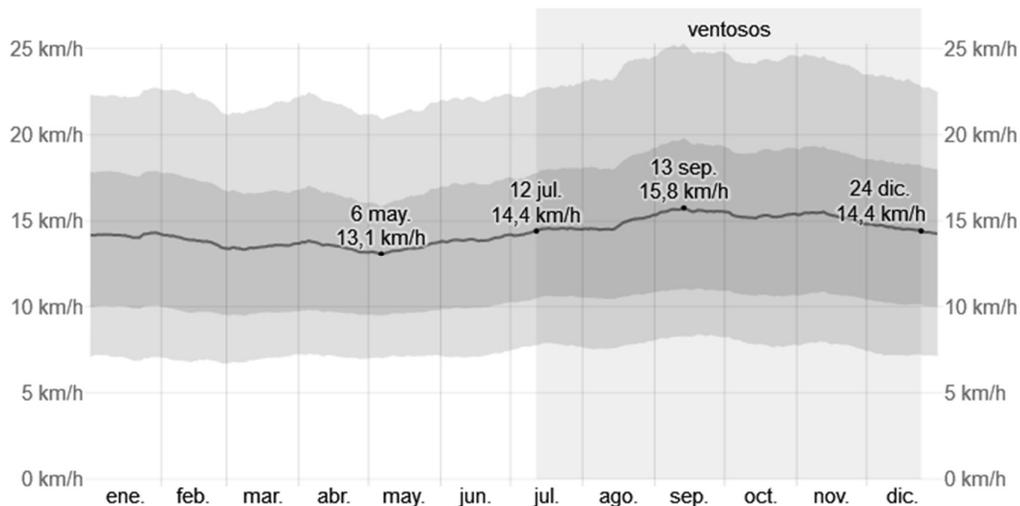
Los vientos son una parte fundamental en el periodo de planificación y diseño. Esta información permite diseñar estructuras que soporten los efectos del viento en cualquier periodo del año.

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

La información clave es la velocidad promedio del viento por hora en Pilar y los periodos del año con mayor probabilidad de que estos sucedan. La velocidad promedio del viento tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.



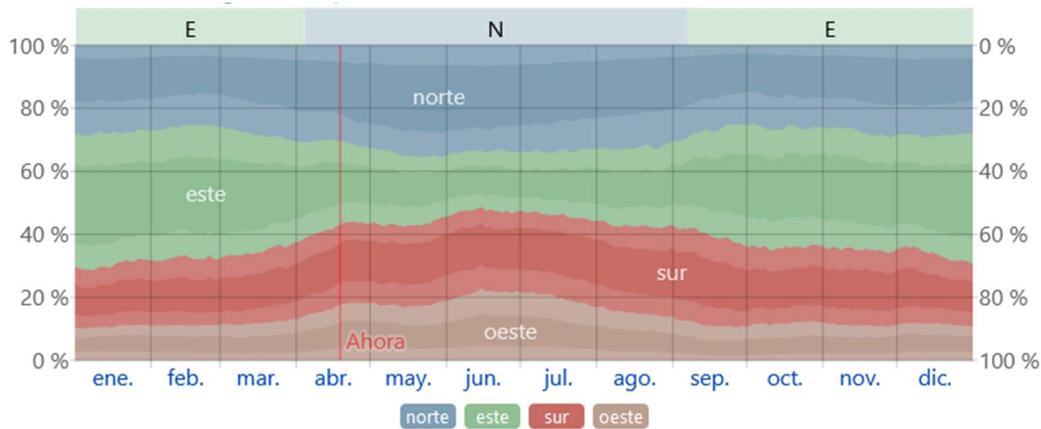
La velocidad máxima de vientos registrados en la localidad de Pilar fue de 90 km/h en el año 2015, registrados a los 10 metros desde el nivel del mar.



Gráfica 11. Fuente: Velocidades medias registradas anualmente de viento en la región de Pilar. Fuente: <https://es.weatherspark.com> en base MERRA-2 Modern Era Retrospective Analysis, NASA.

La parte más ventosa del año dura 5,4 meses, desde julio hasta fin de diciembre. El mes más ventoso del año en Pilar es septiembre. El tiempo más calmado del año dura 6,6 meses, desde fines de diciembre hasta mediados de julio. El mes más calmado del año en Pilar es mayo.

Y en consideración a la distribución de probabilidad del viento durante todo el año, podemos verlo en el siguiente gráfico.



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

Gráfica 12. Probabilidad de viento - Localidad de Pilar. Fuente:
<https://es.weatherspark.com/y/28965/Clima-promedio-en-Pilar-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

La mayor información que nos permite extraer del anterior diagrama es que la dirección del viento en la localidad de Pilar es mayoritariamente, durante el transcurso de un año, proveniente de las direcciones Este y Norte.

A partir de los datos recopilados con anterioridad y extraídos por parte del SIG eólico, se elaboraron rosas de viento, que son gráficas del tipo circular que nos permite registrar la dirección del viento y su intensidad en muchos casos. Para esta ocasión, esta gráfica nos permite proyectar las velocidades provenientes de cada dirección con la probabilidad de que el viento provenga de la misma. En las mismas el ángulo 0° coincide con el Norte geográfico, los 90° coinciden con el Este geográfico, los 180° coinciden con el Sur geográfico y los 270° coinciden con el Oeste geográfico.

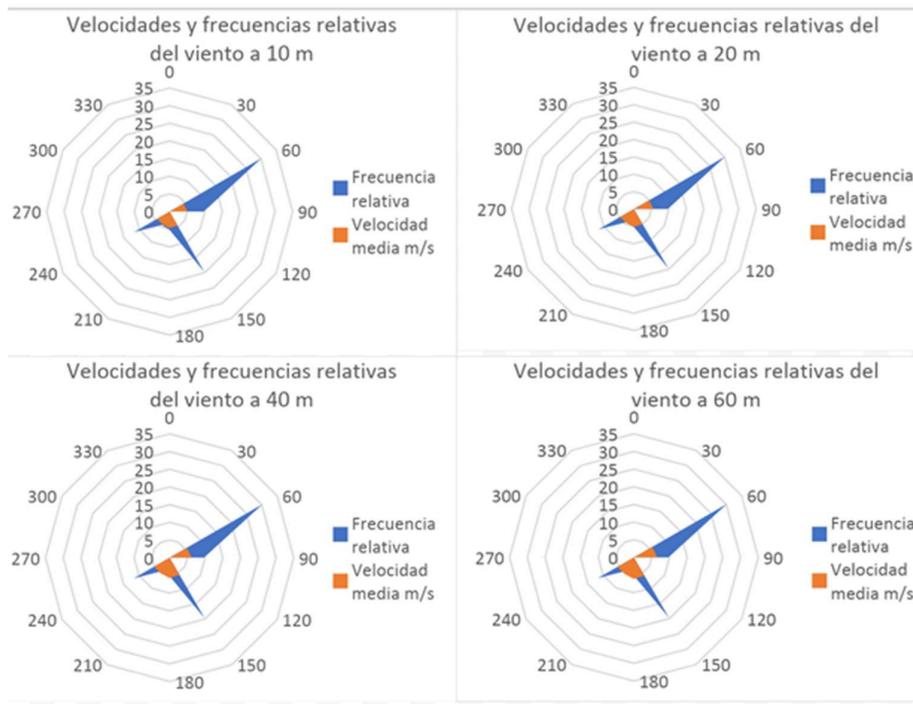


Gráfico 13: Rosas de viento (velocidad y probabilidad de ocurrencia). Fuente: elaboración propia en base a SIG Eólico y datos obtenidos de <https://es.weatherspark.com/y/28965/Clima-promedio-en-Pilar-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

En mayor detalle se observa que las máximas velocidades provienen de los sectores noreste y sudeste, siendo estas también las direcciones más frecuentes.

Al aumentar la altura, la velocidad de los vientos se incrementa. A una elevación de 10 metros los vientos soplan más frecuentemente a una velocidad que ronda los 4,5 m/s o 16,2 km/h. A partir de los 60 metros el comportamiento se mantiene invariable. Además, al considerar la distribución de frecuencias de las diferentes direcciones, se debe tomar en cuenta la utilización de equipos y estructuras de gran altura. Estos datos nos proporcionan la información requerida para analizar la difusión de gases de combustión de la antorcha o eventuales contaminantes que puedan liberarse a la atmósfera accidentalmente.

4.2.4. Conclusión estudio de clima

Los datos y rasgos de mayor relevancia en el estudio de clima, desarrollados con anterioridad, que se expone a continuación como conclusión, son:



Temperatura		Precipitación	Viento
Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Lluvia máxima registrada en 1 hora	Velocidades de vientos máximos
41°C	-2°C	130 mm	90 km/h

Tabla 20. Datos del clima - Localidad de Pilar. Elaboración propia. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional. <https://www.smn.gob.ar/>.

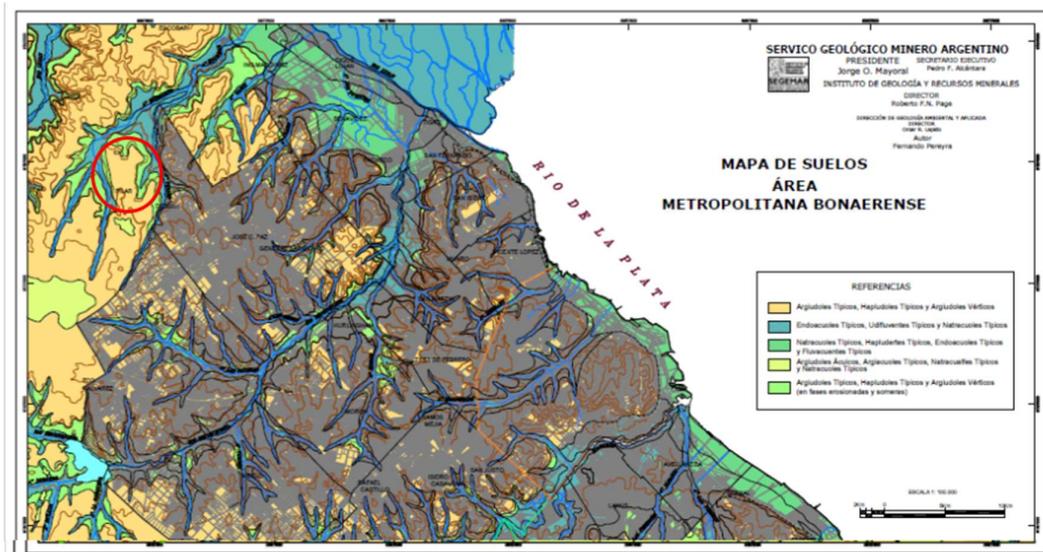
Los datos obtenidos de las temperaturas máximas y mínimas son requeridos para el transcurso del diseño de los equipos de procesos y para las actividades productivas una vez que la planta se encuentre en operación. Mientras que los datos sobre precipitación, viento e incluso los de temperatura son valores que nos permiten realizar un adecuado diseño de la ingeniería civil de la unidad, orientación de edificaciones, seguridad estructural, capacidad de desagüe pluvial y circulación integral del aire en el predio y edificios.

4.3. Estudio de suelo

El estudio de suelos se requiere para un mayor detalle de la consistencia física donde se emplaza la planta de procesos. Esto es requerido para el diseño de ingeniería civil y el desarrollo del estudio de impacto ambiental. En esta parte nos vamos a centrar sobre las características geológicas de la región y el suelo para determinar el tipo de diseño que debe tener la obra.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de Pilar contiene solamente variaciones modestas de altitud, con una altitud mínima de 4 metros, un cambio máximo de altitud de 41 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 21 metros. En un radio de 16 kilómetros también tiene solo variaciones modestas de altitud (67 metros). En un radio de 80 kilómetros también tiene solo variaciones modestas de altitud (101 metros).

Desde el punto de vista geológico los suelos son el área superficial que conforma el manto terrestre con diversas formas de clasificarlos, donde dicha clasificación depende del uso o características de interés. En nuestro caso estamos analizando la capacidad de sostener las estructuras y edificaciones, y brindar la información que requiere el diseño civil.



Mapa 3. Mapa de suelos del Área Metropolitana Bonaerense - Fuente:
<https://repositorio.segemar.gov.ar/>

Como podemos observar en la ilustración, el predio del Parque Industrial Pilar (señalado con un círculo rojo en el mapa) se encuentra emplazado en una zona de llanura alta, con un tipo de suelo más común que es el argiudol vértico. Dentro del predio, los suelos predominantes son argiudoles vérticos o vertisoles están conformados por materiales finos es decir materiales limosos y arcillosos. La característica principal de los vertisoles es la presencia de arcillas expansivas. Estos materiales en conjunto a la morfología del terreno dan lugar a presentar cambios volumétricos bruscos en presencia de factores externos provocando un aumento indiscriminado del contenido de humedad, acarreado como consecuencia movimientos subyacentes del terreno.

Ensayos realizados en campo:

- Recuperación de muestras representativas de suelo: identificación y acondicionamiento en recipientes herméticos, para conservar inalterables sus condiciones naturales de estructura y humedad
- Delimitación de la secuencia y espesores de los diferentes reconocimientos tacto visual de los suelos extraídos
- Obtención de muestras inalteradas con tubos delgadas tipo shelby

Ensayos en laboratorio:



- Contenido natural de humedad, referido al peso de suelo secado en estufa a 110°C (ASTM D 2216)
- Determinación de la fracción menos de 74 (limo+arcilla) por lavado sobre el tamiz standard N°200 (ASTM D1140)
- Clasificación del suelo por textura y plasticidad.
- Observación macroscópica de las muestras: color, textura, concreciones calcáreas, materia orgánica, etc.
- Peso de la unidad de volumen en estado natural
- Ensayo de consolidación (ASTMD 2435-90)
- Ensayo de pH en suelo en pasta e hidrolítica (norma INV E – 131 – 13)
- Ensayo de obtención de carbono orgánico Walkley-Black. Método que consiste en oxidar la materia orgánica mediante un agente oxidante (dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) agregado en exceso y en presencia de ácido sulfúrico (H₂SO₄). Oxidando la materia orgánica, para luego se valora el exceso de (K₂Cr₂O₇) mediante una sustancia reductora en presencia de un indicador

Resultados del estudio:

Los siguientes resultados se describen en el subgrupo según el sistema unificado de suelos (SUS).

Profundidad [cm]	Subgrupo (SUS)	Descripción	Detalle de plasticidad y adhesividad
0-15	ML	Color pardo grisáceo, conformado en mayor medida por limo y arcilla	Ligeramente plástico y adhesivo
15-30	ML	Color gris oscuro, conformado en mayor medida por limo y arcilla	
30-62	CL - MH	Color pardo oscuro. Conformado en mayor medida por arcillas. Estructura de prismas medios con forma angulada	Muy plástico y adhesivos
62-86	CH - ML	Color pardo. Conformado en mayor medida por arcillas y limo. Estructuras de prismas gruesos fuertes angulosos.	



86-127	ML - CL	Color pardo. Conformado por arcilla y limo. Estructura subangulares fuertes	Plástico y adhesivo
127-142	MH - ML	Color pardo. Franco arcilloso limoso. Estructura de bloques subangulares medios	Ligeramente plástico y adhesivo
142-190	ML	Color pardo claro. Franco limoso arcilloso. Estructura masiva y presencia de concreciones calcáreas	

Tabla 21. Elaboración propia. Fuente repositorio INTA.
<https://www.argentina.gob.ar/inta>.

Los ensayos en campo de reconocimiento visual de estructura, reflejan la presencia de arcillas tipo expansibles desde los horizontes desde los 30 cm hasta los 142 cm de profundidad. Este método considera que las estructuras prismáticas y angulosas que se observan en el perfil del suelo son típicas de arcillas expansibles, que forman suelos del tipo vertisol o argiudoles vérticos. A partir de la franja de 142 cm hasta los 190 cm se observa la presencia de concreciones calcáreas debido a un alto porcentaje de carbonato de calcio.

La descripción de subgrupo por el sistema unificado de suelos asocia a las siglas como:

CL: Arcilla

ML: Limo

CH: Arcilla de alta plasticidad

MH: Limo de alta plasticidad

Conclusión estudio de suelo:

La cimentación más apropiada en base al tipo de suelo, requerirá realizar una excavación en caja (vaciado), estabilizar el suelo utilizando cal (ya que la presencia de arcillas dificulta los trabajos de construcción), rellenar con tosca seleccionada y el empleo de cimentación profunda (pilotes), en cumplimiento con lo establecido con el código de edificación para el partido de Pilar. En nuestro caso la profundidad de los pilotes debe ser mayor a los 1,9 metros.



4.4. Estudio de requisitos legales (nacionales, provinciales y municipales, incluyendo los medioambientales)

Sobre la siguiente cuestión, cumplimos en explicitar de forma concreta la normativa vigente respecto al ámbito de aplicación de la temática que trata el presente trabajo.

4.4.1. Legislación nacional

- Ley General de Ambiente N°25.675. Boletín nacional, 28 de noviembre de 2002. Establece 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, ordenamiento y evaluación de impacto ambiental. Daño y fondo de Compensación Ambiental.
- Ley N°24.051: Residuos peligrosos. Boletín nacional, 17 de enero de 1992. Establece disposiciones en cuanto a generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Establece las características que definen a un residuo peligroso como tal y su clasificación.
- Ley N°25.612: Gestión integral de residuos industriales y actividades de servicios. Boletín nacional, 25 de julio de 2002. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional. Además, no se debe alterar la calidad de vida de la población ni el equilibrio de los ecosistemas, y tratar de minimizar la cantidad de residuos y los riesgos consecuentes de los mismos.
- Ley N°25.668: Régimen de gestión ambiental de aguas. Boletín nacional, 30 de diciembre de 2002. Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Para la utilización de las aguas se deberá contar con el permiso de la autoridad competente. Se debe tener en cuenta los límites máximos de contaminación de acuerdo a los distintos usos.
- Ley N°25.831: Régimen de libre acceso a la información pública ambiental. Boletín nacional, 07 de enero de 2004. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar el derecho de acceso libre y gratuito a la información ambiental en poder del estado,



el cual coopera y desarrolla procedimientos para facilitar el acceso al solicitante.

- Ley N°26.331: Protección ambiental de los bosques nativos. Boletín nacional, 26 de diciembre de 2007. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para el fomento, enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos, definiendo a estos como aquellos ecosistemas forestales naturales compuestos predominantemente por especies arbóreas nativas maduras, con diversas especies de flora y fauna asociadas, en conjunto con el medio que las rodea —suelo, subsuelo, atmósfera, clima, recursos hídricos.
- Ley N°20.248: Plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas. Boletín nacional, 16 de abril de 1973. Establece la declaración de toda fuente posible capaz de producir contaminación atmosférica a la autoridad sanitaria correspondiente, donde esta última estructura y ejecuta un programa de carácter nacional que involucra todos los aspectos relacionados con las causas, efectos, alcances, y métodos de prevención y control.
- Ley N°21.663: Convenio sobre Prevención y control de los riesgos por agentes cancerígenos. Boletín nacional, 13 de octubre de 1977. Establece el conocimiento y declaración de aquellas sustancias cancerígenas, no cancerígenas o menos nocivas a las cuales los trabajadores se encuentren expuestos durante su trabajo. Los empleados deben tener conocimiento sobre los peligros que presentan estas sustancias y contar con sistemas de seguridad adecuados. La sustancia a la cual se aplica la presente ley, en nuestro caso, es el cloruro de vinilo.
- Ley N°19.587: Higiene y seguridad en el trabajo. Boletín nacional, 28 de abril de 1972. Establece la aplicación de medidas para garantizar un área de trabajo con la higiene y seguridad adecuada. Se aplica a todo lugar destinado a la realización o donde se realicen tareas con presencia del personal correspondiente y a los depósitos y dependencias anexas de todo tipo en que las mismas deban permanecer o a los que asistan o concurren por el hecho o en ocasión del trabajo.
- Resolución SRT 861/2015 que trata sobre la Medición de Contaminantes Químicos en el Aire de un Ambiente de Trabajo. Establece un protocolo para la medición de contaminantes químicos detallando el lugar, condiciones de trabajo, tareas que se realizan, tiempo de exposición, dispositivos utilizados para la toma de muestras de aire, entre otros.



- Normativa del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) donde se gestionan las normas del mercado de PVC (Resinas de PVC. IRAM 13334 13348 13354 13355 13356).

4.4.2. Legislación provincial

- Ley N°5.965: Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Boletín provincial, 02 de diciembre de 1958. Prohíbe la deposición de efluentes residuales (sólidos, líquidos y gaseosos) a la atmósfera como también a toda fuente receptora de agua sin su previo tratamiento de depuración. El establecimiento industrial debe contar con la habilitación correspondiente, la aprobación de las instalaciones de provisión de agua y de los efluentes residuales respectivos. Las autoridades a cargo tienen el deber de inspeccionar la instalación y, de no cumplirse la ley, imponer multas a los infractores.
- Ley N°11.723: Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Boletín provincial, 06 de diciembre de 1995. Trata sobre 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.
- Decreto Reglamentario 806/97 que versa sobre Residuos Especiales, a saber, la generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos especiales generados en el ámbito territorial de la Provincia de Buenos Aires. Considerando como sustancia especial, en nuestro caso, al cloruro de vinilo.
- Ley N°11.459: Radicación Industrial. Boletín provincial, 10 de diciembre de 1993. Se aplica a toda industria instalada en la Provincia de Buenos Aires; cada una de estas debe contar con el certificado de Aptitud Ambiental para que las autoridades le otorguen las habilitaciones industriales.
- Resolución N°231/96 que trata sobre Aparatos Sometidos a Presión. Comenta que aquellos equipos sometidos a presión sin fuego serán diseñados para resistir las presiones máximas a las cuales estarán expuestos, con materiales adecuados (Norma IRAM), y deberán incluir la correspondiente placa de identificación. Además, se debe respetar la instalación de los mismos, con sus respectivas distancias a las paredes de la planta (distancia mínima 0,6 m).



4.4.3. Legislación municipal

- Código de edificación del Partido de Pilar: hace mención a las características de los edificios industriales y la correspondiente higiene y seguridad en el área laboral.
- Ordenanza 91/11 Expediente N°143/2011: Queda alcanzado por la presente Ordenanza, el Parque Industrial Pilar en toda su extensión, reconocido mediante el Decreto del Superior Gobierno de la Provincia de Buenos Aires N° 2117/78. Menciona las dimensiones mínimas de las parcelas y edificación (lugar y aspecto), características para la construcción de alcantarillas y límites de extracción de agua y construcción de pozos.

4.4.4. Conclusión estudio de requisitos legales:

No hay impedimentos legales para que podamos colocar una planta con la capacidad calculada y desarrollar una industria de fabricación de compuestos de PVC en el área elegida. Las habilitaciones requeridas en el proyecto estarán a cargo del personal del sector medioambiental.

5. ELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO - SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

5.1. Descripción de los distintos procesos posibles

En este apartado se explicará todo lo referido a la selección de la tecnología a utilizar para la producción del PVC a partir de su materia prima principal, el cloruro de vinilo. En primer lugar, se debe tener en cuenta los métodos más utilizados para el procesamiento del cloruro de vinilo, ya que con estos se podrá realizar un mejor análisis y descartar aquellos métodos que son poco utilizados debido a su complejidad, disponibilidad, etc.

5.1.1. Polimerización en suspensión

Para este proceso, la polimerización del MCV se realiza en agua, junto con aditivos, peróxidos, agentes de suspensión, geles, sales y otros químicos industriales. El monómero y el polímero se obtienen de ésta mezcla y son



insolubles en agua, entonces se obtiene una resina de suspensión. Las gotas de monómero se dispersan por medio de agitación intensa y con la ayuda de la sustancia de suspensión que controlan el tamaño de partícula del polímero. Como la reacción tiene lugar en esas pequeñas gotas, el calor de reacción se puede disipar fácilmente en el agua que le rodea, que actúa como transmisor del calor a través de las paredes del reactor hasta el agua de refrigeración de la camisa exterior.

También conocido como sistema disperso, el polímero se vuelve sólido debido a su gran peso molecular, por lo que tiende a precipitar. Un sólido disuelto o en suspensión de un líquido se denomina sistema disperso. El MCV es soluble parcialmente, ya que tiene más afinidad en las micelas formadas dentro del medio.

Este es el proceso comercialmente más empleado a nivel mundial por su gran versatilidad y factibilidad. Todas las compañías petroquímicas que iniciaron su paso por la creación de resinas de PVC desarrollaron este método primero antes que los de emulsión y masa.

5.1.2. Polimerización en emulsión

La reacción al igual que en suspensión se realiza en agua, con peróxidos solubles en ésta, pero en lugar de agregarle un agente de suspensión, se añade un emulsificante para dispersar el monómero en partículas muy pequeñas denominadas micelas que sirven como lugar para la polimerización del monómero el cual queda contenido y disperso en pequeñas gotas.

Para dar comienzo a la reacción, el iniciador debe penetrar en las micelas, donde estas van creciendo a medida que el polímero se forma. Se pueden encontrar micelas activas (reacción dentro de ellas) o inactivas. Este proceso posee alta velocidad de reacción y forma compuestos de altos pesos moleculares.

Siendo el segundo proceso de transformación de MCV más importante, el proceso de emulsión se desarrolla más en base a su mercado directo que por factibilidad en sí, ya que los productos que se consiguen con esta resina son más rentables y sofisticados.

5.1.3. Polimerización en masa

Tal vez no sea el más conocido en el mercado, principalmente países como Alemania, USA y otros de la Unión Europea lo tienen, debido a que sus productos requieren de más tecnología y sofisticación que los de emulsión, volviendo al proceso muy caro y con un mercado de productos terminados de alto diseño y calidad. A diferencia de los dos anteriores procesos aquí no se utiliza agua, éste



dura menos tiempo y da más ventajas. Las partículas no tienen la membrana exterior que se da en el proceso de suspensión, y por lo tanto mejora la absorción de plastificantes y aditivos, disminuyendo los tiempos de mezclado. Este es un producto de alta tecnología y aún no se considera como el mejor método de fabricación en los países de América Latina.

5.2. Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno

En la siguiente tabla se muestran las distintas ventajas y desventajas de los procesos mencionados anteriormente.

Proceso	Ventajas	Desventajas
Polimerización en suspensión	Reacciona todo el monómero Fácil control de temperatura La fase continua absorbe el calor producido por la polimerización.	Contaminación del polímero con agentes estabilizadores y agua Requiere agitación continua
Polimerización en emulsión	Polimerización rápida Se obtienen polímeros de alto peso molecular La fase continua absorbe el calor producido por la polimerización.	Contaminación del polímero con agentes emulsionantes y agua



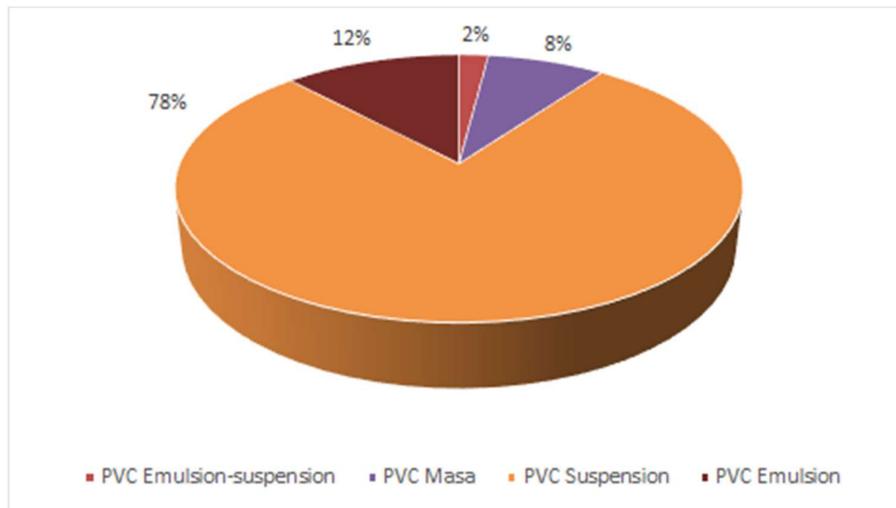
	Fácil control de temperatura	
Polimerización en masa	Elevada eficiencia volumétrica Elevada pureza del polímero	Presencia de monómero residual sin reaccionar, contamina el producto Control de proceso crítico, provoca calidad variable

Tabla 22. Ventajas y desventajas de tipos de polimerización. Fuente: Carraher Jr., C. E. (1999). *Polymer Handbook (4th ed.)*. John Wiley & Sons.

5.3. Selección del óptimo

Una vez realizada la comparación de los tres métodos, haciendo hincapié principalmente en la reacción, se determina que el proceso seleccionado para desarrollar el producto es la polimerización en suspensión, siendo el más utilizado a nivel industrial mundialmente. Los otros dos métodos no poseen mucha presencia en el mercado y es por este motivo que se descarta la elaboración de un método de ponderación para la selección de este (no tiene mucho sentido realizarlo por la amplia dominación de un método sobre el resto).

Además se puede mencionar que el cuarto método de suspensión-emulsión, es uno de los sistemas más actuales y pocas industrias son pioneras en emplear esta tecnología. Por su escaso uso es deducible que requiere de determinadas características, equipamiento y sistemas poco abundantes en el mercado y difícil de obtener.



Gráfica 14. Tipos de procesos de polimerización utilizados. Gráfica de elaboración propia.
Fuente: asociación argentina del PVC. <https://www.aapvc.org.ar/>

5.4. Patentes

Las patentes analizadas para el presente proyecto están vinculadas al proceso de reacción, donde se comparan dos métodos de difusión de los componentes de mezcla de reacción. La primera patente a evaluar se basa en el uso de microcápsulas que permiten una difusión más adecuada en el medio de reacción permitiendo que la etapa de iniciación se lleve a cabo de forma uniforme en todo el medio de reacción. La segunda patente a evaluar está vinculada al uso de agentes empleados como coloides protectores secundarios que permiten la formación de material polimérico de mayor calidad, con menor cantidad de impurezas, y obtiene un mejor grado de polimerización.

La siguiente tabla de ponderación permite evaluar de forma cualitativa diversas categorías para ambas patentes, con el fin de compararlas, para luego otorgarles una calificación numérica que varía desde 1 a 5 donde 1 es el valor más bajo otorgado y 5 la mayor calificación posible.



Categoría	Microcápsulas		Coloide protector	
	Valoración	Puntuación	Valoración	Puntuación
Capacidad instalada	Escasa	1	Abundante	4
Información	Escasa	2	Poco abundante	4
Complejidad	Muy compleja	2	Poco compleja	4
Disponibilidad de insumos	Escasa	2	Buena	3
	Total	7	Total	15

Tabla 23. Ponderación de patentes. Elaboración propia

Dentro de las categorías, el factor clave que marca una gran diferencia es la poca información y la nula capacidad instalada que caracteriza a la patente que emplea microcápsulas. Esto se debe a que es una patente desarrollada recientemente y con poca incidencia como un método industrial conocido, es decir no hay muchos procesos que incluyan dicha tecnología. Mientras que aquella patente que emplea agentes coloides protectores secundarios tiene un amplio uso en las plantas productoras de PVC de la actualidad.

Conclusión:

Luego del análisis de ponderación se ha determinado que la patente con la más alta calificación, aquella que emplea coloides protectores secundarios, es seleccionada para nuestro proyecto. Se trata de una patente europea publicada en el año 2008 con vigencia hasta el año 2025. Se identifica con el nombre ES2309824T.



5.5. Descripción del proceso elegido

El policloruro de vinilo se obtiene mediante la polimerización en cadena por apertura de dobles enlaces del monómero de cloruro de vinilo (MCV): los monómeros, que cuentan en su estructura molecular con un doble enlace entre dos de sus átomos de carbono, se activan en presencia de pequeñas concentraciones de iniciadores, de manera que esos dobles enlaces se abren y los monómeros reaccionan rápidamente entre sí, asociándose unos con otros y formando cadenas de macromoléculas. La reacción de polimerización es termodinámicamente exotérmica.

El proceso se realiza en las siguientes etapas:

- Proceso de preparación en los reactantes.
- Polimerización del cloruro de vinilo.
- El reaprovechamiento del agua.
- El tratamiento de los efluentes y emisiones.

Una vez obtenido el monómero del proceso previo, éste es almacenado en tanques hasta que los reactores de polimerización estén listos.

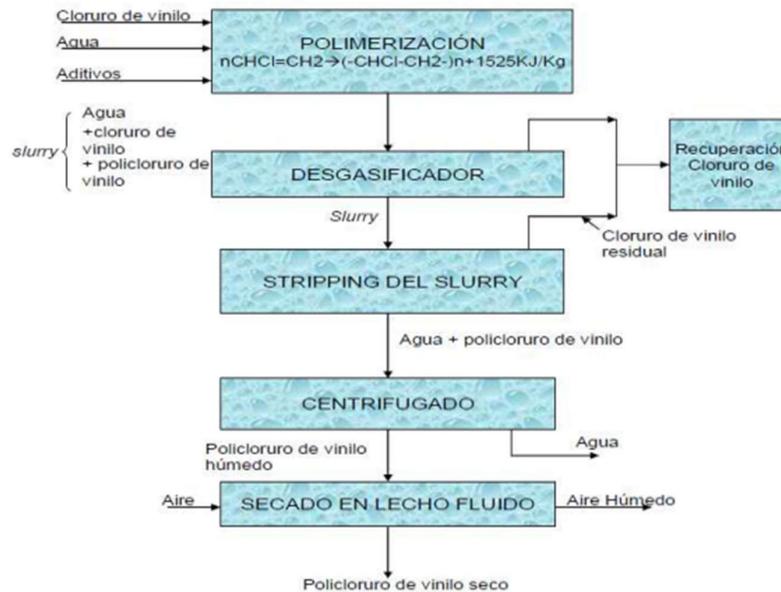


Figura 9. Diagrama de bloques - Producción de PVC. Fuente: Guía MTD en España del sector de DCE, CVM y PVC.



5.5.1. Reacción

El proceso de polimerización en suspensión del MCV se realiza en medio acuoso en un reactor discontinuo, agitado, de tipo autoclave y que dispone de un sistema de refrigeración con agua en serpentines para evacuar el calor de reacción. Se debe controlar la temperatura ya que la cinética de la reacción, y en definitiva la producción, dependen de esta. En términos técnicos la operación se lleva a cabo en un medio heterogéneo, siendo una emulsión compuesta por dos fases líquidas inmiscibles, que al cabo del tiempo debido al peso molecular del polímero este mismo se vuelve un sistema de dispersión. A medida que avanza el sistema podemos definir un sistema homogéneo compuesto por la fase acuosa, la fase del monómero y la fase del polímero que decanta como un sólido.

El MCV es dispersado en el agua por medio de agentes dispersantes, agentes de suspensión primarios, agentes de suspensión secundarios y modificadores los cuales controlan el peso y la porosidad de la resina de PVC que se obtendrá posteriormente, además de mantener estable el sistema de dispersión donde se lleva a cabo la reacción y agitación. Como el iniciador de la reacción es soluble en el monómero, la polimerización se realiza en cada gota de cloruro de vinilo y el producto obtenido es una suspensión de policloruro de vinilo.

Las condiciones de trabajo en esta etapa son una temperatura de 53°C y una presión de 9kg/cm². El grado de conversión del MCV a policloruro de vinilo oscila entre el 75% y el 90%, siendo la selección en este proyecto de una conversión de 85%.

5.5.2. Desgasificación

Una vez finalizada la etapa de polimerización, se realiza un proceso de desgasificación donde el MCV no transformado es desgasado y enviado a una unidad de recuperación. Del equipo se obtienen dos corrientes: una corriente para separar el cloruro de vinilo que no se ha transformado (MCV residual), el cual se envía a la unidad de recuperación de dicha sustancia; mientras que la otra contiene una suspensión o slurry, que es una mezcla compuesta por el PVC que se ha formado en la polimerización, agua y el resto de MCV que no se haya extraído en la primera corriente.

Se considera debido a la tecnología necesaria que el único compuesto que debe ser extraído del slurry es MCV sin reaccionar.

5.5.3. Stripping



La siguiente fase en el proceso de producción de PVC es la de stripping donde el cloruro de vinilo residual que aún queda en el slurry es separado de la resina de policloruro de vinilo mediante stripping con vapor (también puede hacerse a vacío) y enviado asimismo a la unidad de recuperación de MCV. Por el fondo del stripper sale una corriente con el slurry resultante, que es una combinación de policloruro de vinilo y agua y se almacena en un depósito intermedio.

5.5.4. Centrifugado

Mediante el uso de una centrifugadora, la resina de polímero se separa del agua y se produce una torta húmeda de PVC, con un contenido de humedad del 20 al 33% (la cual depende del grado de la resina). Este PVC húmedo pasa a la sección de secado, mientras que el agua retirada se recicla o se trata en la unidad de tratamiento de efluentes. La suspensión separada se suele deshidratar al máximo con procesos mecánicos para reducir el consumo de energía del secado.

5.5.5. Secado

La operación de secado del policloruro de vinilo húmedo se lleva a cabo en un ciclón con aire caliente: por un lado, se alimenta la torta húmeda de PVC procedente de la centrifugación y por el otro entra aire, que se precalienta previamente en un intercambiador con vapor. Luego de esto se lo decanta a una unidad de lecho fluidizado, el cual emplea corrientes de aire caliente para poder obtener PVC en polvo. La humedad del PVC resultante seco es de 0,2-0,3%.

5.5.6. Acondicionamiento del producto y tamizado

El producto resultante circula mediante transporte neumático a la unidad de peletizado y envasado. El peletizado consiste en calentar y comprimir el material en forma de un gránulo o "pellet", para así facilitar y mejorar su procesamiento o moldeo final que derivará en nuevos productos plásticos. Una vez formado los pellet, son tamizados, para un control de calidad de tamaño de pellets adecuado. Luego, para el envasado, se dará uso a bolsas de PET donde cada una de las mismas tendrá una capacidad de 50 kg de pellet.

5.5.7. Sistema de recuperación de MCV

Es un sistema paralelo a la línea principal, encargado de recibir los gases desprendidos del tanque de soplado y de la columna de stripping. Este último equipo es el encargado de separar en mayor proporción el cloruro de vinilo que no ha reaccionado previo a que el PVC sea enviado el proceso de secado. Está constituida por una columna con platos perforados en el que la pasta de PVC ingresa por el tope y una corriente de vapor ingresa por debajo, extrayendo por el tope una corriente de gas en su mayor proporción monómero y por debajo la



pasta de PVC libre de monómero sin reaccionar. Se asume que el gas que sale por el tope de la columna tiene una gran composición del monómero, para evitar el ingreso de agua, inyectada en la columna como vapor, al sistema de recuperación se coloca un intercambiador que eleva la temperatura a 38 grados permitiendo separar por una destilación flash el agua en estado líquido y el monómero en forma de gas. El agua residual es enviada a planta para su disposición final.

Los siguientes equipos se encargan de colocar al monómero en las condiciones necesarias para ser enviado al reactor como monómero recuperado. Este monómero recuperado se obtiene cuando el monómero extraído en la columna de stripping y el tanque de soplado, es comprimido y condensado a las condiciones adecuadas del proceso. Para finalizar se consideran aspectos de seguridad debido a la toxicidad del monómero, colocando una columna de absorción que emplea una solución de sosa caustica y una desorbedora para regenerar la solución absorbidora. Este último equipo de seguridad permite mantener la integridad de seguridad en el caso de la aparición de fallas, accidentes, incidentes u otra eventualidad.

6. DISEÑO BASICO

6.1 Determinación de las bases de balances de materia y energía:

La principal materia prima será comprada a DAK-Pilar, la cual será recibida a la planta mediante ducto. El agua desmineralizada se obtiene a partir de agua de servicio comprada al propio parque industrial. Los aditivos serán suministrados por los proveedores mencionados en la tabla 18 (pag.50).

El vapor de baja y el agua de enfriamiento serán comprados al parque industrial, La energía eléctrica será comprada al mercado mayorista y será recibida en la subestación transformadora

El gas natural será comprado a MetroGAS y existe una red de gas interna en el parque industrial

6.2. Límite de batería

El MCV, será recibido por ducto desde el predio de DAK-Pilar SA contiguo a nuestra empresa., donde ingresa una corriente líquida con una composición en peso de 70% MCV y 30% acetileno y un flujo másico de 6320 kg/h. La temperatura de ingreso es 38°C y una presión de ingreso de 20 kg/cm².



Se devuelve como subproducto una corriente líquida de acetileno al 99% de acetileno con un flujo másico de 1.896 kg/h, una temperatura de 2 °C y 29 kg/cm² de Presión.

En la sección S-100, las corrientes auxiliares principalmente usadas corresponden a vapor de baja que ingresa a una presión de 1,5 kg/cm² y una temperatura de 150°C. La devolución de las mismas corrientes son en forma de vapor al límite de saturación, es decir a 110°C y la presiones varían en cada línea teniendo pero la presión media de devolución buscada es de 1,2 kg/cm². El flujo total de vapor es 16.231 kg/h.

El agua de enfriamiento es recibida a la planta por los servicios auxiliares del parque industrial, a una presión de 3 kg/cm² y una temperatura máxima de 29°C según la estación del año. Se reciben en flujo másico 81.639 kg/h. La devolución de la misma es a 2 kg/cm² de presión y 45 °C de temperatura.

Dentro de la sección S-100 se cuenta con un sistema de refrigeración de propano, que es empleado como fluido refrigerante en el condensador de tope de la torre T-101.

El slurry es enviado desde la sección S-100 hasta la sección S-200. La pasta se encuentra a 2,5 kg/cm² de presión y a una temperatura de 45°C. Mientras que el producto final será un sólido granular en forma de "pellets" embolsado que se encuentra a temperatura ambiente. El flujo másico es de 11.071 kg/h.

Dentro de la misma sección se encuentra un soplante que mueve 280 kg/h aire en condiciones atmosféricas y se emplea en los procesos de fluidización y en el secado del slurry. Los mismos se ventean una vez hayan sido usados, previo acondicionamiento en ciclones.

6.3. Balance de materia y energía:

A continuación tendremos una serie de cuadros de balances que nos permite visualizar la cantidad de materia prima consumida y productos generados.

Proporción de insumos y materia prima para la reacción			
Selectividad		96,00%	
Conversión		85,00%	
Producto	Sustancia	Partes	Masa [Kg]
KRA-MCV	CVM total	100	415,80
	CVM virgen	85	370,06
	CVM recuperado	15	45,55
	Agua	120	498,96
(Alcotex 75)	Agente de suspensión	0,1	0,42
Peroxiken	Iniciador	0,04	0,17
Sales Ca/Zn	Estabilizante	0,09	0,37

Tabla 24. Elaboración propia. Fuente: Saeki, Y., & Emura, T. (2002). "Technical progresses for PVC production". Progress in Polymer Science, 27, 2055–2131.



El balance de materia resultado se deja explícita en la siguiente tabla:

Balance general de la planta masa simplificado				
Materia	Entrada [tn/día]	Salida [tn/día]	Entrada [tn/año]	Salida [tn/año]
MCV Total	124,777		41176,471	
Cloruro de Vinilo	106,061		35000,000	
MCV (recuperado)	18,717		6176,471	
Agua Demi	148,235		48917,647	
Agente de susp.	0,124	0,124	40,765	
Iniciador	0,049	0,049	16,306	
Estabilizante	0,111		36,688	
Acetileno	45,455	45,455	15000,000	15000,000
PVC		106,172		35036,688

Tabla 25. Elaboración propia

6.3.1 Balance de materia y energía:

Tabla 26. Balance de materia y energía sección S-100. Elaboración propia

Tabla 27. Balance de materia y energía sección S-200. Elaboración propia

6.4. PFD

A continuación se presentan los correspondientes PFD para cada sección de las plantas, correspondiendo al PFD de la sección S-100 (dibujo 1) y el PFD de la sección S-200 (dibujo 2).

6.5. Diseño de equipos:

- Tanque de agua desmineralizada Tk-301
- Bomba "Booster" de la bomba P-102
- Intercambiador de calor E-104
- Torre de destilación T-101
- Acumulador de reflujo F-101
- Reactor de polimerización R-101
- Compresor de MCV C-101



6.5.1 Diseño tanque Tk-101

El tanque Tk-101 A y B funcionará como tanque de almacenamiento de uno de nuestros insumos principales, en este caso será el agua desmineralizada. La misma será recibida por cañería.

El material utilizado para su fabricación estructural será acero al carbono SA-515 Gr 70, y para el diseño del tanque se usará la norma API 650 y el código ASME, Sección VIII, División 1.

Se define una capacidad de almacenamiento de 4 días repartidos en 2 tanques.

Cálculo del Volumen del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada:

El caudal de agua desmineralizada es de:

$$Q = 6,176 \frac{m^3}{h}$$

El volumen de almacenamiento de insumo será:

$$V = Q \times \tau_{res} = 6,176 \frac{m^3}{h} \times \frac{24 h}{1 día} \times 4 días = 592,941 m^3$$

Por lo que, el volumen de cada tanque de almacenamiento será:

$$V_{tk} = \frac{V}{2} = \frac{592,941 m^3}{2} = 296,47 m^3$$

Según los criterios de la norma, los tanques con una relación D/H > 1,33 son más estables por lo que no requieren de anclajes, mientras que para una relación D/H < 1,33 pueden requerir anclajes, generando un mayor costo de construcción y montaje.

Cálculo del Diámetro y la Altura del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada:

Para empezar, se seleccionará una relación Diámetro-Altura igual a 1.25, entonces:

$$\frac{D}{h} = 1,25$$

Teniendo en cuenta que el tanque será como un cilindro vertical, se puede despejar y obtener el diámetro del mismo partiendo de la fórmula de volumen.



$$V_{tk} = \pi r^2 h = \frac{\pi D^2 h}{4}$$
$$D = \sqrt[3]{\frac{1,25 \times 4 \times V_{tk}}{\pi}}$$
$$D = \sqrt[3]{\frac{1,25 \times 4 \times 296,47 m^3}{\pi}}$$
$$D = 7,78 m$$

De la relación Diámetro-Altura, despejamos la altura:

$$h = \frac{D}{1,25} = \frac{7,78 m}{1,25}$$
$$h = 6,23 m$$

Cálculo del espesor del recipiente (t):

Se utiliza la norma ASME sección VIII

$$t = c + \frac{P R_{tk}}{S E - 0,6 P}$$

Donde:

- R_{tk} = radio del tanque
- P = presión de diseño
- S = tensión máxima admisible del material
- c = espesor por corrosión
- E = eficiencia de soldadura

Para calcular la presión de diseño se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = 1,1 \times (P_0 + P_H)$$

Donde:

- P_0 = presión manométrica del recipiente
- P_H = presión hidrostática del líquido

$$P_H = \rho_{liq} \times g \times h_{liq}$$

Donde:

- ρ_{liq} = densidad del líquido
- g = aceleración de la gravedad
- h_{liq} = altura del líquido



$$P_H = 997 \frac{Kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{seg} \times 6,228 m$$

$$P_H = 70621,89 Pa = 0,7203 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P_0 = 1,033 \frac{Kg}{cm^2}$$

Reemplazando, nos queda que la presión de diseño será:

$$P = 1,1 \times \left(1,033 \frac{Kg}{cm^2} + 0,7203 \frac{Kg}{cm^2} \right)$$

$$P = 1,928 \frac{Kg}{cm^2}$$

La tensión máxima admisible de acero al carbono SA-515 Gr 70 es de:

$$S = 1230,37 \frac{Kg}{cm^2}$$

La eficiencia de la junta en las soldaduras es del 85% (valor recomendado por el código para recipientes sometidos a presión con estas características de operación y materiales).

$$E = 0,85$$

Para este recipiente, el espesor de corrosión será igual a 1,6 mm.

$$c = 1,6 mm$$

Reemplazando todos los valores antes mencionados, se tiene que el espesor del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada será:

$$t = 1,6 mm + \frac{1,928 \frac{Kg}{cm^2} \times 3890 mm}{\left(1230,37 \frac{Kg}{cm^2} \times 0,85 \right) - \left(0,6 \times 1,928 \frac{Kg}{cm^2} \right)}$$
$$t = 8,779 mm$$

Para los cabezales se seleccionaron tapas cónicas y en el fondo se usa la misma configuración geométrica cónica, ya que puede haber acumulación de sólidos.

Para calcular el espesor de las tapas cónicas, se utilizará un ángulo de 20° con que se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$t = c + \frac{P R_{tk}}{(SE - 0,6P) \times \text{Cos}(\alpha)}$$



$$t = 1,6 \text{ mm} + \frac{1,928 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 3890 \text{ mm}}{\left[\left(1230,37 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 0,85 \right) - \left(0,6 \times 1,928 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) \right] \times \text{Cos} \left(\frac{20}{180} \pi \right)}$$
$$t = 9,240 \text{ mm}$$

Se seleccionará entonces un espesor de chapa para la construcción de nuestro tanque de 9,24 mm.

Se utilizarán tanques de techo cónico auto soportado para reducir o anular la cámara de aire o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo. De esta forma se proporciona un medio aislante para la superficie del líquido, se reduce la velocidad de transferencia de calor al insumo almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta.

Todos los tanques de almacenamiento deberán estar provistos de boquillas, las que a continuación se enlistan como las mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento.

1. Entrada (s) de producto (s).
2. Salida (s) de producto (s).
3. Drene (con o sin sumidero).
4. Venteo (s).
5. Entrada (s) de hombre.
6. Conexiones para indicador y/o control de nivel.

La alimentación al tanque se hará por la parte superior y su despacho por la parte inferior. Además, los tanques de almacenamiento contarán, por lo menos con una entrada hombre en el cuerpo o en el techo con la finalidad de poder realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque.

Adicionalmente se puede contar con indicadores de temperatura e indicadores de nivel de agua.

Cálculo del fondo del recipiente:

La fabricación de los fondos del tanque se utiliza placas de acero de menor espesor en comparación al que es usado en el cuerpo. Esto se puede llevar a cabo ya que se cuenta con un soporte de concreto, arena o asfalto; los cuales soportan el peso de la columna de líquido.

Para poder tener una referencia y determinar el espesor mínimo del fondo se tiene el siguiente cuadro obtenido la norma API-650.



Espesor Mínimo (mm) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (Kg/cm ²)			
	<1989	<2109	<2320	<2530
t < 19.05	6.35	6.35	7.14	8.73
09.05 < 25.4	6.35	7.14	9.52	11.11
25.4 < 31.75	6.35	8.73	11.91	14.28
31.75 < 38.10	7.93	11.11	14.28	17.46
38.10 < 44.45	8.73	12.7	15.87	19.05

Tabla 28. Elaboración propia. Fuente normas API-650

Teniendo en cuenta la tensión máxima del material y el espesor calculado anteriormente, se seleccionó un espesor de fondo de 6.35 mm.

Cálculo de la altura del techo del recipiente:

Para calcular la altura del cabezal se utiliza la siguiente fórmula;

$$h_{\text{cabezal}} = \frac{\text{sen} \alpha \times R}{\text{cos} \alpha}$$
$$h_{\text{cabezal}} = 1.41 \text{ m}$$

Cálculo de la altura total del recipiente:

La altura total del tanque será igual a la suma de la altura del cuerpo calculada inicialmente más la altura para la cámara de desenganche de gases (1 m), más la altura de la parte inferior donde se van a encontrar los barrotes. Por lo tanto la altura total del tanque quedaría como sigue:

$$h_{\text{total Tk}} = h_{\text{Tk}} + h_{\text{cabezal}} + h_{\text{fondo}} + h_{\text{desenganche}}$$
$$h_{\text{total Tk}} = 6.23 \text{ m} + 1.41 \text{ m} + 1 \text{ m} + 1 \text{ m}$$
$$h_{\text{total Tk}} = 9.64 \text{ m}$$

Drenado y sumidero:

Los tanques de almacenamiento también deberán contar con una boquilla por lo menos para el drenado de lodos, la cual podrá estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque.

Finalmente en la siguiente gráfica se puede observar el tanque Tk-101:

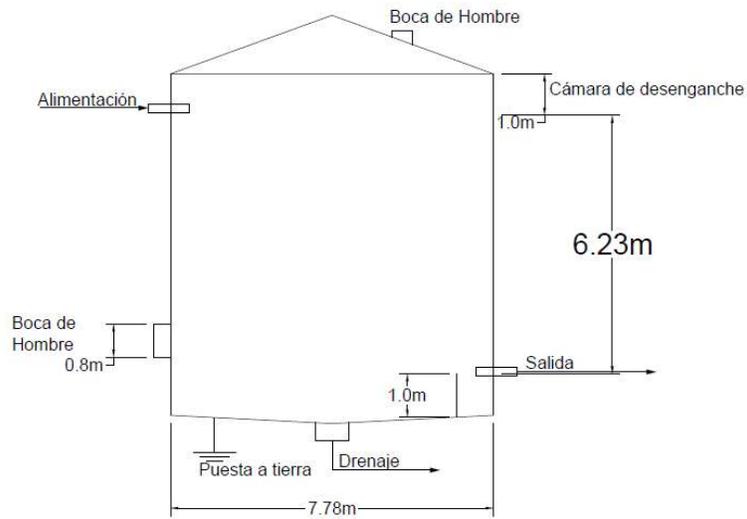


Figura 10. Diagrama de tanque. Fuente elaboración propia

6.5.1.1 Hoja de especificación:



UTN - FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DESMINERALIZADA	INTEGRACIÓN V PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Tanque atmosférico de insumo		
UNIDAD: Tk-101		
SERVICIO: Almacenamiento de Agua Desmineralizada		
DATOS DE OPERACIÓN		
CAUDAL	m^3/h	6.176
TEMPERATURA	$^{\circ}C$	AMBIENTE
PRESIÓN	kg/cm^2	1.033
VOLUMEN	m^3	296,47
DATOS CONSTRUCTIVOS		
TIPO	TECHO FIJO AUTOSOPORTADO	
MATERIAL	SA-515 Gr 70	
ALTURA DEL LIQUIDO	m	6,23
ALTURA DEL TANQUE	m	9,63
DIÁMETRO	m	7,78
ESPESOR TANQUE	mm	8.779
ESPESOR TECHO	mm	9.240
GEOMETRÍA TANQUE	Cilíndrica	
GEOMETRÍA TECHO	Cónica	
ESQUEMA		



6.5.2 Diseño de bomba “Booster” para P-102

En este apartado se muestra el diseño del sistema de transporte del agua desmineralizada, desde el tanque de almacenamiento hasta la bomba P-102, ubicada en la sección 100 de producción.

6.5.2.1. Memoria de cálculo e isométrico

Para realizar el diseño de la bomba Booster, es requerido considerar primero las propiedades de la corriente “7”

Corriente "7" Parámetros de fluido			
Fluido		Agua desmineralizada	
Fracción de liquido	XL	1	
Temperatura de diseño		29	°C
Presión de tanque	Ptk	1,033	kg/cm ³
Presión final de la línea de transporte	P2	1,3	kg/cm ³
Densidad	ρ	995,7	kg/m ³
		62,111	lb/ft ³
Caudal másico	m	6180	kg/h
		3,78	lb/s
Caudal volumétrico	Q	6,21	m ³ /h
		0,061	Ft ³ /s
Viscosidad dinámica	μ	0,821	cP
		0,000821	Pa S

Tabla 29. Elaboración propia

Para fines de cálculos se divide al sistema de transporte en la zona de succión (Z_s) y de descarga de la bomba (Z_D). Esquematizamos el sistema de forma simplista con la siguiente figura

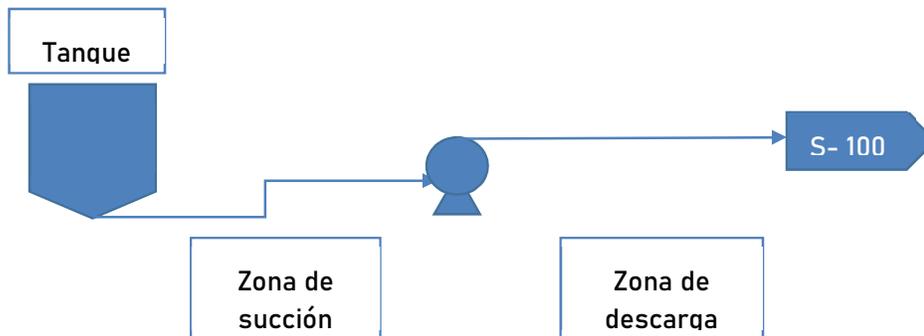


Figura 11. Elaboración propia. Esquema de distribución de zonas

Para seleccionar la bomba es imprescindible conocer la pérdida de carga del fluido circulante en la tubería, dicha pérdida de carga se calcula en función de la característica de la rugosidad de la tubería, geometría, accesorios, longitud y diámetro interno de tubería. Empleando como literatura de referencia operaciones unitarias - McCabe-Thieller, se obtienen las ecuaciones necesarias para el cálculo de la velocidad óptima y del diámetro adecuado según dicha velocidad.

Se calcula la velocidad óptima del fluido según el flujo másico y sus características de densidad, como:

$$V_{opt} = 12 (m)^{0,1} / (\rho)^{0,36}$$

Donde:

V_{opt} = velocidad óptima del fluido [ft/s]

m = flujo másico [lb/s]

ρ = Densidad [lb/ft³]

$$V_{opt} = 3,1 \text{ ft/s} = 0,942 \text{ m/s}$$

Con la velocidad óptima y el caudal de materia circulante se calcula el diámetro adecuado, conocido como D_c .

$$D_c = (4 q / \pi V_{opt})^{0,5}$$

Donde:

q = es caudal volumétrico [ft³/s]

V_{opt} = Velocidad óptima del fluido [ft/s]



$$D_c = 0,158 \text{ ft} = 1,897 \text{ in} = 48,19 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro de tubería adecuada en función de la cantidad de materia prima a transportar, debemos buscar el mejor ajuste según los diámetros de tuberías del mercado. Antes que la selección de diámetros nominales, hemos seleccionado el material de la tubería, en este caso la selección se opta por tuberías de PVC. Ya que el material de PVC se ajusta adecuadamente las características corrosivas del fluido, agua desmineralizada.

A partir de la tabla de especificaciones de tuberías de PVC normalizadas,

DIÁMETROS NORMALIZADOS (NOMINAL E INTERIOR) PARA TUBERÍAS
DE PVC

DN (mm)	DI (mm)			
	4 atm	6 atm	10 atm	16 atm
16	-	-	-	13,6
20	-	17,5	-	17
25	22,6	22,6	22	21,2
32	29,6	29,2	28,4	27,2
40	37,2	36,4	36	34
50	47,2	46,4	45,2	42,6
63	59,4	59,2	57	53,6
75	71,4	70,6	67,8	63,8

Figura 12. Fuente: <https://blog.agrologica.es/tabla-diametros-normalizados-interior-y-exterior-para-tuberias-de-pvc-segun-la-presion-riego/>

Características tuberías de PVC			
Diámetro nominal	Dn	1,97	In
		50,00	Mm
Diámetro interno	Dint	1,86	In
		47,20	Mm
Diámetro externo	Dext	2,01	In
		51,11	Mm
Espesor	Sch	0,154	In
		3,91	Mm
Área interna	Ai	0,452	In ²
		1749,74	mm ²
Rugosidad absoluta	ε	636	In
		0,0015	Mm

Tabla 30. Elaboración propia



Una vez determinado el valor real del diámetro de las tuberías comerciales de PVC que se emplearán en el sistema de bombeo, se calcula nuevamente la velocidad del fluido considerando en este caso el diámetro interno de la tubería comercial:

$$\langle V \rangle = Q/A_{int} = 3,23 \text{ ft/s} = 0,983 \text{ m/s}$$

La pérdida de carga dentro del sistema se puede clasificar en dos tipos, aquellas producidas por tramos rectos y las localizadas, estas últimas son provocadas por la presencia de accesorios.

Para el cálculo de pérdida de carga para tuberías se emplea la ecuación de Fanning, literatura de referencia Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, Mc Cabe - Julián C. Smith - Peter Harriott. Esta ecuación relaciona la pérdida de carga de energía producida por la fricción en una cañería (E_v) es función de un factor de fricción de Fanning, su dimensión (largo y diámetro) y la velocidad circundante del fluido. Esta expresión se calcula como:

$$E_v = 4 f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2}$$

Donde:

E_v = pérdida de energética mecánica por fricción específica [J/kg]

L = longitud [m]

D = diámetro interno [m]

V = velocidad media [m/s]

f = coeficiente de fricción

En el primer caso se debe determinar el coeficiente fricción $f_{(Re, \frac{\epsilon}{D})}$, este mismo será función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

El número de Reynolds es un parámetro adimensional, que relaciona la velocidad de flujo con su resistencia al escurrimiento. Este se calcula como:

$$Re = \frac{\rho \langle V \rangle D_{int}}{\mu}$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds

ρ = Densidad [kg/m³]

$\langle V \rangle$ = Velocidad media de flujo [m/s]



D_{int} = Diámetro interno [m]

μ = Viscosidad dinámica [Pa s]

Para este sistema el flujo tiene un número de Reynolds de:

$$Re = \frac{\rho \langle V \rangle D_{int}}{\mu} = 56248$$

Un número de Reynolds de 56200 al ser mayor a 2000, es considerado un flujo turbulento.

En cuanto al coeficiente de fricción relativa se calcula en base a la relación del diámetro de la tubería con el coeficiente de rugosidad absoluta (ε)

$$\frac{\varepsilon}{D_{int}} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{47,2 \text{ mm}} = 3,17 \times 10^{-5}$$

A partir de estos obtenemos en función al diagrama de Moody, empleado para obtener valores de coeficientes de fricción de Fanning $f_{(Re; \frac{\varepsilon}{D})}$ a partir del tipo de flujo y el coeficiente de rugosidad relativo:

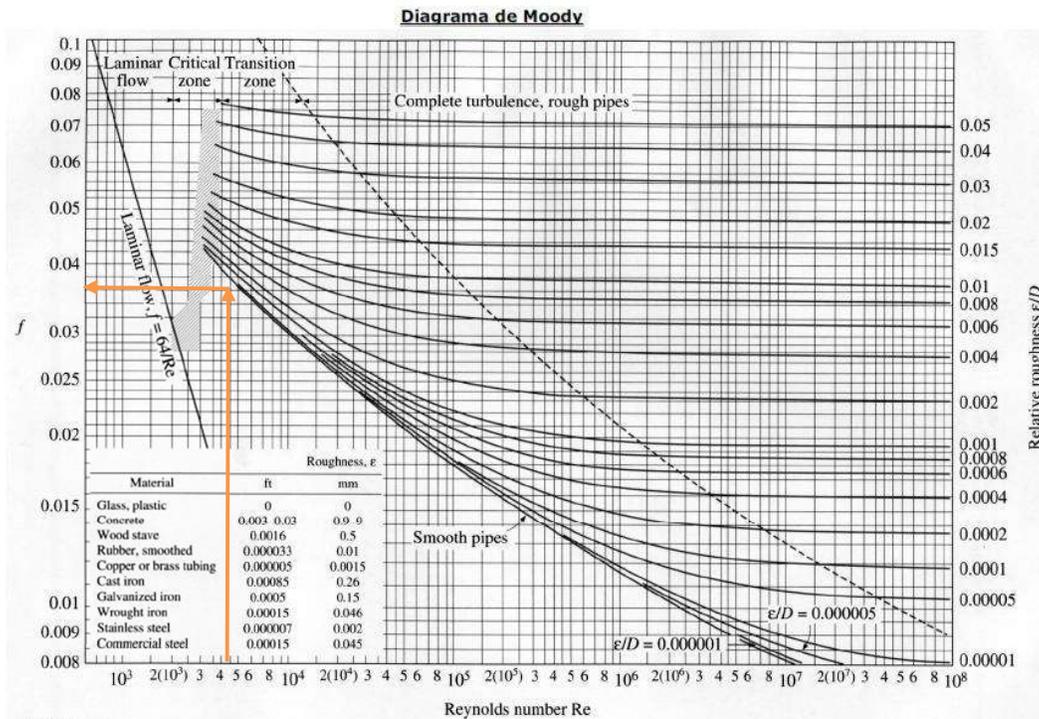


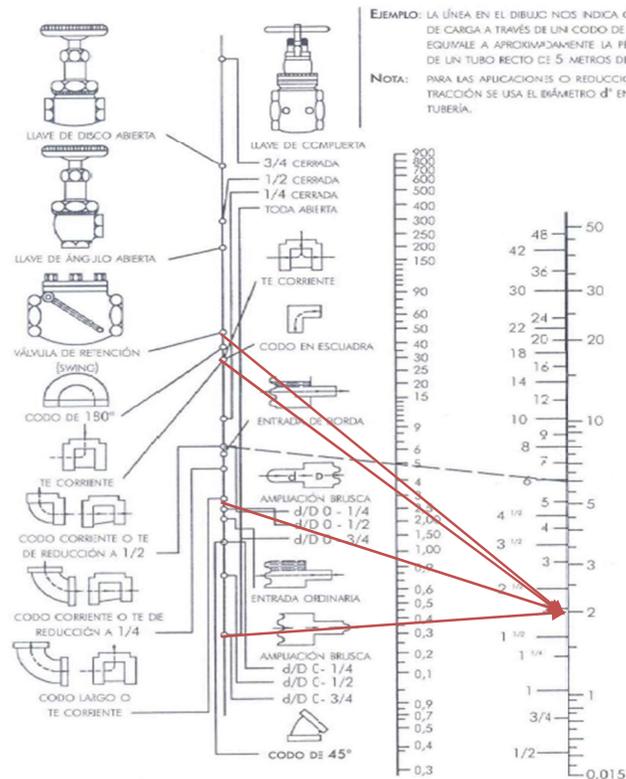
Figura 13. Fuente: <https://fisica.laguia2000.com/wp-content/uploads/2011/08/Moody3.jpg>

$$\text{En este caso } f_{(56200; 3,17 \times 10^{-5})} = 0.37$$

Las pérdidas de cargas generadas por los accesorios del sistema de transporte también llamadas pérdidas de carga localizadas, se especifican a partir de la consideración de la longitud equivalente. Es decir se busca la longitud equivalente de un tramo recto de tubería que aportaría las mismas perdidas de fricción que lo haría dicho accesorio. Para encontrar los valores correspondientes de longitud equivalente de los accesorios, se emplea el siguiente nomograma capaz de relacionar la longitud equivalente (L_e) según el diámetro interno del accesorio y su clase. La cantidad y tipo de accesorios se obtiene en base al Isométrico adjunto.



PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LLAVES Y PIEZAS ACCESORIAS



RESISTENCIA DE LAS VÁLVULAS Y PIEZAS ACCESORIAS AL FLUJO DE LÍQUIDOS

NOTA: LAS PÉRDIDAS DE CARGA A TRAVÉS DE LLAVES VARÍAN CON EL TIPO DE FABRICACIÓN.
CONSULTAR LOS CATÁLOGOS DE FABRICACIÓN PARA LA CORRECCIÓN CORRESPONDIENTE.

Figura 14. Nomograma de accesorios. Fuente: https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/wp-content/uploads/2011/10/Nomograma_LongEquivalente.zip

Zona de succión:

Adjuntando todas las consideraciones constructivas en la siguiente tabla contabilizando la cantidad de accesorio y su longitud equivalente junto con la longitud real de tramo recto, procedemos a calcular las perdidas energéticas empleando la ecuación de Fanning.



Zona de succión			
Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente [m]	
		C/u	Total
Válvula esclusa	2	0,36	0,72
Codo 45°	2	0,75	1,5
Codo 90°	1	0,99	0,99
Te estándar	1	3,5	3,5
Tramos rectos	-		1,82
Longitud total			8,53

Tabla 31. Fuente elaboración propia

La energía por pérdida de carga de fricción de la zona de succión será:

$$E_{v_{succión}} = 4 f \frac{L_{tot}}{D_{int}} \frac{V^2}{2} = 12,56 \text{ J/kg}$$

Planteando un balance mecánico del fluido a partir de la ecuación de Bernoulli tomando en consideración un sistema de transporte isotérmico y un fluido incompresible. Se valora el cambio energético mecánico dentro de la cañería en el punto desde que sale del tanque (Tk-101) y el punto de la tubería donde el líquido ingresa en la bomba Booster. Se plantea:

$$g \rho z_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + P_1 = E_v \rho + g \rho z_s + \frac{1}{2} \rho V_s^2 + P_s$$

Donde:

z= posición con respecto a un referente [m]

ρ = Densidad [kg/m³]

g =Aceleración gravitatoria [9,8 m/s²]

V= velocidad media del fluido [m/s]

P= presión absoluta [Pa]

E_v= pérdida de carga energética por fricción [J/kg]

Trabajando con dicha ecuación y tomando las consideraciones de que la velocidad en ambos puntos se mantiene constante, la presión P1 como la más desfavorable (tanque con escasa cantidad de materia) es decir presión de 2 kg/cm² (196131 Pa). Trabajando con toda esta consideración se obtiene que:



$$P_s = [g(z_1 - z_s) - Ev]\rho + P_1$$

$$P_s = \left[9,8 \frac{m}{s^2} (0,9 m) - 12,56 \frac{j}{kg}\right] 995,7 \frac{kg}{m^3} + 196131 Pa = 192407,08 Pa$$

Zona de descarga:

Aplicando las mismas consideraciones para el cálculo de pérdida energética por fricción y mediante los datos correspondientes a la sección de descarga, donde esta involucra tanto la suma de accesorios como los tramos de línea recta. EL circuito que las tuberías logran son a través del predio de tanques a la salida de la bomba, pasando el muro de contención, atravesando la vereda y luego las calles correspondientes a través de un parral de tuberías y culminando en la planta de procesos. Contabilizando el tramo se obtiene que:

Zona de descarga			
Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente [m]	
		c/u	Total
Válvula esclusa	1	0,36	0,36
Codo 90°	9	0,99	8,91
Te estándar	1	3,5	3,5
Válvula de retención (swing)	1		4,9
Tramos rectos	-		32,69
Total			50,36

Tabla 32. Fuente: Elaboración propia

La energía por pérdida de carga de fricción de la zona de succión será:

$$E_{v_{descarga}} = 4 f \frac{L_{tot}}{D_{int}} \frac{V^2}{2} = 74,17 J/kg$$

Planteando un balance mecánico del fluido a partir de la ecuación de Bernoulli, valorando el cambio energético dentro de la cañería en el punto desde que sale de la bomba Booster y el punto de la tubería donde el líquido ingresa en la válvula previa a la bomba P-102 (A/B). Se plantea:

$$g \rho z_D + \frac{1}{2} \rho V_D^2 + P_D = g \rho z_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + P_2 + Ev \rho$$

Donde:

z= posición con respecto a un referente [m]



ρ = Densidad [kg/m³]

g =Aceleración gravitatoria [9,8 m/s²]

V = velocidad media del fluido [m/s]

P = presión absoluta [Pa]

Ev = pérdida de carga energética por fricción [J/kg]

Trabajando con dicha ecuación y tomando las consideraciones de que la velocidad en ambos puntos se mantiene constante, la presión P_2 se considera como 1,6 kg/cm². Con estas consideraciones se obtiene que:

$$P_D = [g(z_2 - z_D) + Ev]\rho + P_2$$
$$P_D = \left[9,8 \frac{m}{s^2} (0m) + 74,17 \frac{J}{kg} \right] 995,7 \frac{kg}{m^3} + \frac{1,6 kg}{cm^2} \frac{98066 Pa}{1 kg/cm^2} = 230756,67 Pa$$

6.5.2.2. Isométrico:

Se adjunta el isométrico correspondiente de la línea de transporte de agua desmineralizada, denominada como W-101-2" SCH40 – PVC.

6.5.2.3 Selección de bomba:

Determinación de la altura de la bomba:

La altura dinámica H_b , se determina mediante un balance de energía mecánica entre los puntos succión y descarga. La misma se expresará en metros de columna de líquido (mcl).

$$H_b = \Delta Z + \Delta \left(\frac{v^2}{2\alpha g} \right) + \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Teniendo en cuenta que se puede despreciar la velocidad del fluido entre los puntos de evaluación y como no hay diferencia de altura entre los puntos de succión y descarga respecto al eje de la bomba, el balance queda expresado como:

$$H_b = \frac{P_D - P_S}{\rho g}$$
$$H_b = \frac{(230756,67 - 192407,08) Pa}{995,7 \frac{Kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{seg^2}}$$



$$H_b = 3,93 \text{ mcl (metros de columna de liquido)}$$

Determinación de la potencia útil:

Para poder determinar la potencia útil es necesario conocer el peso específico del fluido, la altura dinámica de la bomba y el caudal volumétrico de agua. Entonces, se tiene:

$$W = \rho g \dot{q} H_b$$
$$W = 995,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 6,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3600 \text{ seg}} \times 3,93 \text{ m}$$
$$W = 66,15 \text{ Watt} = 8,87 \text{ HP}$$

Criterio de determinación de la bomba:

Con lo calculado anteriormente se procede a seleccionar una bomba apropiada para el tipo de fluido a transportar. Se elige la bomba modelo "HYGINOX SE" del catálogo de la empresa "INOXPA", diseñada para procesos industriales o químicos.

En función del caudal y de la altura total H_b , se eligió el modelo SE-20 del diagrama de cobertura hidráulica. A continuación se puede observar el diagrama de la bomba seleccionada:

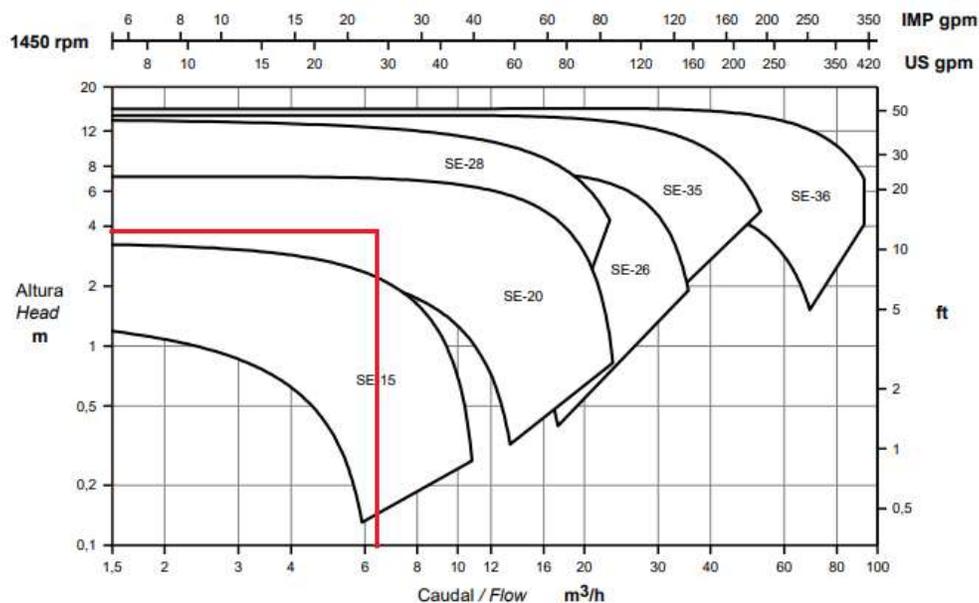


Ilustración 1: Diagrama de cobertura hidráulica, selección de bomba en función de la altura y caudal, modelo SE-20.
Fuente: <https://www.inoxpa.es/uploads/document/Corbes/SE/01.011.12.0028.pdf>



Según el fabricante, la eficiencia es del 40% según el siguiente gráfico:

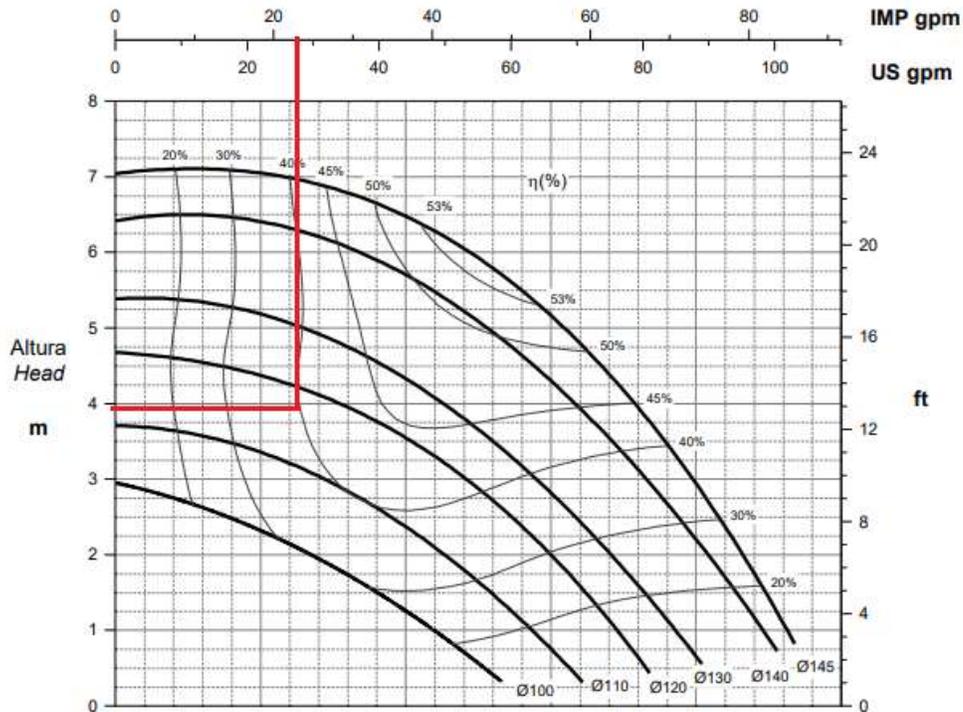
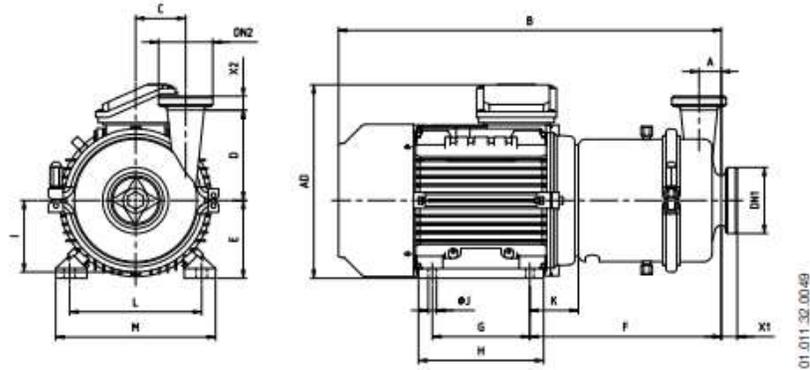


Ilustración 2: Diagrama de cobertura hidráulica, selección de bomba en función de la altura y caudal, modelo SE-20.
Fuente: <https://www.inoxpa.es/uploads/document/Corbes/SE/01.011.12.0028.pdf>

A continuación se presenta el esquema de la bomba junto con el cuadro de sus dimensiones y detalles de construcción.



DIMENSIONES MB



Bomba	DIN 11851					SMS					CLAMP OD				
	DN1	DN2	X ₁	X ₂	D	DN1	DN2	X ₁	X ₂	D	DN1	DN2	X ₁	X ₂	D
SE-15	40	32	26	22	78	38	38	23	23	78	1½"	1½"	14	14	78
SE-20	50	40	23	20	120	51	38	23	23	102	2"	1½"	21	29	102
SE-26	65	50	23	20	130	76	51	27	23	130	3"	2"	29	15	130
SE-28	40	40	33	27	138	38	38	23	23	108	1½"	1½"	28	29	108
SE-35	65	50	26	24	151	76	51	27	23	134	3"	2"	29	29	134
SE-36	100	65	38	27	155	104	76	30	27	155	4"	3"	22	29	155

Figura 15. Fuente:

<https://www.inoxpa.es/uploads/document/Fitxa%20tecnica/Components/Bombes/HYGINOX-SE-22/01.011.33.01ES.pdf>

Bomba	Motor			A	B	C	E	F	G	H	AD	I	ØJ	K	L	M	kg		
	Tamaño	kW	rpm																
SE-20	C	90S	1,1	1450	32	477	74	90	245	100	130	235	105	10	56	140	180	26	
			1,5																
	D	90L	2,2	2950															28
			100	3															
	E	112	4																43

Ilustración 3: Tabla de dimensiones, modelo SE-20. Fuente:

<https://www.inoxpa.es/uploads/document/Fitxa%20tecnica/Components/Bombes/HYGINOX-SE-22/01.011.33.01ES.pdf>



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Materiales

Piezas en contacto con el producto	1.4404 (AISI 316L)
Otras piezas de acero	1.4307 (AISI 304L)
Juntas en contacto con el producto	EPDM

Cierre mecánico simple

Parte giratoria	grafito (C)
Parte estacionaria	carburo de silicio (SiC)
Juntas en contacto con el producto	EPDM

Cierre mecánico doble

Montaje	tándem
Consumo de líquido auxiliar (buffer)	5 - 10 l/h
Presión máxima de trabajo	10 kPa (1 bar)
Temperatura máxima de trabajo	40°C
Ø conexión	G 1/8

Acabado superficial

Interno	pulido Ra ≤ 0,8 µm
Externo	mate

Ilustración 4: Tabla de construcción de bomba HYGINOX modelo SE-20. Fuente: <https://www.inoxpa.es/uploads/document/Fitxa%20tecnica/Components/Bombes/HYGINOX-SE-22/01.011.33.01ES.pdf>

Cálculo de la potencia de freno, BHP:

Conociendo la eficiencia de 0.4, se puede calcular la potencia de freno para verificar que ésta funcionará correctamente bajo las condiciones establecidas.

$$BHP = \frac{W}{\eta} = \frac{0.06615 \text{ kW}}{0.4} = 0.1653 \text{ kW}$$

De esta manera, la bomba no tendrá inconvenientes de potencia.



Cálculo de NPSH:

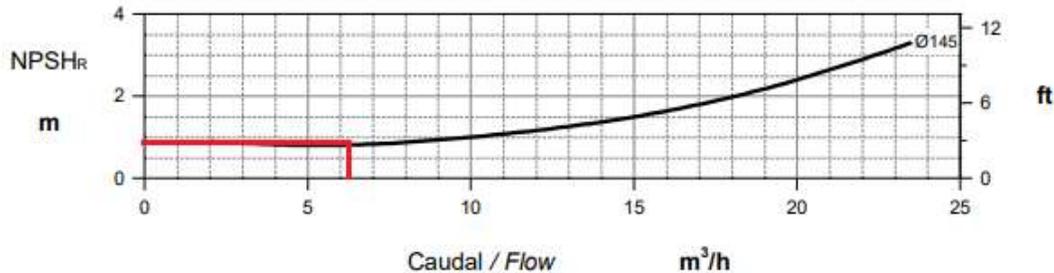


Ilustración 5: Tabla de dimensiones, modelo SE-20. Fuente:
<https://www.inoxpa.es/uploads/document/Fitxa%20tecnica/Components/Bombes/HYGINOX-SE-22/01.011.33.01ES.pdf>

El NPSH refiere a la presión requerida por encima de la presión de vapor de un líquido medida en el punto de succión, de forma tal que se evite la cavitación de la bomba.

El NPSH requerido es una característica de la bomba, el cual es proporcionado por el proveedor; en este caso, dicho valor es de aproximadamente 1m.

El NPSH disponible es una característica del sistema de flujo y se calcula planteando un balance de energía entre la entrada al terreno de la cañería de alimentación y el ojo impulsor de la bomba.

$$NPSH_{disp} = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho g} + (z_1 - z_2) - \frac{E_v}{g}$$

Donde:

- P_s = presión de succión
- P_{vap} = presión de vapor del fluido
- ρ = densidad del fluido
- z_1 = altura inicial
- z_2 = altura final
- g = aceleración de la gravedad
- E_v = pérdida de carga correspondiente a la zona de descarga

$$NPSH_{disp} = \frac{(192407,08 - 3170)Pa}{995,7 \frac{Kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{seg^2}} + (0m) - \frac{12,56 \frac{m^3}{seg^2}}{9,8 \frac{m}{seg^2}}$$

$$NPSH_{disp} = 18,11 m$$



Para evitar que el sistema cavite, se debe cumplir que el $NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$. En este caso, se concluye que la bomba seleccionada cumple con lo requerido para su funcionamiento.

6.5.2.4 Hoja de especificación:

UTN FRLP	HOJA DE ESPECIFICACION SISTEMA DE BOMBAS	INTEGRACION V PROYECTO FINAL
DENOMINACION: Bomba centrífuga		
UNIDAD: P-101 A/B		
SERVICIO: Alimentacion de agua demineralizada		
DATOS GENERALES		
TIPO	Centrifugo	
N° DE PALAS	4	
PROVEEDOR	INOXPA S.A.U	
MODELO	HYGINOX-SE-20	
DATOS DE OPERACIÓN		
CAUDAL	m3/h	6,21
	kg/h	6,183,297
PRESION DE SUCCION	kg/cm2	1,962
PRESION DE DESCARGA	kg/cm2	2,353
POTENCIA ÚTIL	KW	0,06615
ALTURA DE DISEÑO	m	3,93
NPSH DISPONIBLE	m	18,11
FLUIDO	Agua Desmineralizada	
TEMPERATURA	°C	25
VISCOSIDAD	cP	1
DENSIDAD	kg/m3	995,7
MOTOR		
TIPO	ELECTRICO	
PROVEEDOR	INOXPA S.A.U	
FRAME	B34	
FASES	3	
RPM	1450	
POTENCIA	kW	5,5
FRECUENCIA	HZ	50
VOLTAJE	V	450



CARACTERISITCAS DE LA BOMBA SELECCIONADA																																																																																														
PROVEEDOR/MODELO	INOXPA S.A.U, HYGINOX-SE-20																																																																																													
DIAMETRO DE ENTRADA	Pulg	2																																																																																												
DIAMETRO DE SALIDA	Pulg	1 1/2																																																																																												
TIPO DE IMPULSOR	Centrifugo totalmente abierto																																																																																													
DIAMETRO DE IMPULSOR	mm	145																																																																																												
CAUDAL MAXIMO	m3/h	145																																																																																												
ALTURA MAXIMO	m	90																																																																																												
CONFIGURACION	HORIZONTAL																																																																																													
TEMPERATURA MAXIMA	°C	140																																																																																												
VELOCIDAD MÁXIMA	RPM	3500																																																																																												
NPSH REQUERIDO	m	1																																																																																												
EFICIENCIA	40%																																																																																													
MATERIALES DE CONSTRUCCION	Las piezas en contacto con el producto son de 1.4404 (AISI 316L); otras piezas de acero son de 1.4307 (AISI 304L) y las juntas en contacto con el producto son EPDM																																																																																													
TIPO DE SELLADO	Mecanico doble																																																																																													
DIMENSIONES PRINCIPALES	LARGO	ALTO	ANCHO																																																																																											
	635mm	490mm	350mm																																																																																											
ESQUEMA																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Bomba</th> <th colspan="2">Motor</th> <th rowspan="2">A</th> <th rowspan="2">B</th> <th rowspan="2">C</th> <th rowspan="2">E</th> <th rowspan="2">F</th> <th rowspan="2">G</th> <th rowspan="2">H</th> <th rowspan="2">AD</th> <th rowspan="2">I</th> <th rowspan="2">ØJ</th> <th rowspan="2">K</th> <th rowspan="2">L</th> <th rowspan="2">M</th> <th rowspan="2">kg</th> </tr> <tr> <th>Tamaño</th> <th>kW</th> <th>rpm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">SE-20</td> <td rowspan="2">C</td> <td>90S</td> <td>1,1</td> <td>1450</td> <td rowspan="2">452</td> <td rowspan="2">90</td> <td rowspan="2">245</td> <td rowspan="2">100</td> <td rowspan="2">130</td> <td rowspan="2">235</td> <td rowspan="2">105</td> <td rowspan="2">10</td> <td rowspan="2">56</td> <td rowspan="2">140</td> <td rowspan="2">180</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,5</td> <td></td> <td>25</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">D</td> <td>90L</td> <td>2,2</td> <td>2950</td> <td>32</td> <td>477</td> <td>74</td> <td>125</td> <td>155</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>3</td> <td></td> <td>514</td> <td>100</td> <td>262</td> <td>140</td> <td>180</td> <td>260</td> <td></td> <td></td> <td>12</td> <td>63</td> <td>160</td> <td>200</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>112</td> <td>4</td> <td></td> <td>544</td> <td>112</td> <td>269</td> <td>140</td> <td>180</td> <td>280</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>70</td> <td>190</td> <td>230</td> <td>43</td> </tr> </tbody> </table>				Bomba	Motor		A	B	C	E	F	G	H	AD	I	ØJ	K	L	M	kg	Tamaño	kW	rpm	SE-20	C	90S	1,1	1450	452	90	245	100	130	235	105	10	56	140	180	26		1,5		25	D	90L	2,2	2950	32	477	74	125	155								28	100	3		514	100	262	140	180	260			12	63	160	200	36	E	112	4		544	112	269	140	180	280				70	190	230	43
Bomba	Motor		A		B	C															E	F	G			H	AD	I												ØJ	K	L	M	kg																																																		
	Tamaño	kW		rpm																																																																																										
SE-20	C	90S	1,1	1450	452	90	245	100	130	235	105	10	56	140	180	26																																																																														
			1,5													25																																																																														
	D	90L	2,2	2950	32	477	74	125	155								28																																																																													
		100	3		514	100	262	140	180	260			12	63	160	200	36																																																																													
E	112	4		544	112	269	140	180	280				70	190	230	43																																																																														



6.5.3 Diseño intercambiador de calor E-104

Para el siguiente proceso, se busca acondicionar el agua que se empleara en el medio de reacción dentro del reactor. Para asegurar la especificación deseada la corriente de agua proveniente del Intercambiador E-103, debe atravesar el equipo de intercambio E-104 para llegar al reactor. El objetivo del equipo es que el agua desmineralizada alcance la temperatura de 53°C y para ello se cuenta como fluido auxiliar una corriente de vapor de baja, brindado como servicio por parte del parque industrial donde se emplazara el proyecto.

El intercambiador E-104 recibe la corriente S-7B, los datos de dicha corriente son:

Corriente "7B" Parámetros de fluido			
Fluido		Agua desmineralizada	
Fracción de liquido	XL	1	
Temperatura	T min	25,6	°C
	T max	40	°C
Temperatura de diseño		25,6	°C
Presión	P	9,25	kg/cm ³
Densidad	P	995,7	kg/m ³
		62,111	lb/ft ³
Caudal másico	M	6180	kg/h
		1,7	kg/s
Caudal volumétrico	Q	6,21	m ³ /h
		0,061	Ft ³ /s
Viscosidad dinámica	M	0,821	cP
		0,000821	Pa S

Tabla 33. Elaboración propia

6.5.3.1 Memoria de cálculo del intercambiador E-104

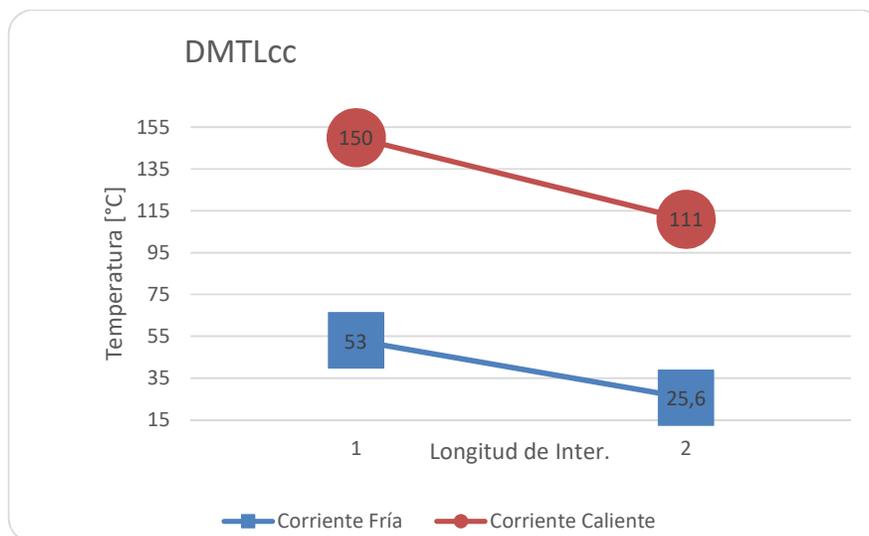
Se considera para el diseño del equipo la condición más desfavorable, es decir que la corriente de agua a calentar se encuentre a la temperatura más baja posible, esta época es considerada en invierno. Otra consideración adoptada es que el vapor de agua debe salir como mínimo a una temperatura de 111°C que a la presión de servicio sería la requerida para entrar en un estado de saturación.



La información de las corrientes pertenecientes al proceso son:

Parámetro	Corriente Fría (c)	Corriente caliente (h)
Fluido	Agua desmineralizada	Vapor de baja
Caudal másico [kg/s]	1,72	2,5
Temperatura de entrada [°C]	25,6	150
Temperatura de salida [°C]	53,2	111
Delta de temperaturas (ΔT)	27,4	39

Tabla 34. Elaboración propia



Grafica 15. Elaboración propia.

Para determinar las propiedades de las corrientes de fluidos debemos considerar en primer lugar el cálculo de la fracción calorífica (F_c). Basándonos en la bibliografía Kern, D. Q. (1991). "Procesos de Transferencia de Calor". Trigésimo primera edición. Editorial McGraw Hill. En base a la distinta relación del delta de temperatura esperada en las corrientes del proceso y a partir de la figura de correlaciones de la bibliografía citada se obtiene el valor de la fracción calorífica.



Para eso consideramos los siguientes datos de tabla:

Parámetro	Valor
$\Delta T_c / \Delta T_h$	0,7
$\frac{\Delta T_h - \Delta T_c}{\Delta T_h}$	0,297
Fc (obtenida de diagrama)	0,44

Tabla 35. Elaboración propia

Temperatura calórica para el fluido frío (Cold):

$$T_c^{Fc} = T_c^0 + 0,44 (T_c^S - T_c^0) = 37,65^\circ\text{C}$$

Temperatura calórica para el fluido caliente (Hot):

$$T_h^{Fc} = T_h^S + 0,44 (T_h^0 - T_h^S) = 128,16^\circ\text{C}$$

Donde:

$T_{c/h}^{Fc}$: Es la temperatura calorífica correspondiente al fluido frío/caliente

$T_{c/h}^0$: Es la temperatura de entrada correspondiente al fluido frío/caliente

$T_{c/h}^S$: Es la temperatura de salida correspondiente al fluido frío/caliente

Para cada corriente se obtiene de la misma bibliografía y de tablas de vapor se obtiene los valores de sus propiedades a la temperatura calórica:

Propiedad	Símbolo	Corriente fría	Corriente caliente
Temperatura calórica [°C]	T^{Fc}	37,65	128,16
Calor específico [J/kg °C]	Cp	4180	2012,7
Densidad [kg/m³]	P	996,6	0,69
Viscosidad dinámica [Pa S]	M	$6,6 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-5}$
Conductividad térmica [W/m °C]	K	0,623	0,027

Tabla 36 elaboración propia. Referencias 1) Procesos de Transferencia de Calor. Trigesimoprimer edición. McGraw Hill Book Company, Inc. 2) <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-temperature.html?advanced=on#>



Se emplea el balance entálpico para determinar la cantidad de calor transferido que se debe realizar para que el proceso de transferencia energética se lleve a cabo, para ello primero se considera por un lado el cálculo del calor requerido para que al agua desmineralizada pueda acondicionarse a la especificación deseada.

$$Q = m_c c_p \Delta T_c = 1,72 \frac{kg}{s} 4180 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} (27,4^\circ C) = 196613,2667 \frac{J}{s} = 196,613 \frac{kJ}{s}$$

Por balance entálpico y con la información de la entalpía de entrada y salida de la corriente caliente definida se calcula el caudal de corriente caliente, la información entálpica se obtiene de tablas de vapor sobrecalentado:

	Símbolo	Fluido caliente (vapor de baja)
Entalpía de entrada [kJ/kg]	$H_{(150^\circ C)}$	2773,11
Entalpía de salida [kJ/kg]	$H_{(111^\circ C)}$	2693,79

Tabla 37 de elaboración propia. Referencia: <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-temperature.html?advanced=on#>

$$m_h = \frac{Q}{\Delta H} = \frac{-196,613 \text{ kJ/s}}{(2693,79 - 2773,11) \text{ kJ/kg}} = 2,48 \frac{kg}{s}$$

De esta forma se justifica el caudal requerido de vapor para calentar la corriente de agua desmineralizada.

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

$$Q = U A \Delta T_{mlcc} Ft$$

Donde:

Q : Calor transferido entre las corrientes [J/s]

U : Coeficiente de transferencia de calor [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]

ΔT_{mlcc} : Delta medio logarítmico en contracorriente [$^\circ C$]

Ft : Factor de corrección de fuerza impulsora

A : Área de transferencia [m^2]



Para el cálculo de área mínima:

$$A_{min} = \frac{Q}{[Ud \Delta T_{mlcc} Ft]}$$

Donde:

A_{min} : Área mínima de transferencia [m²]

Ud : Coeficiente de transferencia de calor sucio [W/m² °C]

Para el cálculo de la fuerza impulsora se requiere primero conocer el valor de ΔT_{mlcc} del proceso, en este caso basándonos como bibliografía Cao, E. (1986). "Intercambiadores de Calor". Se calcula el ΔT_{mlcc} como:

$$\Delta T_{mlcc} = \frac{(T_h^o - T_c^s) - (T_h^s - T_c^o)}{\ln \left[\frac{(T_h^o - T_c^s)}{(T_h^s - T_c^o)} \right]} = 91,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Considerando un proceso de contracorriente pura $Ft = 1$

Para el coeficiente de transferencia de calor sucio se obtiene el valor a partir de tablas de la bibliografía citada anteriormente, para este caso se debe considerar el tipo de fluido dentro del proceso. Por lo que una corriente de vapor de baja con una corriente de agua desmineralizada tendría según la bibliografía $Ud = 4000 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$

Por lo que:

$$A_{min} = \frac{Q}{[Ud \Delta T_{mlcc} Ft]} = 0,494 \text{ m}^2$$

El valor del área mínima requerida al ser menor de 10 m² permite determinar que el tipo de equipo a emplear en el proceso debe ser un doble tubo.

Para el diseño de un doble tubo en primer instancia se consideró el uso de un único equipo donde el proceso de transferencia de calor se lleve a cabo, debido a las enormes pérdidas de carga resultantes en la circulación del vapor se optó por el diseño de un equipo de intercambio donde el fluido frío circule en serie y el fluido caliente circule paralelamente. Dando como resultado un equipo multi doble tubo con la siguiente disposición de la figura 16.

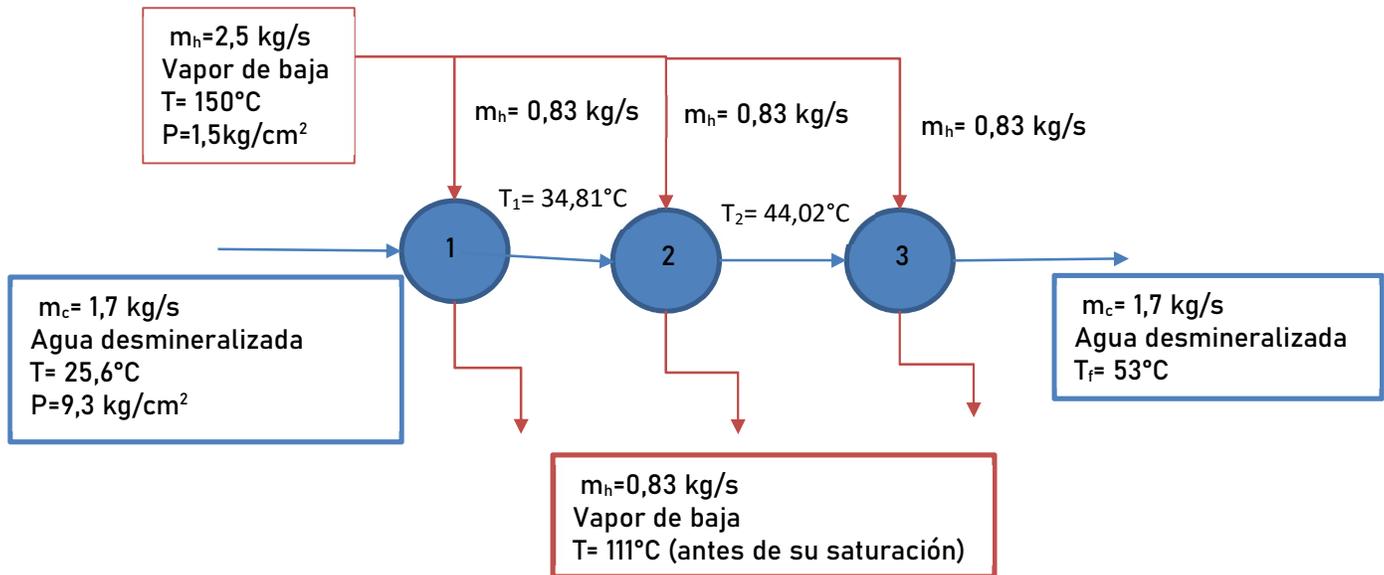


Figura 16. Elaboración propia.

El equipo es descrito como una serie de doble tubos, dando como resultado 3 secciones y cada uno de ellas se compone de una disposición de anulo y tubo “tipo U”. Y los caudales de vapor se dividirán en 3 corrientes, donde cada corriente para cada sección tendrá un flujo másico de 0,83 kg/s.

El siguiente encargo del diseño es la selección del paso de los fluidos por el tubo interno y el anulo. Para ello se consideran los siguientes criterios de selección, el cual pertenecen a todas las secciones que conforman el equipo:

Para seleccionar el fluido que circule por tubo interno		
Variable	Criterio	Fluido
Temperatura	Mayor temperatura	Vapor de agua
Presión	Mayor presión	Agua desmineralizada
Suciedad	Mayor suciedad	Vapor de agua
Caudal	Menor caudal	Vapor de agua

Tabla 38. Elaboración propia. Referencia Cao, E. (1986). “Intercambiadores de Calor”

Dando como resultado el hecho de que la disposición seleccionada es que las corrientes de vapor en paralelo ingresaran de forma contracorriente por el tubo interno, mientras que la corriente de fluido frio circulara por el anulo en serie.



Las tres secciones correspondientes son denominadas con un número de forma ascendente 1, 2 y 3. Y para simplificación del diseño y continuidad del caudal, se selecciona los mismos diámetros de tuberías para todas las secciones del equipo.

Para el cálculo del diámetro de tubería se consideró el área de flujo y el flujo másico por unidad de área, de modo simplista podemos asegurar que los primeros cálculos realizados con la velocidad de circulación recomendada no permitieron el correcto desarrollo del fluido sin pérdida de carga. A lo que se adoptó la decisión de considerar las combinación de anulo y tubo interno más extremas posibles según la bibliografía de referencia.

Combinaciones comunes para intercambiadores doble tubo
(Dimensiones en pulgadas)

ϕ Tubo Externo	ϕ Tubo Interno				
2	3/4	1	1 1/4		
2 1/2	3/4	1	1 1/4		
3	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	3

Tabla 39. Referencia Cao, E. (1986). "Intercambiadores de Calor"

Por lo que las dimensiones de las tuberías quedan resumidas en la siguiente tabla:

Diámetros		Anulo (Agua desmineralizada)	Tubo interno (Vapor de baja)
Diámetro nominal	Dn [in]	4	3
Diámetro interno	Dint [in]	4,5	3,5
Diámetro externo	Dext [in]	4,026	3,068
Schedule	SCH	40	40

Tabla 40. Elaboración propia. Fuente: <https://www.acorsaperu.com/turf/producto/tubo-acero-sch-40/>

A continuación prosigue el desarrollo del diseño de los siguientes equipos distribuidos por sección.



Sección 1

Calculo termodinámico:

Debido a que el calor intercambiado se realiza en las 3 secciones a partes iguales se calcula dicho calor intercambiado, donde el caudal de vapor es de 0,83 kg/s y las entalpías son correspondiente a vapor sobrecalentado a las temperaturas de 150 ° C y 111 ° C correspondientemente.

$$Q = m_h \Delta H_{vapor} = 0,83 \frac{kg}{s} (2693,79 - 2773,11) \frac{kJ}{kg} = -66216,22 \frac{J}{s} = -66,216 \frac{kJ}{s}$$

Luego se calcula la temperatura intermedia T_1 que terminara alcanzando el agua desmineralizada una vez salga de la sección 1.

$$T_1 = T_c^0 + \frac{Q}{m_c C p_c} = 25,6^\circ C + \frac{66216,22}{1,72 \frac{kg}{s} 4180 \frac{J}{kg^\circ C}} = 34,81^\circ C$$

Calculo de la fuerza impulsora ΔT :

Considerando que al ser un equipo doble tubo solo podemos considerar una disposición contracorriente puro por lo que el factor de corrección será $F_t=1$

Para el cálculo del $\Delta T_{mlcc 1}$:

$$\Delta T_{mlcc 1} = \frac{(T_h^o - T_c^s) - (T_h^s - T_c^o)}{\ln \left[\frac{(T_h^o - T_c^s)}{(T_h^s - T_c^o)} \right]} = 99,55^\circ C$$

Calculo del coeficiente pelicular tubos internos

Flujo:

$$a_t = \frac{\pi}{4} Di^2 = 0,0047 m^2$$

Donde: a_t : área de flujo de tubos internos

Velocidad másica (G_t):

$$G_t = \frac{m_h}{a_t} = 175,07 \frac{kg}{m^2 s}$$

Reynolds (Re_t):



$$Re_t = G_t \frac{Di_t}{\mu_h} = 1,02 \times 10^6$$

Flujo turbulento

Numero de prandt:

$$Pr_t = \frac{Cp_h \mu_h}{k_h} = 0,9989$$

Coefficiente pelicular de tubos internos (h_i):

Considerando que el flujo es turbulento el coeficiente pelicular de los tubos internos será:

$$h_i = \frac{k_h}{Di_t} 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{\frac{1}{3}} = 509,9 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Factor de corrección del coeficiente pelicular:

Para la corrección del factor de coeficiente pelicular se debe considerar la relación entre la viscosidad del fluido y la que tendría en la pared (μ_{wh}).

Para eso se calcula la temperatura de pared (T_w):

$$h_i (T_{hm} - T_w) = h_0 (T_w - T_{cm})$$
$$T_w = \frac{h_i T_{hm} + h_0 T_{cm}}{h_0 + h_i}$$

Donde:

T_{hm} : Temperatura media del fluido caliente

T_{cm} : Temperatura media del fluido frio

h_0 : Coeficiente pelicular del anulo

Debido a la necesidad del coeficiente pelicular del anulo, el coeficiente pelicular del tubo será corregido posteriormente una vez determinado el valor del coeficiente pelicular del anulo.

Calculo del coeficiente pelicular anulo (h_0):



Diámetro equivalente (Deq):

$$Deq = \frac{Di_a^2 - Dext_t^2}{Dext_t} = 0,029m$$

Donde:

Di_a : Diámetro interno anulo

$Dext_t$: Diámetro externos tubo interno

Área de flujo anulo ($a_{f a}$):

$$a_{f a} = \frac{\pi}{4} (Di_a^2 - Dext_t^2) = 0,002 m^2$$

Velocidad media de flujo en anulo (V_c):

$$V_c = \frac{m_c}{\rho a_{f a}} = 0,86 \frac{m}{s}$$

Velocidad másica (G_0):

$$G_0 = \frac{m_c}{a_{f a}} = 857,47 \frac{kg}{m^2 s}$$

Reynolds (Re_0):

$$Re_0 = G_0 \frac{Deq}{\mu_c} = 3,73 \times 10^4$$

Calculo del coeficiente pelicular anulo (h_0):

Considerando agua con:

1. Velocidad media de flujo entre (0,3 m/s y 3 m/s)
2. Diámetro equivalente entre (0,01 m y 0,05 m)
3. Temperatura entre (5°C y 95°C)

Cumpliendo con estas condiciones de sistema, la correlación que permite el cálculo del coeficiente pelicular será:

$$h_0 = 1423 (1 + 0,0146 T_m) \frac{V^{0,8}}{Di^{0,2}}$$



Para este caso:

$$h_0 = 1423 (1 + 0,0146 T_{m c}) \frac{V_C^{0,8}}{D i_a^{0,2}}$$

Donde:

$T_{m c}$: Temperatura media de la corriente fría de agua

$$h_{01} = 1423 (1 + 0,0146 T_{m c}) \frac{V_C^{0,8}}{D i_a^{0,2}} = 3679,96 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Corrección del coeficiente pelicular:

$$T_w = \frac{h_i T_{hm} + h_0 T_{cm}}{h_0 + h_i} = 43,78^\circ C$$

Por tablas de viscosidad de agua, se obtiene que a la temperatura de $43,78^\circ C$ el $\mu_{wh} = 6,18 \times 10^{-4} Pa s$.

$$h_i' = \frac{k_h}{D i_t} 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_h}{\mu_w} \right) = 298,22 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Coefficiente de transferencia de calor (U_1):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_0} + R_f$$

Se considera para el diseño un factor de ensuciamiento $R_f = 0,0002 \frac{m^2 \text{ } ^\circ C}{W}$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i'} + \frac{1}{h_{01}} + R_f = 3,823 \times 10^{-3} \frac{m^2 \text{ } ^\circ C}{W}; U_1 = 261,53 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Calculo de área de transferencia (A_t):

Empleando la ecuación de diseño ahora se calcula el área requerida A_{req}

$$Q = U_1 A_{req} \Delta T_{mlcc}$$

$$A_{req} = \frac{Q}{[U_1 \Delta T_{mlcc}]} = 2,54 m^2$$

Considerando las dimensiones geométricas de las estructuras seleccionadas, se calcula la longitud de tubos para el área requerida (L_{req}) y luego



considerando una longitud de tubos (L_1) de 5 m (recordando que como máximo no es posible tener equipos con largo de tubos superiores a los 6 m):

$$L_{req} = \frac{A_{req}}{\pi D_{ext_t}} = 9,11 \text{ m}$$

$$\text{Numero de tubos} = \frac{L_{req}}{L_1} = 1,92 \rightarrow 2$$

Se selecciona la longitud de tubos en base a la mejor proporción geométrica posible para obtener un número de pasos de 2. Definieron que el número de pasos final calculado es 2 y una vez determinado este parámetro constructivo se calcula el área geométrica y el % de exceso de área.

$$A_{geo} = L_1 \pi D_{ext_t} = 3,21 \text{ m}^2$$

$$\% \text{ de exceso de area} = \frac{A_{req}}{A_{geo}} * 100 = 21\%$$

Verificación hidráulica:

Tubería interna:

Se calcula el factor de fricción de Fanning (f) y la pérdida de carga (ΔP_{tubos}) como:

$$f = 0,0035 + \left(\frac{0,264}{Re^{0,42}} \right)$$

$$\Delta P_{Tubos} = 4 f \left(\frac{L}{D_i} \right) \left(\frac{G_t^2}{2\rho} \right) \left(\frac{\mu_h}{\mu_w} \right)^{-0,14}$$

Anulo:

Se calcula el factor de fricción de Fanning (f) y la pérdida de carga (ΔP_{anulos}) y (ΔP_{tes}) como:

$$f = 0,0035 + \left(\frac{0,264}{Re^{0,42}} \right)$$

$$\Delta P_{Anulo} = 4 f \left(\frac{L}{D_i^{anulo} - D_{ext}^{tubo}} \right) \left(\frac{\rho V_t^2}{2} \right) \left(\frac{\mu_c}{\mu_w} \right)^{-0,14}$$

$$\Delta P_{tes} = \left(\frac{nt}{2} \right) \left(\frac{\rho v_t^2}{2} \right)$$

Recopilando los resultados de la verificación hidráulica obtenemos que:



Variable	Anulo	Variable	Tubo interno
Factor de Fanning (f)	0,007	Factor de Fanning (f)	0,004
$\Delta P_{\text{Anulo}} [\text{Pa}]$	6648.66	$\Delta P_{\text{Tubos}} [\text{Pa}]$	47144.47
$\Delta P_{\text{Anulo}} [\text{kg/cm}^2]$	0.0678		
$\Delta P_{\text{tés}} [\text{kg/cm}^2]$	0.00376	$\Delta P_{\text{Tubos}} [\text{Kg/cm}^2]$	0.4807
$\Delta P_{\text{total}} [\text{Kg/cm}^2]$	0.07156		
Perdida de carga %	0,08%	Perdida de carga %	32%

Tabla 41. Elaboración propia.

Sección 2:

Dentro de la sección 2 se prosigue el diseño de la misma forma adoptada en la sección 1, y de forma de reducir y simplificar el desarrollo se dispone a colocar los resultados obtenidos y la confección de tablas con dichos resultados.

Calculo termodinámico:

Parámetro	Corriente Fría (c)	Corriente caliente (h)
Fluido	Agua desmineralizada	Vapor de baja
Caudal másico [kg/s]	1,72	0,83
Temperatura de entrada [°C]	38,41	150
Temperatura de salida [°C]	44,02	111
Temperatura media [°C]	39,415	130,5
Calor Q [J/s]	66216,216	

Tabla 42. Elaboración propia.

Calculo de la fuerza impulsora ΔT :



$$\Delta T_{mlcc 2} = \frac{(T_h^o - T_2) - (T_h^s - T_1)}{\ln \left[\frac{(T_h^o - T_2)}{(T_h^s - T_1)} \right]} = 90,27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calculo del coeficiente pelicular tubos internos

Propiedad/variable		Valor
Área de flujo	a_t [m ²]	0,0048
Velocidad de flujo másico	G_t [kg/m ² s]	175.0720
Numero de Reynolds	Re	1.02E+06
Numero de prandt	Pr	0,9989
Coeficiente pelicular	hi_2 [W/m ² °C]	509,9
Temperatura de pared	T_w [°C]	38,65
Viscosidad dinámica	μ_w [Pa s]	6,78 x10 ⁻⁴
Coeficiente pelicular corregido	hi_2' [W/m ² °C]	294,38

Tabla 43. Elaboración propia.

Coeficiente pelicular anulo:

Propiedad/variable		Valor
Diámetro equivalente	D_{eq} [m]	0,0287
Área de flujo	a_{f0} [m ²]	0,002
Velocidad media de fluido	V_c [m/s]	0,86
Velocidad másica	G_0 [kg/m ² s]	857,47
Numero de Reynolds	Re_0	37324,32
Coeficiente pelicular	h_0 [W/m ² °C]	4043,04

Tabla 44. Elaboración propia.

Coeficiente de transferencia de calor (U_2):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + R_f$$



Se considera para el diseño un factor de ensuciamiento $R_f = 0,0002 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i'} + \frac{1}{h_{o1}} + R_f = 3,84 \times 10^{-3} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}; U_1 = 260,12 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Calculo de área de transferencia (A_t):

Parámetro		Valor
Área requerida	A_{req2} [m ²]	2,82
Longitud requerida	L_{req2} [m]	10,10
Longitud de tubería	L_2 [m]	5,5
Numero de tubos	Nt	2
Área geométrica	A_{geo2} [m ²]	3,53
% de exceso de área		20%

Tabla 45. Elaboración propia.

Verificación hidráulica:

Variable	Anulo	Variable	Tubo interno
Factor de Fanning (f)	0,007	Factor de Fanning (f)	0,004
ΔP_{Anulo} [Pa]	8216,12	ΔP_{Tubos} [Pa]	52536.03
ΔP_{Anulo} [kg/cm ²]	0.0838		
$\Delta P_{tés}$ [kg/cm ²]	0.0034	ΔP_{Tubos} [Kg/cm ²]	0.5357
ΔP_{total} [Kg/cm ²]	0.087		
Perdida de carga %	0,936%	Perdida de carga %	36%

Tabla 46. Elaboración propia.



Sección 3:

Dentro de la sección 3 se prosigue el diseño de la misma forma adoptada en la sección 1 y 2, para nuevamente reducir y simplificar el desarrollo se dispone a colocar los resultados obtenidos y la confección de tablas con dichos resultados.

Calculo termodinámico:

Parámetro	Corriente Fría (c)	Corriente caliente (h)
Fluido	Agua desmineralizada	Vapor de baja
Caudal másico [kg/s]	1,72	0,83
Temperatura de entrada [°C]	44,02	150
Temperatura de salida [°C]	53,2	111
Temperatura media [°C]	48,62	130,5
Calor Q [J/s]	66216,216	

Tabla 47. Elaboración propia.

Calculo de la fuerza impulsora ΔT :

$$\Delta T_{mlcc 2} = \frac{(T_h^o - T_3) - (T_h^s - T_2)}{\ln \left[\frac{(T_h^o - T_3)}{(T_h^s - T_2)} \right]} = 80,96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calculo del coeficiente pelicular tubos internos

Propiedad/variable		Valor
Área de flujo	a_t [m ²]	0,0048
Velocidad de flujo másico	G_t [kg/m ² s]	175,072
Numero de Reynolds	Re	1,02 x10 ⁶
Numero de prandt	Pr	0,9989
Coeficiente pelicular	hi_3 [W/m ² °C]	509,9
Temperatura de pared	T_w [°C]	38,65
Viscosidad dinámica	μ_w [Pa s]	6,78 x10 ⁻⁴
Coeficiente pelicular corregido	hi_3' [W/m ² °C]	294,38



Tabla 48. Elaboración propia.

Coefficiente pelicular anulo:

Propiedad/variable		Valor
Diámetro equivalente	D eq [m]	0,0287
Área de flujo	a _{f0} [m ²]	0,002
Velocidad media de fluido	Vc [m/s]	0,86
Velocidad másica	G ₀ [kg/m ² s]	857,47
Numero de Reynolds	Re ₀	37324,32
Coefficiente pelicular	h ₀ [W/m ² °C]	4388,11

Tabla 49. Elaboración propia.

Coefficiente de transferencia de calor (U₂):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + R_f$$

Se considera para el diseño un factor de ensuciamiento $R_f = 0,0002 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i'} + \frac{1}{h_{o3}} + R_f = 3,88 \times 10^{-3} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}; U_1 = 257,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Calculo de área de transferencia (A_t):

Parámetro		Valor
Área requerida	A _{req3} [m ²]	2,96
Longitud requerida	L _{req3} [m]	10,61
Longitud de tubería	L3 [m]	5,5
Numero de tubos	Nt	2
Área geométrica	A _{geo3} [m ²]	3,53
% de exceso de área		16%

Tabla 50. Elaboración propia.

Verificación hidráulica:



Variable	Anulo	Variable	Tubo interno
Factor de Fanning (f)	0,007	Factor de Fanning (f)	0,004
$\Delta P_{\text{Anulo}} [\text{Pa}]$	8390,31	$\Delta P_{\text{Tubos}} [\text{Pa}]$	52536.03
$\Delta P_{\text{Anulo}} [\text{kg/cm}^2]$	0.0855		
$\Delta P_{\text{tés}} [\text{kg/cm}^2]$	0.0036	$\Delta P_{\text{Tubos}} [\text{Kg/cm}^2]$	0.5357
$\Delta P_{\text{total}} [\text{Kg/cm}^2]$	0.0892		
Perdida de carga %	0,97%	Perdida de carga %	36%

Tabla 51. Elaboración propia.

6.5.3.2 Hoja de especificación:



UTN - FRLP		HOJA DE ESPECIFICACIÓN INTERCAMBIADOR DE CALOR		INTEGRACIÓN V PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Intercambiador de acondicionamiento				
UNIDAD: HX-104				
SERVICIO: Calienta la corriente de agua desmineralizada previo al reactor				
TIPO: Doble tubo		ÁREA: 6,012 m ²		
DATOS DE OPERACIÓN				
VARIABLE / PARAMETRO		TUBO INTERNO		TUBO EXTERNO
NOMBRE DEL FLUIDO		Vapor de baja		Agua desmineralizada
CAUDAL	kg/h	Vapor		Líquido
Líquido		-		6180
Gas		-		-
Vapor		9000		-
No condensable		-		-
TEMPERATURA (IN/OUT)	°C	150/111		26,5/53,2
PRESIÓN (IN/OUT)	kg/cm ²			
Sección 1		1,5/1,02		9,3/9,29
Sección 2		1,5/0,96		9,29/9,2
Sección 3		1,5/0,96		9,2/9,11
DENSIDAD	kg/m ³	0,69		996,6
VISCOSIDAD	Pa s	1,34E-05		6,6E-06
CALOR ESPECÍFICO	J/kg °C	2012,7		4180
CONDUCTIV. TÉRMICA	W/h m °C	0,027		0,623
CALOR INTERCAMBIADO	kJ/h	707807,76		
	kcal/h	169332		
DTM	°C			
Global		91,8		
Sección 1		99,55		
Sección 2		90,27		
Sección 3		80,96		
VELOCIDAD	m/s	253,85		0,86
PÉRDIDA DE CARGA	kg/cm ²			
Sección 1		0,4807		0,0715
Sección 2		0,5357		0,0892
Sección 3		0,5357		0,0892



FACTOR DE FOULING	m ² °C/W	0,0002	
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA	kcal/m ² h°C		
Sección 1		261,53	
Sección 2		260,12	
Sección 3		275,87	
DATOS CONSTRUCTIVOS			
HORQUILLAS: 6	CONEXIÓN: 3 horquillas en serie/paralelo		LONGITUD: 5m/5,5m/5,5m
MATERIAL: Acero al carbono A-106 B			SCHEDULE 40
COMENTARIO:	Tubo internos conexión en paralelo y ánuos conexión en serie		
Área	m ²		
Sección 1		3,21	
Sección 2		3,53	
Sección 3		3,53	
		TUBO INTERNO	TUBO EXTERNO
DIÁMETRO NOMINAL	inch	3	4
	m	0,076	0,102
DIÁMETRO INTERNO	inch	3	4
	m	0,078	0,102
DIÁMETRO EXTERNO	inch	3,5	4,5
	m	0,089	0,114
ESQUEMA			



6.5.4 Diseño torre de destilación T-101

La columna de destilación T-101 procesa una corriente que contiene cloruro de vinilo (C_2H_3Cl) y acetileno (C_2H_2).

El objetivo es separar el acetileno por tope y el cloruro de vinilo por fondo, para que este último sea utilizado en el reactor de polimerización R-101. Previamente circula por el intercambiador de calor E-103, para precalentar agua desmineralizada.

6.5.4.1 Memoria de cálculo

En primer lugar, se utilizó la simulación de partida realizada en Pro II para obtener los datos de la corriente de alimentación, corriente de productos de tope y corriente de producto de fondo. Se detallan los datos en la siguiente tabla:

Corriente	Unidades	S1A	S2	S3
Descripción de corriente		Alimentación	Corriente de tope	Corriente de fondo
Fase		Líquido	Líquido	Líquido
Temperatura	°C	40	2,6	115
Presión	Kg/cm ²	32,2	29,1	30,6
Flujo molar	Kg-mol/h	154	77,1	76,3
Flujo másico	Kg/h	6313	1893	4420
Composición				
Cloruro de vinilo		0.49	0.003	0.988
Acetileno		0.51	0.997	0.012

Tabla 52. Datos de corrientes de columna de destilación. Fuente: elaboración propia a partir de simulación en PRO II.

Como tenemos una mezcla binaria, el método seleccionado para la elaboración de los cálculos es el de McCabe Thiele, aplicando la metodología desarrollada en el capítulo 18 del libro Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, McCabe -Julián C. Smith - Peter Harriott.



Lo primero a realizar es definir la presión de operación de la columna, consultando el reporte de la simulación. Debemos observar en los correspondientes platos, los datos de presión (en el tope y en el fondo).

UNIT 1, 'T1'							
TOTAL NUMBER OF ITERATIONS							
IN/OUT METHOD		4					
COLUMN SUMMARY							
TRAY	TEMP DEG C	PRESSURE KG/CM2	LIQUID	NET FLOW RATES VAPOR	FEED	PRODUCT	HEATER DUTIES M*KCAL/HR
				KG-MOL/HR			
1C	2.6	29.10	533.6			77.1L 0.0W	-1.4839
2	3.3	29.10	520.1	610.7			
3	6.9	29.31	472.5	597.2			
4	20.2	29.53	553.0	549.6	153.4M		
5	40.9	29.74	500.2	476.8			
6	73.4	29.96	510.7	423.9			
7	98.2	30.17	557.2	434.5			
8	110.1	30.39	592.0	480.9			
9R	115.0	30.60		515.7		76.3L	1.5766

Figura 17. Datos de columna de destilación. Fuente: Reporte de Simulación en PRO II.

Como podemos observar, en el plato número 2 hay una presión de 29,10 Kg/cm² y en el plato número 8 una presión de 30,39 Kg/cm². Se obtiene un promedio de estos, siendo dicho valor una presión igual a 29,7 Kg/cm² (2917 k Pa).

El siguiente paso es construir la curva de equilibrio líquido – vapor a la presión de operación de la columna. Para ello, vamos a calcular la presión de vapor de cada componente (utilizando la ecuación de Antoine, a partir de la temperatura y de los coeficientes A, B y C consultados previamente), la constante de equilibrio, la composición en fase vapor y la volatilidad relativa:

$$p_{vap}[kPa] = e^{A - \frac{B}{T(K)+C}} \quad (1)$$

Donde:

P vap: presión de vapor.

A, B y C: coeficientes de Antoine.

T: temperatura en kelvin (K).

$$K_i = \frac{p_{vap}}{P} \quad (2)$$



Donde:

Ki: constante de equilibrio.

P: presión de operación.

$$y_i = K_i * x_i \quad (3)$$

Donde:

y_i: composición en fase vapor.

x_i: composición en fase líquida.

$$\alpha = \frac{\left(\frac{y_i}{x_i}\right)}{\left(\frac{y_b}{x_b}\right)} = \frac{K_i}{K_b} \quad (4)$$

Donde:

α: volatilidad relativa.

Índice b: componente base con respecto al que se calcula la volatilidad.

Se realizan los mismos cálculos para cada una de las corrientes:

Alimentación S1A		Coeficientes de Antoine			T (K)	xi	Pvap (kPa)	Ki	yi	α
Componentes	A	B	C							
Acetileno	14,8321	1836,66	-8,4521	313,15	0,51	6662,8	2,28	1,16	11,47	
Cloruro de vinilo	13,6163	2027,8	-33,5344		0,49	580,7	0,20	0,10		

Tabla 53 Elaboración propia. Cálculos de pvap, Ki, yi, α – Corriente S1A. Fuente: Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, McCabe -Julian C. Smith - Peter Harriott.

Corriente S2		Coeficientes de Antoine			T (K)	xi	Pvap (kPa)	Ki	yi	α
Componentes	A	B	C							
Acetileno	14,8321	1836,66	-8,4521	275,75	0,997	2866,6	0,98	0,98	15,13	
Cloruro de vinilo	13,6163	2027,8	-33,5344		0,003	189,5	0,06	0,0002		

Tabla 54 Elaboración propia. Cálculos de presión de vapor, Ki, yi, α – Corriente S2. Fuente: Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, McCabe -Julian C. Smith - Peter Harriott..



Corriente S3	Coeficientes de Antoine			T (K)	xi	Pvap (kPa)	Ki	yi	α
	A	B	C						
Acetileno	14,8321	1836,66	-8,4521	388,15	0,012	21915,3	7,51	0,09	8,14
Cloruro de vinilo	13,6163	2027,8	-33,5344		0,988	2691,9	0,92	0,91	

Tabla 55. Cálculos de presión de vapor, K_i , y_i , α – Corriente S3. Fuente: Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, McCabe -Julian C. Smith - Peter Harriott...

El procedimiento se realiza en base al componente más liviano siendo en este caso el acetileno. Por este motivo, se calcula la volatilidad relativa promedio de este con la siguiente expresión:

$$\alpha_{promedio} = (\alpha_{S1A} * \alpha_{S2} * \alpha_{S3})^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Como resultado se obtiene un valor de 11,22. Luego se utiliza en la siguiente ecuación para determinar los puntos que nos servirán para construir la curva de equilibrio.

$$y_i = \frac{\alpha * x_i}{(1 + x_i * (\alpha - 1))} \quad (6)$$

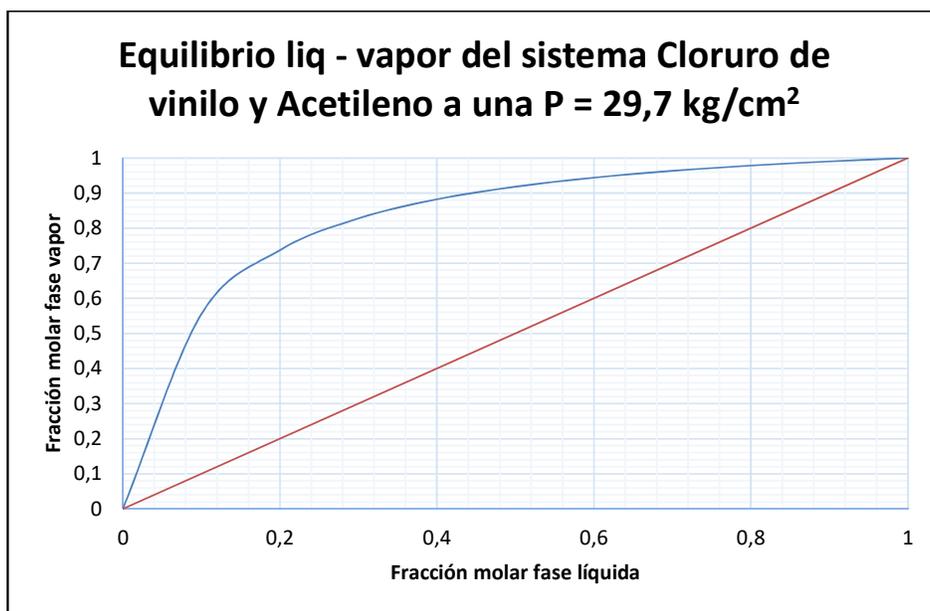
Se definen valores de 0 hasta 1 para la composición en fase líquida y utilizando el dato de la volatilidad promedio calculado previamente se determinan los valores de la composición en fase vapor. De esta manera se obtienen los datos de equilibrio, representados en la tabla a continuación:



X	Y
0	0
0,1	0,55
0,2	0,74
0,3	0,83
0,4	0,88
0,5	0,92
0,6	0,94
0,7	0,96
0,8	0,98
0,9	0,99
1	1

Tabla 56. Datos de equilibrio liquido – vapor

Fuente: elaboración propia.



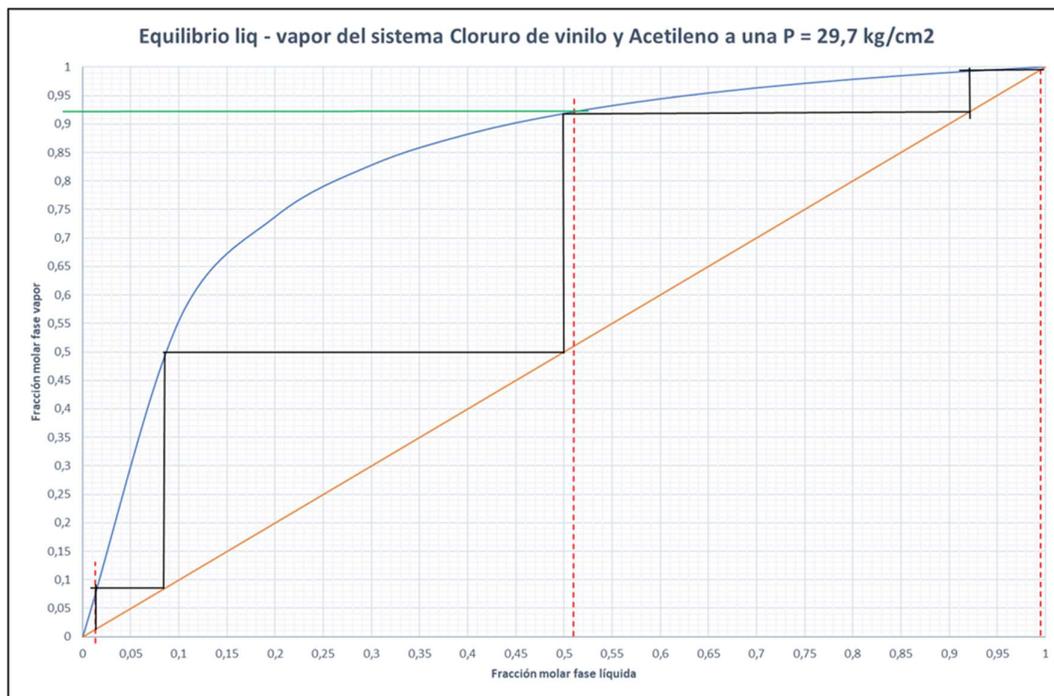
Grafica 16. Curva de equilibrio liquido-vapor – McCabe Thiele. Fuente: elaboración propia.



Una vez desarrollado lo anterior, ya nos encontramos en condiciones de aplicar el método seleccionado. Se calculan las etapas mínimas a reflujo total, el reflujo mínimo y operativo, las etapas en equilibrio como también la etapa de alimentación, la eficiencia de la columna y sus correspondientes etapas reales.

Etapas mínimas y reflujo

En el gráfico realizado ingresamos con los datos de composición del acetileno en la alimentación (x_F), producto destilado (x_D) y producto de fondo (x_B). Luego procedemos a trazar las etapas (líneas negras en el gráfico) desde la condición de tope igual a 0.997 hasta la condición de fondo x_B igual a 0,012, de forma horizontal hasta la curva y luego verticalmente hasta la diagonal.



Gráfica 17 Elaboración propia. Curva de equilibrio líquido-vapor – NTMS. Referencia: Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, McCabe -Julian C. Smith - Peter Harriott..

De esta manera obtenemos como etapas mínimas a reflujo total (NTMS) un valor de 4 (3 + reboiler).

Para conocer el valor del reflujo mínimo (R_{min}) y reflujo operativo (R_{op}) se utilizan las siguientes expresiones:



$$R_{min} = \frac{\left(\frac{L}{V}\right)_{min}}{1 - \left(\frac{L}{V}\right)_{min}} = \left(\frac{L}{D}\right)_{min} \quad (7)$$

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{min} = \frac{y_D - y_{RM}}{x_D - x_{RM}} \quad (8)$$

$$R_{OP} = Fop * R_{min} \quad (9)$$

Al tener un condensador total refrigerado con propano los valores normales de factor operativo (Fop) se encuentran entre 1,05 y 1,2, siendo el seleccionado para este caso el valor igual a 1,2. También tenemos que aclarar que los valores x_D e y_D son iguales, y los valores x_{RM} como y_{RM} están relacionados a la alimentación. Entonces, damos a conocer los valores obtenidos:

$$x_D = y_D = 0,997$$

$$x_{RM} = 0,51$$

$$y_{RM} = 0,92$$

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{min} = 0,158$$

$$R_{min} = 0,188$$

$$R_{op} = 0,23$$

$$Fop = 1,2$$

Etapas en equilibrio y etapa de alimentación

Para conocer el valor de las etapas en equilibrio se deben trazar tres líneas de operación:

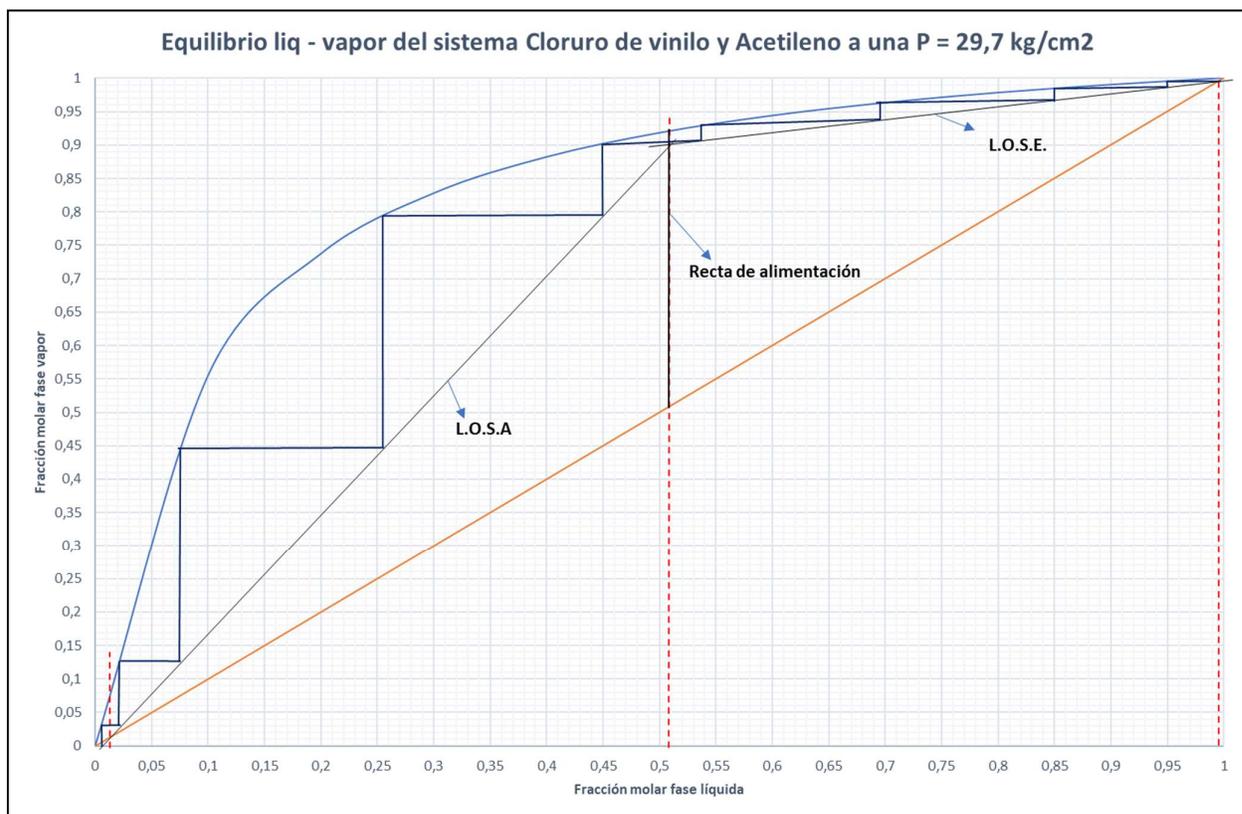
- **Línea de operación de alimentación**: se traza en base a las características de la alimentación. En este caso la alimentación ingresa como liquido saturado ($q=1$), por lo tanto, la recta es perpendicular al eje x.
- **Línea de operación superior o línea de operación sector enriquecimiento (L.O.S.E.)**:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1} \quad (10)$$



Se calcula un punto dando valores a x , teniendo en cuenta el valor del reflujo operativo calculado anteriormente. Desde el punto x_D , sobre la diagonal, se traza una recta pasando por dicho punto hasta la recta de alimentación.

- Línea de operación inferior o línea de operación sector de agotamiento (L.O.S.A.): se traza la línea desde el punto x_B , sobre la diagonal, hasta la intersección de la recta de alimentación con la L.O.S.E.



Grafica 18. Elaboración propia. Curva de equilibrio liq-vap – NTS. Referencia: Operaciones unitarias en Ingeniería Química- Wkren L, McCabe -Julian C. Smith - Peter Harriott..

Se opera de la misma manera que cuando se determinaron el valor de las NTMS, pero sobre las rectas de operaciones mencionadas. Contando los escalones en Con la gráfica, se determina que el número de etapas en equilibrio (NTS) es igual a 9 (8 + reboiler) y la alimentación ingresa a la columna en el plato número 4.



Eficiencia y etapas reales

Para calcular la eficiencia global de la columna se utiliza el gráfico de O'Connell. Se calcula mediante la fórmula:

$$\varepsilon_o = 0.492 * (\mu_{liq} * \alpha)^{-0.245} \quad (11)$$

Donde:

ε_o : Eficiencia global.

μ_{liq} = viscosidad promedio del líquido en la columna, en centipoise [cP].

α : volatilidad relativa.

La viscosidad promedio del líquido de la columna se obtiene del reporte de la simulación, dando un valor de 0.10 cP, y el valor de la volatilidad relativa es conocido (11,22). La eficiencia global tiene un valor de 48%.

$$\varepsilon_o = 0.492 * (0,1 * 11,22)^{-0.245} = 0,48$$

Se determina el valor de las etapas reales (NRS) de la columna realizando el cociente entre el número de etapas en equilibrio (NTS) y la eficiencia global:

$$NRS = \frac{NTS}{\varepsilon_o} = \frac{9 - 1}{0,48} = 17$$

$$\mathbf{NRS = 17}$$

Datos constructivos de la columna

La columna de destilación de platos con válvulas posee dos materiales de construcción. Uno de estos es el acero al carbono ASME SA-515 Grado 60 para el cuerpo, y para el recubrimiento y platos se utiliza acero inoxidable 316 L. Este último se utiliza por temas de corrosión debido a que en el equipo se procesa cloruro de vinilo.

El código ASME VIII subsección B 'Requisitos para recipientes a presión fabricados por soldadura' se utiliza como fuente de cálculo para determinar:

- Espesor mínimo del cuerpo.
- Espesor mínimo de cabezal.
- Esfuerzo máximo según el material.

Para el espesor mínimo del cuerpo se tiene en cuenta que el recipiente es cilíndrico, con esfuerzos circunferenciales, dando uso a la fórmula

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} \quad (12)$$

Donde:



t: espesor mínimo [mm].

P: presión de diseño [kPa].

R: radio interno [mm].

S: esfuerzo máximo admisible [kPa].

E: eficiencia de soldadura.

Entonces, en base a lo anterior, podemos establecer que:

- La presión de diseño se estima un 15% mayor a la presión más alta en la columna, cuyo valor es igual a 30,39 kg/cm², dando una P de 35 kg/cm² (3427 kPa).
- El radio interno se determina consultando el reporte de simulación, en la sección de platos. Allí observamos el diámetro de este.
- El esfuerzo máximo admisible se obtiene ingresando a tablas del código, con los datos del material a emplear y temperatura máxima de operación (110 °C). Se obtiene un valor de S igual a 118000 kPa.
- La eficiencia de soldadura, según el código, tiene un valor de 0,85.

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} = \frac{3427 * 533,5}{118000 * 0.85 - 0.6 * 3427} = 18,6 \text{ mm}$$

TRAY SELECTION FOR TRAY RATING							
VALUE DIAMETER		47.625 MM					
SECTION	DESIGN TRAY NUMBER	DIAMETER MM	NP	NUMBER OF VALUES OR CAPS	SIDE MM	DOWNCOMER WIDTHS MM	
						CENTER	OFF-CENTER
1	7	1067.	1	76	239.730	N/A	N/A

TRAY RATING AT SELECTED DESIGN TRAY										
TRAY	VAPOR M3/S	LIQUID M3/S	ULOAD M3/S	DIAM MM	FF	NP	PRES DROP KG/CM2	WEIR RATE CM3/S/MM	DOWNCOMER BACKUP, PCT TRAY SPACING	
2	0.094	0.00816	0.031	1067.	50.6	1	0.004	9.161	29.87	
3	0.094	0.00768	0.030	1067.	48.6	1	0.004	8.629	28.88	
4	0.090	0.00989	0.027	1067.	47.4	1	0.005	11.107	30.27	
5	0.086	0.00980	0.027	1067.	48.0	1	0.005	10.999	29.61	
6	0.089	0.01113	0.030	1067.	55.7	1	0.006	12.494	31.35	
7	0.097	0.01310	0.035	1067.	66.2	1	0.006	14.715	35.81	
8	0.102	0.01445	0.038	1067.	73.3	1	0.007	16.224	39.15	

Figura 18. Sección de platos en reporte de simulación. Fuente: Simulación en PRO II.



El resultado de t es 18,6 mm, se le adiciona un espesor de seguridad de valor 1,6 mm, un espesor por corrosión de 1,6 mm y el espesor de acero inoxidable igual a 1 mm. El espesor final del cuerpo es 22,8 mm. El cabezal superior e inferior del equipo son semiesféricos y ambos utilizan el mismo espesor.

Para determinar el peso del equipo, se deben conocer los datos de volumen y densidad del material a emplear. El acero al carbono ASME SA-515 Grado 60 posee una densidad de 7850 kg/m³ y el acero inoxidable 316 L, 8000 kg/m³. El cuerpo tiene una altura de 10,21 m (17 platos con un espaciado de 0.6096 m) y sumando los cabezales, que ambos poseen una altura igual al radio del cuerpo, una altura total de 11,28 m.

Se obtienen tres valores de volúmenes (volumen del cuerpo + volumen de cabezales):

- Volumen sin espesor = $V_1 = 9,77 \text{ m}^3$.
- Volumen con espesor de acero al carbono = $V_2 = 10,62 \text{ m}^3$.
- Volumen con espesor de acero inoxidable = $V_3 = 10,66 \text{ m}^3$.

Considerando que la densidad es igual al cociente entre la masa y el volumen, despejando la masa, se puede obtener el valor de esta.

$$m = \rho_{\text{acero al carbono}} * (V_2 - V_1) + \rho_{\text{acero inoxidable}} * (V_3 - V_2)$$

El resultado que se obtiene indica que la masa del equipo vacío es igual a 6938,6 kg.

6.5.4.2 Hoja de especificación del equipo



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE COLUMNA DE PLATOS	
DENOMINACION: DESTILADOR ACETILENO - CLORURO DE VINILO		FECHA:	
UNIDAD: T-101		REVISION:	
SERVICIO: SEPARAR ACETILENO DE CLORURO DE VINILO		LOCACION: COMPLEJO INDUSTRIAL PILAR	
DATOS GENERALES			
DENOMINACION DE EQUIPO	Columna de platos	Hoja	1 de 2
FUNCION	Obtener cloruro de vinilo libre de acetileno para utilizarlo en reactor de polimerización.		
DATOS DE OPERACIÓN			
FLUIDO	ENTRADA	SALIDA POR TOPE	SALIDA POR FONDO
	Mezcla Acetileno - Cloruro de vinilo	Acetileno	Cloruro de vinilo
FASE	Líquido	Líquido	Líquido
CAUDAL [kg/h]	6750,2	2015,5	4734,7
TEMPERATURA [°C]	40	2,6	115
PRESION [Kg-cm2]	32	29,1	30,6
DENSIDAD [Kg/m3]	626,8	466,8	696,3
DATOS DE CONSTRUCCION			
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero al Carbono		
MATERIAL DE RECUBRIMIENTO	Acero inoxidable		
PRESION DE DISEÑO	kg-cm2	35	
TEMPERATURA DE DISEÑO	°C	110,1	
GEOMETRIA CUERPO	Cilindrico		
GEOMETRIA CABEZAL	Semi Esfericos		
PESO COLUMNA VACIA	kg	6938,6	
PESO EN OPERACIÓN	kg	13688,8	
ALTURA DEL CUERPO	mm	10217,8	
ALTURA DE CABEZAL	mm	533,5	
ALTURA TOTAL	mm	11284,8	
DIAMETRO INTERNO	mm	1067	
ESPESOR CUERPO	mm	22,8	
ESPESOR CABEZALES	mm	22,8	
PLATO DE ALIMENTACION		4	
CONEXIONES BRIDADAS		5	
PASAHOMBRES		2	
TIPO	BRIDADA/C-DAVIT		
ACCESORIOS			
Tipo de Condensador: total			
Fluido de enfriamiento: propano			
Tipo de Calefaccion: Reboiler tipo Kettle.			
Fluido Calefactor: Vapor de baja			
OBSERVACIONES			



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE COLUMNA DE PLATOS	
DENOMINACION: DESTILADOR ACETILENO-CLORURO DE VINILO		FECHA:	
UNIDAD: T-101		REVISION:	
SERVICIO: SEPARAR ACETILENO DE CLORURO DE VINILO		LOCACION: COMPLEJO INDUSTRIAL PILAR	
DATOS GENERALES			
DENOMINACION DE EQUIPO	Columna de platos	Hoja	2 de 2
FUNCION	Obtener cloruro de vinilo libre de acetileno para utilizarlo en el reactor de polimerización.		
DISEÑO DISPOSITIVO DE CONTACTO (INTERNOS)			
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero inoxidable		<p>ESQUEMA DE PASO</p>
TIPO DE PLATO	Platos con válvulas		
Nº DE PLATOS TEÓRICOS		8	
Nº DE PLATOS REALES		17	
EFICIENCIA	%	48	
DIÁMETRO DE PLATOS	mm	1067	
ESPACIADO ENTRE PLATOS	mm	609,6	
ÁREA DE BURBUJEO	m2	0,59	
ÁREA DE VERTEDERO	m2	0,30	
ANCHO DE DOWNCOMER	mm	239,73	
PASOS POR PLATO		1	
FACTOR DE INUNDACIÓN	%	56	
TIPO DE VÁLVULAS		Válvula tipo "A"	
DIÁMETRO DE VÁLVULAS	mm	47,625	
Nº DE VÁLVULAS POR PLATO		76	
APERTURA	%	15	
PROVEEDOR			
ESQUEMA DEL DISPOSITIVO			
OBSERVACIONES			



6.5.5 Acumulador de reflujo F-101

El acumulador de reflujo F-101 es un depósito intermedio que tiene la función de retener por tiempos determinados el volumen de líquido condensado, siendo este la corriente de salida del condensador E-101. Luego, parte de este líquido retorna a la columna T-101 como reflujo y parte se obtiene como producto destilado (corriente 2). En general, estos recipientes son relativamente pequeños con instalación de manera horizontal y tiempos de retención (holdup) de 5 minutos.

6.5.5.1 Memoria de cálculo

Para determinar el volumen requerido del recipiente, se utiliza el tiempo de residencia. Este último depende del tiempo de reacción ante un cambio en el proceso, donde un tiempo muy largo provoca dimensiones muy grandes y un tiempo muy corto, pérdida de flexibilidad. Para su estimación hay que tener en cuenta cuanto tardan en responder los instrumentos y el accionar del operador.

Para dimensionar el presente equipo, un método utilizado es el propuesto por Watkins (1967) basado en cuatro factores y en las cantidades de caudal de reflujo (L) y la cantidad de fluido desviada (D). El volumen se obtiene de la siguiente manera:

$$V_d = 2F_4(F_1 + F_2)(L + F_3D)$$

De las siguientes tablas se obtienen los valores de los factores:

Tiempo de reacción para Acumuladores de reflujo (minutos)					
operación	Factor instrumentos (F_1)		Factor de operador (F_2)		
	con alarma	sin alarma	bueno	normal	malo
FC	0.5	1.0	2	3	4
LC	1.0	1.5	2	3	4
TC	1.5	2.0	2	3	4

Tabla 57. Factor F_1 y F_2 – Método de Watkins. Fuentes: 1- Código ASME VIII - 2 Perry & Chilton, .Manual del Ingeniero Químico (6ª ed.). McGraw Hill.

Si parte del flujo se deriva a otro depósito se recomienda multiplicar este flujo por el siguiente factor:



Características de operación	Factor (F_3)
Buen control	2
Control normal	3
Control malo	4
Alimentación desde almacén	1,25

Tabla 58. Elaboración propia. Factor F_3 – Método de Watkins. Fuentes: 1- Código ASME VIII - 2 Perry & Chilton, .Manual del Ingeniero Químico (6ª ed.). McGraw Hill.

En función de donde este montado el control, se deben aplicar los siguientes factores al tiempo total:

Lugar de control	Factor (F_4)
Nivel bajo control central	1
Nivel de panel	1,5
Equipo	2

Tabla 59. Elaboración propia. Factor F_4 - Método de Watkins. Fuentes: 1- Código ASME VIII - 2 Perry & Chilton, .Manual del Ingeniero Químico (6ª ed.). McGraw Hill.

De la simulación realizada en PRO II se puede obtener el dato de la corriente D, siendo su valor 4,3 m³/h, y del diseño de la columna de destilación, el valor del reflujo operativo R_{op} , siendo este igual a 0,23. Entonces, sabiendo que $(L/D) = 0,23$, despejando L, se puede obtener su valor, siendo la cantidad de reflujo 0,99 m³/h.

En este momento, se cuenta con varios datos, por lo que se elabora la siguiente tabla para ordenarlos de una mejor manera:



Método de Watkings	
Datos	Valor
L/D	0,23
D	4,3 [m ³ /h] = 0,07 [m ³ /min]
L	0,99 [m ³ /h] = 0,017 [m ³ /min]
F ₁	1 [1/min]
F ₂	3 [1/min]
F ₃	2
F ₄	1,5

Tabla 60. Elaboración propia. Datos para método de Watkings. Elaboración propia. Fuentes: 1- Código ASME VIII - 2 Perry & Chilton, .Manual del Ingeniero Químico (6ª ed.). McGraw Hill.

Se procede a calcular el volumen, aclarando que el valor obtenido siempre es la mitad del volumen total del depósito.

$$V_d = 2 * 1,5 * (1 + 3) * (0,018 + 2 * 0,08)$$

$$V_d = 1,93 \text{ m}^3$$

Considerando que la presión de operación tiene un valor de 28,5 bar, se selecciona una relación longitud/diámetro (L/D) de 4.

P [bar]	0-15	15-30	>30
L/D	3	4	5

Tabla 61 Elaboración propia. Relación L/D – Método de Watkings. Fuentes: 1- Código ASME VIII - 2 Perry & Chilton, .Manual del Ingeniero Químico (6ª ed.). McGraw Hill.

Luego se calculan las medidas que representan al equipo, como el diámetro (D) y la longitud para el cuerpo (L) y para los cabezales (h), verificando que se cumpla la relación en función de la presión:



$$\text{Con un } L = 3,4 \text{ m} \rightarrow A = \frac{V_d}{L} = 0,57 \text{ m}^2$$

$$D = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0,85 \text{ m}$$

$$r = \frac{D}{2} = 0,425 \text{ m}$$

$$h = \frac{D}{4} = 0,21 \text{ m}$$

Presión de diseño

$$P = 1,1 * (P_o + P_h)$$

$$P_h = \rho * g * h$$

Donde:

P: presión de diseño.

P_o: presión manométrica del recipiente.

P_h: presión hidrostática del líquido.

ρ: densidad del líquido.

g: aceleración debida a la gravedad.

h: altura de la columna de líquido.

$$P_h = 466,78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,425 \text{ m} = 1942,9 \text{ Pa} = 0,019 \text{ bar}$$

$$P_{\text{absoluta}} = P_o + P_{\text{barométrica}} \rightarrow P_o = P_{\text{absoluta}} - P_{\text{barométrica}}$$

$$P_o = 28,5 \text{ bar} - 1,01 \text{ bar} = 27,5 \text{ bar}$$

$$P = 1,1 * (27,5 \text{ bar} + 0,019 \text{ bar})$$

$$P = 30,3 \text{ bar}$$

Como la presión de diseño calculada es 1,8 unidades mayor a la presión de operación, se decide utilizar una P igual a dos veces la presión de operación:

$$P = 2 * 28,5 \text{ bar} = 57 \text{ bar} = 5709,4 \text{ kPa}$$



Espesor del cuerpo

Se utiliza el código ASME sección VIII subsección b para calcular el espesor. Se tiene en cuenta que es un recipiente cilíndrico con cabezales elipsoidales, cuyo material de construcción elegido es el acero al carbono ASME SA-515 grado 60, que posee un esfuerzo máximo admisible (S) de 118000 kPa. La eficiencia de soldadura (E) es de 0,85 y el espesor mínimo por corrosión (c) es de 3 mm:

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P} + c$$
$$t = \frac{5709,4 \text{ kPa} * 424,7 \text{ mm}}{118000 \text{ kPa} * 0,85 - 0,6 * 5709,4 \text{ kPa}} + 3 \text{ mm}$$

$$t = 28 \text{ mm}$$

6.5.5.2 Hoja de especificación



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE ACUMULADOR DE REFLUJO
DENOMINACION : ACUMULADOR DE REFLUJO		FECHA :
UNIDAD: F-101		REVISION :
SERVICIO: Acumular líquido condensado del E-101		LOCACION: COMPLEJO INDUSTRIAL PILAR
DATOS DE OPERACIÓN		
FLUIDO	Mezcla de acetileno y cloruro de vinilo	
TEMPERATURA [°C]	2,6	
PRESION [Kg/cm2]	29,1	
VOLUMEN [m3]	1,93	
DENSIDAD [Kg/m3]	466,78	
DATOS DE CONSTRUCCION		
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero al Carbono ASME SA-515 grado 60	
PRESION DE DISEÑO	[kg/cm2]	58,2
GEOMETRIA CUERPO	Cilindrica	
GEOMETRIA CABEZAL	Elipsoidal	
ALTURA DEL CUERPO	[m]	0,85
ALTURA DE CABEZAL	[m]	0,2
LONGITUD	[m]	3,4
DIAMETRO INTERNO	[m]	0,85
ESPESOR CUERPO	[m]	0,028
ESPESOR CABEZALES	[m]	0,028
ESQUEMA		

6.5.6 Reactor de polimerización R-101

El corazón del proceso de obtención del producto a comercializar es la reacción de polimerización del mono cloruro de vinilo, para poder realizar este proceso de transformación química, se emplea el reactor R-101. La corriente que recibe el reactor R-101 son de 3 tipos y la descarga del mismo equipo se realiza una vez



el proceso de reacción haya finalizado. La descarga es un slurry que descarga a una presión de 5kg/cm^2 a la temperatura próxima a los 55°C . El equipo requiere de un lavado con agua luego de haber descargado todo el producto.

Corriente "3B" Parámetros de fluido			
Fluido		Mono cloruro de vinilo	
Fracción de líquido	XL	1	
Temperatura		52,5	$^\circ\text{C}$
Presión	P	9,1	kg/cm^3
Densidad	ρ	847,56	kg/m^3
Caudal másico	m	4734	kg/h
		1,315	kg/s
Caudal volumétrico	Q	5,58	m^3/h
		$1,55 \times 10^{-3}$	m^3/s
Viscosidad dinámica	μ	0,1374	cP
		0,0001374	Pa S

Tabla 62. Elaboración propia.

Corriente "4A" Parámetros de fluido			
Fluido		Mono cloruro de vinilo recuperado	
Fracción de líquido	XL	1	
Temperatura		52,5	$^\circ\text{C}$
Presión	P	9,1	kg/cm^3
Densidad	ρ	849	kg/m^3
Caudal másico	m	780	kg/h
		0,21	kg/s
Caudal volumétrico	Q	0,85	m^3/h
		$2,36 \times 10^{-4}$	m^3/s
Viscosidad dinámica	μ	0,138	cP
		0,000138	Pa S

Tabla 63. Elaboración propia.



Corriente "7C" Parámetros de fluido			
Fluido		Agua desmineralizada	
Fracción de liquido	XL	1	
Temperatura		53,2	°C
Presión	P	9,11	kg/cm ³
Densidad	ρ	986,56	kg/m ³
Caudal másico	m	6191,77	kg/h
		1,71	kg/s
Caudal volumétrico	Q	6,26	m ³ /h
		1,74 x10 ⁻³	m ³ /s
Viscosidad dinámica	μ	0,52	cP
		0,00052	Pa S

Tabla 64. Elaboración propia.

6.5.6.1 Cinética de la polimerización del MCV

Una polimerización es una reacción donde los monómeros que van a conformar el polímero forman cadenas secuenciales, que pueden ser lineales, ramificadas o con un alto grado de entrecruzamiento. La polimerización que ocurre en este caso es del tipo de adición de monómeros de MCV a través de un mecanismo de radicales libres.

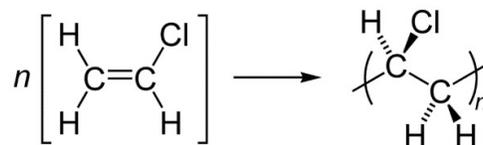


Figura 19. Representación simple de la reacción de polimerización.

El proceso de polimerización por radicales libres se fundamenta en un mecanismo en el cual se generan inicialmente radicales-monómeros. Estos radicales-monómeros adicionan monómeros dando lugar a la formación de macromoléculas denominadas polímeros. En términos teóricos, el mecanismo de radicales libres se divide claramente en tres etapas:

Iniciación: En esta etapa, se generan los radicales-monómeros iniciales, que actúan como puntos de partida para la formación de cadenas poliméricas. Para ello se hace uso de iniciadores que favorezcan la velocidad de este proceso.

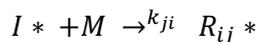
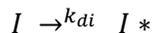


Propagación: Durante esta fase, los radicales-monómeros se unen sucesivamente a los monómeros adicionales, lo que resulta en el crecimiento continuo de las cadenas poliméricas.

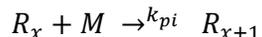
Terminación: En la etapa de terminación, los radicales-monómeros restantes se consumen y las cadenas poliméricas dejan de crecer. Existen diversas reacciones posibles de terminación siendo la desproporción la más probable.

Ecuaciones químicas

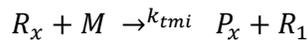
Iniciación:



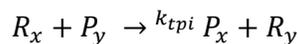
Propagación:



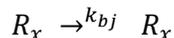
Transferencia de monómeros:



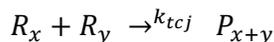
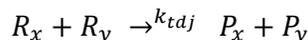
Transferencia de polímeros:



Intermolecular transferencia:



Reacciones de terminación:



Donde:



I = Iniciador

M = Monómero (MCV)

R_x = Macro radical de largo x

R_y = Macro radical de largo y

P_x = Polímero de largo x

P_y = Polímero de largo y

La cinética se puede describir considerando tres etapas divididas en función a la conversión del reactivo. La primera etapa cuenta con el incipiente inicio de la reacción donde la conversión es menor a 0.1 ($X < 0.1$) considerada en el anterior segmento como la etapa de iniciación de la polimerización en la cual solo existe fase de monómero. La segunda etapa transcurre en un rango de conversiones que va $0.1 < X < 0.75$ ($X = 0.75$ es la conversión límite hasta la cual hay 2 fases presentes) y durante la cual existe una fase rica en monómero (se puede considerar monómero puro) y una fase rica en polímero (con monómero disuelto). La última etapa es considerada a conversiones mayores a 0.75 ($X > 0.75$), y ocurre en el periodo final de propagación y la etapa de terminación.

Esta distinción se debe a que comienzan a tomar relevancias los fenómenos de transferencia de materia entre las fases del polímero y del monómero, donde la difusión de materia es un proceso que puede ser controlante debido a la alta resistencia que aporta en determinadas condiciones de temperatura, que en definitiva esto último genera los fenómenos de transferencia de cadenas y reacciones de terminación que se pueden dar de forma paralela al proceso principal.

El modelo matemático aplicado a nuestro proceso según la fuente³ describe la conversión del reactivo en un sistema de dos ecuaciones, con las siguientes restricciones:

³ Sidiropoulou, E., & Kiparissides, C. (1990). Mathematical modeling of PVC suspension polymerization: A unifying approach and some new results. *Journal of Macromolecular Science—Chemistry*, A27(3), 257-288.



- I. La correspondiente velocidad de descomposición del iniciador y de propagación, así como la eficiencia del iniciador en la fase polimérica y la del monómero son constantes en el tiempo.
- II. La aproximación del estado de crecimiento de radicales libres en ambas fases se considera como cuasi estático.
- III. La concentración del iniciador es la misma en ambas fases.
- IV. La velocidad de transferencia de materia para las sustancias entre dos fases similares (monomérica o polimérica) se considera como nula. Solo se toma en consideración la transferencia de materia entre dos fases distintas.
- V. Para una polimerización isotérmica en un reactor en batch, la concentración de iniciador cambia en función de:

$$[I] = [I_0] \frac{e^{(-k_d t)}}{(1 - Bx)}$$

- VI. EL volumen de la mezcla de reacción cambia linealmente con la conversión según:

$$V = V_0(1 - Bx) \quad (\text{Factor de contracción}) \quad B = \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}$$

Ecuación cinética ($X < 0.85$)

$$\frac{dx}{dt} = k_p \left(\frac{2 k_d [I_0]}{k_{t1} (1 - Bx)} \right)^{1/2} e^{(-\frac{k_d t}{2})} * (1 - x - Ax + PAx)$$

Por simplicidad se considerará solo una ecuación de conversión/tiempo a lo largo de todo un batch que en nuestro caso alcanzará 0.85 de conversión final.

Donde:

$$k_p = \text{Constante de velocidad de propagación} \left[\frac{L}{mol \cdot s} \right]$$

$$k_d = \text{Constante de descomposición} \left[\frac{L}{mol \cdot s} \right]$$

$$[I_0] = \text{Concentración inicial de iniciador} \left[\frac{mol}{L} \right]$$

$$k_{t1} = \text{Constante de transferencia} \left[\frac{L}{mol \cdot s} \right]$$

x = Conversión fraccional de reactivo



$t =$ Tiempo [s]

Parámetros Físicos
$T = 330 [K]$
$A = 0.2 [L^{-1}]$
$P = 27 - 0.14 (T - 273.16)$
$x_c = 0.85 - 0.0019 (T - 273.16)$
$\alpha = -0.41591$
$\beta = 0.42642$
$\rho_m = 911 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
$\rho_p = 1360 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
Parámetros Cinéticos
$k_d = 6.32 \times 10^{16} e^{(-15460/T)} [min^{-1}]$
$k_{p_0} = 163 \times 10^9 e^{(-3320/T)} \left[\frac{L}{mol \cdot min} \right]$
$k_p = k_{p_0} e^{\left(0.2\left(\frac{1}{v_f}\right) - \left(\frac{1}{v_{fcr}}\right)\right)}$
$k_{t_1} = 7.8 \times 10^{13} e^{(-2190/T)} \left[\frac{L}{mol \cdot min} \right]$
$v_f = \alpha X + \beta$
$v_{fcr} = v_f \text{ para } x_f$

Tabla 65. Elaboración propia. Parámetros físicos y cinéticos del sistema Fuente: (I) Sidiropoulou, E., & Kiparissides, C. (1990). (II) Mathematical modeling of PVC suspension polymerization: A unifying approach and some new results. *Journal of Macromolecular Science—Chemistry*, A27(3), 257-288.

6.5.6.2 Balance de materia:



Luego del análisis de mercado se estimó la producción deseada en 35.000 tn/año de PVC ($n=1000$) con una conversión del 85%. Teniendo en cuenta que el $PM_{MVC} = 62.5 \text{ kg/kmol}$ y el del PVC es 62500 kg/kmol , necesitaremos 41200 tn/año de MCV. En la Tabla 66 pueden observarse los tiempos de cada etapa y el del ciclo completo del proceso dentro del reactor.

Etapa	Tiempo (min)
Carga	150
Polimerización	220
Separación y Venteo	70
Lavado y tratamiento antifouling	30
Total	470

Tabla 66. Elaboración propia. Desglose de las etapas y tiempos de batch. Fuente: *Encyclopedia of PVC- Nass, Leonard I. Heiberger, Charles (1998 p.73)*

Para determinar el volumen del reactor se tuvo en cuenta lo siguiente:

1. Producción diaria debe ser 106200 kg de PVC
2. Tiempo de batch: 7hs 50 min.
3. Cada reactor podrá producir 3 batches por día

Materia	Entrada [tn/día]	Salida [tn/día]	Entrada [tn/año]	Ssalida [tn/año]
MCV Total	124,8		41176	
MCV fresco	111,1		36663	
MCV (rec)	13,7		4529	
Agua	149,7		49411	
Agente susp.	0,124	0,124	40,92	
Iniciador	0,049	0,049	16,17	
Estabilizante	0,111		36,6	
PVC		106,1		35000

Tabla 67. Elaboración propia. Balance general en masa de la planta

Se compararon 2 situaciones diferentes para llegar a la misma producción:



batchs/día	Número de Reactores	Volumen del reactor(m ³)
18	6	16
9	3	32

Tabla 68. Elaboración propia.

Para decidir entre estas 2 situaciones se tomó la siguiente tabla como referencia donde se compara cuarenta reactores de 20 m³ de volumen y cuatro reactores de 200 m³ de volumen.

Inversión de capital (incluyendo el sistema de emergencia, base de la Costa del Golfo)	75%
Requisitos de espacio	65%
Servicios auxiliares	90%
Mano de obra	50%

Tabla 69. Elaboración propia. porcentaje de inversión comparado con emplear pocos reactores de gran volumen en base a la inversión de emplear muchos reactores de pequeño volumen.
Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131

Como se observa en la tabla 69, las ventajas económicas en utilizar menos reactores de mayor tamaño son evidentes. Se seleccionó la opción con 3 reactores de 32 m³ y se tendrá en consideración un sobredimensionamiento del 20% operando finalmente con 3 reactores de 38 m³.

Para determinar el volumen del reactor se consideró variable el número de batcheadas totales al día (batcheadas /reactor * d) y se confecciono una tabla efectuando pruebas con 3, 6, 12, 15, etc. para determinar los kg / batcheada y luego el volumen de cada reactor.

	kg de PVC/batcheada	kg totales /día	Tn de PVC/año	
Batcheadas al día	9	11797	106172	35036

Tabla 70. Elaboración propia.



Una vez propuesto esto se calcularon los kg/batchheada, los cuales se expresan en la siguiente tabla

Materia	Entrada [kg]	Salida [kg]
CVM Total	13878,18	1539,13
Cloruro de Vinilo	12339,12	
CVM (recuperado)	1539,06	
Agua	16637,01	16637,01
Estabilizante	12,34	
Agente susp.	14,00	14,00
Iniciador	8,34	8,34
PVC		11797
Total por batch	30535,87	30535,87

Tabla 71. Elaboración propia. Cantidad de materia por cada 1 batch en masa

Luego convirtiendo la tabla anterior a volumen obtenemos un volumen de reactor aproximado para llevar a cabo la producción deseada.

Materia	Entrada [m ³]	Salida [m ³]
CVM Total	15,22	
Cloruro de Vinilo	13,54	1,67
CVM (recuperado)	1,67	
Agua	16,64	16,64
Estabilizante	0,0110	
Agente susp.	0,0117	0,0117
Iniciador	0,0064	0,0064
PVC		8,67
Total	31,88	27

Tabla 72. Elaboración propia. Cantidad de materia por cada 1 batch en volumen

Como se puede observar el volumen final resulto en aproximadamente 32 m³ que con el sobredimensionamiento (20%) nos da como resultado final 38 m³ para el reactor.



6.5.6.3 Dimensiones del reactor:

Las dimensiones del reactor teniendo en cuenta un volumen de reacción de 38 m³ y una relación de H/D constante 1 (máx. 1,6 para agitadores simples y de 2 para agitadores múltiples para garantizar mezclado homogéneo de la suspensión) y despreciando la superficie elipsoidal de la parte superior, nos da los siguientes resultados:

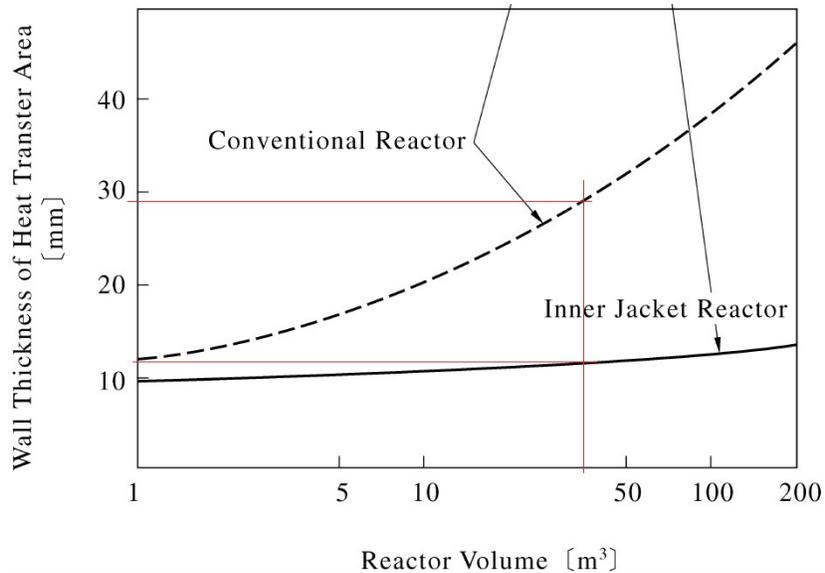
Vol. del reactor V (m ³)	Altura H (m)	Diámetro D (m)	Área Sup. S (m ²)	S/V (1/m)
1	1,08	1,08	4	3,66
3	1,56	1,56	8	2,55
10	2,34	2,34	17	1,72
30	3,37	3,37	36	1,19
38	3,64	3,64	42	1,09
100	5,03	5,03	79	0,79
300	7,26	7,26	166	0,55

Tabla 73. Elaboración propia. Relación de las dimensiones del reactor. Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131

Para la Tabla 73 se consideró que para una relación H/D = x, $V = \frac{x}{4}\pi D^3$, luego resolviendo para D obtenemos: $D = \sqrt[3]{\frac{4V}{x\pi}}$

Determinación del espesor de pared de intercambio de calor:

Una vez determinado el volumen de reacción se utilizó el siguiente grafico que correlaciona el espesor de pared de transferencia de calor con el volumen del reactor tenemos:

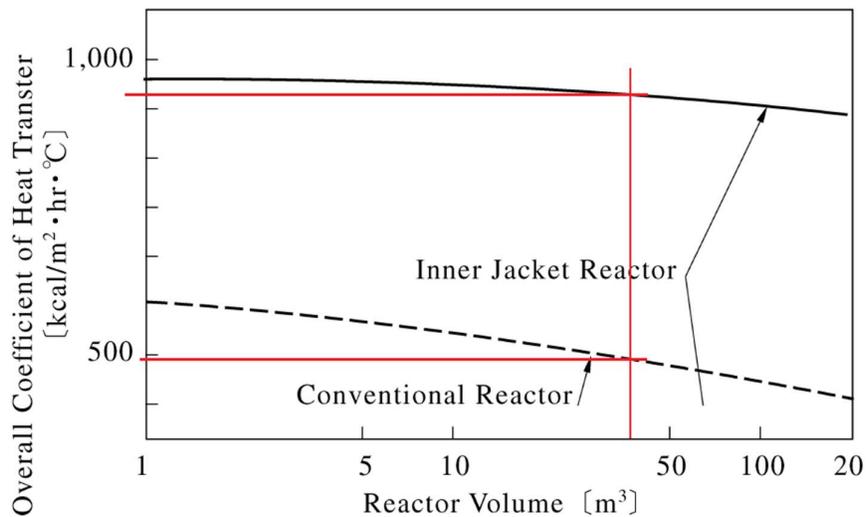


Grafica 19. Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131

Para un reactor de camisa interna obtenemos un espesor de pared de transferencia de calor de 28mm.

El coeficiente global de transferencia de calor según el siguiente grafico seria:

$U = 495 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$ (Para un reactor de chaqueta interna seria $940 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)



Grafica 20. Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131



Determinación del diámetro y velocidad del agitador:

Se tuvieron en cuenta dimensiones típicas de reactores de PVC por suspensión obtenidos de bibliografía:

V (m ³)	HP	D _{int} (m)	H(m)	D _{ext} (m)	T(m)
19	50	2,74	2,74	2,90	1,14
28,5	75	3,20	3,20	3,35	1,26
38	100	3,51	3,51	3,66	1,32
57	150	3,66	4,88	3,81	1,30
76	200	3,66	6,40	3,81	1,37

Tabla 74. Elaboración propia. Dimensiones típicas de reactores y agitadores para PVC Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131

Donde T es el diámetro del agitador que para nuestro reactor será de 1,32 m

Y mediante la correlación $\frac{W}{T} = 0,2$ siendo W el ancho del agitador se sabe que W=0,264 m

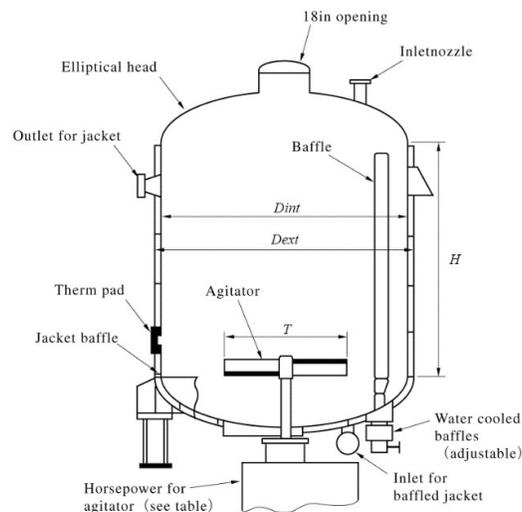


Figura 20. Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131



Respecto a la velocidad del agitador se tuvo en consideración que el tamaño de la partícula de PVC está fuertemente influenciado por la velocidad de agitación y que un tamaño apropiado será de unos 150 μm .

Teniendo en cuenta la siguiente correlación:

$$d^{50} = 4346,8 N^{-0,905} T^{-0,901} D^{0,514} H_l^{-0,131}$$

Nota. Fuente: Y. Saeki, T. Emura / Prog. Polym. Sci. 27 (2002) 2055–2131

Donde d^{50} es el tamaño promedio de partícula (μm); N , la velocidad del impulsor (s^{-1}); T , el diámetro del impulsor (m); D , el diámetro del reactor (m); H_l , la altura del líquido; V , el volumen del reactor (m^3)

Se obtiene una N que variara entre 55 s^{-1} y 57 s^{-1} (525 y 545 rpm). Se deberá tener en cuenta que la altura de líquido dependerá del volumen de la mezcla reaccionante que su vez varía linealmente con la conversión según:

$$V = V_0(1 - Bx) \quad \text{donde} \quad B = \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_p}$$

Nota. Fuente: A. Crosato-Amaldi, P. Gasparini, and G. Talamini, *Makromol. Chem.*, **117**, 140 (1968)

Donde V_0 es el volumen inicial, $V = (\pi \frac{D^2}{4} H_l)$ y B es 0.3301, ρ_p es la densidad del PVC y ρ_m es la densidad del MCV.

Y finalmente la dependencia de la altura de líquido con la conversión vendrá dada por:

$$H_l = H_{l_0} (1 - 0.3301 x)$$

Donde x es la conversión que tiene un valor final de 0.85. H_{l_0} serán 2.88 m y H_l 2.07m.

Datos constructivos del reactor

El reactor batch de polimerización está construido en base a dos materiales. Uno de estos es el acero al carbono ASME SA-515 Grado 60 para el cuerpo, y para el recubrimiento acero inoxidable 316 L. Este último se utiliza por temas de corrosión debido a que en el equipo se procesa cloruro de vinilo.

El código ASME VIII subsección B 'Requisitos para recipientes a presión fabricados por soldadura' se utiliza como fuente de cálculo para determinar:

- Espesor mínimo del cuerpo.



- Espesor mínimo de cabezal.
- Esfuerzo máximo según el material.

Para el espesor mínimo del cuerpo se tiene en cuenta que el recipiente es cilíndrico, con esfuerzos circunferenciales, dando uso a la fórmula

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} \quad (12)$$

Donde:

t: espesor mínimo [mm].

P: presión de diseño [kPa].

R: radio interno [mm].

S: esfuerzo máximo admisible [kPa].

E: eficiencia de soldadura.

Entonces, en base a lo anterior, podemos establecer que:

- La presión de diseño se estima un 15% mayor a la presión más alta en el reactor, cuyo valor es igual a 10,0 kg/cm², dando una P de 11,50 kg/cm² (1128 kPa).
- El radio interno se determina en función del volumen de reacción calculado de (ver Tabla 74) D=3,64m y R=1,82 m. (1820 mm)
- El esfuerzo máximo admisible se obtiene ingresando a tablas del código, con los datos del material a emplear y temperatura máxima de operación (65 °C). Se obtiene un valor de S igual a 118000 kPa.
- La eficiencia de soldadura, según el código, tiene un valor de 0,85.

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} = \frac{1128 * 1820}{118000 * 0.85 - 0.6 * 1128} = 20,6 \text{ mm}$$

El resultado de t es 20,6 mm, se le adiciona un espesor de seguridad de valor 1,6 mm, un espesor por corrosión de 1,6 mm y el espesor de acero inoxidable igual a 1 mm. El espesor final del cuerpo es 24,8 mm. El cabezal superior e inferior del equipo adopta una forma elipsoidal con radio pequeño de 0,17D_{int} (619 mm) y utilizan el mismo espesor.

Para determinar el peso del equipo, se deben conocer los datos de volumen y densidad del material a emplear. El acero al carbono ASME SA-515 Grado 60 posee una densidad de 7850 kg/m³ y el acero inoxidable 316 L, 8000 kg/m³. El



cuerpo tiene una altura de 3,64 m y sumando los cabezales, donde cada uno tiene una altura de 0,619 m da una altura total de 4,878 m.

Volúmenes sin espesor:

$$V_{\text{cuerpo}} = \pi R^2 H = \pi * 1,82^2 * 3,64 = 37,88 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Cabezales}} = \frac{4}{3} \pi R^2 h = \frac{4}{3} \pi * 1,82^2 * 0,619 = 8,589 \text{ m}^3$$

Volúmenes con espesor de acero al carbono:

$$V_{\text{cuerpo}} = \pi (R + t)^2 H = \pi * 1,8438^2 * 3,64 = 38,88 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Cabezales}} = \frac{4}{3} \pi (R + t)^2 (h + t) = \frac{4}{3} \pi * 1,8438^2 * 0,6428 = 9,1536 \text{ m}^3$$

Volumen con espesor de acero inoxidable:

$$V_{\text{cuerpo}} = \pi (R + t)^2 H = \pi * 1,8448^2 * 3,64 = 38,918 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Cabezales}} = \frac{4}{3} \pi (R + t)^2 (h + t) = \frac{4}{3} \pi * 1,8448^2 * 0,6438 = 9,178 \text{ m}^3$$

Volúmenes de los espesores:

$$V_{\text{acero al C}} = (38,88 + 9,1536) - (37,88 + 8,589) = 1,56 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{acero inox}} = (38,918 + 9,178) - (38,88 + 9,1536) = 0,0624 \text{ m}^3$$

Considerando que la densidad es igual al cociente entre la masa y el volumen, despejando la masa, se puede obtener el valor de esta.

$$m = \rho_{\text{acero al carbono}} * (1,56 \text{ m}^3) + \rho_{\text{acero inox}} * (0,0624 \text{ m}^3)$$

El resultado que se obtiene indica que la masa del equipo vacío es igual a 12745,2 kg.



6.5.6.4 Calculo de balance energético:

Para poder determinar la viabilidad térmica se calcula la cantidad de agua de enfriamiento requerida para que el equipo cumpla con los requerimientos energéticos. Se seleccionó el diseño de una camisa convencional, conformada por la tecnología medio tubo (“Half pipe”) y debido a mejor distribución del diseño se colocan 2 medios tubos que rodean al reactor, semejante a la construcción de un serpentín. El caudal de agua requerido se dividirá para circular independiente de cada uno de ellos por los 2 medios tubos en forma paralela. La forma paralela permite que no se generen grandes gradientes térmicos entre ambos flujos de agua, que favorecería a entorpecer el intercambio térmico.

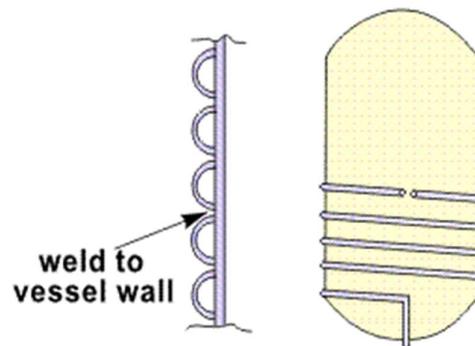


Ilustración. Esquema de chaqueta “Half pipe”. Fuente: <https://www.thermopedia.com/cn/content/547>

La selección de 2 medios tubos que recorran el contorno externo del reactor se seleccionó con el flujo de esta manera, ya que al ser un reactor tipo batch agitado, la temperatura dentro del medio de reacción se genera uniformemente. Por lo que para una mejor remoción uniforme de la energía térmica es más favorable el diseño de un flujo de corrientes paralelas.

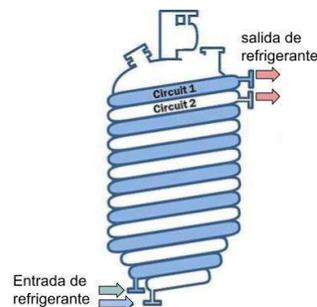


Ilustración. Esquema de flujo de la chaqueta. Fuente: <https://www.ddpsinc.com/knowledge/what-are-the-jacket-options-for-glass-lined-vessels>



Para esto se debe asegurara que la temperatura del proceso sea de 53°C y se mantenga estable en las 4,5 horas de reacción. A partir de la bibliografía de Antonio Rodolfo Jr. y Tsukamoto Claudia T. “Tecnología do PVC” Instituto brasileiro de PVC Edición 3 2018 se conoce que el calor de reacción de polimerización del PVC es de $\Delta H_{rx} = -1531 \frac{\text{kJ}}{\text{kg MCV}}$. Energéticamente el proceso de polimerización del PVC es una reacción exotérmica. Y considerando que el reactor está clasificado como un Batch isotérmico, el balance energético determina que la cantidad de calor a remover de la reacción será el mismo que el producido en el proceso, que en este caso solo será exclusivamente el calor de reacción, debido a que en ningún momento se requiere que la reacción aumente su energía térmica, si no que esta se mantenga en un estado isotérmico.

Por lo que a partir del calor de formación y del balance de materia se conoce que para cada batch se emplean 13685 kg de MCV, el cual es nuestro reactivo clave. Que considerando que el peso molecular del Mono cloruro de Vinilo es de 62,5 kg/kmol. El balance en moles será:

$$\text{mol de MCV} = \frac{13685 \text{ kg MCV}}{62,5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ MCV}} = 221,82 \text{ kmol de MCV}$$

Para el cálculo energético liberado en el proceso de reacción:

$$\Delta H_{Rx} = 13685 \frac{\text{kg de MCV}}{\text{batch}} * \left(-1531 \frac{\text{kJ}}{\text{kg de MCV}} \right) = -21,225 \text{ M kJ/batch}$$

Dado a que el balance energético determina que la nulidad de acumulación de energía, se establece que el calor de reacción formado es el calor removido, tal que:

$$\frac{\Delta H_{Rx}}{\text{tiempo de batch}} = -Q_{abs} = 4,717 \frac{\text{MkJ}}{\text{h}} = 1,128 \frac{\text{Mkcal}}{\text{h}}$$

Considerando que se emplea agua de enfriamiento para mantener la temperatura del sistema en niveles óptimos, las propiedades de este fluido son:



Agua de servicio	Unidad	
Temperatura de entrada	°C	29
Temperatura de salida	°C	43
Calor específico	kJ/kg °C	4,186

Tabla 75. Elaboración propia. Parámetros del agua de servicio

El caudal de agua requerido para extraer esas cantidades de energía será de:

$$m_{\text{agua}} = \frac{Q_{\text{abs}}}{C_p (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})} = 80115 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 22,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Y el cual este mismo caudal se empleara en los dos medios tubos dividiéndose, por lo que la circulación de agua en cada uno de los tubos será de 11,15 kg/s

Calculo del requerimiento de transferencia:

Considerando el coeficiente global de transferencia del sistema obtenido anteriormente en el grafico 20 (pag. 165), donde $U = 495 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$. El área calculada para estos casos será calculada en función a la ecuación de diseño de intercambiadores de calor, empleando como referencia Cao, E. (1986). "Intercambiadores de Calor"

$$Q = U A_T \Delta T_m$$

El cálculo del delta medio logarítmico del proceso, que se considera en contra corriente, será:

Temperatura de entrada de corriente fría	°C	29
Temperatura de salida de corriente fría		40
Temperatura de proceso		53
DLTML _{cc}		16

Tabla 76. Elaboración propia. Referencia Cao, E. (1986). "Intercambiadores de Calor"

Para considerar un factor de resistencia de transferencia térmica se considera los valores estimados de la referencia y el coeficiente pelicular del agua de enfriamiento. Al considerar una velocidad optima de flujo de agua de 1 m/s. Se tabulan los resultados del flujo obteniendo y se selecciona que el diámetro de 0,11m (4in), generando una velocidad de flujo de 1,17 m/s.



Parámetros de diseño			
Fluido empleado	Agua de enfriamiento		
Flujo másico	m	kg/s	11,12
Densidad	ρ	[kg/m ³]	997
Caudal	Q	[m ³ /s]	0,011
Área de flujo calculada	$A_{t \text{ calculada}}$	[m ²]	$2,37 \times 10^{-3}$
Diámetro calculado	$D_{\text{calculado}}$	[m]	0,21
Diámetro seleccionado (SCH40)	D_{nominal}	[in]	4
Diámetro exterior	$D_{\text{seleccionado}}$	[m]	0,11
Velocidad de agua con diámetro seleccionado	V	[m/s]	1,17

Tabla 77. Elaboración propia. Referencia: <https://www.vemacero.com/Tablas/Superficie.pdf>

Calculo del coeficiente pelicular del agua de enfriamiento, para este caso se considera que:

Temperatura	[°C]
$5 < T < 95$	
Velocidad	[m/s]
$0,3 < V < 3$	
Diámetro equivalente	[m]
$0,01 < D_{eq} < 0,05$	
Se emplea:	$h_0 = 1423 \left(1 + 0,0146 T_m\right) \left(\frac{v_t^{0,8}}{D_{eq}^{0,2}}\right)$
Con la corrección	$h_0' = h_0 \left(\frac{\mu_c}{\mu_w}\right)^{0,14}$

Tabla 78. Elaboración propia. Referencia Cao, E. (1986). "Intercambiadores de Calor"

Por lo que el coeficiente pelicular para el agua de enfriamiento en este caso:



Temperatura media	T_m	[°C]	34,5
Velocidad de flujo	V	[m/s]	1,17
Diámetro equivalente	D eq	[m]	0,0092
Coefficiente pelicular	h₀	[W/m² °C]	3839
Temperatura de pared	T_w	[°C]	37,5
Viscosidad dinámica	μ_m	[kg/m s]	0,00073
Viscosidad dinámica de pared	μ_w	[kg/m s]	0,00069
Coefficiente pelicular corregido	h₀'	[W/m² °C]	3869,3

Tabla 79. Elaboración propia.

Se adopta la consideración que al fluir el agua por dos tubos diferentes y considerando que la ecuación de transferencia es dependiente de la velocidad, temperatura media y diámetro equivalente. Se obtiene para cada tubo un coeficiente pelicular particular, que es el calculado como coeficiente pelicular corregido ($h_0' = 3869,3 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$). Debido a esto se considera la contribución de cada uno de los tubos y resistencia de transferencia de calor del sistema será:

$$\frac{1}{U_{total}} = \frac{1}{U_{estim}} + \frac{1}{2 * h_0'} = 0,0001 \frac{m^2 \text{ °C}}{W} \quad ; U_{total} = 8313,53 \frac{W}{m^2 \text{ °C}}$$

Por lo que el área estimada teórica será:

$$A_{requerida} = \frac{Q}{U_{total} \Delta T m l_{cc}} = 35,31 \text{ m}^2$$

Se van a considerar en este caso el cálculo de 3 áreas diferenciadas, el área requerida, aquella obtenida por la ecuación de diseño según los coeficientes de resistencia global, el área disponible como el área exterior del recipiente cilíndrico del reactor y el área geométrica aquella área definida por los medios tubos que permiten la circulación del agua.

Altura interna del reactor	m	3,64
Diámetro interno del reactor	m	3,64
Altura del cabezal inferior	m	0,619
Diámetro externo de los tubos	m	0,0171
Área lateral disponible	m²	41

Tabla 80. Elaboración propia.



Área de transferencia:

Considerando que el diseño serán dos tubos espiralados que rodeen el reactor mediante métodos de iteración se obtiene que para el diámetro seleccionado en la tabla 77 (pag. 172). El largo seleccionado para cada uno de los tubos es de 108 m.

Para llegar a este valor de largo primero se calcula la cantidad de tubos de diámetro de 0,11m requeridos con un largo igual a la altura lateral del reactor, puedan cubrir el área externa del reactor.

$$\text{Numero de tubos} = \frac{\text{Altura del reactor}}{\text{Diametro externo del tubo}} = \frac{3,64 \text{ m}}{0,11 \text{ m}} = 33 \text{ tubos}$$

Luego se plantea un área 1 y un área 2. Donde el área uno está representada por la cantidad de tubos de diámetro de 0,11m y un largo igual al diámetro externo del reactor podrían rodearlo y el área 2 como el área requerida para que un solo tubo de 0,11 m de diámetro rodee el mismo área.

$$\text{Area}_1 = \text{Num. de tubos} * \pi * D_t * D_{\text{Reactor}}$$

$$\text{Area}_2 = \pi * D_t * \text{Largo req.}$$

Igualando ambas áreas se obtiene el largo requerido para equiparar geoméricamente ambas consideraciones.

$$\text{Area}_1 = \text{Area}_2$$

Simplificando ambas expresiones se obtiene que:

$$\text{Num. de tubos} * D_{\text{Reactor}} = \text{Largo req.}$$

$$\text{Largo req.} = 120,1 \text{ m}$$

Ahora considerando que el medio de reacción no llega a ocupar toda la altura del reactor y que la zona inferior elipsoidal contendrá tubos. Se puede estimar que solo sera necesario un 90% del largo calculado. Y a su vez se considera que dicho largo calculado será para ambos medios tubos.

$$\text{Largo geom.} = 120,1 \text{ m} * 90\% = 104 \text{ m}$$

Ahora se calcula el área de transferencia geométrica en función al largo geométrico y considerando que es media tubería:

$$\text{Area}_{\text{geométrica}} = \pi * \left(\frac{D_{\text{tubo}}}{2} \right) * \text{largo geom}$$



$$Area_{geometrica} = \pi * \left(\frac{0,11 m}{2}\right) * 104 m = 18,66 m^2$$

Se obtiene un área geométrica de 18,66 m², que será aquella para cada uno de los tubos y la total será de 37,3 m². Por lo que:

Resultados de área

Área disponible	m²	41
Área requerida	m²	35,31
Área geométrica de transferencia total	m²	37,3
Porcentaje de exceso	%	5,3

Tabla 81. Elaboración propia. Referencia Cao, E. (1986). "Intercambiadores de Calor"

Se debe mencionar que los parámetros térmicos de entrada del agua de enfriamiento, se encuentran en la posición más desfavorable del año que es verano donde esta agua podría llegar a tener hasta 29°C, por temperatura ambiente de estación.

6.5.6.5 Hoja de especificación:



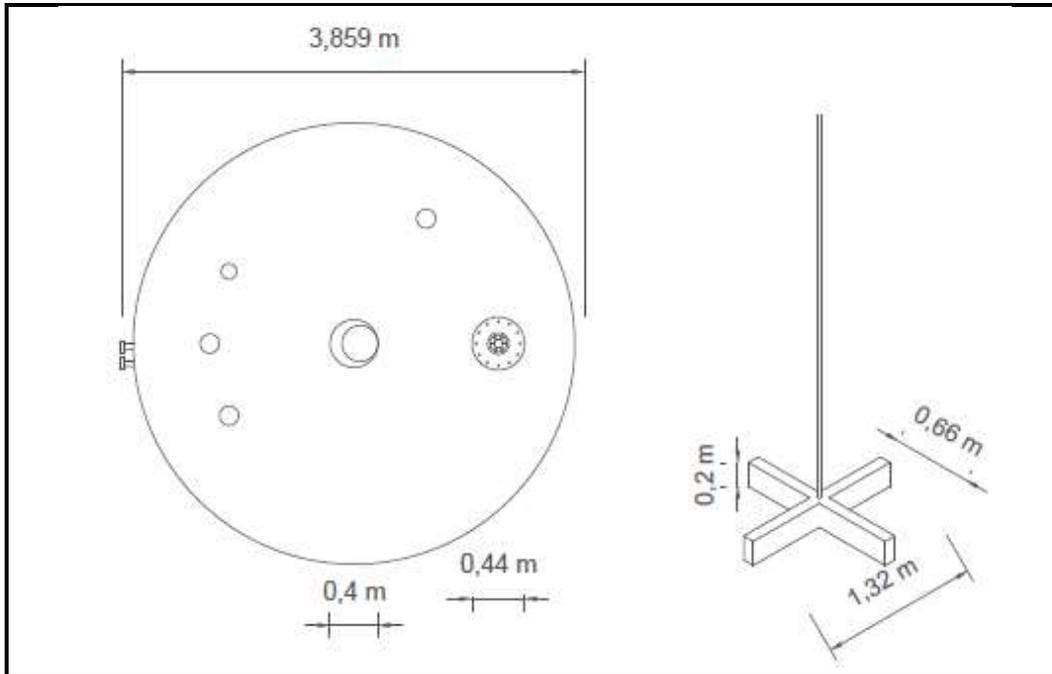
UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE REACTOR		
DENOMINACION: REACTOR de Polimerización		FECHA:		
UNIDAD: R-101		REVISION:		
SERVICIO: POLIMERIZACION		LOCACION: PLANTA PILAR		
DATOS GENERALES				
EQUIPO	Reactor de polimerización batch	HOJA	1 de 3	
FUNCION	suspensión acuosa en presencia de iniciador, agente dispersante y otros			
DATOS DE OPERACIÓN				
FLUIDOS	REACTIVOS	LIQUIDO	30535	kg/batch
		GAS	0	kg/h
	CATALIZADOR		0	Kg
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	53	°C		
PRESION DE OPERACIÓN	9	Kg/cm2		
CARGA POR BATCH	30535	KG/BATCH		
CARGA MAX POR BATCH	36642	KG/BATCH		
CARGA MIN POR BATCH	24428	KG/BATCH		
DENSIDAD DE MEZCLA DE REACCION	957,8	Kg/M3		
TIEMPO DE REACCION	4,5	horas		
DATOS DE CONSTRUCCION				
CAPACIDAD TOTAL	38	m3		
DIAMETRO INTERIOR	3,64	m		
DIMENSIONES				
CUERPO				
Diámetro interior	3,64	m		
Altura	3,64	m		
CABEZAL SUPERIOR (Semielipsoidal)				
Diámetro interior horizontal	3,64	m		
Altura	0,619	m		
CABEZAL INFERIOR (Semielipsoidal)				
Diámetro interior horizontal	3,64	m		
Diámetro interior vertical	0,619	m		
TOTAL	5	m		
AGITADOR				
Diámetro	1,32	m		
Ancho	0,264	m		
POSICIONAMIENTO		Vertical		
ESPEJOR	24,8	mm		
PESO VACIO	12745	kg		
PESO CON INICIADOR	12745	kg		
PESO EN OPERACIÓN	43280	kg		
DETALLE DE CONSTRUCCION				
TIPO DE RADIOGRAFIA	Parcial y total			
SOLDADURA	HOLD (especifica ing. de detalle)			
EFICIENCIA DE LA SOLDADURA	0,85			



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE REACTOR	
DENOMINACION: REACTOR de Polimerización		FECHA:	
UNIDAD: R-101		REVISION:	
SERVICIO: POLIMERIZACION		LOCACION: PLANTA PILAR	
EQUIPO	Reactor de polimerización batch	HOJA	2 de 3
DETALLE DE CONEXIONES			
ENTRADA DE ALIMENTACION		Parte Superior	
SALIDA DE PRODUCTOS		Parte Inferior	
DATOS OPERACION DE CHAQUETA			
Fluido refrigerante		Agua de enfriamiento	
Estado de agregación		Líquido	Fracción de líquido 1
Temperatura IN/OUT	°C	29	43
Presión IN/OUT	kg/cm ²	2	1,5
Flujo de enfriamiento		Paralelo	
Fuerza impulsora	$\Delta T m_{lcc}$	16	°C
Densidad del agua		997	kg/m ³
DATOS OPERACION DE CHAQUETA			
Caudal másico total		80115	kg/h
Caudal volumétrico total		80,356	m ³ /h
Velocidad del flujo		1,54	m/s
Calor específico		4,186	kJ/Kg °C
Entalpía de reacción		1531	kJ/kg MCV
Calor de reacción		21,24	M kJ/batch
Calor intercambiado		4,72	M kJ/h
Perdida de carga		HOLD	kg/cm ²
DATOS DE CONSTRUCCION DE CHAQUETA			
Descripción		Conformada por serpentín	
Material de tubos		Acero al carbono ASTM A53/A106	
Diámetro nominal		4	pulgadas
SCH		40	
Diámetro externo		0,11	mm
Numero de medios tubos		2	
Largo de tubos		108	m
Área de transferencia individual		18,6	m ²
Área de transferencia total		37,3	m ²
Ingreso de fluido		Parte inferior	
Salida de fluido		Parte superior	
Exceso de área de transferencia		5,3	%
DATOS DE DISEÑO			
TEMPERATURA DE DISEÑO		53	°C
TEMPERATURA MAXIMA EN OPE.		65	°C
PRESION DE DISEÑO		12	Kg/cm ²
CAIDA DE PRESION		0,07	Kg/cm ²
CAIDA MAXIMA DE PRESION ADMISIBLE		0,35	Kg/cm ²
MATERIAL DE CONSTRUCCION		Exterior: Acero al Carb.	24 mm
		Interior (caldeado):	1 mm
TIPO DE CABEZAL		Semi-elíptico	
LONGITUD DEL CABEZAL		0,619	mm
Peso total en operación		43317	kg



UTN FRLP	INTEGRACION V	HOJA DE ESPECIFICACION DE REACTOR	
DENOMINACION: REACTOR de Polimerización		FECHA:	
UNIDAD: R-101		REVISION:	
SERVICIO: POLIMERIZACION		LOCACION: PLANTA PILAR	
EQUIPO	Reactor de polimerización batch	HOJA	3 de 3
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Exterior: Acero al carbono	24	Mm
	Interior (caldeado): Acero Inoxidable	1	Mm
TIPO DE CABEZAL	Semi-elíptico		
LONGITUD DEL CABEZAL	0,619		m
Peso total en operación	44145		Kg
Observación	En la parte superior se observan una boca de hombre, y el ingreso de la materia prima así como también la conexión de la válvula de seguridad. Existen 2 ingresos de agua de enfriamiento en la parte inferior y dos salidas en la parte superior, correspondiente a cada medio tubo.		
ESQUEMA			



6.5.7 Compresor C-101

El compresor C-101, es un equipo diseñado para el proceso de recuperación de MCV sin reaccionar. Se extrae el MCV que no ha reaccionado en el rector y se lo recupera, la extracción de dicha materia se realiza en el flash (F-102) y una torre despojadora. (T-102). El rol principal del cual se encarga dicho equipo es comprimir el MCV gaseoso a una presión adecuada para poder, en una etapa posterior, condensarlo en el equipo de intercambio (E-107).

6.5.7.1 Memoria de cálculo

Para el diseño y selección del compresor es necesario tener en cuenta cuestiones tales como: el número de etapas, BHP y tipo de compresor. Al igual que en el diseño de la bomba, los parámetros que se necesitan conocer son los siguientes:

- Q_g = Volumen de gas a ser comprimido
- P_{suc} = Presión de succión
- P_{des} = Presión de descarga
- T_{suc} = Temperatura de succión



- $S = \text{Gravedad específica del gas}$

El régimen de operación será continuo y se conforma por una sola etapa de compresión

Para poder determinar el diseño del equipo C-101, se necesitan los valores de los datos anteriormente mencionados, los cuales son provenientes de la corriente 19A y se detallan en la siguiente tabla:

CORRIENTE DE ENTRADA "19A"		
Q_g	ACFM	131.192
P_{suc}	Kg/cm ²	1.3
P_{des}	Kg/cm ²	4.6
T_{suc}	°C	40
Z		0.979
$K = C_p/C_v$		1.187

Tabla 82. Elaboración propia. Estos valores fueron recopilados de la simulación con el PROII.

Cálculo del número de etapas:

Para calcular el número de etapas y contar con una compresión aceptable, las relaciones de compresión R_c tienen que estar entre 3 y 5.

De esta forma, la ecuación para determinar la relación de compresión se describe como sigue:

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

Donde:

- $R_c = \text{Relación de compresión}$
- $P_1 = \text{Presión de succión}$
- $P_2 = \text{Presión de descarga}$
- $n = \text{Número de etapas}$

Se calculará las relaciones de compresión variando el número de etapas, es decir, con $n = 1,2,3$.



R_c	$n = 1$	3.53846154
R_c	$n = 2$	1.88107989
R_c	$n = 3$	1.52383576

Tabla 83. Elaboración propia.

En la mayoría de los casos, la relación de compresión se debe limitar siempre que sea posible a un valor de 3.5 de forma de no sobrepasar los límites máximos de temperatura permitidos.

En nuestro caso, se puede observar que solo se requiere 1 etapa ya que a medida que vamos aumentando las etapas, la relación de compresión es inferior a 3.

Selección del tipo de compresor

Para la selección del tipo de compresor, se utilizará el siguiente diagrama, donde se elegirá el más adecuado en base al flujo de entrada Q_g y la presión de descarga P_2 .

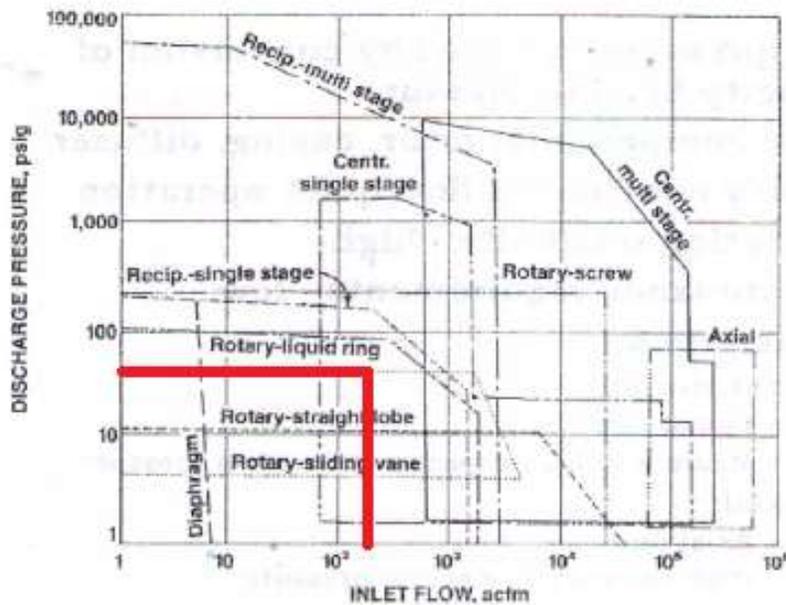


Ilustración 6. Diagrama de selección del compresor. Fuente: "Applied process design for chemical and petrochemical plants" (Vol.3, 3era ed.)- Ludwig, E.E. (1999)

Se seleccionó un compresor de anillo líquido según lo indicado en el diagrama.



Cálculo de las temperaturas de descarga

La temperatura de descarga se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

- T_1 = Temperatura absoluta de succión (K)
- T_2 = Temperatura absoluta de descarga (K)
- P_2 = Presión de descarga
- P_1 = Presión de succión
- k = Coeficiente de dilatación adiabática promedio
- η_p = Eficiencia politrópica

De la simulación se obtiene que la eficiencia politrópica es de:

$$\eta_p = 0.65$$

Volviendo a la ecuación de la temperatura, se tiene:

$$T_2 = 313.15 \text{ K} \left(\frac{4.6}{1.3} \right)^{\frac{1.187-1}{1.187 \times 0.65}}$$
$$T_2 = 425.37 \text{ K} = 152.22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo de la potencia al freno, BHP

El BHP es la suma de la potencia de compresión más las pérdidas debidas a la fricción de las ruedas del compresor, la fricción del fluido, la recirculación interna del gas y la fricción en sellos y cojinetes.

La potencia al freno se puede determinar con la siguiente fórmula:

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

Donde:

- BHP = Potencia de freno (HP)
- Z_{avg} = Factor de compresibilidad promedio (entre succión y descarga)
- k = Coeficiente de dilatación adiabática promedio
- Q_g = Flujo de entrada al compresor (MMSCFPD)
- T_{suc} = Temperatura de succión ($^{\circ}\text{R}$)
- η_a = Eficiencia adiabática



- $\eta_m =$ Eficiencia mecánica
- $\eta_p =$ Eficiencia politrópica
- $R_c =$ Relación de compresión

En la siguiente tabla se puede visualizar la eficiencia mecánica para compresores rotatorios; para este caso, se seleccionará un valor de eficiencia promedio igual a 0.7

Compressor Type	Efficiency, η
Centrifugal	0.70 - 0.85
High Speed Reciprocating	0.72 - 0.85
Low Speed Reciprocating	0.75 - 0.90
Rotary Screw	0.65 - 0.75

Tabla 84. Tabla de eficiencia politrópica para compresores.
Fuente: <https://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/spanish/?p=1588>

El valor de la eficiencia adiabática para compresores rotativos es de 0.87

$$\eta_a = 0.87$$

Para realizar los cálculos, se requieren los siguientes datos calculados anteriormente y los obtenidos por simulación:

ETAPA	T_{suc} (°C)	T_{des} (°C)	Z_{suc}	Z_{des}	Z_{avg}
1	40	143.01	0.97936	0.96245	0.970905

Tabla 85. Elaboración propia

Por lo que el BHP total para la compresión, incluyendo las pérdidas mecánicas del 5%, será de:

$$BHP = 21,54 \text{ HP}$$

Selección del compresor

Para la selección del compresor, se tiene en cuenta el valor del caudal a procesar q (m^3/h), al cual se le adicionará un 10% por seguridad.

El compresor seleccionado es el del proveedor "NASH PUMPS", el cual está diseñado para compresión de gases de quema, recuperación de Monocloruro de vinilo (VCM) o cualquier otro tipo de gas húmedo, corrosivo, sucio o explosivo.

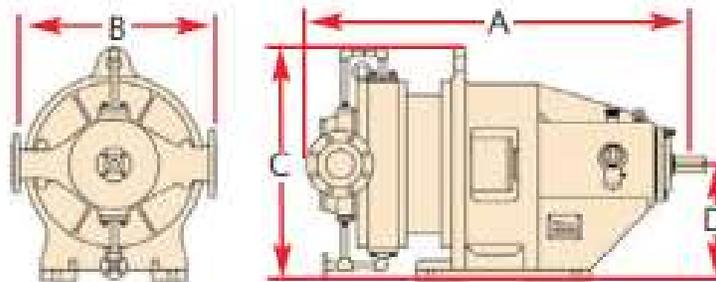


A continuación se detallan las especificaciones del modelo NASH NAM de una sola etapa.

 NASH NAM	Basic specifications	NASH NAM (single stage compressor)	NASH NAB (two stage compressor)
	Suction capacity	100 to 3,600 m ³ /h 60 to 2,100 CFM	100 to 2,600 m ³ /h 60 to 1,500 CFM
	Discharge pressure	to 6 bar abs. 72 psig	to 15 bar abs. 200 psig
	Mechanical seal	Single, double, cartridge	
	Construction materials	Stainless steel; other materials optional	

Ilustración 7. Tabla de especificaciones. Fuente: <https://www.nashpumps.com/es-ar/liquid-ring-compressors/2bk-liquid-ring-compressors>

Para nuestro proceso, se seleccionará el modelo NASH NAM 600, el cual tiene las siguientes dimensiones:



Dimensions all dimensions are approximate

Pump Model	A		B		C		D		Gas Inlet Flange inches • mm	Gas Disch. Flange inches • mm
	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm		
NAM 400	46.46	1180	27.56	700	31.5	800	15.75	400	4	3
NAM 600	49	1245	27.56	700	31.5	800	15.75	400	4	3
NAM 850	50.17	1274	27.56	700	31.5	800	15.75	400	4	3
NAM 900	57.59	1463	27.17	690	31.5	800	15.75	400	6	4
NAM 1100	53.25	1353	29.53	750	31.5	800	15.75	400	6	4
NAM 1500	75	1905	35.43	900	38.58	980	19.69	500	8	6
NAM 2500	77.94	1980	39.37	1000	42.52	1080	22.05	560	10	6

Ilustración 8. Tabla de dimensiones, compresor NASH NAM 600. Fuente: <https://www.nashpumps.com/es-ar/liquid-ring-compressors/2bk-liquid-ring-compressors>



Selección del motor

Para finalizar, se procede a seleccionar un motor capaz para proporcionar la potencia necesaria requerida por el compresor.

En nuestro proceso, se adquirirá un motor del proveedor “SIEMENS”, el cual nos brinda una eficiencia del 93% para un rango de temperatura ambiente de 20 °C a 30°C.

El modelo de motor seleccionado es el “1LE10” que ofrecen una potencia desde 0.09 hasta 22 kW, con carcasa de aluminio, 230/400 y 400/690 V, con 50Hz.

kW	Tamaño IEC	Código MLFB	IE	In (A)	Velocidad Nominal (rpm)	Tn (Nm)	Eficiencia 4/4	Eficiencia 3/4	Eficiencia 2/4	Factor de potencia	Iarr	Tarr	Tmax	Momento de Inercia (Kg.m ²)	Kgs (IMB3)	Rodamiento LA	Rodamiento LCA
3000 rpm, 2 polos, Aluminio / Fundición de Hierro, 400V / 690V, 50 Hz																	
5,5	132S	1LE1002-1CA03-4AA4	IE1	10,7	2910	18	84,7%	85,9%	85,7%	0,88	5,7	1,8	2,6	0,013	35	6208 2Z C3	6208 2Z C3
7,5	132S	1LE1002-1CA13-4AA4	IE1	14,3	2925	24	86,0%	86,7%	86,1%	0,88	6,8	2,2	3,1	0,016	40	6208 2Z C3	6208 2Z C3
11	160M	1LE1002-1DA23-4AA4	IE1	21	2925	36	87,6%	88,0%	87,1%	0,86	5,7	2	2,7	0,03	60	6209 2Z C3	6209 2Z C3
15	160M	1LE1002-1DA33-4AA4	IE1	28,5	2935	49	88,7%	88,9%	87,7%	0,85	6,8	2,4	3,2	0,036	68	6209 2Z C3	6209 2Z C3
18,5	160L	1LE1002-1DA43-4AA4	IE1	34,5	2935	60	89,3%	89,7%	89,3%	0,87	7,6	2,7	3,4	0,044	78	6209 2Z C3	6209 2Z C3
22	180M	1LE1503-1EA23-4AA4	IE3	38,5	2950	71	92,7%	93,2%	92,9%	0,89	7,5	2,3	3,5	0,08	160	6210 2 C3	6210 2 C3
30	200L	1LE1503-2AA43-4AA4	IE3	53	2955	97	93,3%	93,5%	92,9%	0,87	7	2,5	3,3	0,134	225	6212 2 C3	6212 2 C3
37	200L	1LE1503-2AA53-4AA4	IE3	65	2955	120	93,7%	94,2%	94,0%	0,88	7,1	2,5	3,2	0,158	250	6212 2 C3	6212 2 C3
45	225M	1LE1503-2BA23-4AA4	IE3	78	2960	145	94,0%	94,5%	94,4%	0,89	6,9	2,4	3,3	0,26	315	6213 2 C3	6213 2 C3
55	250M	1LE1503-2CA23-4AA4	IE3	95	2975	177	94,3%	94,5%	93,9%	0,89	6,7	2,3	3,1	0,46	385	6215 2 C3	6215 2 C3
75	280S	1LE1503-2DA03-4AA4	IE3	128	2975	241	94,7%	94,8%	94,1%	0,89	6,8	2,4	3	0,77	510	6315 C3	6315 C3
90	280M	1LE1503-2DA23-4AA4	IE3	152	2975	289	95,0%	95,1%	94,6%	0,9	7,2	2,4	3,1	0,94	590	6315 C3	6315 C3
110	315S	1LE1503-3AA03-4AA4	IE3	183	2982	352	95,2%	95,4%	94,9%	0,91	7,1	2,4	3,1	1,4	750	6316 C3	6316 C3
132	315M	1LE1503-3AA23-4AA4	IE3	220	2982	423	95,4%	95,5%	95,2%	0,91	7,2	2,5	3,1	1,6	880	6316 C3	6316 C3

Ilustración 9. Tabla de kW y eficiencia del motor. Fuente: https://motores-electricos.com.ar/motor-electrico-trifasico-siemens/?gclid=Cj0KCQjw4bipBhCyARIsAFsieCzchUWmhzyz5A3SD5x_Hs8ubtIbO6HR2uErqRnqgweC_MFvW-oLxmwaAvjREALw_wcB#consulta_motores

6.5.7.2. Hoja de especificación:



UTN - FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN COMPRESOR	INTEGRACIÓN V PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Sistema de compresión de una sola etapa		
UNIDAD: C-101		
SERVICIO: Compresión para recuperación de MCV		
DATOS GENERALES		
TIPO	Anillo Líquido	
PROVEEDOR	NASH PUMPS	
MODELO	NASH NAM 600	
DATOS DE OPERACIÓN		
CAUDAL	250	m^3/h
	696,479	Kg/h
CONDICIONES DE SUCCIÓN		
ETAPA	1	
PRESIÓN	1,3	Kg/cm^2
TEMPERATURA	40	$^{\circ}C$
PESO MOLECULAR	62,499	
FACTOR Z	0,97936	
CP/CV	1,1869	
CAUDAL VOLUMÉTRICO	131,192	$ACFM$
CONDICIONES DE DESCARGA		
PRESIÓN	4,6	Kg/cm^2
TEMPERATURA	136,3	$^{\circ}C$
FACTOR Z	0,96421	
PERFORMANCE DEL EQUIPO		
POTENCIA TOTAL	21,54	HP
EFICIENCIA POLITRÓPICA	65%	
COMPOSICIÓN DEL GAS		
C_2H_3Cl	1	%molar
MOTOR		
TIPO	ELÉCTRICO	
PROVEEDOR	SIEMENS	
MODELO	1LE10	
POTENCIA	22	kW
FRECUENCIA	50	Hz
VOLTAJE	690	V
EFICIENCIA	93,2%	



CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR SELECCIONADO		
CAUDAL MÁXIMO	3600	m^3/h
CAUDAL MÍNIMO	100	m^3/h
PRESIÓN DE DESCARGA	72	PSIG
LARGO	1245	mm
ANCHO	700	mm
ALTO	800	mm

ESQUEMA						
Pump Model	A inches mm	B inches mm	C inches mm	D inches mm	Gas Inlet Flange inches • mm	Gas Disch. Flange inches • mm
NAM 600	49 1245	27.56 700	31.5 800	15.75 400	4 100	3 80

6.5.8 Descripción de equipos no diseñados:

6.5.8.1 Sección S-100

Luego del proceso de reacción, se realiza un post-tratamiento donde en primera lugar se des-gasifica el material resultante del reactor para extraer el monómero no reaccionado que se recuperara.

Flash F-102

Es un flash desgasificador, donde por la propia condición de la materia se extrae una pequeña porción de monómero que evacua el equipo en forma de gas, mientras que la corriente de pasta polimérica avanza al siguiente equipo.



Torre T-102

Recibe pasta de polímero el cual ingresa por uno de los laterales del equipo y por fondo ingresa una corriente de vapor de baja. El objetivo principal es actuar como el principal desgasificador del monómero sin reaccionar para que este salga por tope al proceso de recuperación de monómero.

La tecnología es una torre de platos perforados en donde la corriente de vapor de baja, que ingresa por fondo, permite al material encontrarse a una temperatura adecuada uniformemente en todo el equipo, para permitir la extracción natural del monómero gaseoso sin reaccionar. Por fondo se obtiene un slurry de material de polímero y agua libre de monómero que circula a la siguiente sección, y por tope se obtiene una corriente de monómero y parte de vapor residual.

E-105

La corriente de tope, de la torre T-102, es enviada a este intercambiador el cual se encarga de establecer la temperatura a unos 109°C. Esta corriente se dirige al flash F-103 donde se despoja parte del agua circundante y los gases que salen en la parte superior se unen a la corriente (S13) e ingresan al sistema de recuperación de monómero.

Sistema de recuperación de monómero

El objetivo principal del sistema de recuperación de MCV es recuperar el monómero que no ha reaccionado y devolverlo con las especificaciones adecuadas para su ingreso en el reactor. El sistema de recuperación de monómero cuenta con una línea de compresión especificada en para especificar la corriente de monómero gaseosa a una presión adecuada y provocar su posterior licuefacción por descenso de temperatura. Se ajusta previamente a esto un condensador que reduce la temperatura del flujo a 40°C para permitir que el agua residual condense y sea evacuada previo al sistema de compresión (equipos E-106 y F-104). Posteriormente se acumula el condensado de monómero luego de que este haya pasado por el tren de compresión y condensación (C-101, E-107 y E-108), el acumulador (F-105) permite que el flujo del monómero ya líquido y especificado sea nuevamente incorporado en el sistema de reacción (bombeado con la P-107).

Uno de los aspectos a mencionar dentro del sistema de recuperación de monómero es que cuenta con un tren de absorción y desorción que permite la eliminación de contaminantes en el caso de que la materia resultante del reactor, por diversos motivos, se encuentre fuera de especificación (equipos T-103 y T-



104). De esta forma se procede a emplear esta serie de equipos que permiten la recuperación parcial del monómero y permitiendo la eliminación de contaminantes de forma adecuada.

Recordar que este es un sistema de seguridad requerido para la protección integral de operarios, la población en general considerando que el monómero cloruro de vinilo tiene un alto grado de toxicidad. Este sistema cuenta con una absorbidora que emplea como absorbente soda cáustica y la desorbedora es capaz de recuperar la soda cáustica una vez esta haya sido agotada en la absorción, permitiendo paralelamente la liberación de monómero recuperado que es nuevamente enviado al sistema de recuperación (corriente 22 que se une a la corriente 13 y 17A). Los contaminantes resultantes de esta operación son enviados al servicio de antorcha que el parque industrial brinda.

Circuito de refrigeración con propano (R-290)

Dentro del apartado de servicios auxiliares, nos encontramos con el servicio de propano como medio refrigerante a utilizar en el condensador E-101, este sistema se encuentra dentro de la sección S-100. En este circula vapor de la parte superior de la columna de destilación y se condensa retirando energía en forma de calor. La energía retirada del equipo es igual a 1.453.400 Kcal/h.

El circuito de refrigeración es un ciclo cerrado que utiliza un flash F-301, un compresor C-301, dos intercambiadores de calor ubicados en serie, E-301 y E-302, y una válvula V-301. El compresor es el encargado de desplazar el propano por el circuito, recibiendo el caudal proveniente del flash. Luego se dirige al tren de intercambio en donde la condición de salida es un líquido saturado a $0,2^{\circ}\text{C}$. La válvula se encarga de reducir la presión, y luego ingresa al E-101. La corriente de salida de este equipo se dirige al flash, iniciando nuevamente el ciclo.

El propano ingresa al condensador de la columna a una temperatura de $-0,6^{\circ}\text{C}$ y a una presión de $4,8 \text{ kg/cm}^2$, con un caudal igual a 4325,2 kg/h.

Los datos mencionados fueron tomados de la simulación realizada en PRO II.

6.5.8.2 Sección S-200

La pasta es recibida en la sección 200, la cual se trata de una serie de operaciones que realizan el proceso de acondicionamiento final del producto terminado



Cen - 201

El producto proveniente de la torre despojadora de monómero (T-102), ubicada en la sección 100, será transportado hacia la centrifuga mediante una bomba de tornillo (P-201), la cual está diseñada para bombear fluidos viscosos, con altos contenidos de sólidos. A continuación se muestra el esquema de la bomba seleccionada:

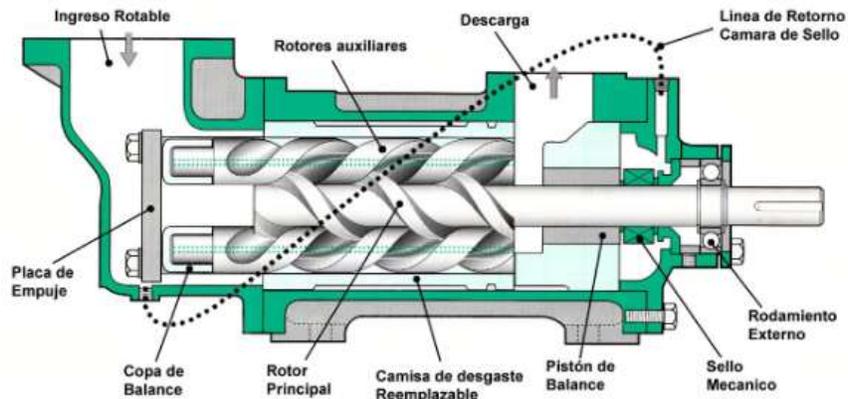


Ilustración 20: Bomba de tornillo. Fuente: <https://es.scribd.com/document/192874688/Hogares-mecanicos>

Seguidamente, se usa una centrifuga de tipo decantador ya que son las comúnmente usadas en esta industria, permitiendo la separación eficiente de fases líquidas y sólidas mediante fuerza centrífuga. La carga ingresa por una lateral de la centrifuga, la cual es un equipo rotante que extrae agua debido a la fuerza centrífuga por diferencia de peso. La extracción del agua no es completa pero es útil para reducir los niveles de humedad antes de llegar al próximo equipo de proceso, reduciendo la exigencia del secador de leche fluidizada. El egreso primario es propio del slurry húmedo y el según egreso será parte del agua que puede extraerse por centrifugado.

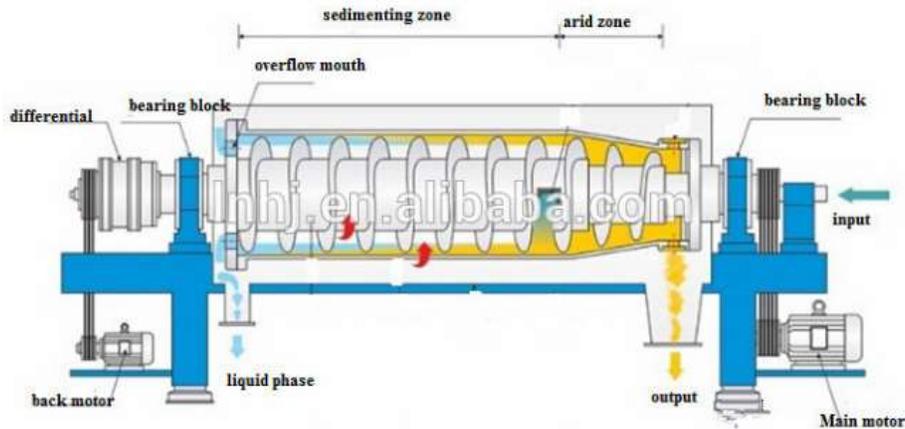


Ilustración 11: Decantador centrífugo. Fuente: <http://es.biomass-china.com/wastewater-treatment/50682928.html>

Una vez finalizado el proceso de centrifugado, el producto se dirige a una secadora de lecho fluidizado, con el objetivo de eliminar cualquier sobrante de agua.

S-201

La secadora de lecho fluidizado es un equipo utilizado para secar sólidos granulares, partículas o polvos mediante el paso de aire calefaccionado (en nuestro caso, el soplante Jc-201) a través de un lecho de partículas. Este lecho fluidizado se logra con la introducción del gas (aire u otro) a través de la base del equipo, lo que genera que las partículas sólidas se comporten como un fluido, facilitando un secado rápido y uniforme.

En este proceso, permite eliminar toda el agua restante de la pasta de polímero que no ha sido removido en la centrifuga. A su vez, también genera que el polímero adopte un estado de sólido granular fino, que al salir del equipo es enviado a la etapa de compounding (hacia Tk-202).

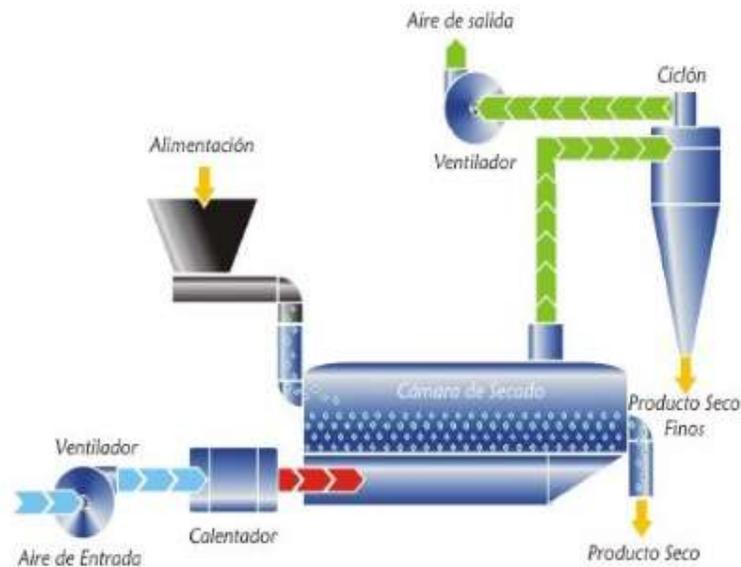


Ilustración 12: Secador de lecho fluidizado horizontal. Fuente: <https://es.slideshare.net/VLADIMIRVIERA/secado-por-lecho-fluidizado>

El ingreso de la carga húmeda es ingresada por la alimentación donde luego esta se encuentra con una cámara de secado, dentro de ella el piso es una chapa perforada donde ingresa una corriente de aire caliente que seca la carga extrayendo la humedad residual, generando una corriente de vapor que es expulsada por la parte superior. Previo a la expulsión esta corriente de vapor atraviesa un ciclón. El ciclón es un equipo capaz de evitar que polvillo fino sea arrastrado al venteo, donde este polvillo de solido particulado fino decanta por gravedad y es reingresado al sistema de procesamiento. Por otro lado toda la carga una vez seca es enviada a la siguiente unidad de procesamiento por una línea de transporte neumático.

Ext-201

El compounding es un elemento clave en la comercialización de PVC ya que se refiere a la mezcla y preparación de diferentes materiales para obtener una composición específica. En este proceso, se combinan polímeros base con aditivos, rellenos, pigmentos o cualquier otra sustancia para crear un compuesto plástico con propiedades y características particulares.

El objetivo del compounding es modificar las propiedades físicas, químicas o mecánicas del polímero base para adaptarlo a aplicaciones específicas. Los compuestos resultantes pueden tener mejor resistencia, durabilidad, coloración u otras características deseadas según las necesidades del producto final.



En este proceso, hay dos mecanismos de mezclado que fijan el tipo de equipo y la configuración del mezclador: el mezclado dispersivo y el mezclado distributivo.

En el primero se busca reducir el tamaño de un componente cohesivo, mientras que en el segundo, se busca distribuir el componente en el volumen de la mezcla (pueden llevarse a cabo en equipos "batch" o continuos).

Para nuestro sistema se usará una extrusora, en la cual serán añadidos los aditivos, el polímero base y cualquier otro componente necesario para la obtención del material deseado. El uso de la extrusora es un compounding del tipo distributivo.

La extrusora de compounding consta de un tornillo sinfín que mezcla y funde los materiales mientras se desplazan a lo largo del cilindro. Durante este proceso, el material plástico se introduce en el cilindro, donde el tornillo lo empuja hacia adelante, aumentando la presión y la temperatura. A medida que el material fundido sale a través de la boquilla, se le da la forma deseada y luego una cuchilla rotatoria corta el material para cerrar la forma del sólido a comercializar (para nuestro proceso, el sólido adoptará la forma de "pellet" o granulo).

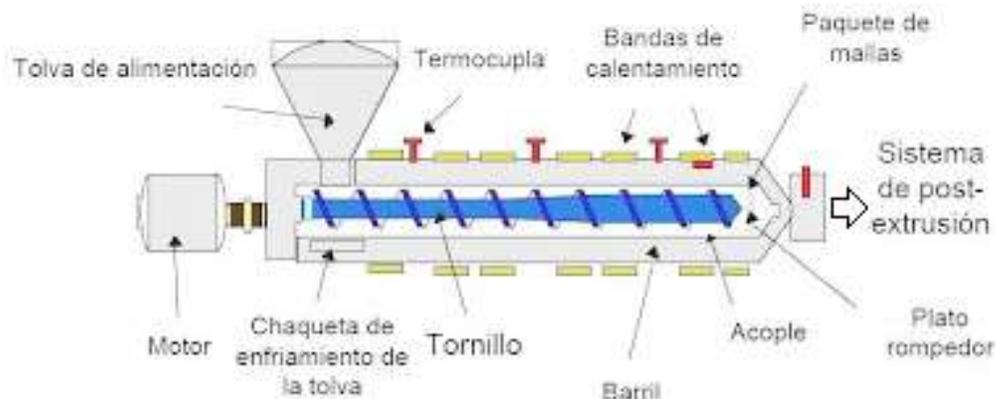


Ilustración 13: Extrusora. Fuente: <http://departamentofrigorificoesperides.blogspot.com/2016/05/estrusion-en-materiales-plasticos.html>

Tam-101

Los pellets obtenidos se trasladarán mediante cinta transportadora hasta el tamiz industrial. Esto permitirá un mejor control de la calidad de los mismos, ya que el tamizado conforma una discriminación selectiva del tamaño formado de los "pellets".

El proceso en un tamiz industrial se puede describir de la siguiente manera:

- Alimentación del material: El material a ser clasificado se introduce en la parte superior del tamiz.



- Movimiento Vibratorio o agitación: Esto es necesario para facilitar la separación de las partículas.
- Pasaje a través de la superficie perforada: El material se desplaza por una superficie perforada, que actúa como el tamiz propiamente dicho. Las aberturas en esta superficie determinan el tamaño de las partículas que pueden pasar a través de ella.
- Separación por tamaño: Las partículas más pequeñas pasan a través de las aberturas del tamiz, mientras que las partículas más grandes quedan retenidas en la parte superior.

Aquellos que no cumplan con la especificación dada serán considerados como flujo de rechazo y son nuevamente enviados a la extrusora para conformar nuevos “pellets”. Este proceso favorece a la comercialización de un producto sólido de tamaño homogéneo, mejorando de forma integral el nivel de servicio.

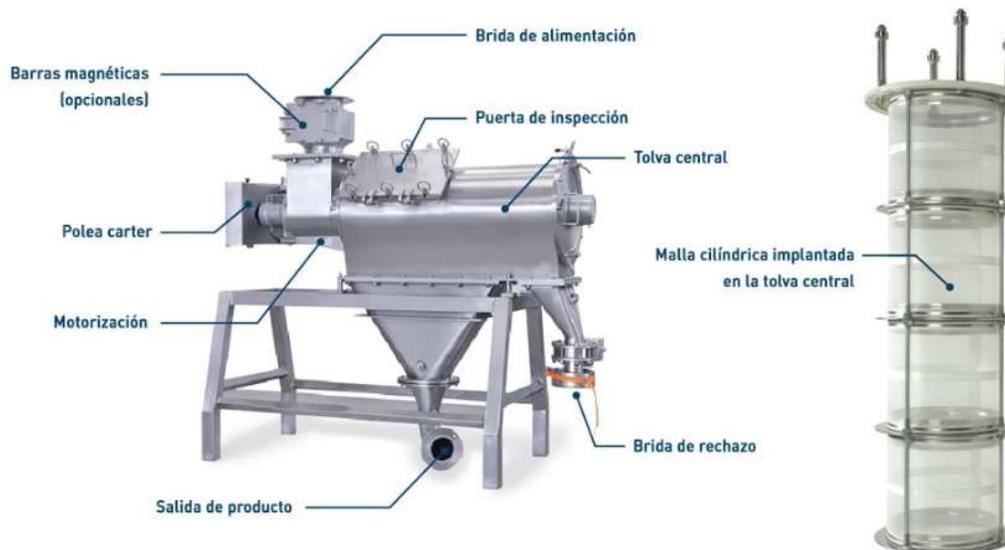


Ilustración14: Tamiz centrífugo. Fuente: <https://www.palamaticprocess.es/maquinas-industriales/tamiz-centrifugo>

Embalaje-201

El último equipo que conforma la sección S-200 es una envasadora de pellets, el cual funciona de la siguiente manera:

- Alimentación de pellets: Los pellets serán alimentados a la envasadora mediante una tolva.
- Formación de envases: En este caso, la envasadora puede usar bolsas preformadas o en caso contrario, formar bolsas a partir de un rollo de material flexible.



- Dosificación y llenado: Los pellets se dosifican y se introducen en el envase. Esta dosificación puede ser controlada por peso, volumen o conteo dependiendo de la configuración de la máquina.
- Sellado: El envase se sella para proteger los pellets del entorno y garantizar la integridad del producto durante el almacenamiento y el transporte.
- Fecha y lote: Si es necesario, la máquina puede imprimir la fecha de caducidad e información del lote en el envase.
- Corte y separación: Como los pellets serán envasados en bolsas individuales, la envasadora corta y separa las bolsas.
- Empaque final: Los pellets terminados se agrupan y se empaquetan de acuerdo a los requisitos de almacenamiento y transporte.

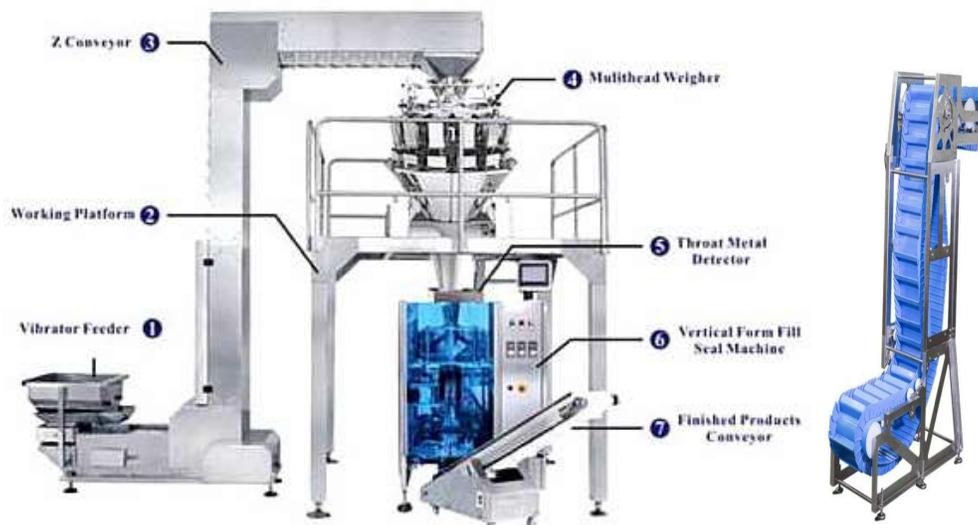


Ilustración 15: Envasadora automática y con su transportador vertical. Fuente: <https://www.europages.es/empresas/esp%C3%B1a/ensadoras%20autom%C3%A1ticas.html>

Qx-201

Para poder acondicionar el aire empleado en el secado, el cual requiere entrar al equipo con una temperatura de alrededor 130°C. Se emplea un quemador de gas natural que permita la calefacción del aire. Este equipo recibe aire del suplante Jc-201. El caudal de gas natural calculado es de 2 kg/h. Considerando que el poder calorífico inferior del gas natural es de aproximadamente 10,8 kWh/Nm³ y su peso molecular estimado es de 18,2 kg/kmol (referencia: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/composicion>) y que el aire de servicio requiere absorber una cantidad de 6,8 kCal/h o 28,45 kJ/h.



Se calcula que:

$$\text{Caudal volumetrico} = \frac{28,45 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{10,8 \frac{\text{kJ}}{\text{Nm}^3}} = 2,63 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

Por lo que el consumo de gas mensual estimado será aproximadamente de 1390 Nm^3 . Que permita la adecuada calefacción del aire que permite secar por completo nuestro producto.

6.6 Servicios Auxiliares ÷

6.6.1 Energía eléctrica:

Se asume que la potencia total instalada de la planta es de 355 kW

Para la sección S-100, se considera la potencia del compresor C-101 es de 22 kW, las bombas de circulación de fluido considera 11 kW y son en total 12 unidades. Los motores de agitadores, que serán 3, se estiman según los valores promedios de 18 kW.

Para la sección S-200, se considera el soplante de aire con una potencia de 15kW, la única bomba de circulación de flujos consideradas como 6 kW. La potencia estimada de la centrífuga es de 21 kW, y por último consideramos a los motores requeridos para el funcionamiento de la línea de pelletización y tamiz industrial alcanza los 50 kW. La potencia total del circuito de propano es de 22kW

Para el predio de tanques se considera la potencia las bombas Booster como 5,5 kw y se toman en total 6, es decir no se cuentan las bombas gemelas.

6.6.2 Gas natural:

El quemador Qx-201, consume en total 2,6 m^3/h de gas natural, provisto por la red de servicio del predio industrial.



7. CONTROL:

Se adjuntan los P&ID de la torre T-101 (Dibujo N° 6) y del reactor R-101 (Dibujo N° 7).

8. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL

La planta de producción de PVC se diseña de forma que pueda operar de manera continua siendo necesario contar con un abastecimiento permanente de materias primas, así como también de personal que opere la planta las 24hs. Se contemplan 330 días de producción al año y los restantes 35 días se reservan para paros programados por tareas de reparación y mantenimiento de las instalaciones.

Por lo general, los desafíos organizativos estarán relacionados con la interacción de la empresa con los sindicatos, particularmente con UOM y UOCRA durante las fases de construcción y con UOYEP (Unión de Obreros y Empleados Plásticos) durante la operación. Las solicitudes y demandas planteadas por estos sindicatos pueden tener implicaciones económicas significativas, influyendo en los costos de inversión en la primera etapa y en los costos de producción en la segunda.

Todo el personal propio de la empresa (excepto el personal Superior como Jefes y Gerente) están encuadrados en el **Convenio Colectivo de Trabajo N° 797/22**⁴ que regula por ejemplo la extensión de la jornada de trabajo, las remuneraciones por jornadas extendidas y horarios nocturnos, los montos por trabajar en días de franco así como el pago al 200% del día del Empleado Plástico el 24 de noviembre, día del Trabajador el 1° de Mayo, entre otras.

Además, es importante considerar la posibilidad de paros inesperados por parte de los sindicatos de camioneros y ferroviarios, ya que estos pueden tener un impacto considerable en el plan de producción. En consecuencia, se han establecido políticas de gestión de inventarios y se han delineado medidas a seguir en caso de paros laborales para mitigar dichos efectos.

⁴ <https://www.uoyepweb.org.ar/convenio/>



8.1. Organigrama

(Ver organigrama en Anexo 1)

El organigrama de la empresa se muestra a continuación (Personal de la empresa) e incluye una gerencia y cinco departamentos, cada uno dirigido por su respectivo jefe. Estos departamentos son: Producción, Servicio Técnico, Recursos Humanos, Mantenimiento y Administración.

De estos departamentos, los jefes de Producción, Servicio Técnico, Recursos Humanos y Mantenimiento participan en un sistema de guardias semanales. Durante su período de guardia, el jefe designado deberá permanecer disponible en su domicilio y actuar como la persona responsable para abordar cualquier problema o emergencia que surja en la planta. Para garantizar una comunicación efectiva, el jefe de turno dispondrá de un teléfono celular exclusivo con ese propósito. (6 personas, 1 gerente y 5 jefes). En total se necesitarán 126 personas efectivas en la empresa para funcionar.

8.2. Selección e incorporación del personal

El personal que operará la planta y los supervisores, serán contratados con un año de antelación para que puedan familiarizarse con los sistemas de control y el funcionamiento de la planta, así como también participar activamente en la selección de variables a observar en los monitores de la sala de control.

El personal de compras y contrataciones estará presente en la empresa desde el momento en que se decide en invertir.

De igual manera los cuadros directivos y puestos claves (como Seguridad y Medio Ambiente), deben estar incorporados desde el inicio de los estudios de Ingeniería.

Estos gastos serán tenidos en cuenta como parte de la inversión inicial (2% de la inversión en equipos).

Seguridad industrial

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 4° 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.

Riesgos laborales – ART

Se contratará una ART para que brinde asesoramiento en medidas de prevención, y para reparar los daños en caso de accidentes de trabajo o enfermedades profesionales.

Las obligaciones de la ART serán las siguientes:

1. Brindar todas las prestaciones que fija la ley, tanto preventivas como dinerarias, sociales y de salud.
2. Evaluar la verosimilitud de los riesgos que declare la empresa.
3. Realizar la evaluación periódica de los riesgos existentes en las la empresa y su evolución.
4. Efectuar los exámenes médicos periódicos para vigilar la salud de los trabajadores expuestos a riesgo.
5. Visitar periódicamente la empresa para controlar el cumplimiento de las normas de prevención de riesgos del trabajo.
6. Promover la prevención, informando a la SRT acerca de los planes y programas exigidos a la empresa.
7. Mantener un registro de siniestralidad del establecimiento.
8. Informar a los interesados acerca de la composición de la entidad, de sus balances y de su régimen de alícuotas.
9. Controlar la ejecución del Plan de Acción de los empleadores y denunciar ante la Superintendencia de Riesgos del Trabajo los incumplimientos.
10. 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 Superintendencia de Riesgos del trabajo.

La selección de la ART se hizo respecto al informe publicado el 31 de diciembre del 2020⁵ por la Superintendencia de Seguros de la Nación seleccionando entre las 12 ARTs puntuadas en dicho informe. Inicialmente elegimos **PREVENCION, PROVINCIA y EXPERTA ART** que son las 3 con más volumen de participación en el mercado. De esas 3 elegimos finalmente **EXPERTA ART** por sus Índices de Solvencia.

8.3. Esquema de Turnos:

Para calcular el número de empleados se tuvo en cuenta la estructura de 2 turnos diarios de 12 horas y la necesidad de incluir un relevante en el caso de los puestos rotativos (principalmente personal de planta, sala de control, mantenimiento, servicio técnico y servicios auxiliares). Se trabajará siguiendo una plantilla de 4 mañanas – 4 descansos - 4 noches – 4 descansos. Se dividirá en 4 guardias de la A a la D y cada guardia tendrá a su vez un relevante de supervisor y un relevante de operadores para cubrir vacaciones y licencias por enfermedad, etc. El número de supervisores/tablerista/operarios por guardia será 1/1/4 y a estos 6 empleados se le sumaran 1 relevante de supervisor y 1 relevante de tablero y 2 relevantes de operarios dando un total de 28 empleados.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Día→	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X
GA	M	M	M	M	D	D	D	D	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M	M	D	D	D	D	N	N	N	N	D	D	D
GB	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M	M	D	D	D	D	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M	M	D	D	D
GC	D	D	D	D	M	M	M	M	D	D	D	D	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M	M	D	D	D	D	N	N	N
GD	D	D	D	D	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M	M	D	D	D	D	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M

Tabla 91. Diagrama de Turno. Fuente: Elaboración propia.

8.4. Servicios contratados:

A continuación, se detallarán los servicios prestados por terceros.

Servicio de asesoría legal: Asesoramiento en asuntos legales, financieros y contables.

⁵ https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ssn_202012_indicadores_mercado_anexo.pdf



Servicio de vigilancia y seguridad: Control de acceso y supervisión de personal y contratistas. El personal realizara turnos rotativos de 12 hs. Además, el personal se encontrará afiliado a UPSRA (Unión Personal de Seguridad de la República Argentina) El 25 de Abril se pagara la jornada al 200% por ser el día del Trabajador de Seguridad.

Servicio de actividades correctivas de mantenimiento: Mantenimiento de áreas pintadas y señalizadas, así como reparaciones en oficinas de: plomería, aires acondicionados, etc. Realizarán jornadas de 7hs como máximo en el horario de 8 a 15 hs. Estarán afiliados a SOM (Sindicato de Obreros de Maestranza). El 1 de mayo se pagará la jornada al 200% siendo responsabilidad de la empresa contratista tener disponibilidad de personal para que se cumpla la tarea.

Servicio informático: Soporte técnico, suministro de equipos y sistemas de control.

Servicios de disposición de residuos: Retiro, transporte y tratamiento de residuos domiciliarios, industriales, y/o especiales.

Servicio de comedor: Preparación de viandas normo calóricas, hipocalóricas y/o para celíacos para los diferentes turnos y eventos especiales. Dichos empleados estarán afiliados al Sindicato UTGHRA (Unión de Trabajadores del Turismo, Hoteleros y Gastronómicos de la República Argentina) El 2 de agosto es el Día del Empleado Gastronómico y la jornada de trabajo se pagará al 200%.

Servicio de limpieza: Limpieza de oficinas, comedor, vestuarios y sala de control. Estarán incluidos en el mismo CCT que el personal de maestranza (mantenimiento)

Servicio de jardinería: Mantenimiento de áreas verdes, corte de árboles para garantizar la seguridad eléctrica y cuidado del césped y estanque.

9. PLOT PLAN:

9.1 Acceso de la planta:

El acceso a la planta es por la calle 10 del parque industrial de pilar, por la zona sur de la planta. Hay dos entradas diferenciadas una para el personal y visitas que da acceso directo al área administrativa y un acceso a la zona de producción por vereda. Mientras que el otro acceso está pensado para el ingreso de camiones, principalmente para aquellos destinados a cargar producto para su



distribución. De igual manera por el acceso de camiones se encuentra el acceso a de las calles internas que permiten el traslado dentro de la planta por vehículo.

Para el ingreso al parque Industrial Pilar, se cuenta con 3 accesos. Dos de ellos son para el ingreso de Tránsito liviano y uno de tránsito pasado.El ingreso de los camiones de insumos y los que se llevarán el producto tendrán que ingresar al parque por el Km.60 de la Ruta 8 (Acc. Norte); mientras que cualquier otro transporte liviano puede acceder mediante el Km.61 o el Km.55 de la misma Ruta.

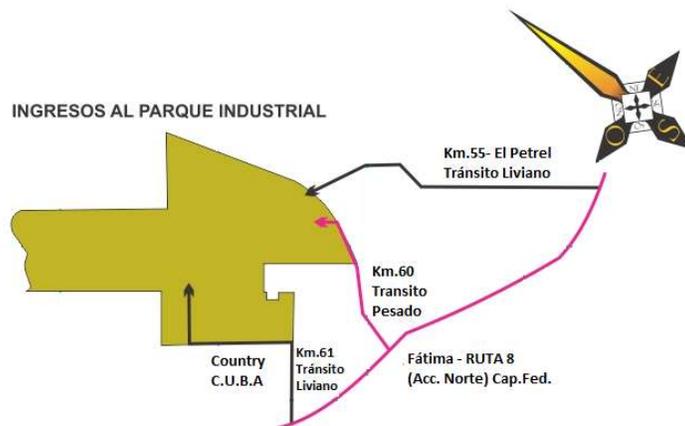


Ilustración16. Elaboración propia. Ruta de ingreso del parque industrial.

Una vez ingresado al parque, los camiones realizarán el siguiente recorrido.

Para llegar a la planta, se ingresa por el acceso terrestre del parque industrial como el siguiente mapa.



Mapa 4. Elaboración propia. Ruta de ingreso a la planta desde la entrada del parque industrial

9.2 Plot Plan

Se adjunta en el dibujo 3 el Plot plan de la planta de producción de PVC. El acceso a la planta es por el sur.

Superficie total del terreno 9765

Superficie ocupada 5838,24

Porcentaje de la superficie ocupada: 60%

9.2.1 Descripción de las áreas:

Parque de tanques de almacenamiento:

Se dispone de 6 tanques en total, cada cual con su recinto correspondiente a las dimensiones de estos. 4 tanques son empleados para el almacenamiento de materia prima. Dos de los tanques anteriormente mencionados almacenan Monocloruro de Vinilo contaminado, proveniente de la planta colindante de MCV. Los 2 restantes almacenan agua desmineralizada materia prima empleada como medio en el proceso de reacción y proveniente de nuestra propia planta de agua desmineralizada. Los tanques más pequeños son empleados uno para



almacenar agua para incendios y el restante para producto fuera de especificación. Los recintos de los 6 tanques son empleados en caso de accidentes o falla evitando un derrame con severas consecuencias y estos pueden sostener hasta un 110% del volumen total almacenado.

Superficie del área es 1248 m²

Área de producción:

El área de producción aglomera la sección S-100 y la sección S-200, los cuales contienen todos los equipos de los procesos productivos principales. La primera sección mencionada, S-100 contiene todos los equipos de acondicionamiento de materia prima, síntesis de producto y recuperación de materia prima. La sección S-200, posee los equipos de acondicionamiento del producto final para su comercialización, además en esta área se maneja material sólido por lo que está contenida bajo un área cerrada y techada.

Se adjunta en el dibujo 4 y 5 las correspondientes áreas de producción S-100 y S-200 que permite observar visualmente la distribución de las áreas. La distribución de los equipos en ambas áreas considera la distancia adecuada, formando áreas libres que permitan efectuar adecuadas actividades de mantenimiento, limpieza, desmontajes, paso del personal, entre otras.

Superficie S-100 624 m²

Superficie S-200 348 m²

Superficie total del área de producción 972 m²

Sub-estación transformadora:

La subestación eléctrica, es una instalación destinada a establecer adecuados niveles de tensión para el funcionamiento integral de la maquinaria y equipos, evitando pérdidas y daños. De esta manera, se convierte la energía eléctrica a niveles ideales para llevar a cabo la producción.

Superficie 66,4 m²

Almacén de insumos:

Almacén destinado al acopio de insumos de producción, principalmente aquellos aditivos y el iniciador necesarios en la actividad productiva.

Superficie 170,6 m²

Planta de agua desmineralizada:



Área destinada a albergar los equipos requeridos para la obtención de agua desmineralizada a partir de agua de servicio del parque industrial. Se lleva a cabo el proceso con el uso de resinas de intercambio iónico.

Superficie 171,6 m²

Laboratorio:

Área de uso técnico para llevar a cabo actividades de control de calidad, y seguimiento de los procesos productivos. En el área se encuentran los instrumentos y equipos requeridos para una asistencia integral del proceso productivo. Cuenta en el interior con una oficina donde se archivan transitoriamente los resultados de los ensayos y se lleva a cabo la planificación y organización de las actividades técnicas de laboratorio.

Superficie 228,3 m²

Sala de control:

Dentro de la sala de control se encuentran los equipos que permiten el continuo seguimiento de los instrumentos de medición y control llevados a cabo en los procesos productivos. EL área cuenta con tecnología, como consolas, computadora y alarmas, que posibiliten las tareas de supervisar y seguir en tiempo real las actividades del área productiva. Dentro también se encuentra una zona de descanso para el personal, baño y vestuario de operarios de control.

Superficie 214,5 m²

Comedor:

Es un área destinada a permitir el receso y descanso de los empleados de todas las áreas. Acá se encuentran una serie de mesas, sillas y máquinas expendedoras. El lugar cuenta con una mesada y heladeras que facilitan la tarea de conservar y distribuir las viandas.

Superficie 220 m²

Administración:

La administración es el edificio que cuenta con múltiples áreas de oficinas y una sala de reuniones, este cuenta con 2 plantas y dentro acopia a las áreas de gestión, planificación y dirección de la empresa. Las oficinas están destinadas para la gerencia y su secretaría, el personal de RR.HH., el personal de administración, parte del personal de producción (coordinador de operaciones y



jefes), parte del personal de servicio técnico (jefes e ingenieros) y personal de mantenimiento.

Dentro del edificio se encuentra la recepción con su respectiva sala de juntas para coordinar visitas de clientes, proveedores, entre otros.

Superficie 1245 m²

Almacén de producto:

Se distingue el almacén de producto como el área donde se acopia el producto terminado en estanterías y pallets. El producto en cuestión se encuentra almacenado en bolsas y dentro del almacén se dispone de la distribución correcta para que puedan operar los samplings y zorras en la maniobra del producto. Dentro se encuentra también una pequeña oficina para el jefe de almacén.

Desde la entrada donde ingresan los camiones hasta el área de carga de producto hay 18 m y consta de una zona de carga elevada para facilitar la carga de producto.

Superficie 854,84 m²

Estacionamiento:

Zona que permite el estacionamiento del personal que dese trasladarse a la planta en auto particular

Superficie 357 m²

Seguridad patrimonial:

En ambos accesos a la planta se encuentra una garita de seguridad que permite la vigilancia del ingreso del personal, transportistas, y visitas que ingresen a la planta.

Superficie seguridad 1 30 m²

Superficie seguridad 2 60 m²

9.2.2 Plot plan del área de procesos:

Ver dibujo 4 y dibujo 5 adjuntos.



10. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) tiene como objetivo verificar la aptitud ambiental del emplazamiento de una planta de PVC en el Parque Industrial de Pilar. Para que el Ministerio de Medio Ambiente de la provincia de Buenos Aires (ex Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable (OPDS)) otorgue el Certificado de Aptitud Ambiental (CAA), el proyecto debe cumplir con los requisitos solicitados en el artículo 50° y concordantes del Decreto N°1741/96 reglamentario de la Ley 11459. EL certificado de aptitud ambiental es un trámite que acredita en forma exclusiva el cumplimiento de las normas ambientales de la provincia.

Se debe evaluar la etapa de construcción, ya que inevitablemente generará afectaciones al entorno, así como la etapa de funcionamiento, considerando todos los productos y subproductos, material de descarte, entre otros factores y por último la fase de abandono.

10.1. Categorización de complejidad ambiental:

La primera etapa para obtener el certificado de aptitud ambiental, es el cálculo de categorización de complejidad ambiental. Este cálculo se obtiene a partir de un polinomio y el valor final de este polinomio se denominan nivel de complejidad ambiental (NCA) y se obtiene utilizando lo descrito en las resoluciones 1639/07 y 481/11 de la Secretaría de Ambiente Y Desarrollo Sustentable de la Nación.. Este valor permite categorizar a las industrias según las leyes vigentes

Donde:

- Primer categoría (NCA < 15)
- Segunda categoría (15 < NCA < 25)
- Tercer categoría (NCA > 25)

El NCA (nivel de complejidad ambiental) se calcula como:

$$NCA = Ru + ER + Ri + Di + Lo$$

Donde:

Ru: Rubro o actividad

ER: Calidad de los efluentes, emisiones y residuos.



Di: Dimensionamiento, considerando la superficie, potencia instalada y dotación del personal

Ri: Riesgos potenciales de la actividades (acústico, incendio, derrames o explosiones) que podrían afectar al medio ambiente y la población

Lo: Localización del emprendimiento

1. Rubro o actividad

Para la consideración del rubro y la actividad según el anexo I de la resolución 1639/07 se reconoce tres grupos de industrias. La clasificación del proyecto corresponde al grupo 3 “Fabricación de sustancias y productos químicos”, por ende, corresponde el valor 10.

Grupo 1	1
Grupo 2	5
Grupo 3	10

Tabla 86. NCA – Rubro. Fuente: Resolución 1639/07

2. Calidad de efluentes, emisiones y residuos

Para esta categoría se hace una distinción de efluentes, emisiones y residuos

Efluentes, según el reglamento se consideran a aquellos materiales líquidos que son generados por la actividad industrial

Emisiones, según el reglamento son aquellos materiales gaseosos generados por las actividades industriales

Reusados, son aquellas materiales sólidos y semisólidos generadas por las actividades industriales.

La clasificación del proyecto en cuestión debe calificarse con el tipo III, es decir se pondera en este apartado un valor de 6. Esto se debe a que el factor de tipo más elevado al que se clasifica el término es el de efluentes líquidos. Debido la emisión de residuos líquidos provenientes del lavado de los reactores que debido a la probabilidad de contener materiales resultantes de reacción deberán tener un tratamiento previo para su disposición final. El tratamiento consta de procesos de sedimentación y floculación.



Tipo	Valor	Efluentes	Emisiones	Residuos
0	0	Aguas sin aditivos; lavado de planta de establecimientos de Rubros del Grupo 1 a temperatura ambiente.	Componentes naturales del aire (incluyendo vapor de agua); gases de combustión de gas natural.	Asimilables a domiciliarios
I	1	Agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos peligrosos o que no pudiesen generar residuos peligrosos, provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento.	Gases de combustión de hidrocarburos líquidos.	Resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/o 1. Otros que no contengan residuos peligrosos o de establecimientos que no pudiesen generar residuos peligrosos
II	6	Líquidos con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban poseer más de un tratamiento	Todos los gases generados por cualquier otra actividad que no sean combustiones anteriormente mencionadas	Sólidos que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos

Tabla 87. NCA – Efluentes y Residuos. Fuente: Resolución 24051.

3. Riesgos potenciales de la actividad

En este apartado se considerara aquellos riesgos involucrados en las actividades específicas del proceso productivo donde se le asigna un punto a cada ítem cumplido del siguiente listado.



Actividad	Valor
Recipientes sometidos a presión	1
Riesgo acústico	1
Riesgo por sustancias químicas	1
Riesgos por derrames	1
Riesgos por explosión	1
Riesgos por incendio	1
Total	6

Tabla 88. NCA – Riesgo. Fuente: Resolución 1638/2007.

4. Dimensionamiento

Para el dimensionamiento se consideran por separados los tres apartados correspondientes al término del polinomio, la cantidad de personal, la superficie ocupada y la potencia instalada. La contribución de la valoración de las tres subcategorizaciones se suman para dar el total del apartado que en nuestro caso es de **dimensionamiento 6**

A) Cantidad de personal.

- Hasta 15: adopta el valor 0
- Entre 16 y 50: adopta el valor 1
- **Entre 51 y 150: adopta el valor 2**
- Entre 151 y 500: adopta el valor 3
- Más de 500: adopta el valor 4

La cantidad de personal propio y contratado esta entre 51 y 150 por lo que se considera el valor 2. Se valora el total del personal contratado trabajando en la planta.

B) Potencia instalada (en HP)

- Hasta 25: adopta el valor 0
- De 26 a 100: adopta el valor 1
- **De 101 a 500: adopta el valor 2**
- Mayor de 500: adopta el valor 3



La potencia instalada de la planta oscila entre los valores de 101 a 500 HP, por lo que la categorización es del valor 2. En este apartado solo se consideran las unidades y equipos empleados en los procesos productivos y de servicios auxiliares.

C) Relación entre superficie cubierta y superficie total

- Hasta 0,2: adopta el valor 0
- De 0,21 hasta 0,5 adopta el valor 1
- **De 0,51 a 0,81 adopta el valor 2**
- De 0,81 a 1,0 adopta el valor 3

La relación entre superficie cubierta y total se encuentra entre el 0,51 a 0,81 por lo que la valorización en este caso es 2. En esta superficie ocupada se consideran tanto las áreas de almacenamiento, las productivas, servicios auxiliares, mantenimiento, entre otras.

5. Localización

Para el apartado se consideran dos factores, la ubicación de la planta dentro de los criterios asignados por la resolución correspondiente y la infraestructura de servicios carente. En total el valor para el apartado es de 0.

A) Zona

- **Parque industrial: adopta el valor 0.**
- Industrial Exclusiva y Rural: adopta el valor 1.
- El resto de las zonas: adopta el valor 2.

Al instalarnos en el parque industrial de pilar, el ítem correspondiente al valor en este caso es 0

B) Infraestructura de servicios

- Agua / Cloacas / Luz / Gas

Por la carencia de cada uno de ellos se asigna 0,5. Para nuestro proyecto no se encuentran carencias.

$$NCA = 10 + 6 + 6 + 6 + 0 = 28$$

El valor del nivel de complejidad calculado es de 28 por lo que la categoría asignada al proyecto es "INDUSTRIA DE TERCER CATEGORIA" según la ley provincial 11.459 decreto reglamentario 1.741/96



INDUSTRIAS DE TERCERA CATEGORÍA

Incluirá aquellos establecimientos que se consideran peligrosos porque su funcionamiento constituye un riesgo para la seguridad, salubridad e higiene de la población u ocasiona daños graves a los bienes y al medio ambiente. **Mayor de 25 puntos.**

10.2. Identificación de actividades con impacto ambiental:

Como se mencionó con anterioridad, serán consideradas las etapas de construcción, producción y abandono de las instalaciones, así como algunas eventualidades que pudieran presentarse. Dichas eventualidades que podrían ocasionarse son los considerados riesgos de importancia para el proyecto. Se evaluarán las formas de mitigar las actividades con potencial de perjudicar al ambiente o a las personas. Y para la identificación del impacto se usa una construcción de tablas que indican la etapa del proyecto y la actividad pertinente. Dentro de la tabla se evalúa el medio pertinente afectado, y formas de mitigar el impacto del medio y el personal involucrado.

Etapa de construcción

1. Instalación provisoria de señalizaciones, líneas eléctricas, cercos, etc.
2. Circulación de vehículos de obra y de maquinaria.
3. Actividades de preparación del terreno y obra civil: incluye la limpieza de la zona de obra y los movimientos de suelos y de elementos que dificulten la construcción. También la excavación necesaria para el montaje de los equipos asociados a la planta.
4. Instalaciones temporarias: además de las ya mencionadas, se requieren sanitarios y depósitos de herramientas y materiales.
5. Transporte de maquinarias y materiales: movimientos de equipos de excavación y nivelación, camiones y maquinarias temporales o permanentes, así como la circulación de camiones con los insumos necesarios para la etapa constructiva.
6. Obras civiles: se refiere al desarrollo de las tareas constructivas.
7. Instalación y montaje de equipos: luego de las obras civiles se instala toda la maquinaria referente al proceso.
8. Gestión de residuos: todos los desechos generados en la etapa constructiva deberán ser transportados y tratados para su disposición final.



9. Limpieza de la obra: realización de todas las actividades de orden y limpieza de las instalaciones para dejarlas en condiciones de comenzar la operación.

Implicancias ambientales de la etapa de construcción:

- Calidad del aire: emisiones gaseosas de vehículos y maquinaria.
- Suelo: podría ser afectado por las excavaciones y compactaciones.
- Aguas superficiales: podrían producirse derrames (aceite, pinturas, etc.).
- Nivel sonoro: la actividad generará ruidos considerables.
- Fauna y flora
- Económico
- Recurso histórico y patrimonio cultural

Fase de construcción: Actividad obra civil			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de gases de combustión de gases de combustión por parte de uso vehicular y maquinaria.	Utilizar vehículos con antigüedad menor a 10 años. Cumplir con los mantenimientos periódicos de los motores. Implementar medidas de seguridad acordes para prevenir contingencias. Disponer de un plan de atención a las contingencias.	Negativo (leve)
	Liberación de material particulado	Implementar uso de protección respiratoria para los operarios, y aislar zonas al público y de ser posible, riego de superficies volátiles.	Negativo (leve)



Sonoro	-Generación de ruidos y vibraciones	Implementar el uso de las EPP adecuados para los operarios, aislar zonas al público.	Negativo (moderado)
Agua superficial	-No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	Contar con un plan de atención a las emergencias Favorecer a las buenas prácticas de actividad.	Negativo (leve)
Suelo	Calidad de los suelos debido a derrames de sustancias por el obrador, erosiones y compactaciones.	Contar con un plan adecuado de manejo de sustancias y Productos. Monitorear la calidad del suelo en caso de derrames de contaminantes Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes Contar con elementos de atención a contingencias	Negativo (leve)
Fauna	Afectación a la fauna debido a cambios realizados en el ambiente	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Se espera la afectación de la vegetación herbácea	Contar con los permisos pertinentes para la ejecución de la	Negativo (moderado)



	como leñosa por el "Despeje y limpieza del terreno", "Movimiento de suelo	obra, emitidos por las autoridades de aplicación. Priorizar las buenas prácticas de trabajo, a fin de proteger zonas que no debieran ser afectadas por la obra.	
Económico	- Generación de empleo - Contratación de empresas de ingeniería civil - Adquisición de materiales de construcción	No debe mitigarse	Positivo
Recurso histórico o patrimonio cultural	Afectación de sitio de interés cultural	No existe patrimonio de interés cultural	Neutro

Etapa de producción

1. Operación de planta: abarca todas las actividades inherentes al proceso productivo.
2. Mantenimiento de las instalaciones: incluye el mantenimiento preventivo y el correctivo.
3. Gestión de residuos: transporte, tratamiento y disposición de los residuos generados.

Implicancias ambientales de la etapa de producción:

- Calidad del aire: durante esta etapa podrán generarse emisiones gaseosas.
- Suelo: podrían verse afectados por derrames de productos o residuos.
- Aguas superficiales: podrían verse afectadas la calidad de estas por derrames de productos o residuos.



- Nivel sonoro: aumentará por la actividad de bombas, compresores y demás equipos de procesos.
- Flora y fauna afectadas

Fase de operación: Almacenamiento y recepción de materia prima			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de vapores volátiles	Adecuado mantenimiento en los sistemas de ductos. Interrumpir los flujos de los procesos y evitar el ingreso al área afectada. Implementación de válvulas con los elementos de seguridad que interrumpan el flujo y detengan el flujo de las corrientes de proceso. Y paralela detención de equipos impulsores. Implementación de un plan de contingencia. Implementación de un plan de evacuación considerando la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión	Negativo (moderado)
	Olores	No deberían existir olores debido a la peligrosidad de los materiales almacenados Implementación de sistemas de controles y válvulas de seguridad de que interrumpan el flujo de los materiales	Negativo (critico)



		<p>Implementación de un plan de contingencia en caso de fugas y olores</p> <p>Interrumpir los flujos de los procesos y evitar el ingreso al área afectada.</p> <p>Implementación de un plan de evacuación considerando la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión</p>	
Sonoro	Ruidos y vibraciones de equipos rotantes	<p>Aislar los equipos y sistemas del publico</p> <p>Adoptar las medidas de mantenimiento pertinentes para reducir el impacto</p> <p>Emplear EEP</p>	Negativo (leve)
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	<p>Contar con un plan de atención a las emergencias</p> <p>Implementar sistemas de control y válvulas de seguridad que interrumpan el derrame</p> <p>Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero)</p> <p>Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)</p>	Negativo (Moderado)



Suelo	Contaminación en caso de derrames	<p>Medir la calidad del suelo y el nivel de contaminación del mismo</p> <p>En caso de derrame se debe sanear el área afectada</p> <p>Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes</p>	Neutro
Fauna	Presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Fase de operación: Actividad acondicionamiento de reactivos previo a la síntesis de PVC			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de vapores y gases	<p>Adecuado mantenimiento en los sistemas de ductos y sistemas de control.</p> <p>Implementación de válvulas de seguridad que interrumpan el flujo y detengan el funcionamiento de equipos rotantes.</p> <p>Implementación de un plan de contingencia</p> <p>Implementación de un plan de evacuación considerando</p>	Negativo (moderado)



		la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión	
	Olores	<p>No deberían existir olores debido a la peligrosidad de los materiales almacenados</p> <p>Interrumpir inmediatamente el flujo de los procesos</p> <p>Implementación de sistemas de controles y válvulas de seguridad de que interrumpan el flujo de los materiales</p> <p>Implementación de un plan de contingencia en caso de fugas y olores</p> <p>Evacuar las áreas afectadas, evitar el ingreso de personal.</p> <p>Implementación de un plan de evacuación considerando la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión</p>	Negativo (critico)
Sonoro	Generación de ruidos y vibraciones	<p>Aislar los equipos y sistemas del publico</p> <p>Emplear EEP</p> <p>Mantenimiento adecuado de los sistemas de control</p> <p>Aplicar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.</p> <p>Aplicar plan de contingencia</p>	Negativo (moderado)
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro



<p>Agua subterránea</p>	<p>Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias</p>	<p>Contar con un plan de atención a las emergencias</p> <p>Implementar sistemas de control y válvulas de seguridad que interrumpen el derrame</p> <p>Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero.)</p> <p>Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)</p>	<p>Negativo (Moderado)</p>
<p>Suelo</p>	<p>Calidad de suelos por contaminantes en caso de derrames</p>	<p>Monitoreo en los sistemas de control y seguridad para su adecuado funcionamiento</p> <p>Medidas mitigatorias en caso de derrames, evitar total contacto directo con vapores que pudieran ser liberados por las sustancias derramadas y las superficies afectadas.</p> <p>Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes</p> <p>Limpieza y acondicionamiento del área contaminada según ajuste las normativas pertinentes</p> <p>Estudios de análisis de suelos para corroborar la presencia de contaminantes</p>	<p>Neutro (moderado)</p>



Fauna	Presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Fase de operación: Actividad recuperación de MCV			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de gases	<p>Adecuado mantenimiento en los sistemas de ductos y sistemas de control.</p> <p>Implementación de válvulas con elementos de seguridad que interrumpan el flujo de procesos y sistemas detengan el funcionamiento de equipos rotantes.</p> <p>Implementación de un plan de contingencia</p> <p>Evitar el ingreso del área afectada en caso de fugas.</p> <p>Evitar el la presencia de llamas o chispas debido a la posibilidad de estar en contacto con una atmosfera explosiva</p> <p>Implementación de un plan de evacuación considerando la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión</p>	Negativo (grave)



	Olores	<p>No deberían existir olores ya que la peligrosidad de los materiales liberados es nociva a los sistemas biológicos</p> <p>Emplear EPP</p> <p>Implementación de sistemas de controles y válvulas de seguridad de que interrumpan el flujo de los materiales</p> <p>Implementación de un plan de contingencia en caso de fugas y olores</p> <p>Mantener alejado el personal en caso de percepción de olores y evacuar el área aislándola e impidiendo el paso sin los equipos y elementos adecuados</p> <p>Implementación de un plan de evacuación considerando la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión</p> <p>Llevar cabo el seguimiento médico en caso de haber estado en contacto directo con olores emitidos de la planta de proceso</p>	Negativo (grave)
Sonoro	Generación de ruidos y vibraciones	<p>Aislar los equipos y sistemas del publico</p> <p>Emplear EEP</p> <p>Mantenimiento adecuado de los sistemas de control</p>	Negativo (moderado)



		<p>Aplicar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.</p> <p>Aplicar plan de contingencia aplicando un paro de planta en caso de presencia de vibraciones bruscas</p>	
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	<p>Contar con un plan de atención a las emergencias</p> <p>Implementar sistemas de control y válvulas con elementos de seguridad que interrumpan el derrame</p> <p>Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero.)</p> <p>Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)</p>	Negativo (Moderado)
Suelo	Calidad de suelos por contaminantes en caso de derrames	<p>Monitoreo en los sistemas de control y seguridad para su adecuado funcionamiento</p> <p>Medidas mitigatorias en caso de derrames, evitar total contacto directo con vapores que pudieran ser liberados por las sustancias derramadas y las superficies afectadas</p>	Negativo (moderado)



		<p>Limpieza y acondicionamiento del área contaminada según ajuste las normativas pertinentes</p> <p>Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes</p>	
Fauna	Presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Fase de operación: Actividad síntesis de PVC			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de gases	<p>Monitoreo de los sistemas de control y seguridad de las unidades</p> <p>Implementación de válvulas con elementos de seguridad que interrumpan el flujo y detengan el funcionamiento de equipos rotantes.</p> <p>Implementación de un plan de contingencia</p> <p>Evacuar los gases a antorcha</p> <p>Evacuar y aislar el área afectada. Evitar el</p>	Negativo (moderado)



		<p>contacto con los gases desprendidos.</p> <p>Activar protocolo de desactivar el proceso de reacción y aumentar el caudal de agua de enfriamiento.</p> <p>Implementación de un plan de evacuación considerando la dirección de evento dado la ocurrencia de la emisión</p>	
	Olores	<p>Ídem emisiones</p> <p>Los olores percibidos son principalmente nocivos para la salud</p>	Negativo (critico)
Sonoro	Generación de ruidos y vibraciones	<p>Aislar los equipos y sistemas del publico</p> <p>Emplear EEP</p> <p>Mantenimiento adecuado de los sistemas de control</p> <p>Aplicar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.</p> <p>En caso de desmedido ruido o vibración detener las unidad de agitación evacuar el producto no especificado al tanque adecuado y aplicar la limpieza y actividad correctiva de los sistemas de agitación y equipos rotantes</p>	Negativo (moderado)



Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	<p>Contar con un plan de atención a las emergencias</p> <p>Implementar sistemas de control y válvulas de seguridad que interrumpen el derrame</p> <p>Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero.)</p> <p>Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)</p>	Negativo (Moderado)
Suelo	Calidad de suelos por contaminantes en caso de derrames	<p>Monitoreo en los sistemas de control y seguridad para su adecuado funcionamiento</p> <p>Medidas mitigatorias en caso de derrames, evitar total contacto directo con vapores que pudieran ser liberados por las sustancias derramadas y las superficies afectadas</p> <p>Estudios de análisis de suelos para corroborar la presencia de contaminantes</p>	Negativo (moderado)



		<p>Limpieza y acondicionamiento del área contaminada según ajuste las normativas pertinentes</p> <p>Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes</p>	
Fauna	Presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Fase de operación: Actividad secado del producto			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de vapor	<p>Monitoreo de los sistemas de control y seguridad de las unidades</p> <p>Aislar las descargas de vapor del personal</p>	Negativo (leve)
	Emisiones de gases de combustión	<p>Monitoreo de los sistemas de control y seguridad de las unidades</p> <p>Realizar las descargas de los gases generados en niveles de altitud aceptable según la normativa vigente</p>	Negativo (leve)



		Interrumpir los procesos en caso de fugas de gases	
	Sólidos particulado volátiles	<p>Monitoreo de los sistemas de control y seguridad de las unidades</p> <p>Evitar fugas de sólidos de las unidades de reproceso</p> <p>Monitoreo de material particulado emitido</p> <p>Aislar los equipos del personal</p> <p>Actuar limpiando las áreas afectadas en caso de exceso de emisión de sólidos</p>	Negativo (moderado)
Sonoro	Generación de ruidos y vibraciones	<p>Aislar las unidades al público</p> <p>Emplear EEP</p> <p>Mantenimiento adecuado de los sistemas de control</p> <p>Aplicar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.</p> <p>Detener las unidades de equipos rotantes y unidades en caso de vibraciones bruscas</p> <p>Aplicar plan de contingencia</p>	Negativo (moderado)
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro



Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero.) Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)	Negativo (leve)
Suelo	Calidad de suelos por contaminantes	Monitoreo en los sistemas de control y seguridad para su adecuado funcionamiento Limpieza de áreas afectadas Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes	Neutro (moderado)
Fauna	Afectación a la fauna debido a presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Afectación por presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Fase de operación: Actividad pelletizacion y envasado		
Impacto	Medidas mitigatorias	Valoración de impacto



Aire	Emisiones de vapor	<p>Monitoreo de los sistemas de control y seguridad de las unidades</p> <p>Aislar las descargas de vapores del personal</p>	Negativo (leve)
	Sólidos particulado	<p>Monitoreo de los sistemas de control y seguridad de las unidades</p> <p>Evitar fugas de sólidos de las unidades de reproceso</p> <p>Monitoreo de material particulado emitido al ambiente</p> <p>Aislar los equipos del personal</p> <p>Emplear EPP</p>	Negativo (leve)
Sonoro	Generación de ruidos y vibraciones	<p>Aislar las unidades y sistemas del público</p> <p>Emplear EEP</p> <p>Mantenimiento adecuado de los sistemas de control</p> <p>Aplicar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.</p> <p>Detener las unidades de equipos rotantes y unidades en caso de vibraciones bruscas</p> <p>Aplicar plan de contingencia</p>	Negativo (moderado)
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta	Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el	Negativo (leve)



	(percolación) de sustancias	nivel superior del agua en un acuífero Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)	
Suelo	Calidad de suelos por contaminantes	Monitoreo en los sistemas de control y seguridad para su adecuado funcionamiento Limpieza de áreas afectadas Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes	Neutro
Fauna	Presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Fase de operación: Almacenamiento de producto terminado			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Sólidos volátiles	Baja presencia de sólidos volátiles	Neutro
Sonoro	Ruidos y vibraciones	Aislar las unidades y sistemas del público Emplear EEP	Negativo (leve)
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro



Agua subterránea	Baja permeabilidad de los sólidos	<p>Contar con un plan de atención a las emergencias</p> <p>Implementar sistemas de control y válvulas de seguridad que interrumpan el derrame</p> <p>Monitoreo de la calidad del freático (El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero.)</p> <p>Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)</p>	Negativo (leve)
Suelo	Contaminación por derrames de productos sólidos	<p>Monitorear adecuadamente las maniobras del producto embolsado</p> <p>En caso de derrames, sanear y limpiar el área afectada</p> <p>Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes</p>	Negativo (moderado)
Fauna	Presencia de contaminantes	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Presencia de contaminantes	Priorizar las buenas prácticas de trabajo	Negativo (leve)

Etapa de abandono

1. Tránsito: utilización de vehículos y maquinaria vial.
2. Desarme: desarticulación de las estructuras y acondicionamiento del lugar.
3. Gestión de residuos: incluye chatarras, residuos urbanos y especiales. Nuevamente, se requiere transporte, tratamiento y disposición final.



4. Generación de ruidos y vibraciones.

Implicancias ambientales de la etapa de abandono:

- Calidad del aire: emisiones gaseosas de vehículos y maquinaria.
- Nivel sonoro: la actividad generará ruidos considerables.
- Flora y fauna afectadas

Fase de abandono: Actividades de abandono			
Impacto		Medidas mitigatorias	Valoración de impacto
Aire	Emisiones de gases de combustión de gases de combustión por parte de uso vehicular y maquinaria.	Utilizar vehículos con antigüedad menor a 10 años. Cumplir con los mantenimientos periódicos de los motores. Implementar medidas de seguridad acordes para prevenir contingencias. Disponer de un plan de atención a las contingencias.	Negativo (leve)
	Liberación de material particulado	Implementar Uso de protección respiratoria para los operarios, y aislar zonas al público y de ser posible, riego de superficies volátiles.	Negativo (leve)
Sonoro	Generación de ruidos y vibraciones	Implementar el uso de las EPP adecuados para los operarios,	Negativo (moderado)



		aislar las zonas al público.	
Agua superficial	No existe impacto debido a la lejanía de los cursos de agua		Neutro
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	Realizar mediciones de calidad del nivel freático Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar)	Negativo (leve)
Suelo	Calidad de los suelos debido a derrames de sustancias por el obrador, erosiones y compactaciones.	Contar con un plan adecuado de manejo de sustancias. Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. Limpieza de las áreas afectadas. Realizar la actividades de recuperación de sustratos correspondientes	Negativo (leve)
Fauna	Afectación a la fauna debido a cambios realizados en el ambiente	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Se espera la afectación de la	Contar con los permisos pertinentes	Negativo



	vegetación herbácea como leñosa por el "Despeje y limpieza del terreno", "Movimiento de suelo	para la ejecución de la obra, emitidos por las autoridades de aplicación. Priorizar las buenas prácticas de trabajo, a fin de proteger zonas que no debieran ser afectadas por la obra.	(leve)
Agua subterránea	Calidad del agua subterránea por infiltración indirecta (percolación) de sustancias	Contar con un plan de atención a las emergencias Favorecer a las buenas prácticas de actividad.	Negativo (leve)
Suelo	Calidad de los suelos debido a derrames de sustancias por el obrador, erosiones y compactaciones.	Contar con un plan adecuado de manejo de sustancias y Productos. Contar con un plan de atención de contingencias adecuado. (Extraer el agua subterránea para recuperar) Emplear mediciones de calidad del nivel freático	Negativo (leve)
Fauna	Afectación a la fauna debido a cambios realizados en el ambiente	Trabajar priorizando siempre las buenas prácticas para evitar perturbaciones al ambiente innecesarias.	Negativo (leve)
Flora	Se espera la afectación de la vegetación herbácea como	Contar con los permisos pertinentes para la ejecución de la obra, emitidos por	Negativo (leve)



	leñosa por el "Despeje y limpieza del terreno", "Movimiento de suelo"	las autoridades de aplicación. Priorizar las buenas prácticas de trabajo, a fin de proteger zonas que no debieran ser afectadas por la obra.	
--	---	--	--

10.3. Riesgos de la operación:

Un riesgo es la combinación entre la probabilidad de que determinado evento se produzca y la consecuencia de que este suceda. Los riesgos de operación son inherentes a todos los procesos en las unidades, la ocurrencia de un accidente debe minimizarse y en caso de ocurrencia se deben adoptar medidas mitigatorias.

Los riesgos de operación más importantes evaluados son:

- Fallas de rotura por cañería dentro de las secciones del proceso
- Ruptura de cañería de suministro de agua desmineralizada.
- Corte del suministro de agua
- Corte del suministro eléctrico
- Incendio

10.3.1 Fallas por rotura de cañerías dentro de las secciones del proceso

Las materias primas y en proceso son transportados por ductos y cañerías internas de la planta, por lo que pueden producirse fugas por corrosión, erosión, fatiga, impacto o algún otro accidente que pueda afectar a las líneas de cañerías.

En primera medida preventiva de este riesgo se opta por una continua inspección de las líneas, válvulas, bombas, compresores, filtros y otros equipos o accesorios, siempre en busca de potenciales signos de ruptura o fuga. La inspección es una actividad desarrollada por el área de mantenimiento, quienes gestionaran las adecuadas medidas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

En caso de roturas de cañerías, podría existir el riesgo de escapes de gases nocivos, inflamables o corrosivos. Por lo que en primera instancia se llevara un sistema de "Shut Down". El sistema de shut down es una serie de acciones que permiten la parada de emergencia de la planta, se emiten señales para alertar al



personal del accidente, se cierran las válvulas y se desconectan los equipos para la detención del flujo de materias, se apaga los equipos y unidades de manera secuencial y controlada, se evacuan al personal del área a una zona de seguridad asignada, comunicación a las autoridades pertinentes y por último se adoptan las medidas de contingencia y de mitigación de los riesgos que generan las sustancias químicas.

Estas medidas involucran primero la interrupción de las unidades y áreas afectadas, la serie de interrupciones se ajustan en función al área donde suceda la fuga y el tipo de sustancia que fuga. La fuga de agua de servicio o desmineralizada es una fuga leve que no requiere implementar un sistema de evacuación, solo requiere el cierre de válvulas para evitar perder materia prima.

Para el caso de fugas de sustancias nocivas como el cloruro de vinilo, se debe optar en primera instancia interrumpir la operación de aquellas unidades puestas en riesgo y aplicar una parada de planta de emergencia.

Por ultimo aplicar las medidas correctivas requeridas. En caso de fugas es de gran magnitud se realiza un plan de evacuación considerando la dirección de los vientos que favorecen a la pluma de disipación de vapores y se informa a las autoridades para llamar a un confinamiento o evacuación según corresponda.

10.3.2 Corte de suministro eléctrico

El suministro eléctrico es la principal fuente de energía de equipos rotantes e instrumentos de control y medición. Es clave la energía eléctrica también para diversas unidades y equipos en el área de producción.

En caso de eventual corte eléctrico, se comienza con una serie de acciones mitigatorias para evitar las consecuencias que se podrían generar. Mediante sistemas de cogeneración de emergencia es posible actuar de forma automática, aplicando las medidas que requieren realizar el paro de planta de emergencia y la presencia de operarios que actúen manualmente sobre sistemas que no estén conectados al sistema de emergencia eléctrica. Se deberá contar con una serie de alarmas que informen al personal sobre el suceso que acontece, para que puedan llevar a cabo las medidas correspondientes.

La primera medida es cerrar el paso del gas combustible del quemador Qx-201 empleado en la calefacción de aire. Y como medida paralela en este paso debemos cerrar el paso de todas las corrientes de ingreso de vapor de la planta, evitando así que las unidades sigan calefaccionandose descontroladamente.

Se detiene el proceso de llenado de la unidad R-101, evitando el ingreso de materia prima.

En la unidad R-101 que este en el proceso de reacción se aplica la medida para desactivar la reacción de polimerización. Se debe añadir una corriente de agua



con la correspondiente concentración de desactivador. El desactivador es una sustancia previamente preparada, compuesta principalmente por una disolución de radicales libres estables de tipo nitróxido. Para ello según se emplea la tecnología de la patente Smith, J. D. (2022) "Procedimiento mejorado de producción de materiales" (Patente No. FR2822832B1). La preparación de la sustancia desactivadora será a partir de una cantidad suficiente de dialquil/aryl hidroxilamina a la disolución para reducir el nitróxido de la nitróxido hidroxilamina. Y esta solución desactivadora será inyectada de forma automática e inmediatamente en el reactor en operación para interrumpir la reacción, ya que la exotermicidad del proceso podría generar graves consecuencias de enormes debido a las considerables cantidades de liberación de energía térmica. Esto se debe a que el cese de la energía eléctrica impide la circulación del agua de enfriamiento de la chaqueta del reactor. La inyección de desactivador es echo por una bomba accionada por el equipo auxiliar de generación eléctrica empleado para unidades críticas.

En cuanto a las medidas a considerarse para la torre de destilación T-101, la acciones frente a los cortes de suministro eléctrico, será inmediatamente interrumpido el ingreso de carga y la descargas generadas en el proceso serán inmediatamente enviadas al tanque de producto fuera de especificación de la planta. Se cierra el ingreso de la carga a la columna para evitar la inundación de esta, previniendo así consecuencias perjudiciales del equipo como el movimiento de platos. Se abrirán válvulas de seguridad del acumulador para aliviar la presión y las emisiones resultantes son derivados a la antorcha.

Todas las corrientes de materias fuera de especificación serán derivadas al tanque de producto fuera de especificación del parque de tanques. Debido a que el sistema de reacción es una polimerización por adicción, los compuestos más desfavorables generados durante la etapa de reacción son aquellos denominados trímero (1,3,5 triclorohexano) y dímeros (1,3 dicloro butano) los cuales debido a sus propiedades y características pudieran ser reprocesados y extraídos por los sistemas de desgasificación. Principalmente se plantea que el reproceso de los productos fuera de especificación sean ingresados por la torre desgasificadora, según los tiempos adecuadamente, y retirando el producto de fondo de la torre como residuo especial que deberá ser tratado por planta de tratamiento de efluentes. Mientras que por tope se obtiene una corriente de cloruro de vinilo el cual será recuperado, pasando por los sistemas de absorción T-103 y desorción T-104. Y finalmente re ingresado en el proceso de reacción como monómero recuperado.

10.3.3 Corte de suministro de agua desmineralizada:

El eventual corte de suministro de agua desmineralizada solo se podría dar en el caso de una ruptura por parte de incidente de la tubería que se encuentra en



el parral, la cual esta misma es la principal encargada de abastecer de agua desmineralizada el proceso. Ya que los tanques de almacén de agua desmineralizada están diseñado para poder abastecer hasta 4 días de producción, por lo que un corte de agua no ocasionaría una interrupción en el abastecimiento de agua desmineralizada debido al nivel de stock de seguridad manejado.

Frente a este tipo de accidente como medida mitigatoria es la interrupción del agua de desmineralizada para evitar derrames de materia prima y saneamiento del área donde esta sea afectada. Desde el proceso será necesario interrumpir el proceso de llenado del reactor R-101 de cualquier materia prima debido a la ausencia de agua desmineralizada. Como plan de contingencia se plantea el uso de bombas auxiliares y un sistema de transporte. Se debe remediar desde el punto de vista productivo colocar una línea auxiliar de cañerías que este sobre el nivel del piso de forma transitoria. En caso de que la bomba "Booster" sea afectada se colocaría una bomba provisoria, esta bomba en principio será trasladada e instalada de forma provisoria en el recinto de taque, deberá interrumpirse el paso de todo personal o vehículo mientras se esté aplicando este plan de contingencia. Es decir emplear una bomba móvil auxiliar que succione agua desmineralizada del tanque pertinente y lo bombee al sistema de producción, principalmente deberá ser bombeada en la entrada de la bomba P-102 que es la encargada de permitir el movimiento del agua en el proceso y llegar en las condiciones óptimos de presión a la reacción. O en caso de no necesitar esta bomba provisional, que el ducto provisional emplee la Booster para permitir el transporte del agua al área de producción.

Esta medida en principio sirve como contingencia para evitar el caso extremo de detener la producción con una parada de emergencia de la planta. Mientras se lleve a cabo esta contingencia se deberá llevar a cabo las obras correctivas para retornar al diseño habitual de producción.

10.3.4 Corte de suministro de agua:

El corte de suministro de agua implica una falta de agua de enfriamiento para los reactores por lo que se procederá una medida mitigatoria. El plan de contingencia siendo este el caso es posible emplear el agua desmineralizada solo si se conoce la reanudación del servicio de agua de enfriamiento. Esto podría permitirse para evitar aplicar como contingencia una parada de planta de emergencia, y es posible debido al stock de seguridad de agua desmineralizada el cual tiene como magnitud unos 590 metros cúbicos y el caudal de agua de enfriamiento requerido en el sistema de refrigeración de la chaqueta de 80 metros cúbicos. Por lo que podemos de alguna forma maniobrar la implementación del agua desmineralizada como agua de enfriamiento como medida de contingencia, siempre y cuando sea factible. Sobre todo en los



primeros años de funcionamiento de la operación debido al sobredimensionamiento de producción planteado y considerando evitar el agotamiento de las reservas de almacenamiento.

En caso de desconocer la información de perduración del corte de suministro de agua o no sea posible, debidos a factores externos, aplicar el plan de contingencia planteado con anterioridad, la medida de contingencia a adoptar es una parada de planta de emergencia. Ya que la corriente de agua de enfriamiento es clave para evitar un el descontrol de la reacción. Por lo que deberá aplicar inmediatamente la medida de desactivar la reacción, mediante el protocolo de inyección de desactivador anteriormente mencionado y el empleo de los equipos de recuperación de monómero, pasando al producto fuera de especificación por la torre despojadora de monómero (T-102). Retirando el fondo como residuo peligroso al tanque de producto fuera de especificación. Principalmente para ser tratado por la empresa encargada de residuos especiales. Y por último la corriente de monómero despojada es enviada al sistema de recuperación.

10.3.5 Incendio

Los incendios pueden tener diferentes orígenes y según cuál sea se definirá la manera de combatirlo. Las consecuencias de estos van a depender del área donde se lleve a cabo el evento y su magnitud, debe controlarse y activas las medidas mitigatorias correspondientes para evitar su expansión.

La forma más importante y efectiva de combatir un incendio es evitarlo. Por ello, es un punto vital la prevención de incendios. Un riesgo alto es que el foco de estos incendio o su expansión afecte a al servicio de gas combustible empleado en el equipo quemador Qx-101, se recomienda un adecuado monitoreo y control la línea de gas combustible empleado en la sección S-200. Principalmente dar alarma inmediata y realizar las maniobras pertinentes para que este sistema sea afectado en caso de suceder un incendio.

Pero los incendios pueden ser accidentes a considerar, en este caso debe aplicarse medidas mitigatorias, estas medidas dependerán del área de producción involucrada. Principalmente la detección y alarma de estos es fundamental, ya que la detección temprana de estos por parte de sistemas de control u operarios favorece a un mejor tiempo de respuesta. En primera instancia se realiza un paro de emergencia de la planta considerando la interrupción de los flujos de las corrientes auxiliares y de proceso. Principalmente el cierre de la corriente de gas combustible de la sección S-200.

En caso de provocarse este evento se lleva cabo un plan de mitigación para evitar que el evento escale con gran magnitud. Siempre es requerida la llamada de servicios de bomberos ante esta eventualidad, y los demás servicios



requeridos (servicio médicos, guardia o defensa civil y policía) Una vez la llegada del servicio de bomberos se procederá a asistirlos adecuadamente, primero indicándole el área afectada a la cual acudir, aviso que se realiza en la entrada de la planta. La mitigación principal de producción es interrumpir el flujo de corrientes, servicios auxiliares y unidades que emplean usos de materiales inflamables, es decir cortar el gas de entrada al quemados Qx-101 y detener la unidad de compresión de recuperación de monómero que maneja gas de cloruro de vinilo. Se procede a interrumpir el servicio eléctrico del área afectada y detener las unidades de la zona, aplicando un paro de emergencia de la planta. Una vez aplicado la secuencia de cortes y acciones destinadas a llevar la planta al paro de emergencia se hace uso del agua proveniente del tanque de incendios del parque y el uso de hidrantes. Estos hidrantes son sistemas que deben ser manejados por personal capacitado (brigadistas) e involucran un compuesto químico que al mezclarse con el agua es capaz de sofocar el fuego, caso de una desmedida de este evento deben accionarse de tal forma de resguardar la vida humana. Principalmente se busca evitar su expansión por la planta y atacar directamente su foco, la mejor acción de ser posible es atacar directamente el foco del incendio para sofocarlo.

Mientras se mitiga el incendio se debe aplicar un plan de contingencia, el más adecuado para este evento suele ser la evacuación que permita evitar poner en riesgo al personal de la planta. Para realizar la evacuación es requerido que los sistemas y acciones del plan de evacuación se lleve a cabo de forma ordenada respetando el protocolo de evacuación. El protocolo de evacuación ah deber sido practicado de forma rutinaria según establezca el personal de higiene y seguridad.

Se debe contar también con un plan de emergencia cuyo objetivo es establecer indicaciones y procedimientos que les permitan a los empleados de las instalaciones prevenir y protegerse en casos de la amenaza que genera este evento ya que pone en peligro su integridad física, es necesario tener una estructura organizada y personal capacitado para llevar a cabo la evacuación de la planta y el área involucrada. Se formará también una brigada de emergencia con los conocimientos especializados en situaciones de emergencia, en contacto con los servicios públicos de emergencias y con los elementos necesarios para enfrentar las mismas.

Las medidas serán tomadas tanto por operarios brigadistas, autoridades correspondientes y servicio de bomberos.



Ilustración 17. Mitigación de Incendios. Fuente: Cátedra "Problemática Ambiental y Seguridad Industrial"

Una vez terminado el evento de incendio se deberá llevar a cabo un plan de monitoreo del efecto en el impacto ambiental, desarrollado por el personal de medio ambiente. Y deberán aplicarse los programas y medidas de remediación pertinentes en caso de que sean requeridas.

10.4 Efluentes, emisiones y residuos de la planta:

Considerando la operación normal de proceso podemos diferenciar a los efluentes como aquel material líquido, de descarga de las unidades de proceso, que contiene contaminantes que deben ser tratados para su disposición final. Las emisiones es aquel material gaseoso con determinada concentración de contaminantes que deben ser tratados antes de su venteo a atmosfera y los residuos son materiales sólidos y semisólidos contaminados que deben ser tratados previo a su disposición final. También en dicho apartado se consideran aquellos efluentes y residuos generados por los empleados como domiciliarios, y está relacionado a actividades de la cotidianeidad humana como los efluentes cloacales y los residuos urbanos-domiciliarios. Por lo que la disposición de aquellos residuos y efluentes de las unidades de proceso deberán tratarse discriminadamente de los domiciliarios/urbanos.



Y por último se debe considerar de forma paralela el tratamiento de residuos especiales.

Efluentes de proceso		
Efluente	Origen de proceso	Cantidad [kg/h]
Agua de lavado	Lavado de reacciones, contiene contaminantes y debe ser enviado a planta de tratamiento de efluentes del parque industrial	7000
Efluentes de planta de agua desmineralizada	Recuperación de resinas de intercambio iónico	Hold
Emisiones gaseosas		
Vapor de agua	Proveniente de los procesos de secado en la acondicionamiento de producto	4000
Gases de combustión	Provenientes del proceso de calefacción de aire para el secado de producto	2
Aire de fluidización	Se disipa el aire proveniente de los sistemas de fluidización de sólidos particulados	280
Residuos del proceso		
Residuos sólidos de la pelletización (scrub)	Aglomeramientos de sólidos en la Pelletizadora	12 kg/mes
Residuos de planta de agua desmineralizada (eventual)	Resinas de intercambio iónico neutralizadas debido a su agotamiento y luego desechada	200 kg/evento



Residuos especiales		
Servicio técnico	Elementos y materiales provenientes del laboratorio	Hold
	Elementos y materiales proveniente de actividades obra por reparación y mantenimiento correctivo	Hold

Efluentes y residuos ajenos al proceso:

- Aguas residuales de comedores, sanitarios y vestuarios.
- Residuos urbanos de los comedores como alimentos, material descartable, etc.

10.5 Comité de crisis:

El comité de crisis es un apartado requerido por las instituciones reguladora y encargada de la aceptación del certificado de aptitud ambiental, y el comité de crisis conforma parte integral del plan de gestión ambiental.

El comité de crisis es una declaración de pautas y serie de acciones a llevarse a cabo cuando surja un accidente de gran magnitud o evento catastrófico. Dentro del comité de crisis se designa una serie de encargados los cuales deben dirigir las acciones internas de la planta y las acciones que deberían llevarse externas a esta. Y se deberá detallar las pautas y actividades a llevarse a cabo según la ocurrencia de alto riesgo, y por ultimo será parte integral de determinar las medidas remediadoras que se deben llevar a cabo posterior al evento.

Las actividades a desarrollarse externamente a la planta incluirán un canal de difusión a los vecinos de la zona para informar sobre las acciones que se deben tomar en consecuencia al evento, estas en general deben ser evacuaciones o confinamiento. También deberá informarse a los servicios de emergencias, bomberos y ambulancias, para atender de forma rápida y adecuada a la situación. Paralelo a estos servicios de emergencias deberán ser informados servicios de defensa civil y policía para poder realizar un perímetro de seguridad y tomar la decisión de cortar las calles adecuadamente para evitar el paso de personas al área afectada por la evacuación o confinamiento y también dirigir el tránsito de



forma ordena para que los servicios de emergencias pertinentes puedan actuar lo más rápido y cómodamente posible. Los encargados de difundir la información a los vecinos será el personal de relaciones laborales, y los encargados de llamar a los servicios de emergencias serán dispuestos según el área, brigadistas y el turno en el cual se haya percibido la necesidad de accionar con el comité de crisis.

El desarrollo del comité de crisis interno será una serie de pasos para adoptar medidas mitigatorias y de contingencia requeridas según el evento catastrófico, principalmente los agentes que cumplen el rol fundamental de dirigir las acciones del comité de crisis son el jefe de producción, ya que es el encargado del correcto funcionamiento de todas las unidades, los brigadistas (aquel personal capacitado para poder maniobrar los elementos de seguridad requeridos para mitigar los eventos catastróficos), el personal de relaciones laborales, seguridad (los cuales deberán estar informados para llevar a cabo de forma correcta la evacuación y guiar a los servicios de emergencias al área involucrada) y por último el personal de medio ambiente el cual tendrá como acción inmediata dar la información necesaria para que se lleve a cabo un plan de contingencia adecuada. La serie de actividades o pasos que deben existir como plan de contingencia frente al evento, será en función al nivel de riesgo asociado a lo acontecido. De forma genérica se puede asumir que normalmente este plan tendrá como principal actividad dar una alarma general que informe a todo el personal dentro de la planta y sobretodo el área involucrada sobre lo aconteciendo, la información brindada deberá ser lo más certera y concreta posible para evitar malentendidos. Frente a la información del evento el personal involucrado accionara con las medidas de contingencia adecuadas, según corresponda. En forma genérica se puede asumir que esta actividad estará involucrada una parada de emergencia de la producción de la planta y la serie de acciones de interrumpir el servicio de las unidades operativas y por ultimo brindar la adecuada asistencia a los servicios de emergencia.

Una vez ocurrida la crisis el personal de medio ambiente deberá comenzar con las actividades de monitoreo del impacto ocasionado por el evento en cuestión y adoptara una serie de medidas de remediación adecuadas.

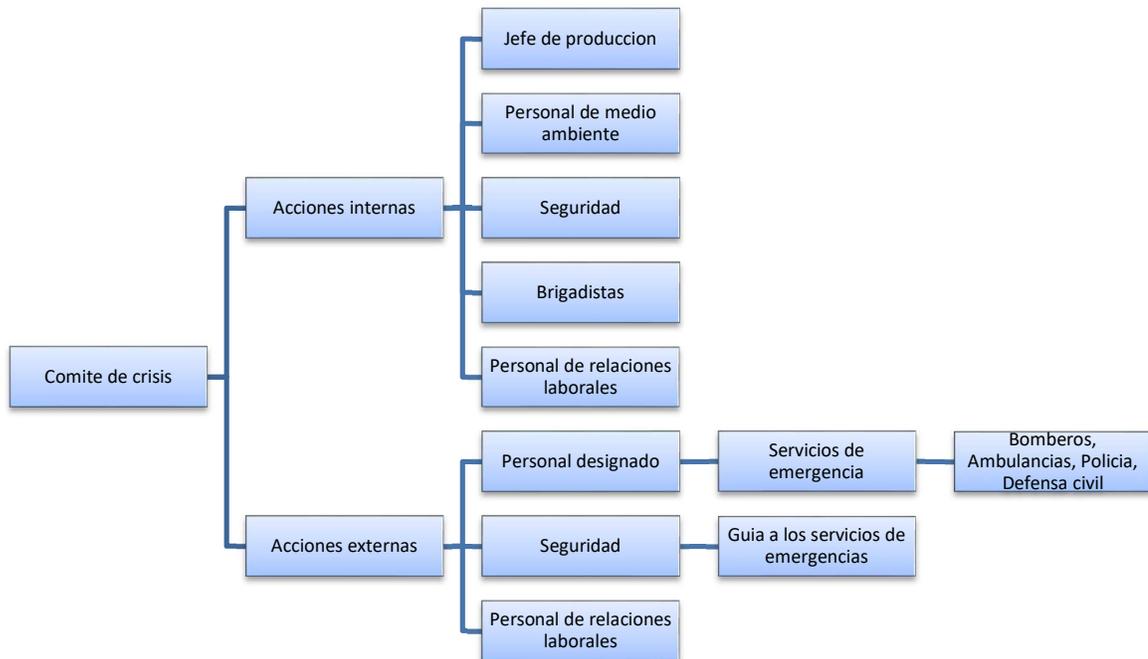


Ilustración 18 .Jerarquía del personal que conforma el comité de crisis. Fuente: elaboración propia

10.6 Matriz de impacto ambiental:

La evaluación de impacto ambiental se basa en la interrelación de distintas disciplinas y técnicas para determinar los impactos de las actividades industriales. Para ello se recargan con datos obtenidos de un análisis de especialistas, principalmente esta construcción y análisis de datos están basados en métodos matriciales, dentro de los cuales pueden aplicarse la matriz de Leopold, la matriz de Conesa y la matriz de Columbus. Para el proyecto se selección la matriz de Conesa.⁶

La Matriz de Impacto Ambiental, es el método analítico, por el cual, se le puede asignar la importancia (I) a cada impacto ambiental posible de la ejecución de un Proyecto en todas y cada una de sus etapas. Dicha Metodología, pertenece a Vicente Conesa Fernández-Vitora (1997).⁷ Y la metodología consiste en la construcción de una matriz de evaluación técnica cuantitativa considerando una serie de criterios que conformaran parte del cálculo final del valor de Importancia

⁶ <https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matrices-de-impacto-ambiental/>

⁷ Conesa Fernández-Vitora Vicente (1997): "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental". 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid



y son consideradas las importancias de cada actividad correspondiente a cada factor, según sea estimado a los criterios considerados en la matriz de identificación de impacto (ver Anexo 2, “Matriz de identificación de impacto”).

Dentro de estas matrices se construye la matriz de importancia total según la actividad, la matriz sintética ponderada de importancia que considera como límite superior la actividad de mayor importancia y el de menor importancia (Ver Anexo 3, “Matriz de importancia”). Ponderando a partir de estas actividades y en función a la ecuación pertinente se designa para cada actividad una importancia ponderada.



Acceso anexo 2, anexo 3 y anexo 4. Elaboración propia. Fuente: Conesa Fernández-Vítora Vicente (1997): "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental". 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Ecuación para el Cálculo de la Importancia (I) de un impacto ambiental:

$$I = \pm[3 i + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

I: Importancia de impacto

±: Naturaleza del impacto

i: Intensidad o grado probable de destrucción

La incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto. Se considerarán valores de 1 a 12 para ponderar. Y se permiten valores intermedios.

EX: Extensión o área de influencia del impacto

La extensión se refiere al atributo que refleja la fracción del medio afectada por acción del proyecto. Es el área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno.

Se valora según:



- 1 = impacto puntual
- 2 = impacto parcial
- 4 = impacto extenso
- 8 = impacto total

MO: Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

El momento se refiere al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto.

Se valora según:

- 4 = inmediato o de corto plazo
- 2 = mediano plazo (1 a 5 años)
- 1 = largo plazo (más de 5 años)

PE: Persistencia o permanencia del efecto provocada por el impacto

La persistencia está referida al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición hasta que el factor afectado retorne a sus condiciones iniciales en forma natural o con medidas correctoras.

Se valora según:

- 1 = fugaz
- 2 = temporal (entre 1 y 10 años)
- 4 = permanente (mayor a 10 años)

RV: Reversibilidad

La reversibilidad se refiere a la posibilidad de recuperación del componente del medio o factor afectado, únicamente de forma natural después de que la acción ha finalizado. Cuando un efecto es reversible retornará a la condición inicial una vez transcurrido el tiempo de permanencia.

Se valora según:

- 1 = corto plazo (menos de un año)
- 2 = mediano plazo (1 a 5 años)
- 4 = irreversible (más de 10 años)



SI: Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

La sinergia se contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que se podría esperar de la manifestación de los efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

Se valora según:

- 1 = acción no sinérgica
- 2 = sinergismo moderado
- 4 = altamente sinérgico

AC: Acumulación o efecto del incremento progresivo

La acumulación se refiere al aumento del efecto cuando persiste la causa.

Se valora según:

- 1 = efecto no acumulativo
- 4 = efecto acumulativo

EF: Efecto tipo directo o indirecto

El efecto está relacionado por la causa-efecto, es decir, a la forma de manifestación de un efecto sobre un factor.

Se valora según:

- 1 = efecto indirecto o secundario
- 4 = efecto directo

PR: Periodicidad

La periodicidad se refiere al ritmo de aparición del impacto. Se valora según:

- 4 = efecto continuo
- 2 = efecto periódico
- 1 = efecto discontinuo



MC: Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

Está definida como la posibilidad de recuperar las condiciones de calidad ambiental iniciales, como consecuencia de la aparición de medidas correctoras. Se valora según:

- 1 = recuperación total e inmediata.
- 2 = recuperación total a mediano plazo
- 4 = recuperación parcial por mitigación
- 8 = irrecuperable

De esta forma se construye una matriz de evaluación de impacto ambiental por importancia total.

Y posterior a la construcción de dicha matriz se analiza la matriz sintáctica ponderada de importancia (ver Anexo 4, “Matriz sintáctica ponderada de importancia”). La cual en este caso considera a las importancias máximas como 20 y la mínima como 1. Aplicando la fórmula de normalización.

$$\text{Valor normalizado} = 1 - \frac{(\text{Importancia}_{\text{maxima ponderada}} - \text{Importancia}_{\text{medida}})}{\text{Importancia}_{\text{maxima ponderada}} - \text{Importancia}_{\text{mnima ponderada}}}$$

De esta forma se pondera todas las importancias dejando como criterio que

Criterio	Clasificación
<2,5	BAJO
2,5>=X>5	MODERADO
5>=X>7,5	SEVERO
>7,5	CRITICO

Tabla 89. Elaboración propia. Fuente: <http://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>

Los resultados observables en Anexo 4, “Matriz sintáctica ponderada de importancia”), arrojan que la evaluación designa que las actividades de producción son valoradas con un impacto moderado a bajo (leve).



10.7 Conclusión

Considerando la información procesada como parte del Estudio de Impacto Ambiental, se concluye que la Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto 'producción de Policloruro de vinilo', que enfoca tanto el punto de vista ambiental como el socioeconómico, presenta una matriz de valoración de efectos con impactos negativos, pero de intensidades muy leves o moderadas, duración temporal, dimensión localizada y reversibles o mitigables.

La implementación del Plan de Gestión Ambiental planteado en este estudio servirá para la gestión adecuada de las actividades.

Lista de requisitos administrativos cumplidos por el proyecto presentados al Ministerio de Medio ambiente de la provincia de Bs.As. y el ADA	
Nota de solicitud del Certificado de Aptitud Ambiental	✓
Factibilidad de provisión e informe sobre los consumos máximos estimados de agua, energía eléctrica y gas.	✓
Constancia de inicio de trámite para la obtención del permiso de vuelco de efluentes líquidos industriales expedido por el organismo con competencia.	✓
Memoria descriptiva de los procesos productivos con detalle de cada etapa.	✓
Croquis con identificación de equipos o instalaciones productores de efluentes gaseosos, líquidos, sólidos y/o semisólidos.	✓
Descripción de elementos e instalaciones para la seguridad y preservación de la salud del personal y prevención de accidentes, en función de la cantidad de personal y grado de complejidad y peligrosidad de la actividad industrial a desarrollar.	✓

Tabla 90. Elaboración propia. Fuente: Ley 11.459 Decreto N° 1.741/96 artículos 50° Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Habiéndose presentado en este apartado los estudios requeridos por la Entidad Ambiental Competente (Ministerio de medio ambiente (MA) y el Autoridad del Agua (ADA)) se queda a espera de la aprobación del Certificado de Aptitud Ambiental, previa visita de Auditoria.



11. EVALUACIÓN ECONOMICA

El objetivo fundamental de todo estudio económico es calcular la previsión de la rentabilidad final de la inversión del proyecto, con el fin de poder decidir si ésta es financieramente viable.

Se determinarán los montos de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, los costos totales de operación de la planta y se calcularán una serie de indicadores que servirán como base para la evaluación económica.

Los cálculos económicos realizados son realizados en dólares americanos (U\$D)

11.1. Inversión inicial

Para poder llevar a cabo el proyecto es requerido un recurso económico determinado, principalmente aquel que permita llevar a cabo la inversión inicial de la planta, dicha inversión inicial se divide en Inversión del capital fijo (CFI) y capital de trabajo (WC). La suma de la inversión de capital fijo y el capital de trabajo define la inversión inicial requerida.

La inversión inicial de la planta debe constar del recurso económico para poder adquirir el terreno, realizar la obra civil, realizar los estudios pertinentes a lo que envuelve el proyecto, adquirir los permisos requeridos, adquisición de equipamiento, unidades, elementos de producción, contratos de la mano de obra, contratos de otros servicios, instalación de servicio y equipamiento, seguros, entre muchos otros factores requeridos para iniciar el funcionamiento del proyecto.

11.1.1. Inversión del capital fijo:

La inversión del capital fijo está relacionado con el desembolso de dinero requerido para adquirir todo el activo fijo, es decir todo bien tangible, para llevar a cabo el proyecto y el consecuente costo asociado de instalación, legal, honorarios, entre otro para llevarlo a cabo.

El capital fijo se subdivide en:

- *Inversión en equipos.*
- *Inversiones complementarias, incluye accesorios, cañerías, instrumentos entre otros.*



El primer paso es la cotización de los equipos de proceso, para esto se lleva a cabo una estimación empleando la ecuación de Williams, dicha ecuación es una relación entre la inversión requerida de dos equipos, en base a un factor de capacidad y considera también un exponente de determinado orden.

$$\frac{I_{eq1}}{I_{eq}} = \left(\frac{Cap_{eq}}{Cap_{eq}} \right)^{exponente}$$

Donde:

I: Inversión de un equipo

Cap: Capacidad referente a un equipo

exponente: Factor exponencial propio de cada unidad, en función a su tipo. Se consideró en base al proyecto como 0,6.

De esta forma usando como referencia equipos ya diseñados podemos estimar el costo de nuestros equipos, y como estrategia de estimación se consideran los equipos más críticos de la producción como aquellos empleados como referencia replicándolos en los demás equipos no diseñados. De esta forma nos permite ahorrar recursos en el diseño de otros equipos y nos asegura que el coste de adquisición sea lo más relevante posible dentro de la evaluación económica.

Se enlistan los equipos estimados, según la aplicación de la ecuación de Williams, considerando a partir de ahora los equipos cotizados:



Equipo	Capacidad	Unidad	U\$D	MMU\$D
Bombas	11	KW	211.337,34	0,21
Booster	5,5	kW	4.000,00	0,04
Centrifuga de solidos (Diámetro)	1,6	m	437.422,10	0,44
Columna con platos	9,7	m3	192.113,18	0,19
Compresor de una etapa	780	m3/h	1.011.320,94	1,01
Condensador	0,076	M kcal/h	43.756,84	0,04
Condensador de torre	1,4	M kcal/h	268.295,44	0,27
Empacadora	10	kW	32.674,07	0,03
Intercambiador de reactor	1,128	M kcal/h	1.007.293,48	1,01
Intercambiador doble tubo	0,169	M kcal/h	272.540,17	0,27
Pelletizadora	50	KW	14.803,92	0,01
Quemador			4.680,00	0,05
Reactor en batch	38	m3	135.619,56	0,14
Reboiler kettler	1,4	M kcal/h	262.783,25	0,26
Separador horizontal bifásico	1,93	m3	117.799,68	0,12
Silo	4424	m3	296.084,19	0,30
Sistema de agua desmineralizada			3.550,00	0,04
Soplante centrifugo	15	kW	1.700.625,20	1,70
Tamiz	2	kW	6.000,00	0,06
Tanque	101,52	m3	860.996,87	0,86
Tanque	296,41	m3	1.484.250,78	1,48

Tabla 92. Lista de equipos cotizados y valor de cotización. Elaboración propia

Considerando la cantidad de equipos a cotizar y el valor de cotización se calcula la inversión total requerida para adquisición de la unidad completa de proceso.



Equipo	Cantidad	Costo Escalado MM U\$D	% Instalación	Costo Real Unitario MM U\$D	Costo Estimado MM U\$D
Bombas	8	0,21	25%	0,26	2,11
Booster	12	0,04	25%	0,05	0,60
Centrifuga	1	0,44	45%	0,63	0,63
Columnas	3	0,19	78%	0,34	1,03
Compresores	2	1,01	49%	1,51	3,01
Condensador (T-101)	1	0,27	49%	0,40	0,040
Condensadores	3	0,04	49%	0,07	0,20
Empacadora	1	0,03	30%	0,04	0,04
Intercambiador DT	4	0,27	49%	0,41	1,62
Pelletizadora	1	0,01	35%	0,02	0,02
Separadores bifásicos	5	0,12	45%	0,17	0,85
Soplante	1	1,70	49%	2,53	2,53
Silo	1	0,30	49%	0,44	0,44
Tanques	4	1,48	49%	2,21	8,85
Tanques	2	0,86	49%	1,28	2,57
Reactor	3	1,14	49%	1,70	5,11
Reboiler kettler	1	0,26	49%	0,39	0,39
Sistema de desmineralización	1	0,04	55%	0,06	0,06
Otro	1	0,11	60%	0,17	0,17
TOTAL					31,99

Tabla 93. Lista de equipos cotizados y valor de cotización total. Elaboración propia

Luego de realizar la estimación total de los costos de los equipos, se procede a calcular el resto de los activos fijos y consecuentes costos. Esto se realiza en función de porcentajes tabulados respecto del costo del equipamiento, los cuales son recomendados por la bibliografía "Plant Design and Economics for Chemical Engineers – Timmerhaus". La estimación de los costos restantes toma en consideración la cotización total de los equipos de procesos.



Nivel de Precisión	Descripción	%	MM U\$D
Medio	Localización	20%	6,67
Bajo	Extra-Terreno	0%	-
Alto	Ingeniería	8%	2,67
Alto	Obra Civil	25%	8,34
Alto	Piping (Cañerías y Accesorios)	30%	10,00
Medio	Instrumentación y Control	10%	3,33
Medio	Instalación Eléctrica	8%	2,67
Medio	Compra de equipos + Instalación	15%	5,00
Alto	Outside battery limits (OSBL)	50%	16,00
Bajo	Paro	3%	1,00
Bajo	Extra-Equipo	1%	0,33
Medio	Contratos	2%	0,67
N/A	Contingencias	8%	2,67
TOTAL			57,59

Tabla 94. Inversión fija. Elaboración propia

EL costo total de capital fijo (FCI) será la suma de la cotización total de equipos y el resto de las inversiones.

$$FCI = 89,58 \text{ MM U\$D}$$

11.1.2. Capital de trabajo:

El capital de trabajo (WC) consiste en la cantidad de recursos financieros que la empresa necesita para operar y explotar su actividad. Es decir, es la cantidad de dinero que requiere la empresa para comenzar a operar y así recuperar las inversiones.

Desde el punto de vista contable, se define como la diferencia entre el activo y el pasivo circulantes.

$$\text{Capital de trabajo} = WC = \text{Activo circulante} - \text{Pasivo circulante}$$

Activo circulante

El activo circulante se encuentra compuesto por el inventario, las cuentas por cobrar, y el dinero en cajas y bancos. Por lo tanto, son los activos y derechos que pueden convertirse en efectivo a corto plazo. A continuación, se detalla cada uno de ellos.



Inventario

El inventario se encuentra compuesto principalmente por el stock de materias primas, insumos y aditivos, y el stock de subproductos o productos terminados que pueden almacenarse en la planta.

Se considera como principal materia prima el monómero cloruro de vinilo, el agua desmineralizada (que conforma parte del medio), los aditivos y agentes de la reacción. Debido a que la corriente de monómero proviene contaminado del proveedor, ingresa en conjunto con una proporción de acetileno de 30% de porcentaje másica.

Las cargas de agua desmineralizada y de monómero son almacenadas en tanques. Mientras que los aditivos y agentes de reacción son vendidos en tanques y empaques. Por lo que estos últimos son almacenados en el almacén de aditivos.

- Monocloruro de vinilo:

El monómero es recibido por la planta contigua a través de un ducto siendo almacenado en los tanques correspondientes dentro del predio de tanques. En total el proyecto tiene la capacidad de almacenar 605 Tn de esta carga contaminada. El análisis de precio del reactivo es una proyección considerando el precio de venta promedio de los últimos años, con una índice de aumento ponderado del 1% en dólares. Esta consideración es un pronóstico obtenido de la variación de precio en los últimos años, según los informes del repositorio del IAPG

Cloruro de vinilo

Año	Precio [U\$D/Tn]
2012	773,01
2013	780,74
2014	788,55
2015	796,43
2016	804,40
2017	812,44
2018	820,57
2019	828,77
2020	837,06
2021	845,43
2022	853,88
2023	862,42
2024	871,05

Tabla 95. Evolución de precios. Elaboración propia. Fuente: repositorio IAPG



- Agua desmineralizada:

El agua desmineralizada es obtenida por la planta de agua desmineralizada de la planta, la cual esta procesa el agua de servicio recibida por el predio. Esta es almacenada en los tanques correspondientes dentro del predio de tanques. En total el proyecto tiene la capacidad de almacenar 593 Tn. El precio del agua es considerado el mismo que el considerado como utility, es decir 2 U\$/Tn.

- Agente suspensorio:

Es recibido por camión del proveedor y el formato es en tachos de 20lts, y se puede almacenar un mes de stock de material. El total seria unos 1,85 Tn de mes y el precio de adquisición es de 3700 U\$/Tn

- Iniciador:

Es recibido por camión del proveedor y el formato es en tachos de 10lts, y se puede almacenar un mes de stock de material. El total seria unos 0,74 Tn de mes y el precio de adquisición es de 5420 U\$/Tn

- Estabilizante:

Es recibido por camión del proveedor y el formato es en tachos de 20lts, y se puede almacenar un mes de stock de material. El total seria unos 1,67 Tn de mes y el precio de adquisición es de 1350 U\$/Tn.

Se construye la siguiente tabla para aglutinar la inversión requerida para la adquisición total del inventario.

Materia prima	kg/h	kg/día	kg/4 días	Tn/4 días	Precio [U\$/Tn]	[U\$D]
Carga	6312,2	151492,6	605970,4	606,0	\$ 904,00	\$527.800,00
Acetileno	1893,0	45432,0	181728,0	181,7		\$ -
MCV	4419,2	106060,6	424242,4	424,2		\$ -
Agua	6176,5	148235,3	592941,2	592,9	\$2,00	\$1.185,00

Tabla 96. Inventarios. Elaboración propia



Materia prima	kg/h	kg/día	kg/15 días	Tn/15 días	Precio [U\$/Tn]	[U\$D]
Agente susp.	5,147	123,5	1852,9	1,85	\$3.700,00	\$6.855,00
Iniciador	2,06	49,4	741,2	0,74	\$5.420,00	\$4.017,00
Estabilizante	4,63	111,2	1667,5	1,67	\$1.350,00	\$2.251,00

Tabla 97. Inventarios. Elaboración propia

El monto total del inventario es de **542108 U\$D** o **0,542 MU\$D**.

Considerando un préstamo para la compra mensual de los mismos productos se obtiene que:

Materia prima	kg/h	kg/día	kg/mes	Tn/mes	Precio [U\$/Tn]	Mensual [U\$D]
Carga	6312,2	151492,6	3332837,4	3332,8	871,00	2.902.901,00
Acetileno	1893,0	45432,0	999504,0	999,5		-
MCV	4419,2	106060,6	2333333,4	2333,3		-
Agua	6176,5	148235,3	3261176,7	3261,2	2,00	6.522,00

Tabla 98. Inventarios. Elaboración propia

Materia prima	kg/h	kg/día	kg/mes	Tn/mes	Precio [U\$/Tn]	Mensual [U\$D]
Agente susp.	5,147	123,5	2717,6	2,72	3.700,00	10.055,00
Iniciador	2,06	49,4	1087,2	1,09	5.420,00	5.892,00
Estabilizante	4,63	111,2	2445,7	2,45	1.350,00	3.301,00

Tabla 99. Inventarios. Elaboración propia

El monto total de egreso por compra de materia prima y aditivos, es decir de inventarios mensuales es de **19248 U\$D**

Cuentas por cobrar

Las cuentas por cobrar se consideran como el dinero correspondiente a los ingresos que se generan por las ventas de los productos y subproductos en un mes del año inicial. Para nuestro caso en el primer mes de ingreso por ventas de adquiere un monto de **5,191 Millones de dólares**.



Producto	Tn/mes	U\$/Tn	Mensual [U\$D]
PVC	2335,784	2.200,00	5.138.720,00
Acetileno	1000,01	52,50	52.500,00
TOTAL INGRESO POR VENTAS			5.191.220,00

Tabla 100. Ingresos por venta mensual. Elaboración propia

Consiste en calcular cual es la inversión necesaria como consecuencia de vender a crédito sus primeros productos y depende del Período Promedio de Recuperación (PPR) en que la empresa recupera el capital. Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Cuentas por cobrar} = CxC = \left(\frac{\text{ventas anuales}}{365} \right) PPR$$

Ventas	Mes 1 de producción
Producto principal [MU\$D]	5,06
Subproducto [MU\$D]	0,05
Total [MU\$D]	5,11
PPR	90
Cuentas por cobrar [MU\$D]	1,28

Tabla 101. Cuentas por cobrar. Elaboración propia

Cajas y Bancos

Las cajas y bancos, también denominados valores e inversiones, son el efectivo que siempre debe tener una empresa para afrontar no sólo los gastos cotidianos, sino también los imprevistos.

Se estima entre un 10% y 20% del monto total invertido en inventarios y cuentas por cobrar. Para el proyecto en estudio, se adopta un promedio del 15%.

$$\text{Cajas y bancos} = 0,15 (\text{inventarios} + \text{Cuentas por cobrar})$$

Inventarios [MMU\$D]	2,93
Cuentas por cobrar [MMU\$D]	1,28
15%	
Caja y bancos [MMU\$D]	0,63

Tabla 102. Elaboración propia



Activo circulante total

Finalmente, se calcula el activo circulante total.

<i>Inventario + Cuentas por cobrar + Cajas y bancos = Activo circulante</i>	
Inventarios [MMU\$D]	\$ 2,93
Cuentas por cobrar [MMU\$D]	\$ 1,28
Cajas y Bancos [MMU\$D]	\$ 0,63
Activo circulante [MMU\$D]	\$ 4,84

Tabla 102. Activo circulante. Elaboración propia

Pasivo circulante

Consta de créditos a corto plazo en conceptos de impuestos, servicios y proveedores, se estima en la práctica tomando como base el valor de la *Tasa Circulante*, la cual se sugiere sea mayor o igual a 3 para la evaluación de proyectos:

$$Tasa\ circulante = TC = \frac{AC}{PC} \geq 3$$

$$Pasivo\ circulante = PC = \frac{AC}{3} = 1,61\ MM\ U\$D$$

Capital de trabajo:

$$Capital\ de\ trabajo = Activo\ circulante - Pasivo\ circulante = 6,4\ MM\ U\$D$$

11.1.3. Calculo del CAPEX:

$$CAPEX = WC(\text{capital de trabajo}) + CFI(\text{inversion de capital fijo})$$

FCI	89,61
WC	6,40
CAPEX	96,01

Tabla 103. CAPEX. Elaboración propia



11.2. Depreciación y amortización:

La depreciación consiste en el costo asociado a la disminución periódica del valor de los bienes materiales. La depreciación hace referencia a que, al reconocer el desgaste de los bienes por su uso con el paso del tiempo, se crea una reserva que al final de su vida útil permite reemplazarlos sin afectar la liquidez. Y es especialmente necesario el cálculo de la depreciación para la estimación del valor de impuesto a la ganancia que debe descontarse del flujo de caja del proyecto.

Para el cálculo de depreciación se emplea el método de la línea recta, el cual considera la diferencia entre el valor de adquisición de los bienes materiales y el valor de salvamento dividido a la cantidad de años de amortización, que en este caso serán 10 años. Es una forma de aplicar el método de la depreciación por línea recta.

$$d = \frac{V - V_s}{n}$$

Donde:

d : Depreciación anual

V : Valor de bien a depreciar

V_s : Valor de salvamento considerado

n : Cantidad de años considerados para la depreciación

En nuestro caso el valor de salvamento elegido, según la provincia es el 50% del valor final del bien en el último año. El valor de salvamento simboliza el valor de venta del bien cuando termina su vida útil o el valor de venta del bien en el momento que se decida venderlo. En nuestro caso sería el valor del bien dentro de los 10 años.

Considerando el valor de los equipos, tendremos que:



Equipo	Cantidad	Valor de compra MM U\$D	Valor de salvamento MM U\$D	Depreciación MM U\$D
Bombas	8	2,11	1,06	0,11
Booster	12	0,60	0,30	0,03
Centrifuga	1	0,63	0,32	0,03
Columnas	3	1,03	0,51	0,05
Compresores	2	3,01	1,51	0,15
Condensador (T-101)	1	1,59	0,79	0,08
Condensadores	3	0,20	0,10	0,01
Empacadora	1	0,04	0,02	0,00
Intercambiador DT	4	1,62	0,81	0,08
Pelletizadora	1	0,02	0,01	0,00
Separadores bifásicos	5	0,85	0,43	0,04
Soplante	1	2,53	1,27	0,13
Silo	1	0,44	0,22	0,02
Tanques	4	8,85	4,42	0,44
Tanques	2	2,57	1,28	0,13
Reactor	3	5,11	2,55	0,26
Reboiler kettle	1	1,91	0,96	0,10
Sistema de desmineralización	1	0,06	0,03	0,00
Otro	1	0,17	0,09	0,01
TOTAL				1,67

Tabla 104. Depreciación. Elaboración propia

Amortizaciones:

Para el valor de las amortizaciones, consideramos el 100% de amortización según estipula el distrito donde se emplaza el proyecto (provincia de Buenos Aires). Donde las amortizaciones adoptan el mismo concepto de las depreciaciones pero considera los bienes intangibles. Y como resultado final estimamos el valor final de la amortización, que influirá en el flujo de caja de la empresa a partir del primer año de producción.

11.3. Calculo de ingreso bruto:

El ingreso bruto es la principal diferencia entre la entrada o ingreso de dinero por ventas y servicios y el egreso de dinero por compra de materia prima y pagos de cuotas bancarias. El ingreso bruto estimado determina, de manera inicial, la rentabilidad del proyecto y para su cálculo se evalúa y estiman los ingresos y egresos de dinero durante 10 años desde que se inicia la evaluación de dinero.



Tanto el ingreso y egreso de dinero son dependientes de la producción y el comportamiento del mercado

11.3.1. Estimación de Ingresos:

Los únicos ingresos considerados en esta evaluación económica es aquella dada por la venta de producto principal, el poli cloruro de vinilo y la venta por devolución de acetileno.

El precio del policloruro de vinilo es obtenido en base al promedio de venta histórico en Argentina y la información es brindada por el Instituto Petroquímico Argentino. El precio de venta en los últimos años oscila entre los 1500 U\$/Tn y 1950 U\$/Tn. Considerando un aumento anual en dólares del 1% en el precio de venta del PVC según los últimos datos de evolución histórica extraídos del repositorio del IAPG, por lo que se asume que para el año 2027 se considera un precio de venta de 2200 U\$/Tn.

Se considera que la producción en el primer año de funcionamiento será de un 70% de alcance total de 35000 Tn de PVC según la estrategia asumida debido al estudio de mercado (Grafico 5 - Pag. 18), donde en este identificamos que para la satisfacción de la demanda es requerido un bajo volumen de producción, y en su segundo año de funcionamiento será de un 85% del alcance del proyecto anteriormente mencionado. Para los siguientes años se considera el 100% del alcance. También esta estrategia de producción es planteada desde el punto de vista de mercado para cumplir la satisfacción de la demanda sin saturarla.

Año	Precio [U\$/Tn]	Producción	Ventas [MMU\$/Tn]
2024	2.002,00	0	0
2025	2.066,00	0	0
2026	2.114,00	0	0
2027	2.200,00	24500	53,9
2028	2.222,00	29750	66,1
2029	2.244,00	35000	78,5
2030	2.266,00	35000	79,3
2031	2.288,00	35000	80,1
2032	2.310,00	35000	80,9
2033	2.333,00	35000	81,7
2034	2.356,00	35000	82,5
2035	2.379,00	35000	83,3
2036	2.402,00	35000	84,1

Tabla 105. Ingresos. Elaboración propia. Fuente: Anuario estadístico IAPG



El ingreso por devolución de acetileno considera el precio de venta de la misma sustancia, la cual según los estudios de mercado y la información brindada por el Instituto Petroquímico Argentino, en los últimos años adquirió un valor de 50 U\$D/Tn. Se vuelve a proyecta la evolución del precio con un aumento en dólares de 1% y la estrategia de producción planteada anteriormente. Por lo que la estimación de los años de funcionamiento en la planta arroja el ingreso de venta por devolución de acetileno como en el siguiente cuadro.

Ingreso devolución de acetileno			
Año	Precio [U\$D/Tn]	Producción	Ventas [MMU\$D/Tn]
2023	50,51	0	0
2024	51,00	0	0
2025	51,51	0	0
2026	52,03	0	0
2027	52,55	10500	0,55
2028	53,07	12750	0,68
2029	53,60	15000	0,80
2030	54,14	15000	0,81
2031	54,68	15000	0,82
2032	55,23	15000	0,83
2033	55,78	15000	0,84
2034	56,34	15000	0,85
2035	56,90	15000	0,85
2036	57,47	15000	0,86

Tabla 106. Ingresos. Elaboración propia. Fuente: Anuario estadístico IAPG

11.3.2. Estimación de Egresos:

Los egresos considerados en el proyecto son enteramente por la compra de materia prima, las principales materias primas consideradas son el agua desmineralizada, obtenida del servicio de agua desmineralizada y el Cloruro de vinilo.

Para la estimación del agua desmineralizada, se considera el precio de agua de servicio que emplea la planta de agua desmineralizada. Y la cantidad de agua desmineralizada se calcula en base a la estrategia planteada donde el primer año de funcionamiento se obtienen un 70% del alcance planteado por el



proyecto, el segundo año es un 85% y los restantes años se considera el 100% del alcance del proyecto.

Egreso por agua desmineralizada			
Año	Precio [U\$/Tn]	Producción	Ventas [MMU\$/Tn]
2023	2,00	0	0
2024	2,00	0	0
2025	2,00	0	0
2026	2,00	0	0
2027	2,00	34242,35	0,07
2028	2,00	41580,00	0,08
2029	2,00	48917,65	0,10
2030	2,00	48917,65	0,10
2031	2,00	48917,65	0,10
2032	2,00	48917,65	0,10
2033	2,00	48917,65	0,10
2034	2,00	48917,65	0,10
2035	2,00	48917,65	0,10
2036	2,00	48917,65	0,10

Tabla 107. Egresos. Elaboración propia

En el caso del cloruro de vinilo se considera a la porción de la carga recibida por la planta de MCV como materia prima a pagar, es decir el 70% de la fracción molar de la carga total. Mientras que el precio considerado, es extraído del Instituto Petroquímico Argentino, el cual el precio de venta promedio de MCV para el 2023 es de 870 U\$/Tn. Se estima la evolución de egresos con la estrategia ya mencionada anteriormente. El exceso requerido para asegurar la continuidad del proceso, es decir el flujo de MCV a recuperar fue considerado en el cálculo de inventarios del capital de trabajo.



Compra de MCV			
Año	Precio [U\$/Tn]	Producción	Ventas [MMU\$/Tn]
2023	872,00	0	0
2024	880,00	0	0
2025	888,00	0	0
2026	896,00	0	0
2027	904,00	24500	22,1
2028	913,00	29750	27,2
2029	922,00	35000	32,3
2030	931,00	35000	32,6
2031	940,00	35000	32,9
2032	949,00	35000	33,2
2033	958,00	35000	33,5
2034	967,00	35000	33,8
2035	976,00	35000	34,2
2036	985,00	35000	34,5

Tabla 108. Egresos. Elaboración propia. Fuente: Anuario estadístico IAPG

11.4. Estimación de OPEX:

El OPEX, son todos los costos asociados y necesarios para producir. Estos costos se dividen en costos fijos y costos variables.

11.4.1. Costos fijos:

Los costos fijos son aquellos independientes del nivel de producción. Los costos fijos considerados son sueldos de personal, mantenimiento, costos de laboratorios, patente, seguros, impuestos, entre otros.

Para el costo de mano de obra se consideran 13 meses (12 meses + sueldo anual complementario), dentro del personal se considera que aquel personal de turno se le asigna un 30% adicional. Y se pone en lista la siguiente tabla de la cantidad total de colaboradores de la empresa.



Gerencia/Departamento	Puesto	Cantidad	Sueldo Mensual unit. (USD)	Sueldo Anual (USD)
Gerencia	Gerente	1	3.000,00	39.000,00
Secretaría	Secretaria	1	695,10	9.036,30
Recursos Humanos 12	RRHH	3	1.960,00	76.440,00
	Selección y Reclutamiento	1	695,00	9.035,00
	Formación	2	695,00	18.070,00
	RRL	1	695,00	9.035,00
	Médicos	2	1.365,00	35.490,00
	Enfermeros	2	695,00	18.070,00
	Relación con la Comunidad	1	695,00	9.035,00
Producción 48	Coordinador de operaciones	1	1.165,00	19.688,50
	Supervisor Producción	5	1.165,00	98.442,50
	Tablerista	5	800,00	67.600,00
	Operario de producción	18	690,00	209.898,00
	Supervisor Energía	5	1.000,00	84.500,00
	Tablerista Energía	5	800,00	67.600,00
	Operario Energía	5	690,00	58.305,00
	Supervisor Mov. de producto	2	1.000,00	11.700,00
Servicio Técnico 19	Coordinador de Procesos y Proyectos	1	1.950,00	25.350,00
	Jefe de Laboratorio	1	1.730,00	22.490,00
	Supervisor de Laboratorio	5	1.250,00	16.250,00
	Analistas de laboratorio	9	1.022,00	119.574,00
	Jefe de Calidad	1	1.730,00	22.490,00
	Jefe de S y MA	1	1.730,00	22.490,00
	Ing. de Procesos	1	1.501,00	19.513,00
Mantenimiento	Jefe de mantenimiento	1	1.731,00	22.503,00



23	Ing. Mecánico	1	1.501,00	19.513,00
	Ing. Civil	1	1.501,00	19.513,00
	Supervisor	2	1.265,00	32.890,00
	Técnico en servicios	2	1.022,00	26.572,00
	Técnicos Equipos a Presión	2	1.022,00	26.572,00
	Técnico Maquinas rotantes	2	1.022,00	26.572,00
	Técnico columnas	2	1.022,00	26.572,00
	Verificación de equipos	3	1.020,00	39.780,00
	Jefe de Paro	1	1.730,00	22.490,00
	Coordinador de Paro	1	1.100,00	14.300,00
	Archivo Técnico	2	1.022,00	26.572,00
	Operador de Almacenes	3	800,00	10.400,00
22 Administración	Jefe Servicios Generales	1	1.906,00	24.778,00
	Jefe Control de Gestión	1	1.730,00	22.490,00
	Jefe de Planificación	1	1.730,00	22.490,00
	Jefe de Compras y Contrataciones	1	1.730,00	22.490,00
	Contaduría	2	1.505,00	39.130,00
	Tesorería y asist.	3	1.505,00	58.695,00
	Administrativos	13	590,00	99.710,00
Total [U\$D]			55.872,00	1.701.324,00
TOTAL [MMU\$D]			0,06	1,70
TOTAL con cargas sociales [MMU\$D]			0,08	2,55

Tabla 109. Sueldos de los colaboradores. Elaboración propia. Fuente: UOYEP

Los demás costos fijos son estimados a partir del CAPEX.

- Mantenimiento (sin paro). 2% del CAPEX
- Contratos. 1% del Ingreso bruto
- Seguros. 0,5% del CAPEX



Costo	[MMU\$D]
Personal	\$ 2,55
Mantenimiento	\$ 2,69
Contratos	\$ 1,12
Seguros	\$ 0,96
CF TOTALES	\$ 7,32

Tabla 110. Costos fijos anuales. Elaboración propia

Finalmente los costos fijos totales son de 7,32 MMU\$D.

11.4.2. Costos variables:

Los costos variables son aquellos dependientes del volumen de producción. Y se consideran a costos variables aquellos químicos aditivos y coagentes empleados en la reacción, en conjunto con los servicios requeridos para el funcionamiento de las operaciones (electricidad, vapor, agua de servicio, entre otros). También dentro de esta categoría se asocian los impuestos y gastos comerciales.

Servicios	Costo Unitario	Unidad	Cantidad Anual	Costo anual
Agua	\$2,0	USD/Tn	745640	\$ 1.491.820
Vapor	\$15,0	USD/Tn	126320	\$ 1.894.800
Electricidad	\$32,0	USD/KW	36000	\$ 1.152.000
Gas natural	\$90,0	Usd/Mm ³	0,16	\$ 14

Tabla 111. Costos. Elaboración propia

Químicos	Precio unitario	Tn/año	Costo anual [U\$D]	
Iniciador (Alcotex 76)	\$ 5.420,0	USD/Tn	16,306	\$ 88.379
Estabilizante (Sales Ca-Zn)	\$ 1.350,0	USD/Tn	36,688	\$ 49.529
Agente de suspensión (Alcohol polivinílico)	\$ 3.700,0	Usd/Tn	40,765	\$ 150.831

Tabla 111. Costos. Elaboración propia



Por otro lado se estiman tanto el impuesto como los gastos comerciales en función al margen bruto esperado en el primer caso serían 1% del ingreso bruto y en el segundo serían 2% del ingreso bruto.

Los costos variables calculados consideran una producción del 100% del alcance del proyecto.

Costos	[MMU\$D]
Químicos	0,29
Servicios	4,54
Comerciales	0,60
Impuestos	0,30
CV TOTALES	5,76

Tabla 112. Costos variables. Elaboración propia

11.5. Flujo de caja:

El flujo de caja es un cuadro que determina el balance final del proyecto, en nuestro caso considera 12 años, desde que se decide invertir en el proyecto continuando con las etapas de adquisición de bienes, construcción, puesta en marcha y finalmente la etapa de funcionamiento. Este balance de flujo en años nos permitirá determinar la rentabilidad de proyecto al aplicar los índices económicos pertinentes.

Adjuntado en el mismo proyecto como Tabla 113.

Cálculos dentro del flujo de caja:

Para continuar con la evaluación económica, definiremos algunos conceptos de interés.

- Margen operativo = Ingresos – Egresos
- OPEX = Costos variables + Costos fijos
- EBITDA = Margen operativo – OPEX
- Siendo 10 los años de evaluación del proyecto:

$$\text{Amortización} = \text{CAPEX} / 10$$

- EBIT = EBITDA – Amortizaciones
- Siendo 30% la Tasa IG para Argentina

$$\text{IG} = \text{EBIT} * \text{Tasa IG}$$



- $EBT = EBITDA - IG$
- Considerando que los intereses y pagos están relacionados con el crédito solicitado a los accionistas.

$$NI = EBT - \text{Intereses y Pagos}$$

- $FF = NI - CAPEX$

Del CAPEX total de 96,2 MMU\$, se solicitara un préstamo dual bancario y accionario. Donde el préstamo solicitado a los accionistas será del 70% del CAPEX y el otro 30% del CAPEX será de origen bancario. En total la erogación requerida para cubrir el CAPEX será recibido en los 3 primeros años (2024/2025/2026).

Erogación total	Años			Total [MMU\$]
Numero de pago	0	1	2	
Porcentaje de pago total	8%	70%	22%	100%
[MMU\$]	\$ 8	\$67	\$21	96,2

Tabla 114. Crédito total. Elaboración propia

Consideramos una tasa de interés del 7% para accionistas, a pagar en 10 años. Y en la tasa bancaria de 5% a pagar en 3 años.

Préstamo		
Tipo	Accionistas	Bancario
Préstamo %	70	30
Préstamo [MMU\$]	67,2	29
Tasa	7%	5%
Años	10	3
Cuota [MMU\$]	6,72	9,60
Interés [MMU\$]	0,47	0,48
Pago Accionistas [MMU\$]	7,91	

Tabla 115. Prestamos. Elaboración propia

La erogación recibida en primer lugar será bancaria la cual se entregara en 2 cuotas la primera de ellas en el año 0 y la segunda en el año 1. Y por último la accionaria será recibida en 2 cuotas la primera en el año 1 y la segunda en el año 2:



Erogación diferenciada	Cuotas			Total [MMU\$D]
	1	2/1	2	
Porcentaje de pago bancario	28%	72%	-	100%
[MMU\$D]	8	20,9		29
Porcentaje de pago accionario	-	69%	31%	100%
[MMU\$D]		46,4	20,8	67,2

Tabla 116. Créditos bancario y accionario. Elaboración propia

Tasa de corte seleccionada 13% (TMAR=13%)

11.6. Indicadores económicos:

Para determinar la rentabilidad del proyecto, se emplea indicadores económicos. Los utilizados para la evaluación de proyecto son el VAN (Valor actual neto) y la TIR (tasa interna de retorno).

11.6.1 VAN:

El VAN (Valor actual neto) representa el valor monetario del proyecto en un determinado plazo al presente. El VAN nos da como medida si el valor de la inversión será atractivo, este indicador usa como criterio que aquellos valores mayores o iguales que cero, es decir positivos, sostienen que la rentabilidad del proyecto es adecuada.

El VAN obtenido luego de la realización del cuadro de flujo es de **4,59 MMU\$D**. El valor del indicador determina que el proyecto es de rentabilidad atractiva.

11.6.2 TIR:

La tasa interna de retorno (TIR) es la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. También se puede definir a la TIR como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado. Para que una TIR de un valor aceptable se la compara con la tasa de corte (TMAR) y de esta comparación se debe obtener que la TIR sea siempre mayor a la TMAR.

En este caso la TIR obtenida a partir del cuadro de flujo da un valor **17%**, este valor es mayor a la tasa de corte de 13%.



VAN [MMU\$D]	TIR (%)
4,59	17

Tabla 117. Indicadores económicos. Elaboración propia

Los valores otorgados según los indicadores económicos demuestran que el proyecto posee una rentabilidad atractiva.

11.7. Análisis de sensibilidad:

El análisis de sensibilidad es una herramienta que permite a las empresas pronosticar cuáles serán las variables que al modificarse afectan a los resultados económicos del proyecto. Para esto, se plantean diferentes escenarios posibles y se analiza su impacto sobre el VAN.

Para el proyecto en cuestión el VAN se obtuvo positivo, y para el análisis de sensibilidad se consideran:

- Un aumento del 10% en el precio del producto principal (PVC).
- Un descenso del 10% en el precio de compra de materia prima principal (MCV).
- Descenso de un 15% del CAPEX
- Descenso de un 10% de Producto principal debido a una inundación de producto en el mercado.
- Financiación 100% accionaria.

Casos	Variación	VAN [MMU\$D]	TIR [%]
Caso 1	Aumento en un 10% del precio de venta del PVC	22,72	30%
Caso 2	Descenso de un 10% del precio de MP principal	12,51	23%
Caso 3	Reducción del CAPEX un 15%	15,33	22%
Caso 4	Reducción del 10% del precio de venta del PVC	-13,54	1%
Caso 5	Financiamiento 100% accionaria	2,95	16%

Tabla 118. Análisis de sensibilidad. Elaboración propia



Del análisis de sensibilidad se obtiene que el mejor escenario es un aumento del 10% de precio de venta de PVC. Mientras que los demás escenarios planteados son poco alentadores. Y los escenarios más nocivos para mantener la rentabilidad del proyecto es la reducción del 10% de precio de venta del PVC.

Y por último una financiación del 100% Accionista es un escenario que logra una rentabilidad adecuada, pero aún sigue siendo inferior que la planteada en el proyecto por financiación dual accionaria y bancaria.

El análisis de sensibilidad revela que los efectos causados en el precio de venta del producto generan las mayores variaciones en la rentabilidad del proyecto. Y que se recomienda plantear una evaluación económica de una doble financiación bancaria y accionaria.

12. CONCLUSIÓN:

Se recomienda invertir en el mismo. De acuerdo a los estudios realizados se concluye en que el proyecto es atractivo y se recomienda seguir con la inversión y pasar a la etapa de EPC.



13. REFERENCIAS:

13.1 Bibliográficas:

Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC) – Organización Internacional del trabajo.

Raimond, A., & Charles, B. (1995). *Introducción a la Química de Polímeros*. Barcelona, España: Editorial Reverté SA.

Carraher Jr., C. E. (1999). *Polymer Handbook* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Comisión de Expertos en PVC “Estudio técnico sobre el Policloruro de Vinilo (PVC) como material de envasado”, Madrid, mayo de 1998.

Encyclopedia of PVC- Nass, Leonard I. Heiberger, Charles (1998 p.73)

Bohorquez, C., Stand, L., & Artega, N. (Año). Bases para la Modelización de Procesos de Producción de PVC. *Teknos, Volumen 12*.

Saeki, Y., & Emura, T. (2002). “Technical progresses for PVC production”. *Progress in Polymer Science*, 27, 2055–2131.

Ugelstad, J., Mørk, P. C., Hansen, F. K., Kaggerud, K. H., & Ellingsen, T. (1981). Kinetics and Mechanism of Vinyl Chloride Polymerization. *Pure & Applied Chemistry*, 53, 323–363. DOI: 10.1351/pac198153020323

Treybal, R. E (2000). *Operaciones de Transferencia de Masa* (2da ed.). McGraw-Hill.

Perry, R. H. (1999). *Manual del Ingeniero Químico* (6ta ed.). McGraw-Hill.

Procesos de Transferencia de Calor. Trigesimoprimera edición. McGraw Hill Book Company, Inc.

Cao, E. (1986). “Intercambiadores de Calor”

Mccabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Ciudad De México: McGraw-Hill / Interamericana De México.

Sidiropoulou, E., & Kiparissides, C. (1990). Mathematical modeling of PVC suspension polymerization: A unifying approach and some new results. *Journal of Macromolecular Science—Chemistry*, A27(3), 257-288.

Fletcher, A. (1987, April). Heat Transfer Coefficients for Stirred Batch Reactor Design. *The Chemical Engineer*.

Ludwig, E. E. (1999). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants* (Vol. 3, 3rd ed.). Gulf Professional.



Conesa Fernández-Vítora Vicente (1997): "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental". 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Sigma-Aldrich®. Laboratory Notebook.

Timmerhaus, K., Peters, M. S., & Stone, M. (1980). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Companies.

13.2 Webgráficas:

<https://www.aapvc.org.ar/nuestro-trabajo/>; "PVC y análisis de Mercado"

https://www.iapg.org.ar/web_iapg/; "Análisis de Mercado"

<https://www.bancomundial.org/es/home>; "Variable macroeconómicas"

<https://www.indec.gob.ar/indec>; "Variable macroeconómicas"

<https://repositorio.segemar.gov.ar/>; "Topografía"

www.parqueindustrialpilar.org.ar; "Localización"

http://www.pilar.com.ar/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=90%3Aparque-industrial-pilar&Itemid=65&limitstart=52, "Localización"

<https://es.weatherspark.com/y/28965/Clima-promedio-en-Pilar-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>; "Clima"

<https://www.argentina.gob.ar/inta>; "Estudios de suelo"

<https://www.uoyepweb.org.ar>; "Convenio colectivo de trabajo"

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ssn_202012_indicadores_mercado_anexo.pdf, "Superintendencia de trabajo"

<http://edifisica.us.es/fii/Carpetas/Exámenes/ex4.pdf>; "Diagramas de moody"

<https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matrices-de-impacto-ambiental/>

13.3 Recursos:

Programa de simulación PROII versión 2009

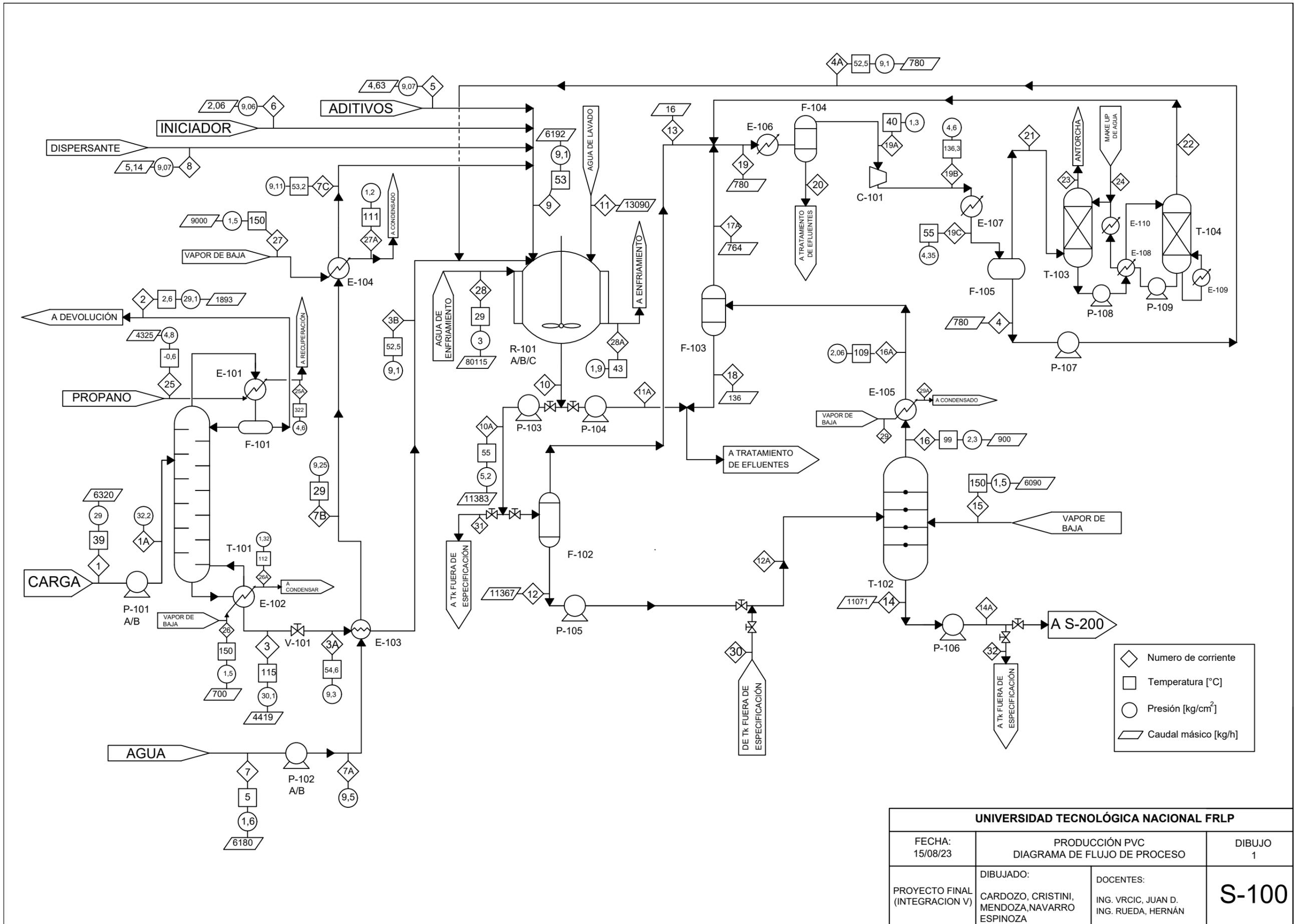
Programa de diseño AutoCAD versión 2020

<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-pressure.html>

SECCIONES 100

Corriente	Fase	Caudal molar	Caudal másico	Temperatura	Presión	Entalpía	Composición másica						
		[kmol/h]	[Kg/h]	[°C]	[kg/cm2]	[Mkcal/h]	MCV	H2O	Acetileno	Aditivos	PVC	Propano	
1	Líquido	153,8	6320	39	29	0,134	0,7		0,3				
1A	Líquido	153,8	6320	40	32	0,149	0,7		0,3				
2	Líquido	75,97	1893	2,6	29,2	0,013			1				
3	Líquido	77,4	4420	115	30,1	0,522	0,976		0,024				
3A	Mezcla	77,4	4420	54,6	9,3	0,245	0,976		0,024				
3B	Líquido	77,4	4420	52,5	9,11	0,119	0,976		0,024				
4	Líquido	12	780	52,5	9,1	0,02	1						
4A	Líquido	12	780	52,5	9,12	0,02	1						
5	Líquido		4,63	52	9,07					1			
6	Líquido		2,06	51	9,06					1			
7	Agua	343,3	6180	5	1,1	0,179		1					
7A	Agua	343,3	6180	5	9,5	0,18		1					
7B	Agua	343,3	6180	25,6	9,3	0,3		1					
8	Líquido		5,15	52,3	9,07					1			
9	Líquido		6192	52	9,1			0,998		0,002			
10	Slurry		11382,7	60	5,2		0,068	0,543		0,0003	0,389		
11	Agua	727,23	13090	20	1,2	0,262		1					
11A	Agua		13090,13	20	1,08	0,262							
12	Slurry		11367		1,25		0,068	0,543		0,0003	0,389		
12A	Slurry		11367		3			0,544		0,0003	0,389		
13	Vapor	0,24	16				1			0	0		
14	Slurry		11071					0,6			0,4		
14A	Slurry		11071					0,6			0,4		
15	Vapor	338,3	6089,1	150	1,5	4,032		1					
16	Gas	91,1	900	99	2,26	0,57	0,55	0,45					
16A	Gas	91,1	900	110	2,06		0,55	0,45					
17	Gas	4,519	764	45	1,8			1		0,0003			
18	Líquido		136					1					
19	Gas		780	40	1,4		1						
19A	Gas		780	40	1,6		1						
19B	Gas		780	136,3	4,6		1						
19C	Gas		780	55	4,35		1						
20	Líquido	Corriente de emergencia											
21	Vapor	Corriente de emergencia											
22	Vapor	Corriente de emergencia											
23	Gas	Efluente gaseoso											
24	Make up	Corriente de emergencia							1				
25	Líquido	98,3	4325,2	-0,6	3,2	0,005						1	
25A	Gas	98,3	4325,2	321,63	2,6	0,15						1	
26	Vapor	38,9	700	150	1,5	0,46							
26A	Vapor	38,9	700	112	1,32	0,45		1					
27	Vapor	500	9000	150	1,5	5,96		1					
27A	Vapor	500	9000	111	1,2	5,79		1					
28	Agua	2503,6	80115	29	3			1					
28A	Agua	2503,6	80115	40	1,9			1					
29	Vapor	24,6	442	150	1,5	0,29		1					
29A	Vapor	24,6	442	112	1,2	0,29		1					

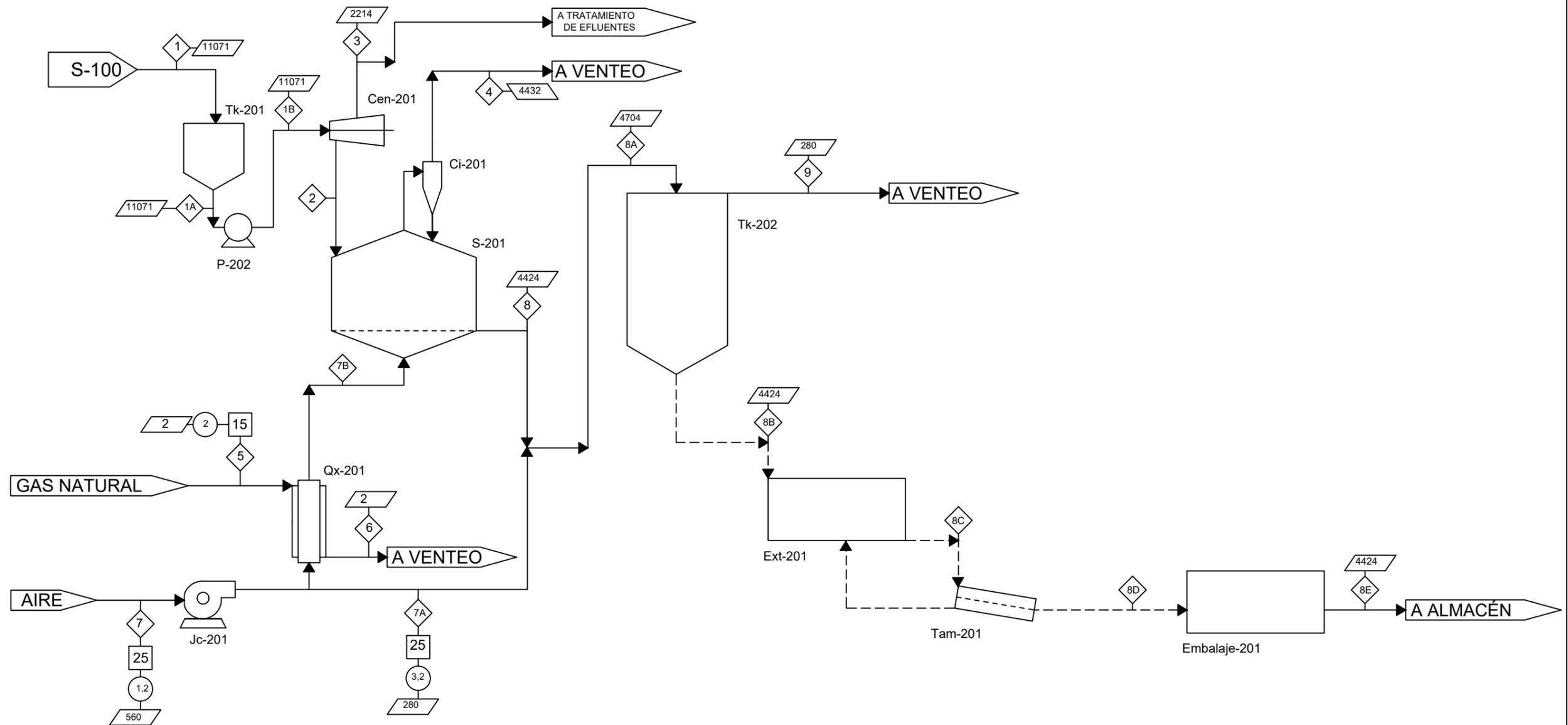
Tabla 26. Elaboración propia. Fuente: PROII



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
FECHA: 15/08/23	PRODUCCIÓN PVC DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO		DIBUJO 1
PROYECTO FINAL (INTEGRACION V)	DIBUJADO: CARDOZO, CRISTINI, MENDOZA, NAVARRO ESPINOZA	DOCENTES: ING. VRCIC, JUAN D. ING. RUEDA, HERNÁN	S-100

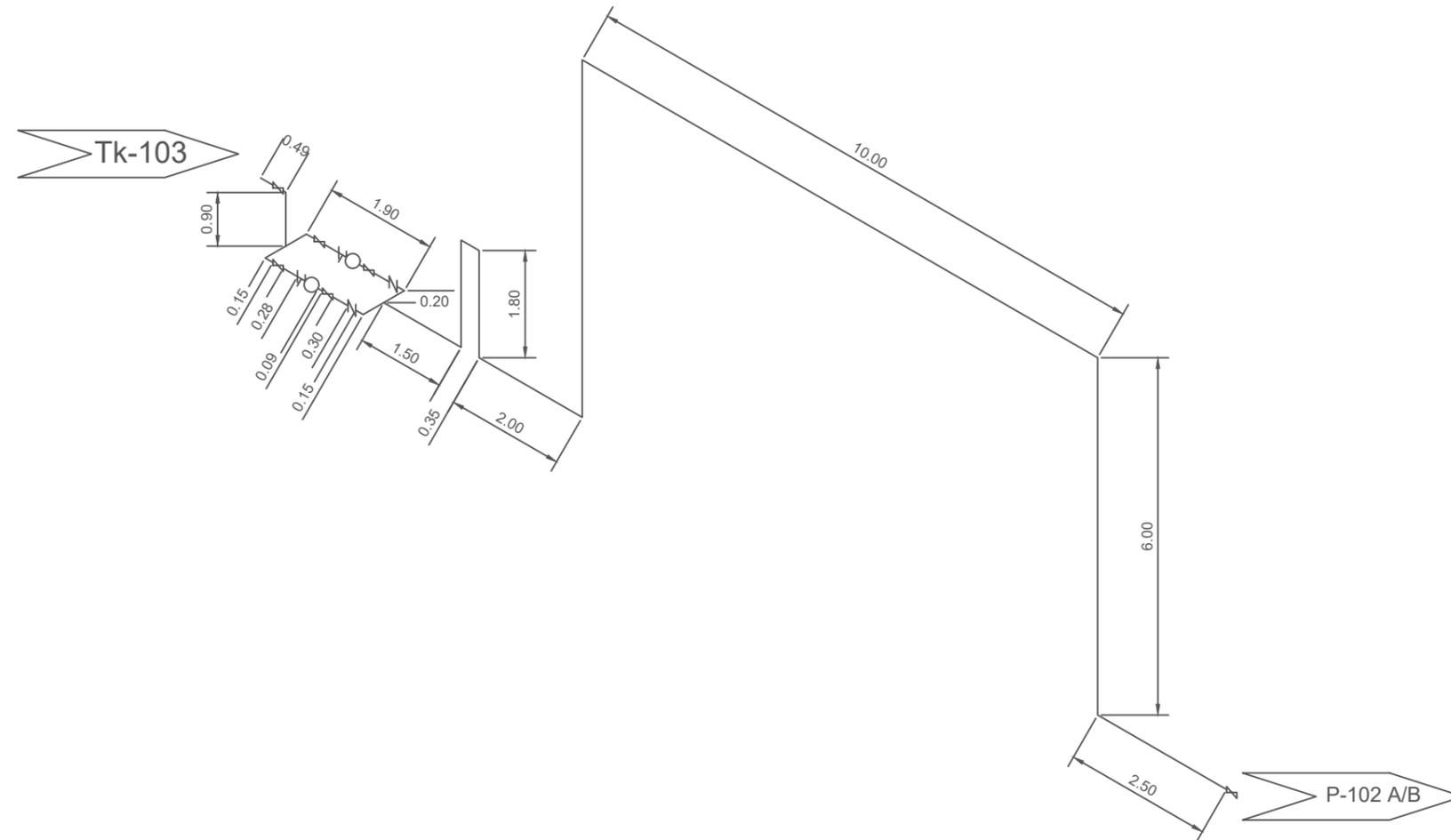
SECCIÓN	Corriente	Fase	Caudal molar	Caudal másico	Temperatura	Presión	Entalpía	Composición másica				
			[kmol/h]	[Kg/h]	[°C]	[kg/cm2]	[Mkcal/h]	Aire	PVC	Agua	Gas natural	Gases de combustión
200	1	Slurry		11071	20				0,4	0,6		
	1A	Slurry		11071	20				0,4	0,6		
	1B	Slurry		11071	20				0,4	0,6		
	2	Slurry		8856,8	20				0,5	0,5		
	3	Líquido		2214,2	21	1,4				1		
	4	Vapor		4432,8	112	1,35				1		
	5	Gas	0,109	2	15	2					1	
	6	Gas		2		1,2						1
	7	Aire		560	20	3,5	0,002	1				
	7A	Aire		280	130	3,4	0,009	1				
	7B	Aire		280	20	3	0,002	1				
	8	Sólido		4424	50				1			
	8A	Sólidos fluidizados		4704	30	3			0,94			
	8B	Sólidos fluidizados		4704	20	3			0,94			
	8C	Sólido		4424	20				1			
	8D	Sólido		4424	20				1			
	8E	Sólido		4424	20				1			
	9	Aire		280	20							

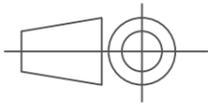
Tabla 27. Elaboración propia. Fuente: PROII

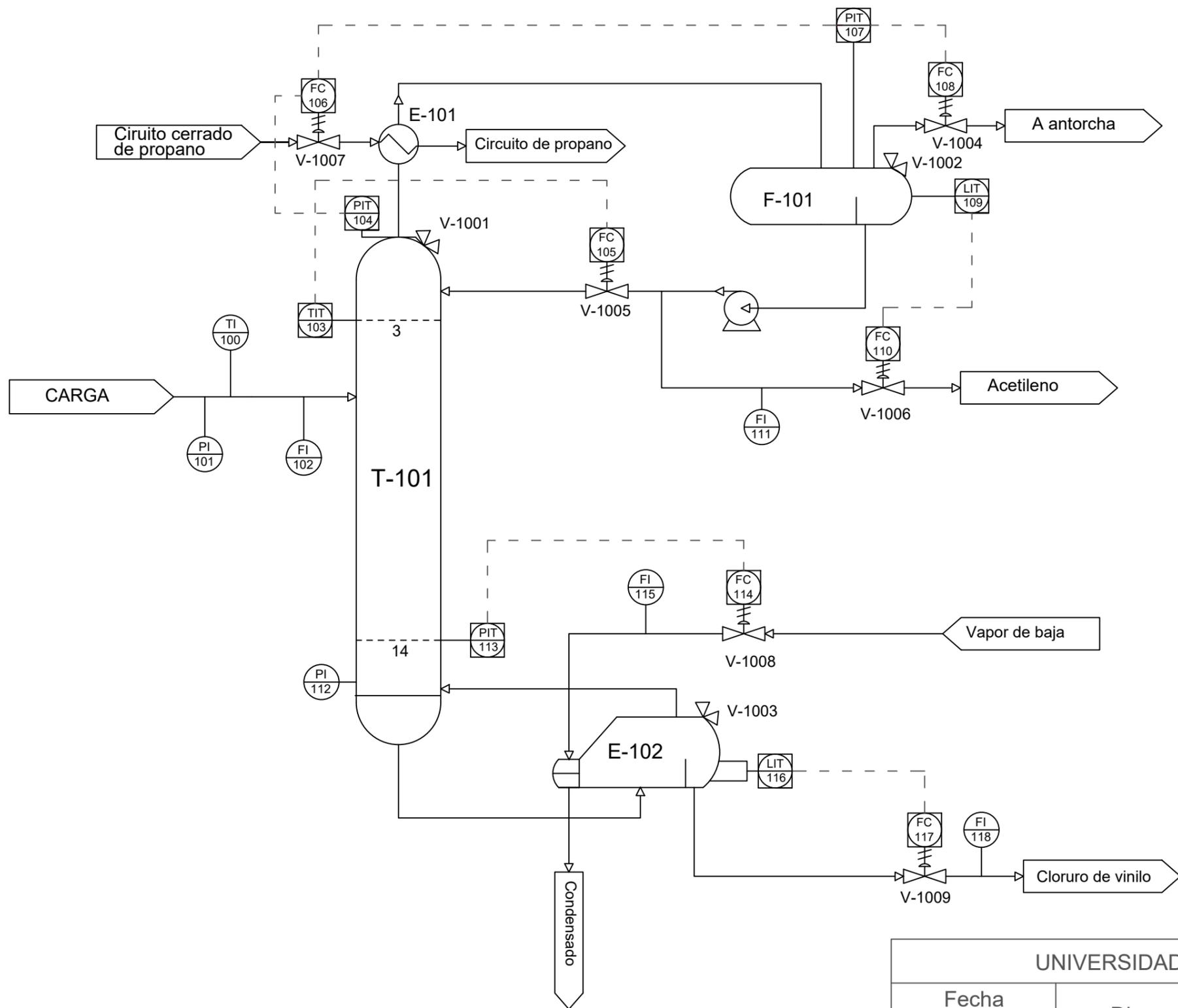


- ◇ Número de corriente
- Temperatura [°C]
- Presión [kg/cm²]
- ▭ Caudal másico [kg/h]

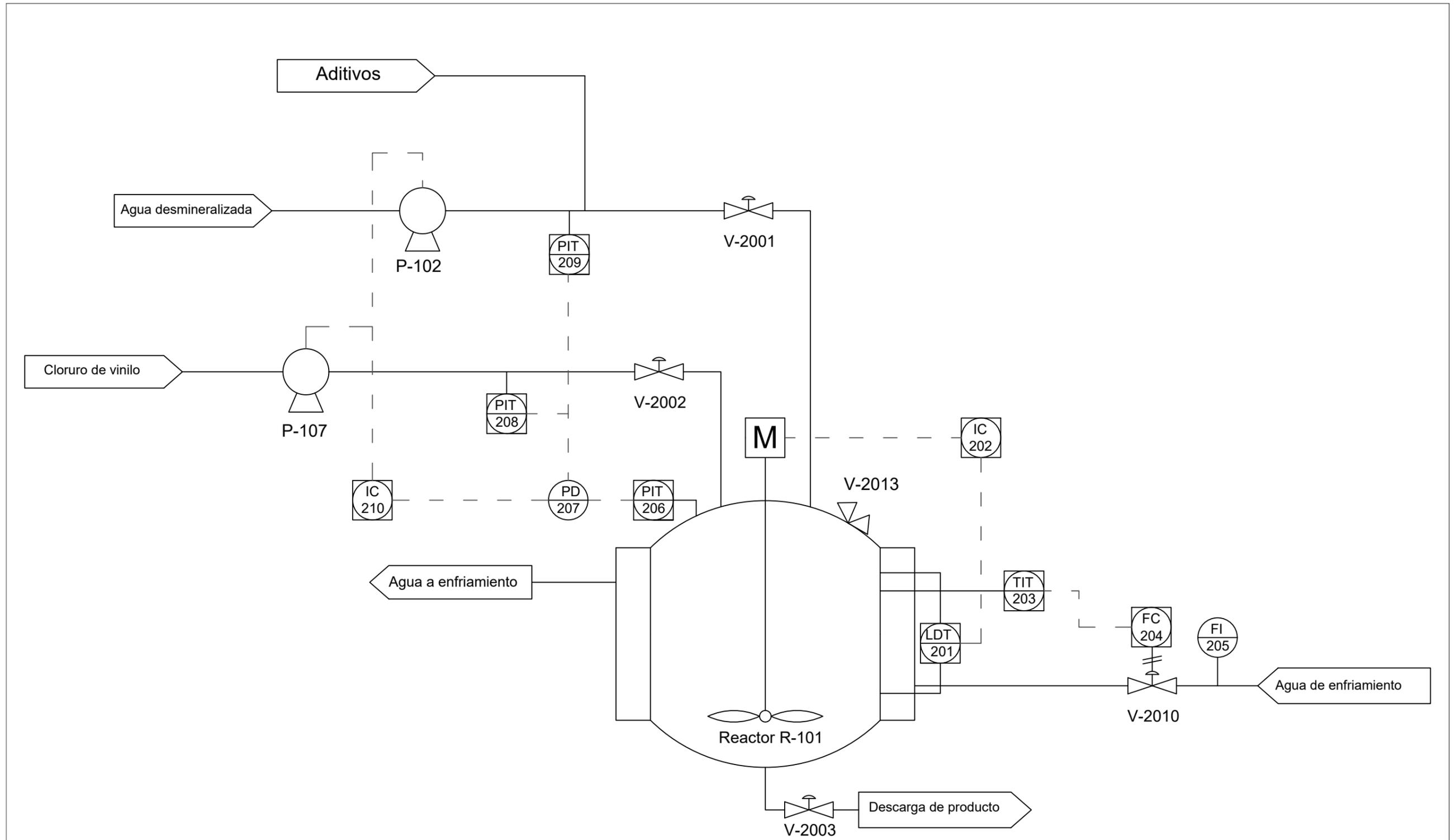
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
FECHA: 15/08/23	PRODUCCIÓN PVC DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO		DIBUJO 2
PROYECTO FINAL (INTEGRACION V)	DIBUJADO: CARDOZO, CRISTINI, MENDOZA, NAVARRO ESPINOZA	DOCENTES: ING. VRCIC, JUAN D. ING. RUEDA, HERNÁN	S-200



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
	PRODUCCIÓN PVC ISOMETRICO		DIBUJO 3
	DIBUJADO: CARDOZO, CRISTINI, MENDOZA, NAVARRO ESPINOZA	DOCENTES: ING. VRCIC, JUAN D. ING. RUEDA, HERNÁN	FECHA: 15/08/23
PROYECTO FINAL (INTEGRACION V)			

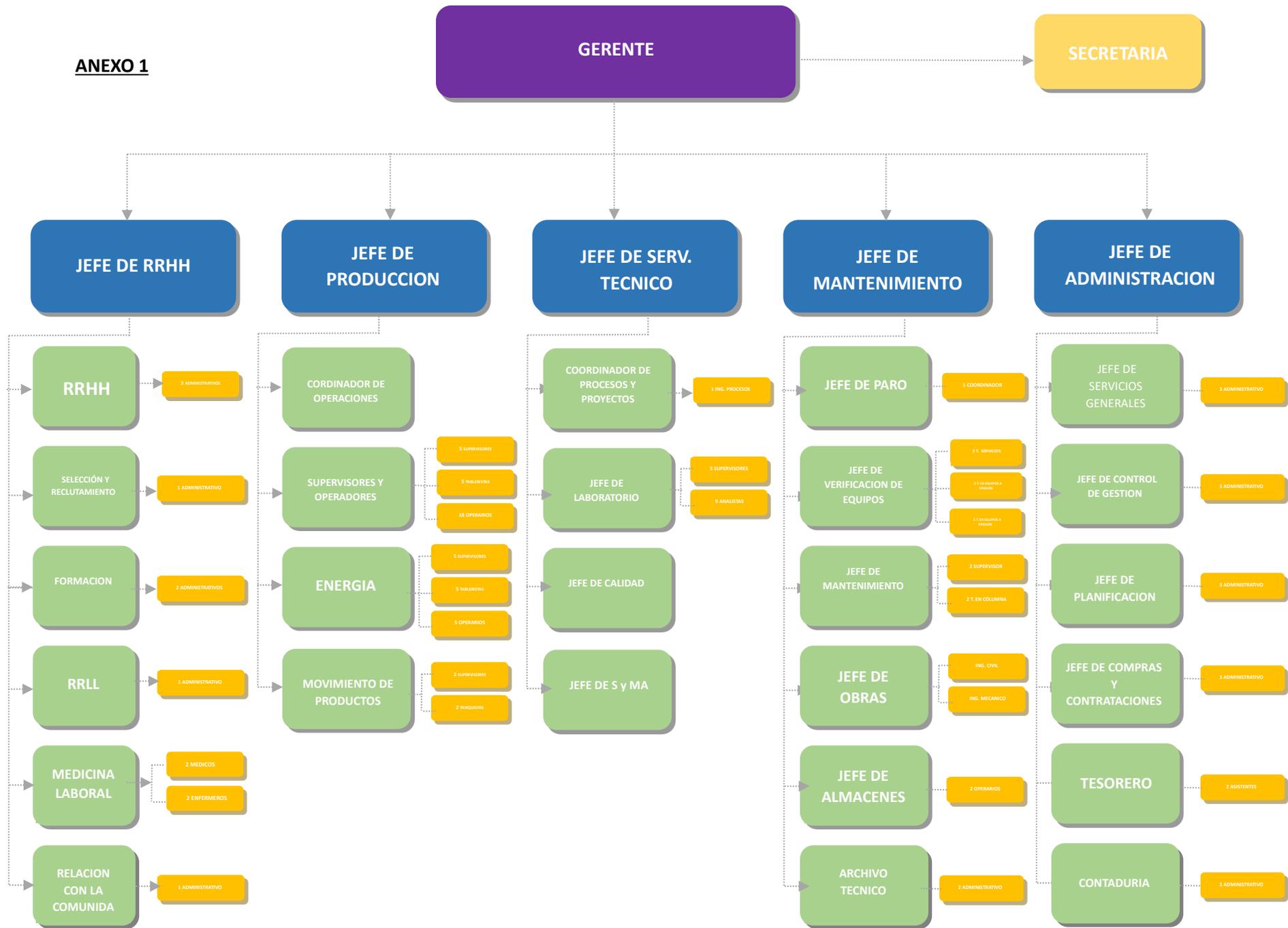


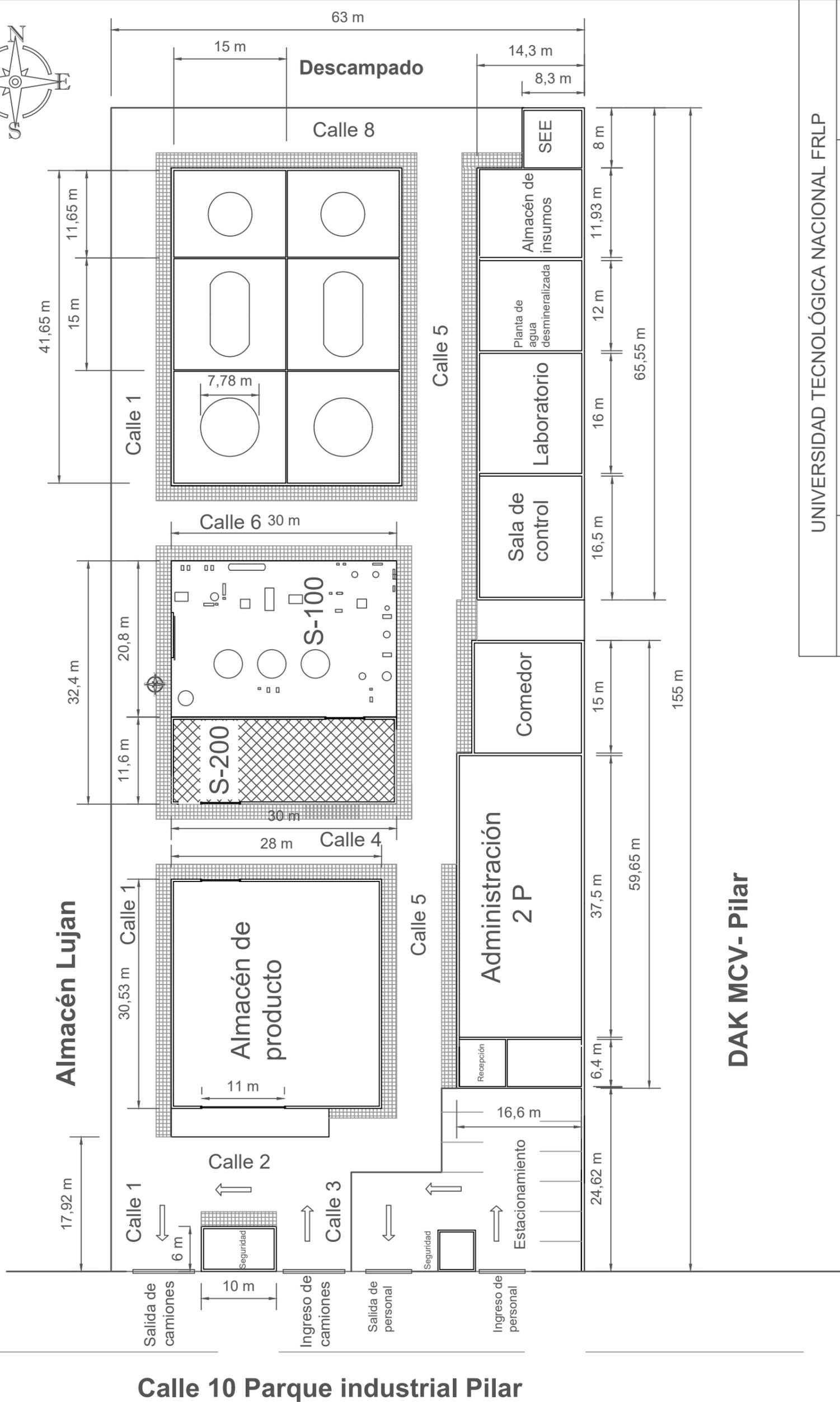
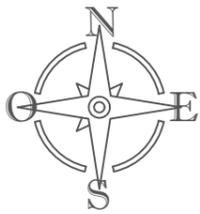
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
Fecha 11/11/2023	Diagrama de control T-101		Dibujo 6
Proyecto final (Integración V)	Dibujado:	Docente:	P&ID
	Cardozo, Cristini, Mendoza, Navarro Espinoza	Ing. Vrcic, Juan D. Ing. Rueda, Hernan	



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
Fecha 11/11/2023	Diagrama de control R-101		Dibujo 7
Proyecto final (Integración V)	Dibujado:	Docente:	P&ID
	Cardozo, Cristini, Mendoza, Navarro Espinoza	Ing. Vrcic, Juan D. Ing. Rueda, Hernan	

ANEXO 1



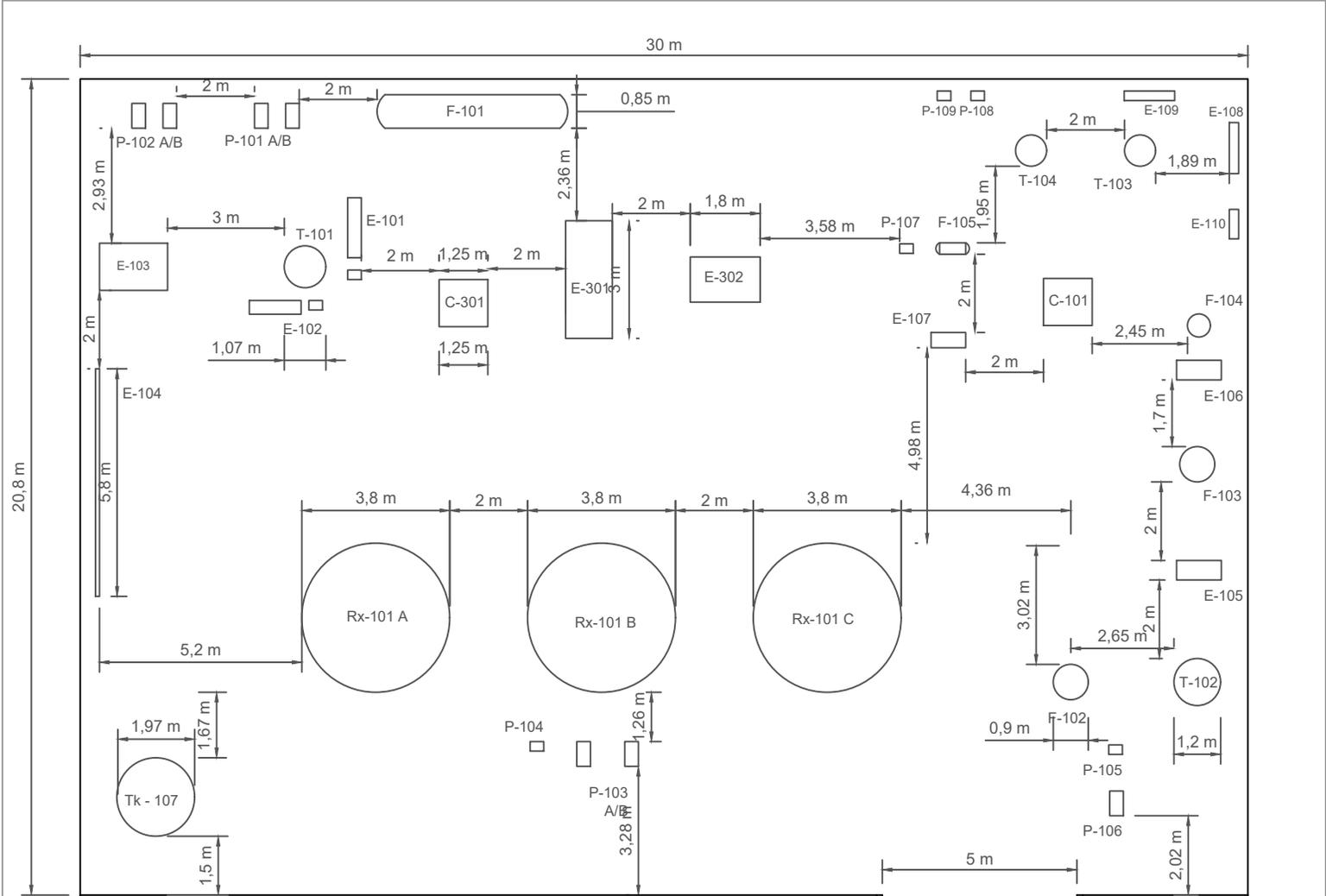


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP		
Fecha 10/10/2023	Producción PVC - Plot plan general	Dibujo 3
Proyecto final (Integración V)	Dibujado: Cardozo, Cristini, Mendoza, Navarro Espinoza	Docente: Ing. Vrcic, Juan D. Ing. Rueda, Hernan
		Plot Plan

Calle 6



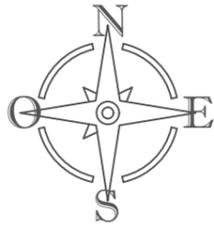
Calle 1



Calle 5

S-200

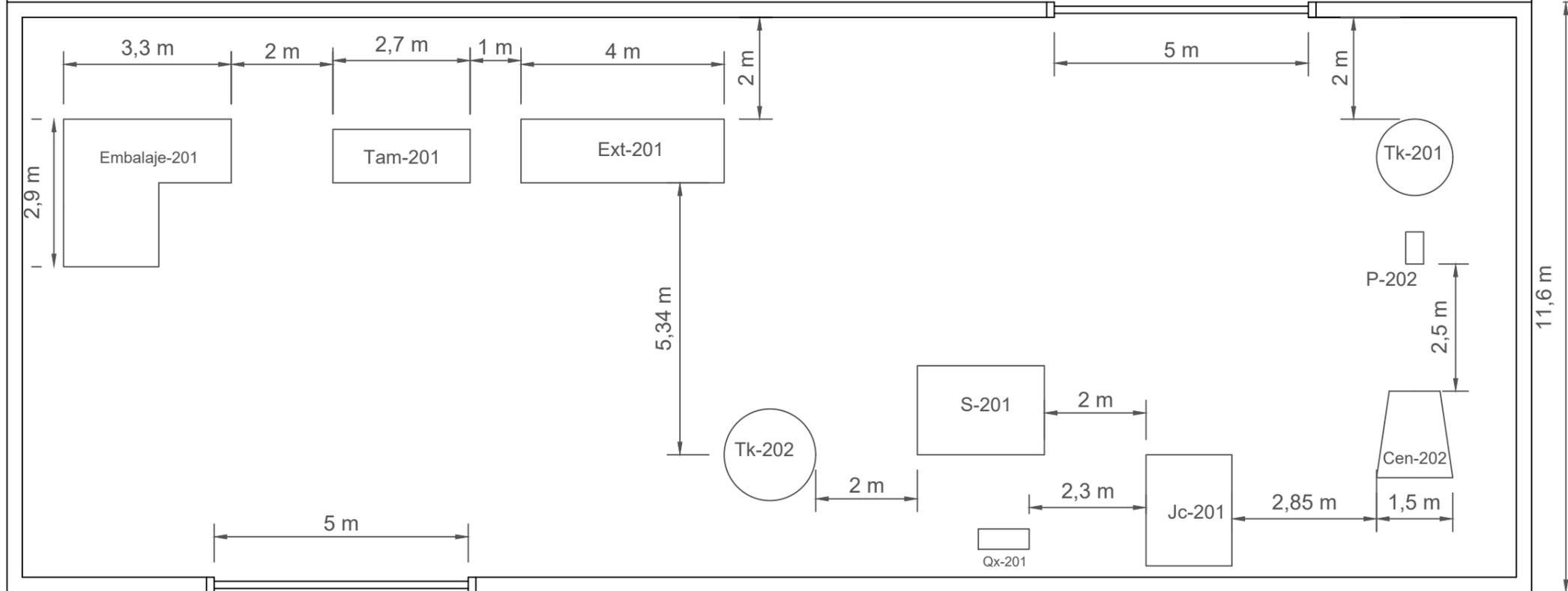
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
Fecha 19/10/2023	Producción PVC - Plot plan S - 100		Dibujo 4
Proyecto final (Integración V)	Dibujado:	Docente:	S - 100
	Cardozo, Cristini, Mendoza, Navarro Espinoza	Ing. Vrcic, Juan D. Ing. Rueda, Hernan	



S - 100

30 m

Calle 1



11,6 m

Calle 3

Calle 4

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRLP			
Fecha 19/10/2023	Producción PVC - Plot plan S - 200		Dibujo 5
Proyecto final (Integración V)	Dibujado: Cardozo, Cristini, Mendoza, Navarro Espinoza	Docente: Ing. Vrcic, Juan D. Ing. Rueda, Hernan	S - 200

Flujo de caja

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ventas	\$ -	\$ -	\$ 55	\$ 64	\$ 64	\$ 65	\$ 66	\$ 66	\$ 67	\$ 68	\$ 68	\$ 69	\$ 69
PVC			\$ 54,4	\$ 63	\$ 64	\$ 64	\$ 65	\$ 66	\$ 66	\$ 67	\$ 68	\$ 68	\$ 68
Acetileno			\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 1
Compras	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ -32	\$ -26	\$ -26	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -28	\$ -28	\$ -28
MCV			\$ -22	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -28	\$ -28	\$ -28
Agua desmineralizada			\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0
Cuota de Bancos	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Margen Bruto	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ 23	\$ 38	\$ 38	\$ 38	\$ 39	\$ 39	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 41
OPEX			\$ -13	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14	\$ -14
Fijos			\$ -7,80	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8
Personal			\$ -2,6	\$ -2,6	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,8	\$ -2,8	\$ -2,9	\$ -2,9	\$ -3,0	\$ -3,0	\$ -3,0
Mtto			\$ -2,69	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7	\$ -2,7
Contratos			\$ -1,60	\$ -1,3	\$ -1,3	\$ -1,3	\$ -1,3	\$ -1,4	\$ -1,4	\$ -1,4	\$ -1,4	\$ -1,4	\$ -1,4
Seguros			\$ -0,96	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0	\$ -1,0
Variables			\$ -5,51	\$ -6,0	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6
Aditivos (AgSusp.+Estabilizantes)			\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2	\$ -0,2
Iniciador			\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1	\$ -0,1
Vapor			\$ -1,9	\$ -1,9	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2
Agua			\$ -1,5	\$ -1,5	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49	\$ -1,49
Gas natural industrial			\$ -0,0	\$ -0,0	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00	\$ -0,00
Electricidad			\$ -1,2	\$ -1,2	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15	\$ -1,15
Comerciales			\$ -0,5	\$ -0,8	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1
Impuestos			\$ -0,2	\$ -0,4	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0
EBITDA	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ 10	\$ 24	\$ 25	\$ 25	\$ 25	\$ 25	\$ 25	\$ 26	\$ 26	\$ 26	\$ 27
Amortizaciones			\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10	\$ -10
EBIT	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ -0,0	\$ 15	\$ 15	\$ 15	\$ 16	\$ 16	\$ 16	\$ 16	\$ 16	\$ 17	\$ 17
IG			\$ 0	\$ -4	\$ -4	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5
EBT	\$ -9,6	\$ -9,6	\$ 9,6	\$ 20	\$ 20	\$ 20	\$ 20	\$ 20	\$ 21	\$ 21	\$ 21	\$ 21	\$ 22
Pago Accionistas		\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7	\$ -7
Intereses Bancarios	\$ -0,48	\$ -0,48	\$ -0,48										
NI	\$ -10	\$ -17	\$ 1,9	\$ 13	\$ 13	\$ 13	\$ 13	\$ 13	\$ 13	\$ 14	\$ 14	\$ 14	\$ 22
CAPEX	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ -5,1	\$ -5,1	\$ -5,1	\$ -5,1	\$ -5,1	\$ -11	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5
Erogaciones	\$ -8	\$ -67	\$ -21										
Prestamos Bancarios	\$ 8	\$ 21	\$ -										
Accionistas	\$ -	\$ 46	\$ 21										
Paro			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Catalizador			\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0	\$ -0
Continuidad			\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3
SMASS			\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1
Integridad			\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1	\$ -1
Flujo de Fondo	\$ 0	\$ -10	\$ -17	\$ -3,2	\$ 7,5	\$ 7,7	\$ 8,0	\$ 8,2	\$ 2,5	\$ 9	\$ 9	\$ 9	\$ 16
Flujo Acumulado	\$ -10	\$ -27	\$ -30	\$ -22,3	\$ -14,6	\$ -6,6	\$ 1,6	\$ 4,1	\$ 13	\$ 21	\$ 31	\$ 47	\$ 47

Tabla 113. Elaboración propia. Fuente: Timmerhaus, K., Peters, M. S., & Stone, M. (1980). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Companies.