

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA**

CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO

**DETERMINACIÓN DE LAS INSTALACIONES PARA EL DISEÑO DE
LA INGENIERÍA BÁSICA (FEED) PARA LAS PLANTAS DE
PROPILENO Y POLIPROPILENO**

POSTULANTE: Univ. Jhonny Cruz Muñoz

TUTOR: Ing. Marco Antonio Montesinos Montesinos

LA PAZ – BOLIVIA

2020



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente proyecto a mi familia, quien estuvo presente cada instante de mi vida universitaria guiándome y apoyándome, en especial a mi mama Aida Muñoz de cruz quien siempre me impulso diariamente, a mi papa Elías Cruz que en paz descanse, también dedicarles a mis hermanos Jorge, Gonzalo, Mateo que se desde el cielo siempre me cuida, me acompaña y Vidal, así también hacer la dedicación a mis hermanas Marina, Claudia y Jimena y como no agradecer a mi hijo Adriel Jhohan por la inspiración y un motivo más para luchar en esta vida quedo muy agradecido ante Dios por esta gran bendición; a todos ellos mencionados les dedico este proyecto de grado, no quedando atrás también quiero agradecer a todos mis amigos que en las buenas y malas siempre estuvieron para apoyarme que siempre me impulsaron a culminar los estudios universitarios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo una bendición.

Quiero agradecer a la gran casa de estudios Universidad Mayor De San Andrés que en este tiempo y arduo estudio nos cobijó en sus aulas dándonos una formación académica.

Muy agradecido también con mis queridos docentes de la carrera de Ingeniería Petrolera de la Universidad Mayor de San Andrés, por su dedicación en sus clases magistrales, la orientación, soporte y debates crítica que me permitió un buen aprovechamiento en el mencionado proyecto realizado para que llegara a un buen término, gracias a sus conocimientos que compartieron conmigo.

Así también aprovecho la oportunidad de agradecer a mi tutor Ing. Marco Antonio Montesinos Montesinos por su guía, consejos y sobre todo su apoyo incondicional, que pese a su cargo y las obligaciones siempre dispuso de su tiempo para la orientación de este proyecto de grado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-------------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| RESUMEN EJECUTIVO | xii |
| GLOSARIO TÉCNICO | xiii |
| CAPITULO I | 1 |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.3.1. Identificación del Problema..... | 3 |
| 1.3.2. Identificación del Problema..... | 4 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.4.1. Objetivo General | 5 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 5 |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO | 6 |
| 1.5.1. Justificación Técnica | 6 |
| 1.5.2. Justificación Económica | 6 |
| 1.5.3. Justificación social..... | 7 |
| 1.5.4. Justificación Ambiental | 7 |
| 1.6. ALCANCE..... | 8 |
| 1.6.1. Alcance Temático | 9 |
| 1.6.2. Alcance geográfico | 9 |

| | |
|--|-----------|
| 1.6.3. Alcance temporal..... | 9 |
| 1.6.4. Alcance legal | 10 |
| CAPITULO II | 12 |
| MARCO TEÓRICO..... | 12 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2.2. LA PETROQUÍMICA..... | 12 |
| 2.3. EL PROPILENO..... | 14 |
| 2.4. EL POLIPROPILENO | 14 |
| 2.5. EL GLP | 15 |
| 2.6. MATERIA PRIMA..... | 16 |
| 2.7. PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL POLIPROPILENO | 16 |
| 2.7.1. Destilación del propileno | 17 |
| 2.7.2. Proceso | 18 |
| 2.7.2.1. Proceso Novolen..... | 18 |
| 2.7.2.2. Proceso LIPP | 19 |
| 2.7.2.3. Proceso SPHERIPOL | 20 |
| 2.8. DESHIDROGENACIÓN CATALÍTICA..... | 21 |
| 2.8.1. Reacciones de la deshidrogenación | 22 |
| CAPITULO III | 24 |
| ESTUDIO DE MERCADO..... | 24 |
| 3.1. INTRODUCCIÓN | 24 |
| 3.1.1. Capacidad mundial para la producción de Propileno | 25 |
| 3.1.2. Demanda de Propileno..... | 26 |
| 3.1.3. Producción de Propileno | 28 |

| | | |
|------------------------------------|--|-----------|
| 3.1.4. | Situación actual para el polipropileno | 31 |
| 3.1.5. | Demanda del polipropileno | 33 |
| 3.1.6. | Producción de polipropileno | 36 |
| 3.2. | MERCADO SUDAMERICANO..... | 36 |
| 3.3. | MERCADO NACIONAL | 41 |
| 3.3.1. | Importación de polipropileno..... | 41 |
| 3.4. | CAPACIDAD DE LA PLANTA..... | 43 |
| 3.4.1. | Cálculo de volúmenes de proceso..... | 46 |
| 3.4.2. | Precios del propileno y polipropileno | 47 |
| CAPITULO IV | | 50 |
| TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN | | 50 |
| 4.1. | JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO | 50 |
| 4.2. | Justificación de la localización de la planta | 50 |
| 4.3. | Macro localización | 51 |
| 4.4. | Micro localización..... | 51 |
| 4.5. | Factores que determinan la ubicación de la planta en Yacuiba | 53 |
| 4.5.1. | Materia prima | 53 |
| 4.5.2. | Cercanía a los mercados..... | 53 |
| 4.5.3. | Disponibilidad de mano de obra | 54 |
| 4.5.4. | Transporte..... | 54 |
| 4.5.5. | Disponibilidad de terreno..... | 54 |
| 4.5.6. | Suministro de energía y agua..... | 55 |

| | |
|---|-----------|
| CAPITULO V | 56 |
| DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA | 56 |
| 5.1. BASES DE DISEÑO | 56 |
| 5.1.1. ISBL (En los límites de la batería) | 57 |
| 5.2. PLANTA DE PROPILENO | 57 |
| 5.3. PLANTA DE POLIPROPILENO | 65 |
| 5.3.1. OSBL (Fuera de los límites de la batería)..... | 69 |
| 5.3.1.1. Tanques de almacenamiento | 69 |
| 5.3.1.2. Sistema de generación y distribución eléctrica..... | 70 |
| 5.3.1.3. Sistema de distribución y acondicionamiento de gas combustible | 71 |
| 5.3.1.4. Sistema de abastecimiento de agua | 73 |
| 5.3.1.5. Sistema de agua de enfriamiento..... | 76 |
| 5.3.1.6. Residuos industriales | 76 |
| 5.4. DISEÑO DE EQUIPOS PRINCIPALES PARA LA PLANTA..... | 79 |
| 5.4.1. Balance de materia y energía en los equipos | 79 |
| 5.4.1.1. Balance del mixer | 79 |
| 5.4.1.2. Balance en el calentador (e-100) | 81 |
| 5.4.1.3. Balance en el reactor de conversión (crv-100)..... | 82 |
| 5.4.1.4. DISEÑO DEL REACTOR (CRV-100)..... | 86 |
| 5.4.1.5. Balance en el separador (v-100)..... | 90 |
| 5.4.1.6. Balance en la columna 1, corto y riguroso (T-100, T-103)..... | 92 |
| 5.4.1.7. Balance en la columna 2, corto y riguroso (T-101, T-104)..... | 95 |
| 5.4.1.8. Balance en la columna 3, corto y riguroso (T-102, T-105)..... | 99 |
| 5.4.2. Diagrama de flujo del proceso | 102 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.5. | ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL..... | 104 |
| 5.5.1. | Evaluación de riesgos | 104 |
| 5.5.2. | Estudio de impacto ambiental..... | 105 |
| 5.5.2.1. | Impacto ambiental en la etapa de construcción | 105 |
| 5.5.2.2. | Impacto ambiental en la etapa de operación..... | 107 |
| 5.5.3. | Seguridad industrial..... | 108 |
| 5.5.3.1. | Impacto ambiental en la construcción y operación de la planta. | 109 |
| 5.5.3.2. | Funciones de seguridad e higiene | 110 |
| 5.5.3.2.1. | Departamento de seguridad laboral | 111 |
| 5.5.3.2.2. | Departamento de protección industrial | 111 |
| 5.5.3.2.3. | Departamento de control de servicios | 111 |
| 5.5.3.2.4. | Departamento de primeros auxilios | 112 |
| 5.5.3.2.5. | Departamento de capacitación adiestramiento y control | 112 |
| 5.5.4. | Plan de contingencias | 112 |
| 5.5.4.1. | En caso de accidentes de los operadores..... | 113 |
| 5.5.4.2. | Procedimiento en caso de incendio y explosión de la planta..... | 115 |
| 5.5.5. | Ficha ambiental | 115 |
| | CAPITULO VI..... | 116 |
| | ANÁLISIS ECONÓMICO..... | 116 |
| 6.1. | EVALUACIÓN TÉCNICA | 116 |
| 6.2. | Evaluación económica | 117 |
| 6.2.1. | Análisis de inversiones | 117 |
| 6.2.2. | Flujo de caja..... | 119 |
| 6.3. | CÁLCULO DE RATIOS FINANCIEROS..... | 124 |
| 6.3.1. | Valor actual neto (VAN)..... | 124 |

| | |
|--|------------|
| 6.3.2. Tasa interno de retorno (TIR) | 125 |
| CAPITULO VII..... | 126 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 126 |
| 7.1. CONCLUSIONES | 126 |
| 7.2. RECOMENDACIONES | 127 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 129 |
| ANEXOS | 132 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Proceso de destilación | 17 |
| Figura 2. Proceso Novolen..... | 18 |
| Figura 3. Proceso LIPP | 19 |
| Figura 4. Proceso Spheripol..... | 20 |
| Figura 5. Diagrama de bloques para la construcción de las plantas de propileno y polipropileno | 23 |
| Figura 6. Esquema de ductos de gas combustible para el PCPPP | 64 |
| Figura 6. Diagrama de flujo, simulación de (Modelo riguroso)..... | 103 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Demanda mundial de polímeros | 24 |
| Gráfico 2. Proyección de la demanda de Propileno | 27 |
| Gráfico 3. Proyección de la producción de Propileno | 30 |
| Gráfico 4. Consumo mundial de polipropileno..... | 32 |
| Gráfico 5. Productos del consumo final del polipropileno | 32 |
| Gráfico 6. Consumo mundial del polipropileno | 35 |
| Gráfico 7. Proyección del mercado de Polipropileno | 40 |
| Gráfico 8. Precios e Importaciones de Polipropileno en Bolivia..... | 42 |
| Gráfico 9. Proyección de precios | 49 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Capacidad instalada en el mundo (MMTon/año) | 25 |
| Tabla 2. Capacidad instalada de Polipropileno en Latinoamérica | 37 |
| Tabla 3. Déficit /Superávit (MTMA) de Polipropileno | 39 |
| Tabla 4. Capacidades Instaladas de PP en Sudamérica..... | 43 |
| Tabla 5. Composición de GLP promedio..... | 44 |
| Tabla 6. Producción estimada de la planta Gran Chaco | 45 |
| Tabla 7. Proyección de Oferta y Demanda de GLP | 46 |
| Tabla 8. Localización de la planta | 52 |
| Tabla 9. Información Preliminar del PCPPP..... | 56 |
| Tabla 10. Especificación del Propileno (Composición típica Grado Polímero) | 58 |
| Tabla 11. Condiciones de presión y temperatura | 59 |
| Tabla 12. Especificaciones de hidrogeno..... | 60 |
| Tabla 13. Especificaciones de Butano comercial | 61 |
| Tabla 14. Especificación de la Gasolina (Fondo de la debutanizadora)..... | 62 |
| Tabla 15. Condiciones operativas de los Gasoductos GASYRG y GSCY | 71 |
| Tabla 16. Composición, propiedades y contaminantes del Gas combustible | 72 |
| Tabla 17. Propiedades y valor del gas combustible | 72 |
| Tabla 18. Contaminantes presentes en el gas | 73 |
| Tabla 19. Propiedades calculadas de las corrientes de entrada y salida..... | 80 |
| Tabla 20. Composición molar de los componentes..... | 81 |
| Tabla 21. Propiedades de corriente de entrada y salida del enfriador..... | 81 |
| Tabla 22. Propiedades de las corrientes de entrada y salida en el Reactor | 83 |
| Tabla 23. Parámetros de diseño | 89 |
| Tabla 24. Propiedades de la corriente de entrada y salida..... | 90 |
| Tabla 25. Propiedad de la corriente de entrada y salida en la columna 1 | 94 |
| Tabla 26. Dimensionamiento columna de destilación..... | 95 |
| Tabla 27. Propiedades de la corriente de entra y salida..... | 98 |
| Tabla 28. Dimensionamiento columna de destilación 2..... | 98 |
| Tabla 29. Propiedades de las corrientes de entrada y salida | 100 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 30. Dimensionamiento columna de destilación 3..... | 101 |
| Tabla 31. Evaluación de impacto ambiental en la etapa de construcción..... | 106 |
| Tabla 32. Evaluación de impacto ambiental en etapa de operación..... | 108 |
| Tabla 33. Costos de equipos (expresados en USD)..... | 117 |
| Tabla 34. Costos de implementación de equipo (expresados en USD)..... | 118 |
| Tabla 35. Depreciación de equipos (expresados en USD)..... | 118 |
| Tabla 36. Costo total (expresado en USD)..... | 119 |
| Tabla 37. Demanda interna..... | 119 |
| Tabla 38. Demanda externa..... | 120 |
| Tabla 39. Ingresos por ventas..... | 122 |
| Tabla 40. Flujo de caja..... | 123 |

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto va dirigido a la industrialización del propileno y polipropileno resultante de los procesos con el gas en la planta Gran Chaco. La polimerización que es la reacción principal de este proceso consiste en una restructuración de moléculas de monómero (compuestos de bajo peso molecular) que se agrupan químicamente entre sí para formar una molécula de gran peso denominada polímero o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

En el presente estudio se enfoca en la obtención del propileno y el polipropileno, el cual tiene características y aplicaciones muy importantes y de considerable rentabilidad en el mercado actual y de este modo dar valor agregado a los procesos de industrialización.

Actualmente el propileno resultante de los proceso con gas, es vendido como materia prima a mercados extranjeros a precios relativamente bajos (750 sus/Ton Métrica) por su baja pureza, debido a que este es mezclado con el propano resultante también de procesos con el gas, pudiendo ser aprovechado por sus propiedades.

La estructura del proyecto consiste en la recopilación de datos estadísticos de producción de propileno y polipropileno en Bolivia; a continuación se establecen las bases fundamentales para la instalación de un reactor de polimerización, es un trabajo experimental en el que en una primera etapa se analizará la composición de la materia prima y equipos para después en una segunda etapa implementar un reactor de procesos de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis previos efectuados.

GLOSARIO TÉCNICO

| | |
|----------------|--|
| Å | Armstrong (unidad de medida de longitud) |
| A.C. | Antes de Cristo |
| APIC | The Asia Petrochemical Industry Conference |
| AR | Auto regresivo |
| APPE | Association of Petrochemicals Producers in Europe |
| ATT | Autoridad de Regulación y fiscalización de telecomunicaciones y transporte |
| BP | British Petroleum |
| BPD | Barriles por día |
| cp | Centipoises (unidad de medida de viscosidad) |
| CARGILL | Es una <u>corporación multinacional</u> privada, con base en <u>Minnesota</u> , en los <u>Estados Unidos</u> |
| CGA | Compressed Gas cylinder |
| CPMA | Chemicals and Petrochemicals Manufacturer`s Association of India |
| DME | Dimetil-eter |
| DTP | Dominant Technology for the Propylene Production |
| EIA | Estudio de Impacto Ambiental |
| EEIA | Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental |
| FCC | Cracking Catalítico Fluidizado |
| GNV | Gas Natural Vehicular |
| GLP | Gas Licuado de Petróleo |
| GLJ | Petroleum Consultants de Canadá (Empresa que certifica reservas de gas y petróleo en el mundo) |
| gr. | Gramos (unidad de medida de peso) |
| KBR | Kellogg, Brown and Root, (empresa que desarrolla tecnología para procesos químicos) |
| KPa | Kilo pascales (unidad para medir presión) |
| MA | Promedio Movil |

| | |
|-----------------|---|
| MHE | Ministerio de Hidrocarburos y Energía |
| MMBTU | Millones de BTU(unidad de energía) |
| MMmcd | Millones de metros cúbicos por día |
| MMTon | Millones de toneladas |
| MTO | Methanol to Olefins |
| MTP | Methanol to Propylene |
| mm | Milímetros (unidad de medida de longitud) |
| MW | Mega Watts (unidad de medida de energía) |
| NBP | Nacional Balancing Point |
| NFPA | National Fire Protection Association |
| NB 512 | Norma Boliviana agua para consumo humano |
| OMICS | World Congress on Petrochemistry and Chemical Engineering |
| pH | Medida de acidez o alcalinidad de una disolución |
| Psia | Libra por pulgada cuadrada (unidad de medida de presión) |
| RASH | Reglamento Ambiental al sector hidrocarburifera |
| SC | Steam Cracking |
| TCF | Trillón de pies cúbicos |
| \$us/ton | Dólares por cada Tonelada |
| TMD | Toneladas Métricas Diarias |
| Ton | Toneladas |
| YPFB | Yacimientos Petrolíferos Bolivianos |

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética a nivel mundial, ha incrementado los precios de los productos refinados y petroquímicos. Esto ha impulsado el desarrollo de un ciclo favorable para el sector petroquímico mundial, donde se observa las iniciativas para ampliar las capacidades industriales.

En Bolivia existe un decidido impulso para iniciar la actividad de industrialización del gas a través de la industria petroquímica.

La industrialización del gas natural significa la implementación sostenible de la industria petroquímica en Bolivia que pueda abastecer el mercado interno y sea competitiva en mercados internacionales.

La manufactura de productos en base al Polipropileno, podrá generar fábricas de producción de envases plásticos, tuberías, nilón, sacos de tejidos (saquillos) y bolsas para productos industriales.

La disponibilidad de polipropileno de industria nacional como materia prima, le dará un impacto de nuevas posibilidades de inversión tanto al sector público como al privado, generará muchas nuevas inversiones en el sector industrial, multiplicará las fuentes de trabajo, generará nuevos ingresos, estimulará las exportaciones e integrará los diversos sectores económicos estimulando su interacción.

1.2. ANTECEDENTES

El proceso de Nacionalización de los hidrocarburos en Bolivia, aprobado en 1º de mayo de 2006 mediante DECRETO SUPREMO N° 28701, en su párrafo II Artículo 2, consolidó que “YPFB, a nombre y en representación

del Estado, en ejercicio pleno de la propiedad de todos los hidrocarburos producidos en el país, asume su comercialización, definiendo las condiciones, volúmenes y precios tanto para el mercado interno, como para la exportación y la industrialización”.

Actualmente, la creciente demanda energética a nivel mundial, ha resultado en un incremento en los precios de los productos refinados y petroquímicos. Esto ha impulsado el desarrollo de un ciclo favorable para el sector petroquímico mundial, donde se observa la presencia de iniciativas para ampliar las capacidades industriales.

En este marco, la Unidad de negocio de proyectos, plantas y petroquímica de YPFB aprobó el Cronograma de Ejecución de Actividades Estratégicas para la construcción de las siguientes plantas petroquímicas:

- 2016 Planta Amoniaco – Urea
- 2021 Planta Propileno y Polipropileno
- 2024 Planta Etileno y Polietileno

La implementación de la planta de Amoniaco – Urea, permitirá producir 1.200 TMD¹ de Amoniaco y 2.100 TMD de Urea a partir de la industrialización del gas natural para cubrir el mercado interno y exportar los excedentes.

La Planta se encuentra en funcionamiento y se encuentra ubicada en la localidad de Bulo Bulo Provincia Carrasco del departamento de Cochabamba.

La implementación de la planta de Polietilenos, tiene como objetivo la producción de Etileno y Polímeros (Polietileno de alta densidad, Polietileno

¹ TMD: Toneladas métricas día

de baja densidad y Polietileno lineal de baja densidad), producirá 750 TMA² de Polietileno, a partir de 2,24 MMmcd de Etano.

Las etapas del proyecto Polipropileno son: Ingeniería Conceptual; Ingeniería Básica; Ingeniería, Adquisiciones y Construcción (FEED – EPC).

Actualmente, el proyecto se encuentra en la Etapa de la Ingeniería Básica, que tiene como propósito definir las Bases de Diseño a ser utilizadas durante la etapa FEED del Proyecto de Construcción de las Plantas de Propileno y Polipropileno.

En ésta etapa se desarrollará la Ingeniería Básica, definiendo el alcance más detallado del proyecto, la estimación de costo Clase II, desarrollo del plan preliminar del proyecto, definición de equipos mayores, proveedores críticos, rutas, logística de transporte de constructibilidad.

Para el diseño de la Ingeniería Básica del proyecto, YPFB ha publicado el pliego denominado “Documento Base de Contratación por producto” en el marco del Reglamento de Contratación de Bienes y Servicios D.S. N° 29506 modalidad: Contratación Directa por Licitación, con el objeto: Diseño de Ingeniería Básica (FEED) para las Plantas de Propileno y Polipropileno, que se encuentra en proceso.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Identificación del Problema

En Bolivia antes del Decreto de Nacionalización se tenía propuestas de proyectos petroquímicos para su implementación. Con el Decreto Supremo N° 28701 de Nacionalización de los Hidrocarburos, se dio inicio a la construcción de proyectos petroquímicos como es el caso de la Planta de Amoníaco y Urea que se encuentra en pleno funcionamiento.

² TMA: Tonelada Métricas Año

En este marco, la Unidad de negocio de proyectos, plantas y petroquímica de YPFB aprobó el Cronograma de Ejecución de Actividades Estratégicas para la construcción de las siguientes plantas petroquímicas:

- Planta Propileno y Polipropileno
- Planta Etileno y Polietileno

En Bolivia no se producen polímeros para la obtención de plásticos blandos y duros que pueden añadir valor agregado al gas natural y fomentar la industria de transformación de plásticos para consolidar la industria petroquímica en Bolivia.

La industria nacional podrá utilizar el polipropileno como materia prima para la fabricación de productos terminados, como ser carcazas de electrodomésticos, auto partes y otros productos de usos diario, que tienen un mayor valor agregado.

Además, la industria permitirá generar polos de desarrollo que dinamizarán la economía no solo por las industrias sino también por los servicios que estas requieren para su funcionamiento.

Las causas que se pretenden solucionar en la investigación consisten en determinar las instalaciones necesarias a ser construidas en estas plantas, así como de sus sistemas auxiliares, para que este complejo petroquímico tenga una producción de 250.000 toneladas métricas anuales de polipropileno.

1.3.2. Planteamiento del Problema

En la fase de Ingeniería Conceptual se incluye la descripción de las instalaciones y operaciones, filosofía de diseño, especificaciones y capacidades requeridas por producto, tecnologías evaluadas y

seleccionadas, condiciones locales, servicios auxiliares y estándares de diseño.

El propósito de esta sección consiste en definir las Bases de Diseño a ser utilizadas durante la fase FEED del Proyecto de Construcción de las Plantas de Propileno y Polipropileno con base en el resultado de los estudios realizados en la Ingeniería Conceptual y la información básica a ser suministrada por los Licenciados.

Durante la Investigación aplicada el problema se expresa como una causa que provoca el problema, por lo tanto, se presentará información a detalle para determinar el diseño de las instalaciones dentro y fuera de los límites de las baterías.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Determinar las instalaciones y requerimientos mínimos para el diseño de la Ingeniería Básica con todos los sistemas complementarios para el complejo industrial de propileno y polipropileno.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir las características de la materia prima y del producto.
- Realizar un análisis de mercado
- Describir el proceso de obtención del propileno y el polipropileno
- Realizar el diseño de ingeniería básica para la planta
- Realizar un estudio técnico económico

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.5.1. Justificación Técnica

Con la ingeniería básica se determinará las instalaciones necesarias a ser construidas en estas plantas, así como de sus sistemas auxiliares, para la industrialización del propano el cual demanda una eficiente tecnología, para así realizar el análisis de proyectar al mercado considerando la materia prima requerida según la capacidad teórica de la planta que se definirá en el proyecto.

Las tecnologías seleccionadas durante la Ingeniería Conceptual para las plantas propileno y polipropileno serán seleccionadas durante la investigación.

Las múltiples plantas industriales para la manufactura que confiere valor agregado al propano será bastante significativo en el país ya que se tuvo una primera experiencia con la primera planta petroquímica de urea y amónico para la obtención de fertilizantes y no obstante puede quedar por debajo a la industrialización en la obtención de plásticos en sus diferentes variedades y usos.

El aporte de la investigación a la especialidad de ingeniería será que, al concluir esta etapa de la ingeniería, se tendrán los diseños finales del complejo petroquímico que permitirá continuar con las etapas siguientes que son la Compra de Maquinaria y Equipos y Construcción y Montaje de las plantas.

1.5.2. Justificación Económica

En la etapa de la Ingeniería Conceptual, se ha definido los siguientes aspectos que han definido la factibilidad del proyecto: Mercados objetivo,

Localización, Selección de las tecnologías, Financiamiento y el Análisis de Pre factibilidad.

En proyecto se plantea la producción polímeros para la obtención de plásticos blandos y duros, que permitirá añadir valor agregado al gas natural y fomentar la industria de transformación de plásticos para consolidar la industria petroquímica en Bolivia.

1.5.3. Justificación social

Desde el punto de vista social el proyecto podrá generar empleos en la fase de construcción dará beneficio a empleos directos como indirectos.

Manufactura de productos en base de Polipropileno

Generación de fábricas de producción de envases plásticos, tuberías, nylon, sacos de tejidos (saquillos) y bolsas para productos industriales.

La disponibilidad de polipropileno de industria nacional como materia prima, le dará un abanico de nuevas posibilidades de inversión tanto al sector público como al privado, generará muchas nuevas inversiones en el sector industrial, multiplicará las fuentes de trabajo, generará nuevos ingresos, estimulará las exportaciones e integrará los diversos sectores económicos estimulando su interacción.

1.5.4. Justificación Ambiental

Las mejores prácticas para alcanzar los objetivos de Calidad, Precio, Plazo, Seguridad, Salud y Protección del Medio Ambiente, se dispone la aplicación de los siguientes sistemas de gestión:

Sistema de Gestión de Calidad según la Norma ISO 9001:2008.

Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional según la Norma ISO 45000:2018.

Sistema de Gestión Medioambiental según la Norma ISO 14001:2004.

Se definirá los criterios Ambientales de Diseño para el Proyecto Plantas de, Propileno y Polipropileno, específicamente para los siguientes aspectos:

- Cambios en Topografía y Movimiento de Tierra.
 - Suministro de Agua/Afectación de Recursos Hídricos.
 - Manejo de Efluentes Líquidos.
 - Manejo de Desechos Sólidos No Peligrosos.
 - Manejo de Desechos Peligrosos.
 - Control de Emisiones Atmosféricas.
 - Control de Ruido.
 - Amenazas Naturales (Inundaciones, Sismos, Tormentas, Derrumbes, Deslaves, otros).

1.6. ALCANCE

El alcance general del proyecto consiste en la elaboración de la fase de Ingeniería Básica del Proyecto que comprende la implementación de las siguientes instalaciones, las cuales deberán integrarse en un solo complejo industrial:

- Planta de Propileno (vía PDH).
- Planta de Polipropileno (PP) (Homopolímero, Copolímero al Azar y Copolímero de Impacto).
- Servicios Auxiliares, Infraestructura & Offsites (Incluyen todos los Sistemas Complementarios).

- Almacenamiento & Paletización de PP³.

La integración de las plantas antes mencionadas, se denomina indistintamente la Planta, o Proyecto de Construcción Planta de Propileno Polipropileno - PCPPP.

1.6.1. Alcance Temático

El alcance temático del proyecto consiste únicamente en la “Determinación de las instalaciones para el diseño de la ingeniería básica (FEED) para las plantas de propileno y polipropileno”.

1.6.2. Alcance geográfico

El complejo petroquímico será construido en el Departamento de Tarija, Bolivia, y tomará la materia prima Gas Licuado de Petróleo (GLP) de la planta de Separación de Líquidos Carlos Villegas ubicada en proximidades de la ciudad de Yacuiba.

Geográficamente la zona de la Planta se encuentra ubicada en el Municipio de Yacuiba, Provincia Gran Chaco, y el predio “Cabaña El Algarrobal” ubicado a un kilómetro al norte de la localidad de Palmar Chico, sitio donde posiblemente se emplazará las Plantas de Propileno y Polipropileno que del cual se verá con el análisis de transporte para la obtención de la materia prima.

1.6.3. Alcance temporal

De acuerdo a la línea de tiempo estimada se realizará el estudio en un tiempo donde implique el periodo de recuperación de toda la inversión como así también obtener las ganancias, lo cual se verificará con el desarrollo del flujo económico.

³ PP: Polipropileno

1.6.4. Alcance legal

La Constitución Política del Estado, promulgada el 7 de febrero de 2009, define el rol del Estado en el sector de hidrocarburos. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) enmarca sus acciones bajo dicho mandato constitucional, de acuerdo a los siguientes artículos:

Artículos 319 y 355 referidos a la industrialización y comercialización de los recursos naturales.

Artículo 351 referido al control y dirección del Estado sobre la exploración, explotación, industrialización, transporte y comercialización de los recursos naturales estratégicos.

Artículo 356 referido al carácter de necesidad estatal de las actividades de exploración, explotación, industrialización, transporte y comercialización de los recursos naturales no renovables.

El Decreto Supremo N° 28701 “Héroes del Chaco” del 1° de mayo de 2006, con fundamento en el referéndum del gas del 18 de julio de 2004, dispone la nacionalización y recuperación de la propiedad, posesión y el control total y absoluto de los recursos naturales hidrocarbúricos del país; asimismo, establece que el Estado tome el control y la dirección de la producción, transporte, refinación, almacenaje, distribución, comercialización e industrialización de los hidrocarburos en el territorio nacional.

El Decreto Supremo N° 29507, promulgado el 9 de abril de 2008, establece el marco normativo y la estrategia que YPFB debe implementar como una empresa estatal de carácter corporativo

La implementación del proyecto se regirá por las leyes, decretos y toda otra disposición legal vigente y publicada en la Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia, los estándares y normas internacionales aplicables

y las metodologías de ingeniería mundialmente reconocidas y aplicables a la industria petroquímica.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

La industrialización del gas natural e inicio de la petroquímica en Bolivia corresponden a hechos ya conocidos por toda la población boliviana los intentos por industrializar nuestro gas natural, sin ningún éxito debido a diferentes factores, pero principalmente políticos y económicos, más aun cuando los gobiernos neoliberales de turno, solamente priorizaron la exportación del gas natural a precios bajos y sin valor agregado, salvaguardando los intereses de las empresas transnacionales y dejando de lado los anhelos del pueblo boliviano de llegar a ser un país desarrollado e industrializado.

La nacionalización de los hidrocarburos ha permitido obtener importantes ingresos económicos a nuestro país. Con la inauguración de la planta de líquidos de Rio Grande en fechas 10 de mayo de 2013, se establece el eslabón previo y obligatorio para el inicio de la industrialización del gas natural, puesto que esta planta permite obtener gas licuado de petróleo (GLP) e iso-pentano para su comercialización.

2.2. LA PETROQUÍMICA

(LAGUÍA, 2010) La petroquímica es un área de la química abocada al estudio de los derivados del petróleo y su utilización en la industria, es una área vital ya que la demanda de combustibles crece día a día.

El petróleo debe pasar por determinados procesos para que su aprovechamiento energético sea posible: separación, conversión y tratamiento

La industria petroquímica tiene como objetivo la transformación del petróleo en la mayor cantidad de derivados posibles, con menor o mayor calidad dependiendo los procesos aplicados. Este proceso es el denominado refinamiento del petróleo el cual acontece en las refinerías, pudiendo otorgar como resultado la producción de GLP, Gasolina, Queroseno, Diesel o Full Oil entre otros.

Los tres pasos básicos de la petroquímica son la extracción del petróleo, el refinamiento del mismo, y la transformación de éste en un producto, descrito de esta manera aparenta ser un proceso simple, pero ciertamente la cantidad de pasos establecidos entre la extracción del petróleo y el producto resultante contiene alrededor de 45 etapas previas.

El petróleo está constituido de una composición basada en hidrocarburos los cuales se pueden encontrar en tres estados.

En su fase gaseosa es denominado Gas natural, en su etapa líquida lo encontramos bajo el nombre de Crudo y por último en su etapa sólida.

Generalmente es encontrado en su estado líquido

El proceso de separación es el que determina el aislamiento de los hidrocarburos en las familias que lo componen, este proceso se denomina fraccionamiento.

Ya en el proceso de conversión existen varias transformaciones químicas, durante estas reacciones son generados diferentes grupos de hidrocarburos.

En el proceso de tratamiento son eliminadas todas las impurezas que contiene el petróleo en estado crudo, a través de transformaciones químicas.

2.3. EL PROPILENO

La mayoría del Propileno consumido en la producción de petroquímicos, es producido como subproducto de la producción de etileno.

Las capacidades de las plantas de etileno no abastecen a la demanda, por consiguiente, la producción de propileno es menor, es por esa razón que se utilizara el GLP como materia prima que de tal forma sea factible en este nuevo diseño para la industrialización en el complejo petroquímico.

El propileno (C_3H_6) o propano es un gas inflamable. Poco tóxico, pero ligeramente narcótico, se emplea principalmente en la industria química para la fabricación de óxido de propileno, propilenglicol, polipropileno, acroleína, isopropanol o cloruro de alilo.

El corte C3 se purifica mediante varias destilaciones sucesivas, seguidas de una hidrogenación selectiva con la finalidad de eliminar la mayor parte de las impurezas como el propadieno y el metilacetileno. El grado de pureza del propileno resultante es apto para la mayoría de las aplicaciones.

2.4. EL POLIPROPILENO

El polipropileno es un termoplástico semicristalino que se produce en presencia de un catalizador específico tiene múltiples aplicaciones por lo que se considera como uno de los productos de mayor desarrollo en el futuro, su tecnología de polimerización es la de menor impacto ambiental.

Hoy en día el polipropileno es uno de los termoplásticos más vendidos en el mundo, con una demanda anual de 80 millones de toneladas, sus incrementos anuales de consumo han sido próximo al 10 % durante las últimas décadas, confirmando su grado de aceptación en los mercados. La buena acogida que ha tenido a la actualidad directamente relacionado con su

versatilidad, sus buenas propiedades físicas y la competitividad económica de sus procesos de producción. Varios puntos fuertes la confirman como material idóneo para muchas aplicaciones:

- Baja densidad
- Alta dureza y resistente a la abrasión
- Alta rigidez y buena memoria
- Buena resistencia al calor
- Excelente resistencia química
- Excelente versatilidad

2.5. EL GLP

El GLP es ampliamente utilizado a nivel mundial y uno de los más demandados en nuestro país. Es utilizado principalmente en los hogares para calefaccionar y cocinar.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) tiene dos orígenes: el 60% se obtiene durante la extracción de gas natural y petróleo del suelo, mientras el 40% restante se produce durante el proceso de refinamiento del petróleo crudo. En general, está formado por una mezcla de hidrocarburos livianos, de tres tipos:

- Hidrocarburos del grupo C3 (Propano, Propeno, Propileno)
- Hidrocarburos del grupo C4 (Butano, Buteno, Butileno)
- Mezcla de C3 y C4 en cualquier proporción, utilizado en general para consumo doméstico en la cocción de alimentos y calefacción.

Es utilizado principalmente como combustible para sistemas de calefacción residencial o de cocción; con fines agropecuarios; para la obtención de olefinas – producción de plásticos–; para procesos industriales, como calentamiento y secado de productos agrícolas; como combustible para

generación eléctrica, y cada vez más en el sector del transporte vial, en motores de combustión interna (vehículos a gas).

2.6. MATERIA PRIMA

La demanda mundial de recursos como el petróleo crudo, carbón, gas natural, agua, mineral de hierro y el cobre está aumentando, impulsado por el crecimiento de la población y un mayor poder adquisitivo. Estos recursos son limitados, sin embargo, su extracción es cada vez más cara. El uso eficiente y eficaz de estos recursos es uno de los retos primordiales para el crecimiento futuro.

En nuestro caso la materia prima para obtener los objetivos del proyecto será netamente a partir del GLP, propano.

2.7. PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL POLIPROPILENO

Aunque los procesos comerciales de obtención del polipropileno son variados, se les puede clasificar, dependiendo del medio de reacción y de la temperatura de operación, en tres tipos:

- Procesos en solución
- Procesos en suspensión
- Procesos en fase gas

En la actualidad muchas de las nuevas unidades de producción incorporan procesos híbridos, en los que se combina un reactor que opera en suspensión con otro que opera en fase gas.

Los procesos en solución, prácticamente en desuso, son aquellos en los que la polimerización tiene lugar en el seno de un disolvente hidrocarbonado a una temperatura de fusión superior a la del polímero. Entre sus ventajas

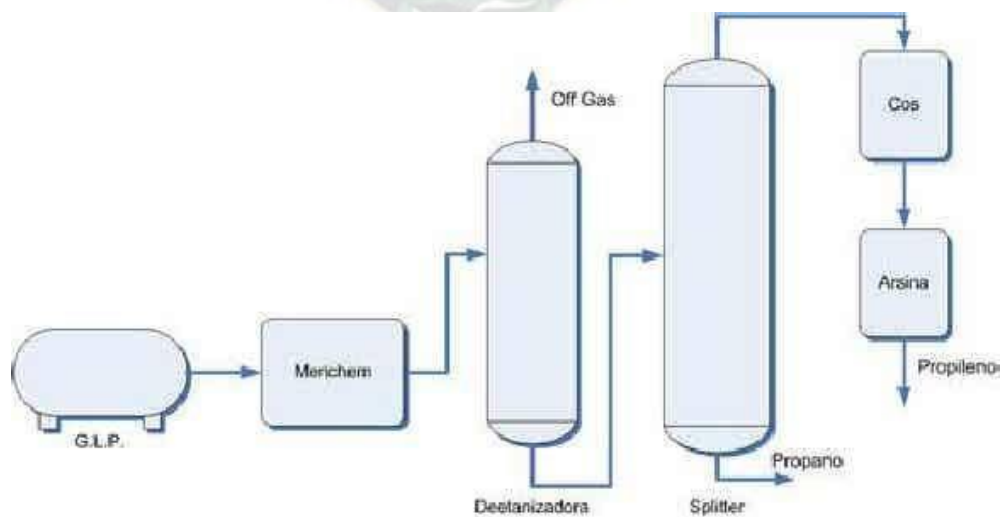
han contado con la fácil transición entre grados, gracias a la pequeña dimensión de los reactores empleados.

Los procesos en suspensión (slurry), están configurados para que la reacción tenga lugar en un hidrocarburo líquido, en el que el polipropileno es prácticamente insoluble, y a una temperatura inferior a la de fusión del polímero. Dentro de este tipo de procesos existen marcadas diferencias en la configuración de los reactores (de tipo bucle o autoclave) y en el tipo de diluyente utilizado, lo que afecta a las características de la operación y al rango de productos que se puede fabricar.

Los procesos en fase gas están caracterizados por la ausencia de disolvente en el reactor de polimerización. Tienen la ventaja de poderse emplear con facilidad en la producción de copolímeros con un alto contenido en etileno (en otros procesos se pueden presentar problemas al agregar altas concentraciones de etileno, puesto que se hace aumentar la solubilidad del polímero en el medio de reacción).

2.7.1. Destilación del propileno

Figura 1. Proceso de destilación



Fuente: Bueno Sáenz, David; Bravo Murillo, Daniel; Propileno, (Madrid) España

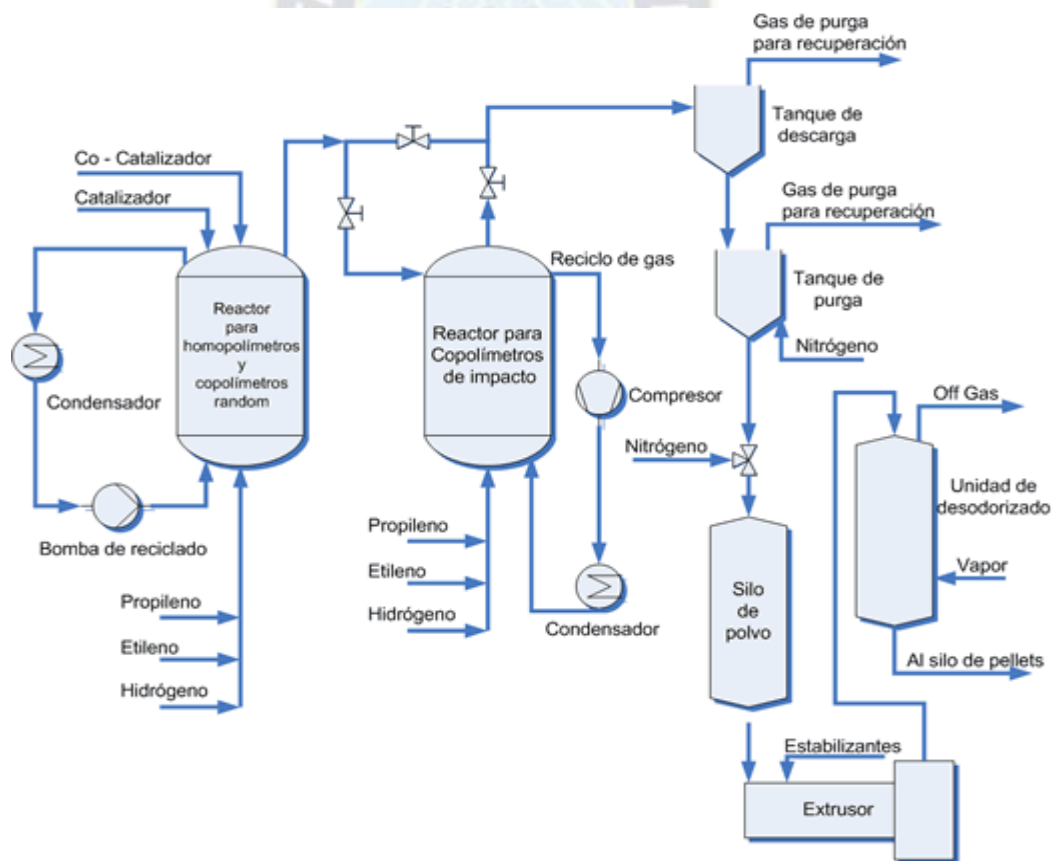
Unos de los métodos más utilizados para obtener el Propileno es la destilación a partir de G.L.P. (Gas Licuado de Petróleo) con una proporción mayoritaria de componentes livianos (Propano, Propileno, etc).

2.7.2. Proceso

Un proceso es un programa en ejecución. Un proceso simple tiene un hilo de ejecución, luego se verá en más detalle el concepto de hilo. También se puede indicar que un proceso es una actividad de cierto tipo que contiene un programa, entradas salidas y estados.

2.7.2.1. Proceso Novolen

Figura 2. Proceso Novolen



Fuente: <https://www.google.com/search?q=proceso+novolen>

El polvo de polipropileno se descarga desde el reactor y se separa en un tanque de descarga a presión atmosférica. El comonomero sin reaccionar se separa del polvo y se comprime, y finalmente se recicla o se retorna aguas arriba a la unidad de destilación para su recuperación.

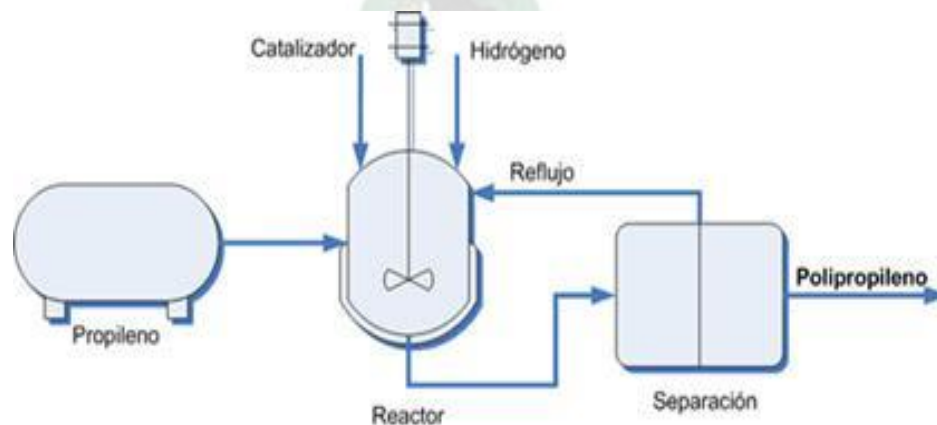
El polímero se pone en contacto con nitrógeno en un tanque de purga para despojarlo del propileno residual. El gas de purga se recupera, el polvo se transporta a los silos de polvo, y posteriormente por extrusión se convierte en pellets, donde se incorpora una gama completa de aditivos bien dispersados.

2.7.2.2. **Proceso LIPP**

Consiste en hacer reaccionar el propileno junto con Hidrógeno y el catalizador en un reactor. Luego de terminado este paso, se separa el polipropileno de residuos de la reacción, como monómeros, catalizador, etc., los cuales son reflujados al reactor.

Luego se suceden los mismos pasos de terminación que en el proceso Novelen.

Figura 3. Proceso LIPP

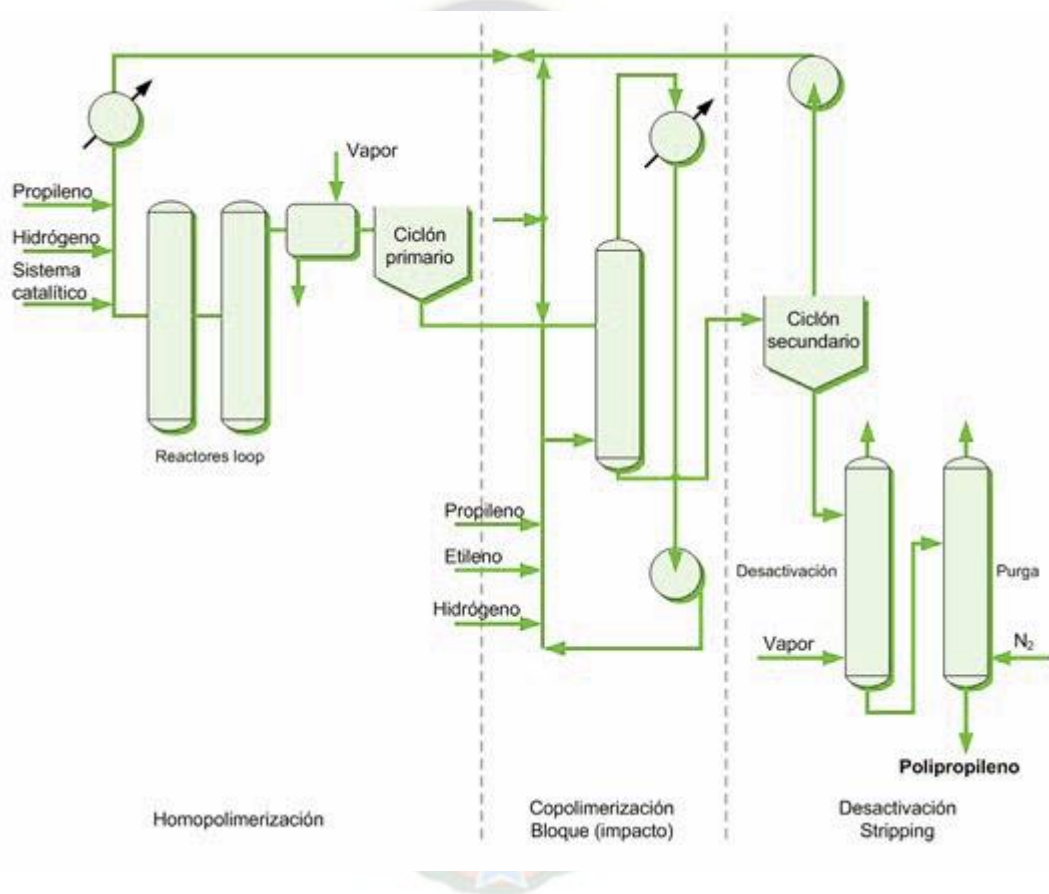


Fuente: <https://www.google.com/search?q=proceso+lipp>

2.7.2.3. Proceso SPHERIPOL

El proceso Spheripol. Diseñado como híbrido con dos reactores en serie, el primero para trabajar en suspensión y el segundo en fase gas, es un proceso versátil, que permite preparar diferentes tipos de productos con propiedades óptimas.

Figura 4. Proceso Spheripol



Fuente: <https://www.google.com/search?q=proceso+Spheripol>

El primer reactor es de tipo bucle (o loop), en el cual se hace circular catalizador y polímero a gran velocidad para que permanezcan en suspensión en el diluyente. El diluyente es en realidad el mismo propileno líquido que, dadas las condiciones de operación, facilita la evacuación del calor generado por la reacción al mismo tiempo que permite aumentar el

rendimiento del sistema catalítico. En el segundo reactor de fase gas se incorpora ulteriormente el polímero producido en el reactor loop. En esta fase se preparan grados con características especiales añadiendo un comonomero además del monómero. Tras separar el polímero fabricado de las corrientes de propileno, y de desactivar el catalizador, el polvo de polipropileno obtenido se envía a la línea de acabado donde se añaden aditivos y se le da la forma de granza requerida para su distribución comercial.

En el campo de los procesos, los últimos desarrollos han ido dirigidos a la optimización con objeto de mejorar las propiedades de los polímeros, aumentar las capacidades de producción y reducir costes. La adecuación del proceso al sistema catalítico empleado es un parámetro fundamental con vistas a este objetivo.

2.8. DESHIDROGENACIÓN CATALÍTICA

La deshidrogenación es una de las principales reacciones químicas en el procesamiento de hidrocarburos por medio del cual se forman compuestos menos saturados y más reactivos. Existen importantes procesos en los cuales el hidrogeno es directa o indirectamente removido. En principio, cualquier compuesto que contenga átomos de hidrogeno puede ser deshidrogenado. Se pueden producir un amplio rango de productos como: propileno a partir de propano, isobutileno, n-butileno, butadienos a partir de butanos, mono y diolefinas pesadas a partir de cadenas carbonadas largas de hidrocarburos saturados; así como también benceno, tolueno y xilenos a partir de cicloparafinas. La deshidrogenación de productos menos específicos ocurre con frecuencia en la industria de la refinación y petroquímica, se da en algunos procesos como: pirolisis, craqueo, gasificación por combustión parcial, carbonización y reformado. En general, las reacciones de deshidrogenación son reacciones difíciles y endotérmicas, requieren altas

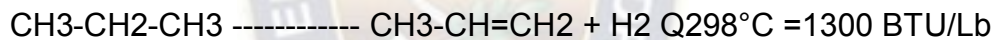
temperaturas para favorecer el equilibrio y adecuadas velocidades de reacción. Casi siempre son usados catalizadores.

Además, desde que las presiones parciales son inadecuadas para prevenir la deposición, se necesitan regeneraciones periódicas.

Los procesos pueden ser cooperantes o independientes, en el primer caso se entiende que los procesos interactúan entre sí y pertenecen a una misma aplicación. En el caso de procesos independientes en general se debe a que no interactúan y un proceso no requiere información de otros o bien porque son procesos que pertenecen a distintos usuarios.

2.8.1. Reacciones de la deshidrogenación

Las reacciones para los procesos de deshidrogenación de propano a propileno e isobutano a isobutileno son:

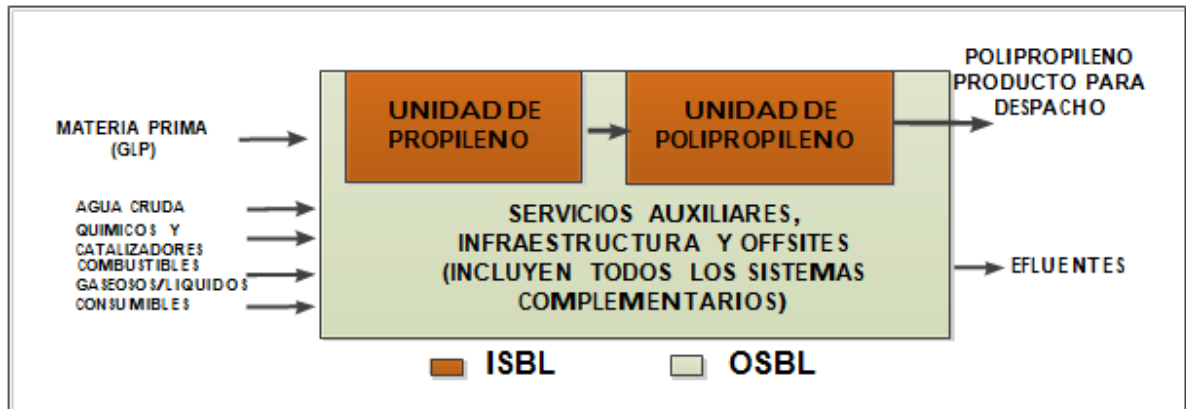


Las Bases de Diseño a utilizar durante la fase FEED del Proyecto de Construcción de las Plantas de Propileno y Polipropileno con base en el resultado de los estudios realizados en la Ingeniería Conceptual y la información básica suministrada por los Licenciantes; será ampliada, integrada y optimizada para constituir el paquete de documentos entregables de la Ingeniería FEED.

La información preliminar será considerada en el diseño de la Ingeniería Básica FEED de las instalaciones de procesos (dentro y fuera de los límites de baterías); sin embargo, la empresa especializada contratada por el ente correspondiente será la única responsable del dimensionamiento y diseño apropiado para todas las instalaciones involucradas como alcance del Proyecto.

A continuación se presenta un diagrama de bloques preliminar de las PLANTAS DE PROPILENO Y POLIPROPILENO.

Figura 5. Diagrama de bloques para la construcción de las plantas de propileno y polipropileno



Fuente: YPF, Ingeniería conceptual 2014



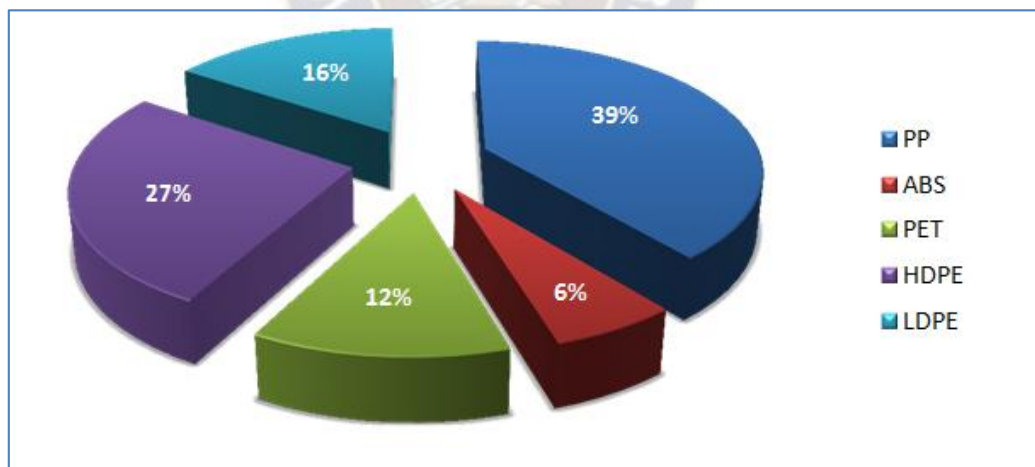
CAPITULO III

ESTUDIO DE MERCADO

3.1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la industria petroquímica ha sido llamada la madre de las industrias por el desarrollo tecnológico alcanzado durante décadas de investigación y desarrollo científico, además de la implementación de plantas a mayor escala y con mayor grado de optimización tecnológica a nivel mundial. Este desarrollo ha sido ocasionado gracias a la gran demanda mundial que existe con respecto a productos petroquímicos. Tal es el caso del polipropileno que es el polímero de mayor crecimiento en la última década y dada su amplia gama de aplicaciones y costes de producción muy competitivos tiene una de las mayores tasas de crecimiento como se puede apreciar a continuación:

Gráfico 1. Demanda mundial de polímeros



Fuente: ICIS Methodology and Polyolefins Market Outlook, Philippines, September 2010

3.1.1. Capacidad mundial para la producción de Propileno

La tabla a continuación muestra el historial de la capacidad instalada que tienen las regiones de Asia, Norte América, Europa, Medio Oriente y África en los últimos años.

Tabla 1. Capacidad instalada en el mundo (MMTon/año)

| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---------------|--------|--------|---------|---------|
| COREA DEL SUR | 3.860 | 5.757 | 6.222 | 6.752 |
| TAIWAN | 2.128 | 3.093 | 3.093 | 3.889 |
| SINGAPUR | 1,200 | 1,480 | 1,930 | 2,430 |
| CHINA | 7.126 | 10.962 | 16.080 | 20.935 |
| TAILANDIA | 1.161 | 1.281 | 2.440 | 2.440 |
| INDONESIA | 500 | 536 | 536 | 715 |
| INDIA | 1.550 | 2.010 | 3.675 | 3.675 |
| MALASIA | 920 | 1.135 | 1.135 | 1.135 |
| VIETNAM | 0 | 0 | 150 | 150 |
| JAPON | 6.315 | 6.585 | 6.762 | 6.671 |
| EUROPA | 17.899 | 19.336 | 19.062 | 18.879 |
| EEUU | 23.713 | 23.517 | 21.062 | 21.062 |
| CANADÁ | 1.258 | 1.295 | 1.399 | 1.399 |
| OCEANÍA | 340 | 342 | 342 | 342 |
| ORIENTE MEDIO | 2.487 | 5.385 | 16.256* | 16.256* |
| ÁFRICA | 1.018 | 1.358 | 1.758 | 1.758 |
| CIS | 1.890 | 1.892 | 2.307 | 2.817 |
| TOTAL | 73.365 | 85.964 | 87.953 | 95.049 |

Fuente: Japan`s Ministry of Economy, Trade and Industry (2013)

Como se observa el mercado Asiático es una importante región que desde 2016 hasta la fecha en cuanto a procesos petroquímicos se refiere. Asia tiene como objetivo ampliar la capacidad instalada de sus instalaciones petroquímicas, como un ejemplo claro el país de Vietnam que tiene refinerías, plantas de separación de líquidos e importantes complejos petroquímicos en construcción también posee importantes Bio-proyectos

tales como la producción de etanol. China concentra una gran parte de toda la capacidad de producción en la región de Asia. Además pretende elevar su capacidad instalada hasta 28 MMTon en 2023 y tiene planeado usar el carbón como materia prima para obtención de olefinas ligeras (propileno, etileno y butadieno), con lo que se pretende evitar la dependencia hacia el petróleo y el gas.

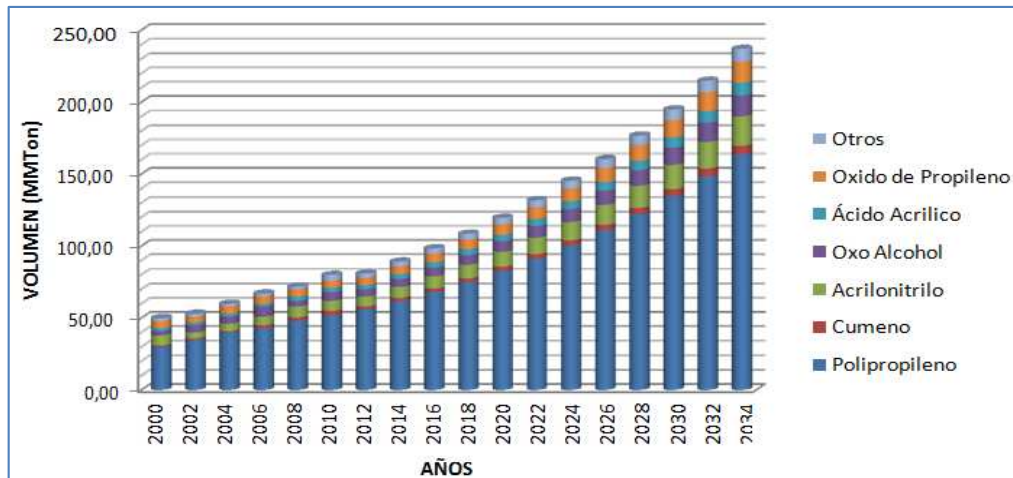
La Crisis económica que empezó en los Estados Unidos entre 2007 y 2008 ha sido una de las principales causas en la cual algunos países entraron en recesión en especial en Europa viéndose afectado su crecimiento en la industria petroquímica. Según algunas proyecciones hechas se estima que para el año 2023 la Capacidad Instalada para producir Propileno incrementara hasta llegar a 119 a 121 MMTon/año.

3.1.2. Demanda de Propileno

La demanda global de propileno creció de 37,2 MMTon en 1995 a aproximadamente 52 MMTon toneladas en 2000, lo que corresponde a un crecimiento promedio anual de 5,5%. La demanda creció a una tasa promedio de 4,6 % anual entre 2000 y 2006, llegando a casi 67 MMTon.

La demanda de propileno a crecer será de casi un 5% anual durante el período 2007-2023, al incremento de más de 100 MMTon en el 2023. Este incremento será impulsado por la demanda de derivados, en especial de polipropileno y óxido de propileno, cuya demanda está creciendo a la tasa de 5,5 % y 4,3 %, respectivamente, para el mismo período de tiempo. La proyección de la demanda de propileno por aplicación al 2034 se muestra a continuación:

Gráfico 2. Proyección de la demanda de Propileno



Fuente: Elaboración Propia en base a datos de Chemsystems Prospectus

A nivel mundial, más del 25 % de las nuevas plantas de craqueo con vapor que se pusieron en marcha en el 2003-2007 se basaban en etano y, por lo tanto, producirían poco propileno. Por otra parte, las expansiones y / o adiciones de craqueo con vapor no pueden mantenerse en el ritmo del crecimiento de la demanda de propileno. El aumento de la producción de propileno de refinería también se ha ralentizado debido a las preocupaciones ambientales, apretando aún más la oferta de propileno.

El propileno se produce comercialmente por deshidrogenación de propano, pero en la mayoría de las situaciones esta es una ruta cara y generalmente requiere de precios de materia prima favorable para ser competitivo. Solo así la producción de propileno a partir de deshidrogenación de propano es una opción más viable económicamente. La cantidad de propileno producido por deshidrogenación de propano es todavía pequeña en comparación con las fuentes tradicionales.

Con base en las tendencias de crecimiento de la demanda de los derivados de propileno y los suministros limitados, los precios potencialmente llegarían a incrementarse, esto podría resultar en restringir el crecimiento y el

impacto sobre la demanda en aplicaciones en las que es posible la sustitución, polipropileno frente polietileno, poliestireno y ABS⁴. Se tendrá que ampliar o modificar las fuentes de propileno dependiendo de la demanda y el valor de etileno frente a propileno, ya que puede ser económicamente ventajoso producir más de propileno a expensas de etileno o producir propileno a partir de medios alternativos.

Las nuevas tecnologías, utilizando una gama creciente de materias primas, pueden cambiar la dinámica convencional de suministro de propileno y la economía. A continuación se muestra el consumo de propileno a nivel mundial.

En América del Norte y Europa tienen un crecimiento de la demanda de propileno lenta, Asia y Medio Oriente experimentarán escasez más grave en propileno. En Asia, esto se debe a gran y creciente consumo de China. Este crecimiento de la demanda, junto con el rápido aumento de los precios ha dado lugar a una gran cantidad de inversión en Asia con aproximadamente el 41% del propileno que provenga de fuentes alternativas.

Actualmente, el craqueo de nafta proporciona el 70 % del suministro de propileno de Asia. Esto hace que productores de propileno estén en la exploración de otras nuevas tecnologías para asegurar que haya suficiente alimentación de propileno.

3.1.3. Producción de Propileno

Frente a un déficit de suministro de propileno, los consumidores, especialmente los productores de polipropileno, están examinando oportunidades para asegurar el suministro de propileno a través de ampliación de plantas ya existentes o la obtención de propileno mediante procesos no convencionales.

⁴ ABS Caucho de acrilonitrilo-butadieno-estireno

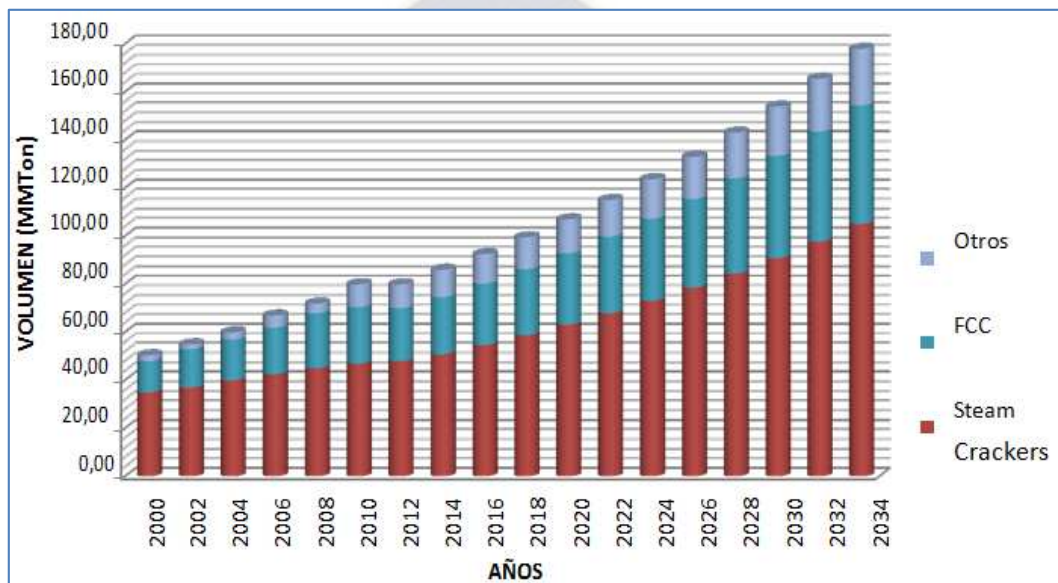
Grandes productores de propileno y consumidores están de acuerdo en que el propileno a incrementarse tendrá que ser procedente de las refinerías y de procesos alternativos para satisfacer el crecimiento de la demanda. Dow Chemicals es uno de los mayores compradores netos de propileno y creen que en algunas refinerías se pueden hacer las inversiones necesarias para producir y recuperar altos rendimientos de propileno. Por supuesto, los precios del propileno necesitarán incrementarse a un nivel que justifique tales inversiones.

El crecimiento de la demanda en la industria petroquímica es impulsado por la expansión económica, principalmente de India y Asia. El crecimiento mundial de la demanda mundial de propileno se ha promediado en alrededor de un 5,8 %. Dado que las inversiones de craqueo por vapor se hacen principalmente para satisfacer la demanda de etileno y ya que la demanda de propileno está creciendo más rápidamente que la demanda de etileno, las nuevas inversiones de craqueo por vapor no son lo suficiente como para satisfacer la nueva demanda de propileno.

Los operadores del equipo de craqueo están considerando la el uso de nuevas tecnologías para mejorar aún más los rendimientos propileno, incluyendo metátesis y craqueo de olefinas. Sin embargo, en Asia y Medio Oriente la mayor producción es de gasolina y, por consiguiente existe una mayor tendencia a las unidades de FCC para operar con aditivos para aumentar la producción de propileno. Sin embargo, el impacto del mercado de propileno, por ejemplo, el procesamiento de alimentaciones más pesadas tal como aceites, no será significativo. Por lo tanto, la producción de propileno mediante las unidades de FCC en Asia continuará para aumentar y la región también podría ver algo de crecimiento en los procesos no convencionales de propileno.

El craqueo por vapor en Europa, como en Asia, opera con materias primas pesadas (por ejemplo, la nafta) donde el subproducto propileno es significativo. Por lo general, las unidades de FCC que utilizan aditivos como el ZSM-5, en los EE.UU, lo hacen para llenar sus unidades de alquilación. Sin embargo, varias refinerías, operan con aditivos para maximizar la producción de propileno.

Gráfico 3. Proyección de la producción de Propileno



Fuente: Elaboración Propia en base de datos Chemsystems Prospectus

En Asia, el bajo costo de las importaciones de derivados del etileno de Medio Oriente podría afectar las tasas de operación de craqueo por vapor a largo plazo y crear una mayor demanda de FCC para la obtención de propileno

Debido a las limitaciones antes mencionadas de suministrar el propileno mediante craqueo por vapor, se ha puesto énfasis en la recuperación de propileno a partir de unidades de FCC de refinería. Al igual que el craqueo por vapor, las unidades de refinería de FCC no son operadas o construidas para hacer propileno, sino algún otro producto primario. Las unidades de

FCC producen principalmente gasolina de motor u otro destilado como ser GLP.

Al igual que el etileno por craqueo por vapor, los productos procedentes de las unidades de FCC (productos a base de petróleo) están creciendo a un ritmo aún más lento que el subproducto propileno. Dado que las nuevas inversiones de la FCC se hacen principalmente para satisfacer la demanda de gasolina/destilado y ya que la demanda de propileno está creciendo más rápidamente que la demanda de gasolina/destilado, no hay suficientes nuevas inversiones de FCC para satisfacer la demanda de propileno. Por lo tanto, existen "reservas" mundiales de propileno en unidades de FCC que podría ser aprovechado para uso petroquímico, pero varios problemas limitan la capacidad de acceder a estas "reservas".

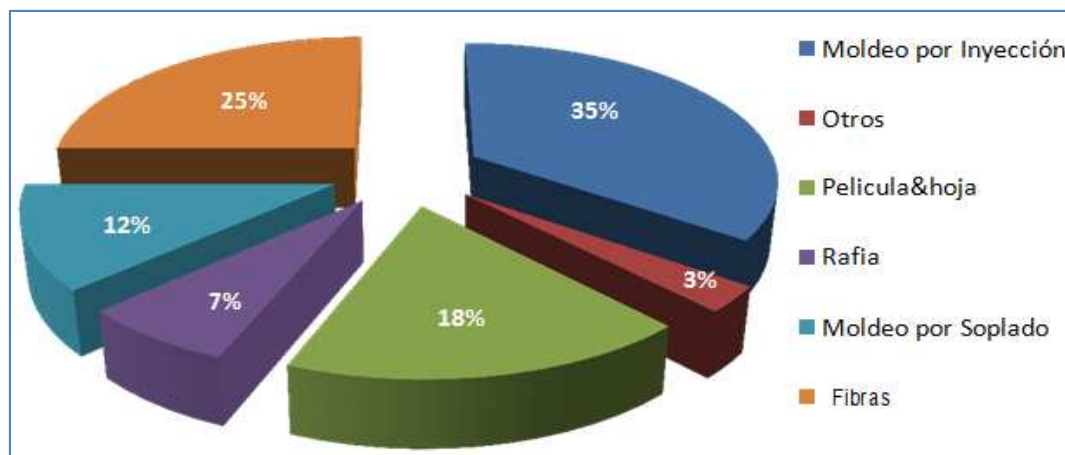
3.1.4. Situación actual para el polipropileno

Hoy en día el polipropileno es uno de los termoplásticos más vendidos en el mundo, con una demanda anual estimada de 80 MMTon. Sus incrementos anuales de consumo han sido próximos al 10% durante las últimas décadas, confirmando su grado de aceptación en los mercados.

Por la excelente relación entre sus prestaciones y su precio, el polipropileno ha sustituido gradualmente a materiales como el vidrio, los metales o la madera, así como polímeros de amplio uso general (ABS y PVC).

Los principales mercados para el uso del polipropileno son fibras y moldeado por inyección, que en conjunto representan alrededor de 61 % del consumo mundial total. Otras aplicaciones incluyen la película/hoja y la producción de moldeado por soplado. La grafica 4 se muestra la demanda de los diferentes procesos a los que es sometido el polipropileno.

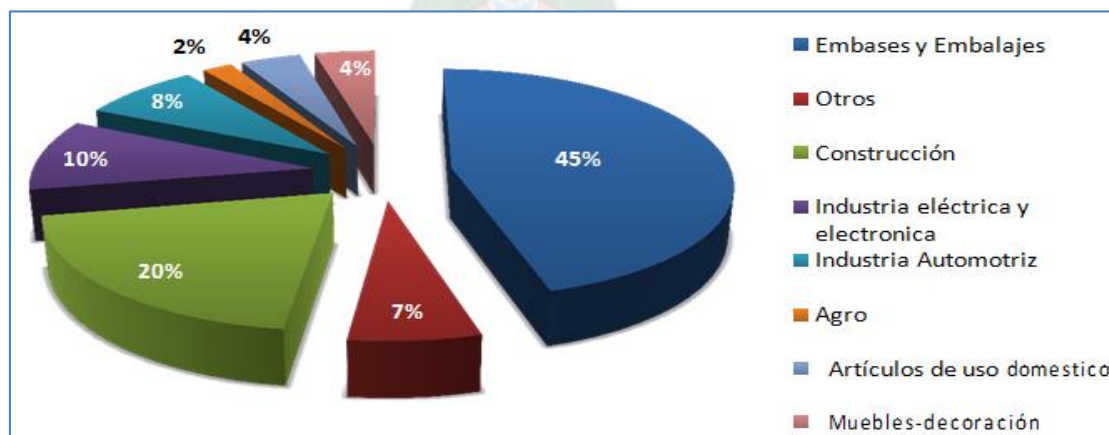
Gráfico 4. Consumo mundial de polipropileno



Fuente: GBI Research, Polypropylene Market - Supply Shortages, October 2010

El consumo del polipropileno por la industria del packaging se espera que crezca de los 12,8 millones de toneladas de 2011 hasta los 20,1 millones en 2023. Además, se espera que tanto la industria eléctrica como la de bienes de equipos necesiten más de 3 millones de toneladas de polipropileno para el año 2023, debido al crecimiento económico, la mejora de los estilos de vida y el desarrollo de la industrialización. El siguiente gráfico 5 muestra el consumo mundial de polipropileno de uso final.

Gráfico 5. Productos del consumo final del polipropileno



Fuente: Fuente: GBI Research, Polypropylene Market - Supply Shortages, October 2010

La demanda mundial de polipropileno aumentó en la última década debido al alto crecimiento en el sector de la gran distribución, lo que llevó a la industria del packaging a un mayor uso de polipropileno en aplicaciones para este segmento del mercado. Otras industrias, como la de electricidad, equipos e instalaciones, y electrodomésticos también registraron un crecimiento sustancial en el consumo de polipropileno.

3.1.5. Demanda del polipropileno

La demanda global de polipropileno fue de 26.6 MMton en el año 2000. Esta demanda creció en una tasa de 3,6% anual durante el periodo 2000-2009. La demanda global de polipropileno en el 2009 fue de 36.5 MMton. El informe anual 2010 PTAI⁵ para el polipropileno estima que la demanda global para el polipropileno creció en un 7% en el 2010 y alcanzó cerca de 39,05 MMton.

Durante 2010-2023, se espera que el consumo mundial de polipropileno se incremente en una tasa promedio anual de aproximadamente 5% [24]. El crecimiento será más rápido en China, Europa Central y del Este, y otros países asiáticos, ya que los países en desarrollo cambian de una gran parte agraria a una economía industrial, con lo que las oportunidades de crecimiento para el polipropileno para sustituir el papel, metal, madera, vidrio y fibras naturales serán mayores.

El consumo global de polipropileno pasará de los 42,3 MMton en el 2011 a 62,4 MMton en 2023. Del total de polipropileno que será consumido por los mercados en 2023, casi un tercio (20,1 millones de toneladas) corresponderá al sector del packaging. Se estima que la demanda global de polipropileno crecerá a un ritmo anual del 4,5% hasta alcanzar en 2023 los 62,4 MMton.

⁵ Phillip Townsend Associates

Los patrones de consumo de polipropileno varían de una región a otra en función de la estructura y el equilibrio de los usos finales de las industrias en cada región. Asia, y China en particular, han tenido un crecimiento en el consumo del polipropileno difícil de entender. Como consecuencia del pobre crecimiento, los planes de expansión en las regiones desarrolladas se están echando atrás; ahora, solo se están implementando, planes de reducción de costos. El buen y continuo crecimiento en otras regiones significa que se van a anunciar nuevos planes de expansión.

India es otro país donde el consumo de polipropileno está creciendo rápidamente, incluso más rápidamente que China. India agregará otras 0,4 MMTon de polipropileno a su capacidad en los próximos cinco años

La región del Oriente Medio y África también está parada en su consumo, pero sus incrementos de capacidad están creciendo mucho más rápido que en otras regiones. El aumento de esta capacidad podrá ser utilizada para resolver otras demandas regionales lo que permitirá aumentar sus exportaciones de polipropileno durante los próximos cinco años.

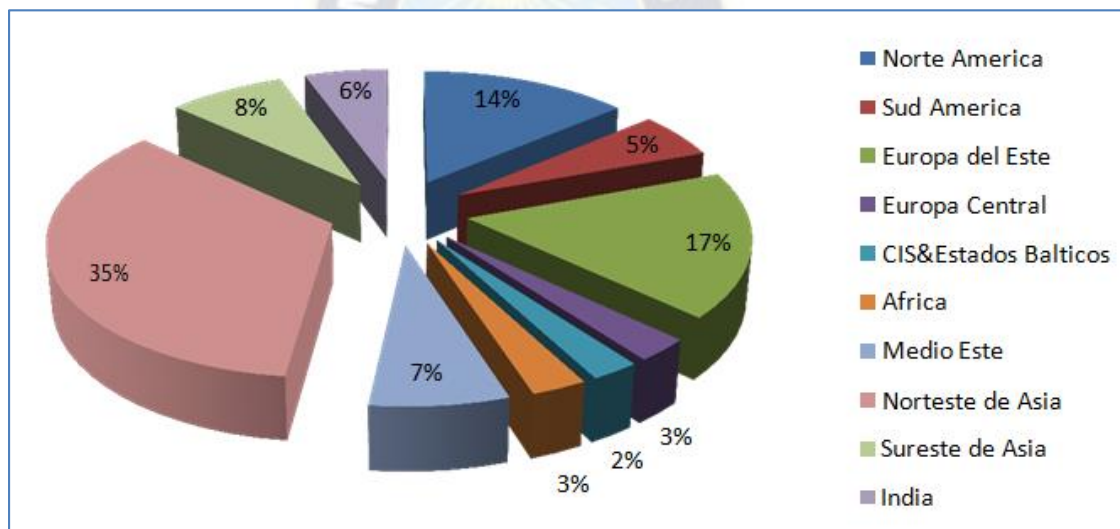
Se espera que la demanda de polipropileno se recupere en América del Norte tras la caída del mercado observada en el período 2010-2011, mientras que la crisis de la eurozona restringirá el crecimiento futuro del mercado europeo. Tanto la producción como la demanda de polipropileno ha estado históricamente en manos de los países desarrollados, pero los crecimientos de población y el crecimiento económico en los mercados asiáticos en desarrollo han provocado un auge en la demanda de polipropileno. China se ha convertido en un líder mundial, mientras que Corea del Sur, Japón y la India también representan importantes cuotas de mercado.

A pesar de la esperada recuperación de la economía y el crecimiento sostenido en todas las regiones, sólo pocas regiones han mostrado un fuerte

crecimiento: en América del Norte las ventas nacionales se incrementaron en un 9,2 % mientras que en Europa se ha incrementado en un 4,0 % y Japón del 9,8 %. El crecimiento en 2010 en China fue de forma preliminar del 5,7 % basado en el fuerte crecimiento registrado en 2009 respecto a 2008.

Los Estados Unidos y China representan ahora más del 12% y 26,6%, respectivamente, del consumo mundial de polipropileno, casi tres veces el consumo de los próximos grandes consumidores, Japón y Alemania. La figura 6 muestra el consumo mundial de polipropileno.

Gráfico 6. Consumo mundial del polipropileno



Fuente: Alberta Economic Development ; Polypropylene Market Study ,September 2004

En China y el sudeste de Asia, el crecimiento del consumo de polipropileno es significativo debido a su importancia en el envasado de los productos textiles y productos de consumo general y el alto uso de fibras de poliolefina en la producción de bolsas agrícolas y cordeles. Países como la República de Corea, Taiwán y China también expandirán las industrias de fabricación de automóviles que consumen volúmenes crecientes de polipropileno.

3.1.6. Producción de polipropileno

Las principales compañías petroleras del mundo producen polipropileno, bien sea por participación directa, o por medio de filiales. En el transcurso de los últimos años el volumen de negocio del polipropileno ha ido creciendo de manera significativa en todo el mundo.

Un factor importante, que tendrá un impacto en el mercado mundial de polipropileno, es la expansión de la capacidad masiva de propileno y productos derivados en el Medio Oriente y China. Países del Medio Oriente presentan los mayores incrementos en la producción de propileno y la demanda. Se espera que la oferta y la demanda en esos países se habrá duplicado para el 2020. Sin embargo, la región del Asia-Pacífico seguirá dominando el mercado y generará alrededor del 45% de toda la demanda.

3.2. MERCADO SUDAMERICANO

El polipropileno es uno de los pocos productos petroquímicos para los cuales existe capacidad instalada en cuatro países de Sudamérica. Los tres tipos de procesos que se utilizan básicamente en la producción de PP están presentes en las plantas sudamericanas:

- La tecnología más antigua corresponde al proceso slurry, y entre las plantas donde se utiliza están la de Polibrasil en Camacari, y una de las unidades de Braskem con tecnología Hércules en Brasil.
- Para la producción de PP mediante procesos en fase gas: Petroquímica Cuyo (proceso Novolen de Basf) en Argentina.
- La polimerización mediante proceso en masa o Bulk es el porcentaje más alto (75%) y se debe sobre todo a que las más modernas unidades como son Polibrasil en Mauá, Braskem en el Triunfo en Brasil, Petroquim e Indelpro han adoptado los procesos Spheripol de Basell en Chile.

Tabla 2. Capacidad instalada de Polipropileno en Latinoamérica

| País | Empresa | Accionistas | | Localización | Capacidad (MTMA) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|-------|----------------|------------------|
| Argentina | Petroken | Basell | Shell | Ensenada | 180 |
| | | | Basf | | |
| | | Repsol | | | |
| | Petroquímica Cuyo | Repsol | | Lujan de Cuyo | 100 |
| Brasil | Polibrasil | Basell | Shell | Camacari | 125 |
| | | | Basf | Maua - SP | 300 |
| | | Suzano | | Rio de Janeiro | 200 |
| | Braskem | Odebrecht | | Triunfo | 550 |
| | Ipiranga Petroquímica | - | | Triunfo | 150 |
| Chile | Petroquim | Sto. Domingo de Inversiones | | Talcahuano | 120 |
| | | Ivercap | | | |
| | | Inver. Lenga | | | |
| | | Petro. San Julio | | | |
| | | Alpek | Basf | | |
| Alfa | | | | | |
| Perú | Petroperú | - | | Pisco | 110 |
| | | | | Total | 1835 |

Fuente: The Society of the Plastic Industry (SPI), Petrochemical Outlook Report, 2011

La materia prima para la producción de PP tiene dos orígenes diferentes según el país del que se trae. En el caso de Argentina, casi todo el propileno es producido en refinerías (FCC). La planta de Petroken, sociedad entre Basell y Repsol-YPF recibe propileno de la refinería de La Plata y de la refinería de Shell. Petroquímica Cuyo está localizada próxima a la segunda refinería en importancia de Repsol-YPF que la alimenta con un 70% del propileno que consume. El resto proviene de Petrobras en San Lorenzo y Bahía Blanca. La oferta en Argentina es muy ajustada y depende del funcionamiento de la capacidad instalada de refinación.

En cuanto a la producción de Polipropileno, Petroken de Argentina produce PP homopolímero exclusivamente e importa PP copolímero de Polibrasil de Brasil. En cambio, Petroquímica Cuyo produce y vende tanto homopolímeros (60%) como copolímeros (40%).

Brasil produce una parte de su propileno se obtiene en los steamcrakers, también en este caso la oferta es ajustada. La otra fuente importante de propileno son las refinerías de Petrobras. Al menos 4 refinerías producen propileno, por ejemplo Bahía posee una capacidad de 212 M TM/año divididas en 152 TM/año GP y 60 MTM/año GQ, en Sao Paulo se producen también 140 MTM/año GP, suministrando a la unidad Mauá de Polibrasil.

En el Polo de Triunfo, Copesul no produce suficiente propileno para abastecer a pleno su capacidad instalada de PP. Por ello recurre a otras fuentes. En Camacari, la oferta de propileno de Braskem supera a la demanda de este monómero y además la capacidad de producción de PP es significativamente menor. En Sao Paulo, las plantas de PP son abastecidas por PQU y por las refinerías de Cubatao y Capuava. En Rio de Janeiro, donde Polibrasil tiene otra unidad próxima a la refinería de Duque de Caxias, el propileno proviene como ya se indicó de la planta de Braskem (Camacari), PQU y de otras fuentes.

En Brasil, actualmente el mayor productor es Polibrasil desde que arrancó su unidad de 300 TM/año en Mauá, Sao Paulo. Produce exclusivamente copolímeros, por ello la unidad de Camacari se dedicará a homopolímeros al igual que la de Rio de Janeiro. Braskem produce todos los grados de PP.

El complejo petroquímico en Perú recibe como materia prima propano proveniente de la Planta de Fraccionamiento ubicada en Pisco. Las instalaciones están diseñadas para producir 110.000 Tm/año de Polipropileno. El complejo incluye dos unidades de Polimerización, cuenta con esferas y almacenes para guardar su materia prima y sus productos.

En Chile, Petroquímica no trabaja al 100 % de su capacidad instalada (120 TM/año de PP) por ser insuficiente la capacidad de propileno. La misma es entregada por ENAP, un 60 % de PETROX en Talcahuano y 40 % de la Refinería de Concón. En Chile, la unidad de Petroquim produce tanto homopolímeros como copolímeros, siendo además alto el consumo de BOPP (polipropileno biorientado).

Los principales mercados en Sudamérica son los de Brasil, Argentina, Chile, Perú y Paraguay, en orden de importancia, por este motivo y también debido a que son países vecinos y potenciales mercados realizaremos un enfoque en estos países.

Tabla 3. Déficit /Superávit (MTMA) de Polipropileno

| País | Capacidad Instalada | Producción | Importación | Exportación | Demanda | Superávit(+)/ Déficit(-) |
|------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------------------------|
| Argentina | 280 | 247 | 17 | 123 | 560 | -313 |
| Brasil | 1325 | 891 | 81 | 62 | 1933 | -1042 |
| Chile | 120 | 102 | 23 | 49 | 350 | -248 |
| Perú | 110 | 100 | 29 | 35 | 385 | -285 |
| Paraguay | 0 | 0 | 32 | 0 | 32 | -32 |
| Bolivia | 0 | 0 | 21 | 0 | 21 | -21 |
| TOTAL | 1835 | 1340 | 203 | 269 | 3281 | -1941 |

Fuente: Elaboración Propia en base a Society of the Plastic Industry (SPI), Petrochemical Outlook Report, 2018

Las principales características con respecto a la demanda y producción del mercado Sudamericano al 2018, se presentan en la tabla 3.

En el cuadro anterior se muestra que la demanda de Polipropileno al año 2018 llega a 3,28 MMTM, la producción conjunta de Argentina y Brasil es de 1,14 MMTM, en este sentido el déficit en el cono sur es de 1,941 MMTM, esta demanda insatisfecha del mercado es cubierta por importaciones de

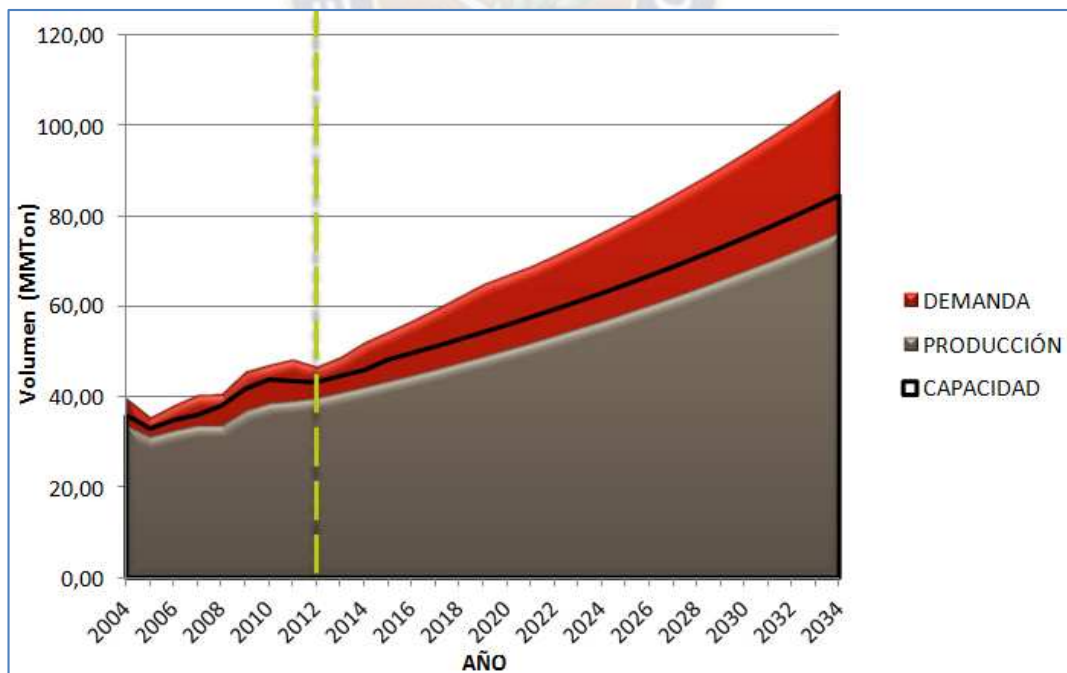
productos semielaborados de EE.UU, Medio Oriente y productos terminados de Asia.

Los mercados sudamericanos con mayor déficit son Brasil, Argentina, Perú y Chile. Sobre todo Brasil, que presenta el mayor déficit de los países Sudamericanos, al ser uno de los países subdesarrollados su consumo interno va creciendo a una mayor velocidad.

Dentro de los países con mayor crecimiento registrado en la demanda de polipropileno es Brasil con un incremento anual del 9%, Argentina con un 7% y Perú con 5,8%; en promedio de 7,3%, de la cual, que es en mayor parte debido al crecimiento de la demanda Brasileña.

Al proyectarse la planta a una vida útil de 20 años, realizaremos la proyección del mercado del polipropileno al año 2034.

Gráfico 7. Proyección del mercado de Polipropileno



Fuente: Elaboración Propia en base a Society of the Plastic Industry

En Sudamérica el mercado más grande es el de Brasil, que según expectativas tendrá un déficit de 2,27 MMTMA, el segundo país con mayor déficit será Argentina con 673,6 MTMA, el tercer país será Perú con 631,5 MTMA. Para el caso de Bolivia el déficit no será mayor a 42,1 MTMA, debido a que nuestro mercado interno no es muy grande.

Con base a lo anteriormente expuesto la demanda de polipropileno está proyectada para los países de Sud América de los cuales se han identificado como los centros de consumo potenciales: mercado interno, Brasil, Argentina, Perú, Chile y Paraguay en orden de importancia.

Se estima que el inicio de construcción de planta de polipropileno será el 2023, y el inicio de operaciones el 2025, para la planta se estima se obtendrá una producción de 400,5 TMD⁶ de polipropileno que son aproximadamente 146,18 MTMA, los cuales podrán abastecer de manera completa el mercado interno (5.8 % de la producción), usando el remanente para la exportación que representa el 94.5% restante, el cuál será exportado principalmente a Brasil, Argentina, Chile y Perú.

3.3. MERCADO NACIONAL

3.3.1. Importación de polipropileno

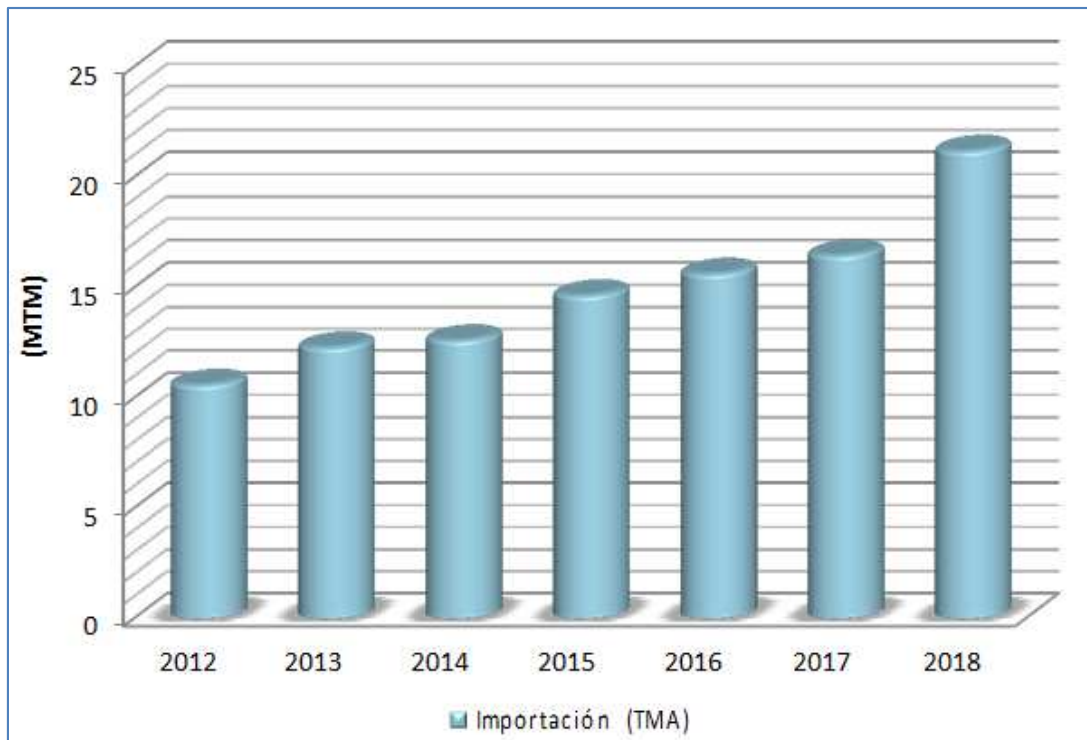
Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística (INE) actualmente la demanda de polipropileno en Bolivia se encuentra en la posición Nro.31 de productos importados. Y la demanda del mismo tuvo un crecimiento considerable en los últimos años, esto se debe a los nuevos proyectos de industrialización que requieren este material para sus operaciones diarias.

⁶ Reporte Energía, YPF realiza estudios para construir una Planta de Propileno y Polipropileno, enero 2013.

http://www.reporteenergia.com/noticias/index.php?option=com_content&view=article&id=4459:ypfb-realiza-estudios-para-construir-una-planta-de-propileno-y-polipropileno.

En la gráfica 8 podemos observar que durante la gestión 2011 ingresaron a nuestro país, más de 16.500 TM de polipropileno que significaron para el país alrededor de 30.200 \$us a un costo de 1.564 \$us/tonelada (precio CIF⁷), principalmente de Brasil y Colombia.

Gráfico 8. Precios e Importaciones de Polipropileno en Bolivia



Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energía; anuario estadístico 2018. La Paz-Bolivia: s.n., 2018

El 2018 superó las expectativas con un volumen de importación de 21.200 TM alcanzando a un valor de 42.449 miles de sus se podría calcular que el costo de importación para Bolivia está entre los 1.831,06 \$us/Tonelada Métrica, esto considera también el costo del transporte del mismo. Como podemos observar en el gráfico anterior, nuestro consumo de

⁷ CIF Cost Insurance and Freight (Costo, seguro y flete), valor que el vendedor aporta, cubriendo los costos que produce el transporte de la mercancía, por vía marítima al puerto de destino.

21.200 TMA es realmente bajo en comparación a la demanda Mundial que actualmente alcanza 48,27 MMTM, representando un 0.000439%.

3.4. CAPACIDAD DE LA PLANTA

Para determinar el tamaño de la planta, fue necesario realizar un estudio de mercado de la oferta y demanda de polipropileno, además tomar otras consideraciones como las características del proceso de obtención de polipropileno y de la demanda existente de este producto.

Anteriormente se pudo observar que el déficit de este producto es de 1,94 MMTM en el cono sur y tiende a incrementarse por el gran desarrollo y demanda de la industria Brasileira que es la más grande en toda Sudamérica, en el gráfico 3.10 se pudo observar el déficit que se tendrá al año 2034, en el cual se puede observar que Brasil tendrá el mayor déficit de la región, siendo este país el principal mercado para exportación de polipropileno. La demanda interna sería abastecida completamente, ya que actualmente no producimos polipropileno y de esta manera dar un gran impulso a la industria de plástico y sobre todo a la economía boliviana.

Tabla 4. Capacidades Instaladas de PP en Sudamérica

| País | Uso de la Capacidad (%) | Capacidad de PP (MT/año) |
|-----------|-------------------------|--------------------------|
| Brasil | 85 | 1325 |
| Argentina | 88 | 280 |
| Chile | 85 | 120 |
| Perú | 80 | 110 |

Fuente: The Society of the Plastic Industry (SPI), Petrochemical Outlook Report, 2018

Otro gran factor que influirá en la selección del tamaño de la planta, será la viabilidad de la materia prima, que representa el 90% del costo de

producción, la misma será obtenida de la planta de separación de líquidos Gran Chaco y Rio Grande.

La capacidad total instalada en Sudamérica representa apenas el 5.2% del total mundial, tal como se observa en la tabla 4.

Dentro otro factor para el cálculo de la capacidad es la tecnología a utilizar, en Sudamérica se cuenta con tecnologías BASF en Argentina con el proceso Novolen y Perú con el proceso Dow Unipol, Braskem de Brasil y Petroquim de Chile han adoptado la tecnología Spheripol de Basell. Las cuales se basan en capacidades de plantas construidas que van desde los 40.000 TMA (toneladas métricas por año) hasta los 250.000 TMA⁸ que son las más recomendadas. Para el presente proyecto utilizaremos la capacidad promedio de 150.000 TMA, debido a que esta será la primera planta en Bolivia y es recomendable para un inicio de este tipo de industria aún reciente en nuestro país, además que teniendo en cuenta los recursos actuales de gas natural certificados y los compromisos adquiridos de exportación, no se podría bastecer a un planta mayor a la que se plantea.

Tabla 5. Composición de GLP promedio

| Componentes | Composición % |
|--------------------|----------------------|
| C ₂ | 1,981 |
| C ₃ | 64,887 |
| iC ₄ | 9,6502 |
| nC ₄ | 21,4355 |
| iC ₅ | 1,4996 |
| nC ₅ | 0,5467 |
| TOTAL | 100 |

Fuente: YPFB Chaco S.A.; Planta Carrasco; 2018

⁸ Hydrocarbon Processing; Petrochemical processes; (2001)

En Bolivia, este producto es obtenido de 6 plantas de tratamiento de gas y de refinerías. Actualmente existen solo Vuelta Grande, Carrasco, Kanata, Paloma, Río Grande cuya producción está destinada al consumo interno, siendo este no suficiente y que genero un déficit de GLP años atrás.

La planta de polipropileno utilizara como insumos el excedente de GLP tomando en cuenta la puesta en marcha de los dos proyectos de plantas de extracción de licuables (Río Grande y Gran Chaco) y una nueva refinería. La Planta Gran Chaco que consolidará a Bolivia autosuficiente y con un excedente neto de Gas Licuado de petróleo (GLP), tendrá una producción aproximada de 1.542 - 2.247 TMD de GLP, el cual se ha destinado un 82 % para el mercado externo y 18 % para el interno.

Tabla 6. Producción estimada de la planta Gran Chaco

| | VENTA A ARGENTINA | GAS PROCESADO | GAS RETENIDO | COMBUSTIBLE MÁS PERDIDA | ETANO (C2) | GLP | GASOLINA NATURAL | ISO PENTANO (i-C5) |
|------|----------------------|------------------|--------------|----------------------------|---------------|-------|---------------------|--------------------------|
| AÑO | MMmcd | MMmcd | MMmcd | MMmcd | TMD | TMD | BPD | BPD |
| 2014 | 19 | 22,08 | 3,08 | 0,64 | 2.156 | 1.542 | 1.137 | 716 |
| 2015 | 20,7 | 24,06 | 3,36 | 0,69 | 2.349 | 1.679 | 1.239 | 780 |
| 2016 | 23,4 | 27,2 | 3,8 | 0,78 | 2.656 | 1.898 | 1.401 | 882 |
| 2017 | 23,9 | 27,78 | 3,88 | 0,8 | 2.712 | 1.939 | 1.431 | 901 |
| 2018 | 24,6 | 28,59 | 3,99 | 0,82 | 2.792 | 1.996 | 1.473 | 927 |
| 2019 | 26,1 | 29,17 | 4,07 | 0,84 | 2.849 | 2.036 | 1.502 | 946 |
| 2020 | 25,7 | 29,87 | 4,17 | 0,86 | 2.917 | 2.085 | 1.538 | 969 |
| 2021 | 27,7 | 32,19 | 4,49 | 0,93 | 3.144 | 2.247 | 1.658 | 1.044 |
| 2022 | 27,7 | 32,19 | 4,49 | 0,93 | 3.144 | 2.247 | 1.658 | 1.044 |
| 2023 | 27,7 | 32,19 | 4,49 | 0,93 | 3.144 | 2.247 | 1.658 | 1.044 |
| 2024 | 27,7 | 32,19 | 4,49 | 0,93 | 3.144 | 2.247 | 1.658 | 1.044 |
| 2025 | 27,7 | 32,19 | 4,49 | 0,93 | 3.144 | 2.247 | 1.658 | 1.044 |
| 2026 | 27,7 | 32,19 | 4,49 | 0,93 | 3.144 | 2.247 | 1.658 | 1.044 |

Fuente: Gerencia Nacional de Plantas de Separación de Líquidos YPFB; 2018

La planta de Río Grande tiene una producción de 361 TMD de GLP, la mayor parte de su producción es destinada al consumo interno, el aporte

que brinda a la oferta total de GLP será de un promedio de 112 TMD y se proyecta será hasta el año 2025.

3.4.1. Cálculo de volúmenes de proceso

Tabla 7. Proyección de Oferta y Demanda de GLP

| GLP | | | | |
|------|---------------|--------------|--------------------------------|--|
| AÑO | DEMANDA (TMD) | OFERTA (TMD) | Superávit(+) Déficit (-) (TMD) | %Superávit(+) Déficit (-) (TMD)sobre demanda |
| 2009 | 1031,00 | 890,00 | -141,00 | -14% |
| 2010 | 1076,00 | 870,00 | -206,00 | -19% |
| 2011 | 1049,00 | 899,03 | -149,97 | -14% |
| 2012 | 1090,38 | 900,00 | -190,38 | -17% |
| 2013 | 1215,00 | 1289,00 | 74,00 | 6% |
| 2014 | 1252,00 | 1918,00 | 666,00 | 53% |
| 2015 | 1295,00 | 2032,00 | 737,00 | 57% |
| 2016 | 1350,00 | 2598,00 | 1248,00 | 92% |
| 2017 | 1408,00 | 2584,00 | 1176,00 | 84% |
| 2018 | 1466,00 | 2565,00 | 1099,00 | 75% |
| 2019 | 1522,00 | 2546,00 | 1024,00 | 67% |
| 2020 | 1581,00 | 2508,00 | 927,00 | 59% |
| 2021 | 1640,00 | 2569,00 | 929,00 | 57% |
| 2022 | 1706,00 | 2650,00 | 944,00 | 55% |
| 2023 | 1774,00 | 2450,00 | 676,00 | 38% |
| 2024 | 1844,00 | 2439,00 | 595,00 | 32% |
| 2025 | 1916,00 | 2417,00 | 501,00 | 26% |
| 2026 | 1990,00 | 2396,00 | 406,00 | 20% |
| 2027 | 1948,19 | 2378,27 | 430,08 | 22% |
| 2028 | 2025,05 | 2360,67 | 335,62 | 17% |
| 2029 | 2104,94 | 2343,21 | 238,27 | 11% |
| 2030 | 2187,98 | 2325,87 | 137,89 | 6% |
| 2031 | 2274,29 | 2308,66 | 34,37 | 2% |
| 2032 | 2364,01 | 2291,57 | -72,44 | -3% |
| 2033 | 2457,27 | 2274,62 | -182,65 | -7% |
| 2034 | 2554,21 | 2257,79 | -296,42 | -12% |

Fuente: Elaboración Propia en base boletín estadístico de YPFB

Para la determinación de los volúmenes de propano a utilizar en la planta de polipropileno, se analizará la demanda versus oferta de GLP, ya que como mencionamos anteriormente la corriente de GLP a ser fraccionada será el excedente que se generará a partir de la puesta en marcha de la Planta Gran Chaco desde el año 2015, luego de satisfacer la demanda interna.

La demanda anual de GLP es de aproximadamente un 4% y para la oferta, el incremento de volúmenes que aporten la puesta en marcha de los dos proyectos de plantas de extracción de licuables (Río Grande y Gran Chaco) y una nueva refinería. De las proyecciones al 2034 se determina los volúmenes de proceso.

Como mencionamos anteriormente para el cálculo de volumen de proceso se busca disponer del excedente de GLP, sin poner en riesgo el abastecimiento al mercado interno, por lo cual se determina que el GLP producido en Bolivia irá incrementando hasta llegar a 1.248 TMD el año 2016, excedente que paulatinamente irá disminuyendo a 34,37 TMD para el año 2031 debido al incremento de la demanda interna y a la disminución de la producción en plantas y refinerías. Se estima que el inicio de construcción de planta de polipropileno será el 2018, y el inicio de operaciones el 2022 año para el cual se tendrá un superávit de 944,0 TMD de GLP, según la composición promedio de GLP boliviano la mayor parte es propano (64,887%) y el restante compuesto por butanos y pentanos. Por lo tanto, tomando esta consideración el propano que se requerirá será de 612,53 TMD como materia prima para la obtención de polipropileno.

3.4.2. Precios del propileno y polipropileno

Se espera que los precios globales de polipropileno se incrementen para el 2022. El polipropileno es un polímero del propileno. Por lo tanto, los cambios en los precios de propileno se reflejan en los precios del polipropileno. Los precios de propileno y polipropileno han estado aumentando continuamente

desde el 2000, excepto en 2001 y 2009. El precio más alto se registró en el año 2008. Sin embargo, debido a la recesión, se produjo un fuerte descenso en los precios de octubre del 2008. Esta recesión causó una caída de precios a lo largo del año 2009. Ahora, la economía global se recupera de la recesión y los precios se están fortaleciendo.

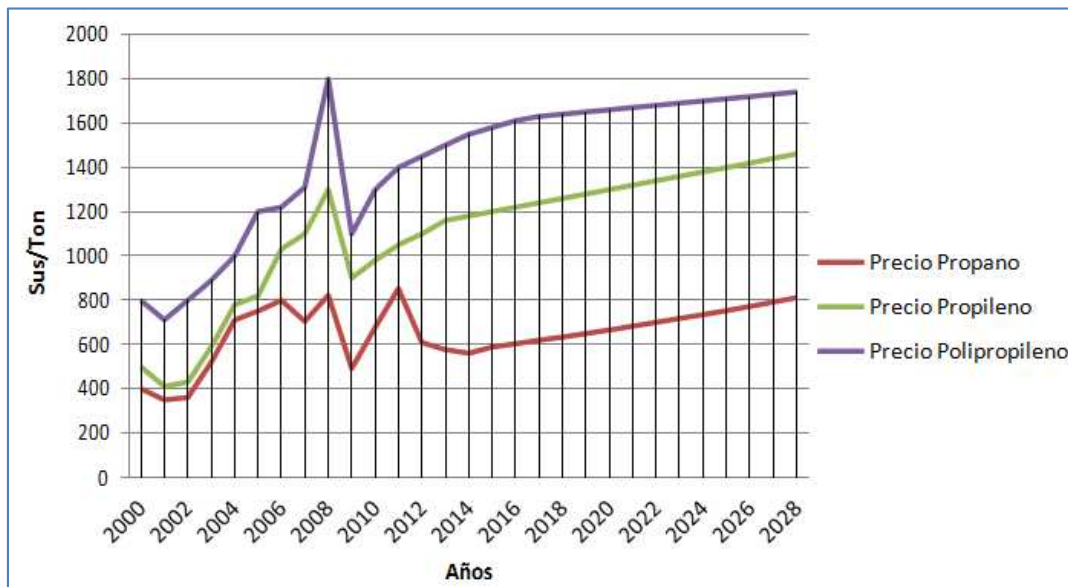
En comparación con otros termoplásticos de gran volumen, el negocio de polipropileno sigue presentando un crecimiento excelente. En los últimos diez años, la demanda mundial ha crecido anualmente en un 4,8 %. Desde 2007-2008, las adiciones de capacidad masivas han obligado a las unidades más antiguas que ser racionalizadas, mientras que el aumento del precio del petróleo crudo empinada ha creado algunos cambios fundamentales en los mercados de olefinas ligeras, creando un aumento a largo plazo en la relación precio -propileno- etileno.

En consecuencia, el polipropileno se ha vuelto más caro en relación al polietileno, promoviendo cambios de polipropileno a los productos alternativos como el HDPE, siempre que sea posible. Mientras que las nuevas aplicaciones se siguen desarrollando para el polipropileno, sigue siendo en gran medida un termoplástico bien sujeto a las fluctuaciones económicas, especialmente en el área de bienes duraderos.

Una razón para el aumento previsto de los precios del polipropileno en el futuro, es el problema del suministro de propileno. La cantidad de propileno producido depende en gran medida del tipo de materia prima utilizada para la producción de etileno. Cuando se utiliza materia prima de alimentación más ligero, se produce una pequeña cantidad de propileno. Sin embargo, la materia prima de alimentación más ligera es más barata. Por lo tanto, la industria utiliza más la alimentación ligera para la producción de etileno, que afecta a la producción de propileno.

Esto sin duda afectará los precios de propileno y polipropileno. La gráfica 9 muestra los la proyección de precios mundiales de propileno y polipropileno del 2000-2028.

Gráfico 9. Proyección de precios



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de YPF, 2020

CAPITULO IV

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN

4.1. JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO

La demanda existente en el mercado, es el factor que condiciona el tamaño y la capacidad de la planta el cual tiene gran importancia en la ejecución del proyecto, tomando en cuenta los siguientes parámetros que son de gran importancia.

Se estima una capacidad de producción de la planta de 20000 Ton/año, con esta capacidad se pretende cubrir la demanda interna y de la misma forma poder exportar a los países vecinos que son consumidores del Etileno y Polipropileno.

4.2. Justificación de la localización de la planta

La ubicación de la planta química juega un papel muy importante porque puede afectar el funcionamiento de la planta y su éxito. Además, también se debe tener en cuenta para maximizar la rentabilidad del proyecto, minimizar el costo de producción y distribución, así como para la futura expansión de la planta. Sin embargo, también se deben considerar otros factores, como el espacio de expansión y las condiciones de vida seguras para la operación de la planta, así como para la comunidad circundante. Por medio de los factores que se consideran para determinar la macro localización y la micro localización, estos factores son:

- Disponibilidad de materia prima
- Cercanía a mercados para la comercialización del producto
- Disponibilidad de mano de obra
- Disponibilidad de energía y agua
- Disponibilidad de terreno

Los factores mencionados determinaran una óptima ubicación de la planta, por lo que tomaremos en cuenta el método de ponderación, con el fin de determinar la mejor ubicación de la planta de Propileno y polipropileno.

4.3. Macro localización

Para la macro localización se tomó en cuenta la Provincia Gran Chaco, que tiene una superficie de 147.428km², ubicada al sur de Bolivia, en el departamento de Tarija.

La provincia Gran Chaco, cuenta con las condiciones necesarias para la ubicación de la planta debido a los factores favorables de la localización que tiene acceso a las vías de transporte hacia los departamentos de Santa Cruz, Tarija y también a los países del MERCOSUR, cercanías a mercados potenciales, cercanías a campos gasíferos, cercanía a la Termoeléctrica y a la planta de Separación de Líquidos Gran Chaco Carlos Villegas.

4.4. Micro localización

Para la micro localización, se determina por el método de ponderación, este método tiene mayor aceptación debido a su carácter técnico y a su sencillez, para ello se tomó el Municipio de Villa Montes y Yacuiba como referencia; como se observa en la tabla 8, que muestran las alternativas más favorables debido a su integración caminera, férrea y fluvial con países vecinos como Argentina y Paraguay, cercanía a mercados potenciales para la exportación del producto. Además, cuenta con el suministro de energía, agua y combustibles. En la tabla 8 se muestra la aplicación del método, comparando dos posibles sitios de localización de la planta.

Tabla 8. Localización de la planta

| Factores | Peso | Calificación | Ponderación | Calificación | Ponderación |
|--|-------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Disponibilidad de materia prima | 0.31 | 6 | 1.86 | 8 | 2.48 |
| Disponibilidad de mano de obra | 0.17 | 8 | 1.36 | 9 | 1.53 |
| Disponibilidad de terreno | 0.10 | 8 | 0.8 | 8 | 0.8 |
| Vía de comunicación y acceso | 0.10 | 6 | 0.6 | 6 | 0.6 |
| Mercados potenciales para el producto | 0.12 | 7 | 0.84 | 7 | 0.84 |
| Servicios básico | 0.20 | 7 | 1.4 | 8 | 1.6 |
| Total | 1 | | 6.86 | | 7.85 |

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Como resultado de la comparación entre Yacuiba y Villa Montes, se determinó que Yacuiba es la localización más adecuada para implementar la planta de producción de propileno y polipropileno, como se muestra el resultado de la tabla 8.

4.5. Factores que determinan la ubicación de la planta en Yacuiba

Como se puede observar la ubicación de la planta por el método ponderado se determinó Yacuiba, los factores determinantes que han sido considerados para la determinación de la planta fueron: materia prima, cercanía del mercado, clima y mano de obra.

4.5.1. Materia prima

La producción de propileno y polipropileno usa propano como materia prima principal. Por lo tanto, la fuente de esta materia prima debe ser identificada y considerada. Esto es crucial si se requieren grandes volúmenes de materia prima para la producción. Se debe prestar atención a la distancia entre el sitio y la fuente de suministro, ya que, si la materia prima está lejos del sitio, debe transportar a esa distancia, considerando que en la actualidad se tiene en producción la planta separadora de líquidos Carlos Villegas Quiroga donde se separa el GLP, además se tiene en ingeniería conceptual la implementación de una planta de etileno-polietileno en la misma región, considerando estos aspectos se determinó que la mejor ubicación de la planta sería en Yacuiba.

Resaltando que de aquí a futuro no muy lejano será una zona potencial de producción e industrialización de hidrocarburos como complejo petroquímico de importancia en Bolivia y Sudamérica.

4.5.2. Cercanía a los mercados

Este factor de igual manera es uno de los más influyentes para el éxito de localización de una planta industrial debido a que este determina el costo de transporte del producto.

Yacuiba es una zona fronteriza por el cual ofrece grandes ventajas en cuanto a cercanías de los mercados locales e internacionales de América latina, ya que

en los últimos años hubo un alza en cuanto a la demanda de propileno y polipropileno, debido a la no disponibilidad de la materia prima.

4.5.3. Disponibilidad de mano de obra

La planta debe colocarse en un área donde haya disponibilidad suficiente de mano de obra. La mano de obra disponible de los institutos técnicos locales brindará una contribución beneficiosa para que la planta funcione sin problemas, teniendo en cuenta que la zona del Chaco Tarijeño cuenta con la carrera de ingeniería petroquímica. Además, la mano de obra del área circundante contribuirá a reducir el costo de operación.

4.5.4. Transporte

Dado que los costos de flete de las materias primas y productos terminados entran en el costo de producción, por lo tanto, las instalaciones de transporte se están convirtiendo en el factor principal en la ubicación económica de la planta. Dependiendo del volumen de las materias primas y los productos terminados, se considera un método de transporte adecuado, como ferrocarriles, carreteras y el transporte aéreo, por lo que se decide la ubicación de la planta.

Vale mencionar que al seleccionar la localización de la planta se optó por localizarla cerca a nuestra fuente de abastecimiento de materia prima, reduciendo los costos por transportes.

4.5.5. Disponibilidad de terreno

Suficiente tierra debe estar disponible para el propósito de la planta y la expansión futura. El costo de la tierra y el local también deben incluirse en la selección del sitio porque afectará el costo final del proyecto. El costo de la tierra depende de la ubicación y debe ser lo más económico posible para

reducir la inversión total y el costo de construcción. Además, la ubicación geográfica de la tierra debería ser, idealmente, plana, con características de carga adecuadas, una estructura bien drenada y contorneada de la tierra.

Yacuiba cuenta con terreno disponible para la ubicación de la planta de propileno y polipropileno, las autoridades del municipio de Yacuiba deberán brindar mejores condiciones para el desarrollo de la planta, ya este traerá grandes inversiones que beneficiaran de manera directa e indirecta a la región.

4.5.6. Suministro de energía y agua

En la planta industrial, se requieren grandes cantidades de agua y suministro eléctrico para la operación de la planta. Por lo tanto, estas dos utilidades son muy importantes y su fuente debe estar disponible cerca de la ubicación del sitio para minimizar el costo.

Para el suministro de agua, el agua de proceso puede extraerse del río Pilcomayo que discurre por territorio Bolivia, Argentina y Paraguay, sirviendo de frontera en parte de su curso. Tiene una longitud nominal de 2.426 km² y drena una cuenca de 270.000 km².

En cuanto a la energía eléctrica, se dispone de la termoeléctrica del Sur, que está ubicada en la localidad de YAGUACUA, entre el municipio de Yacuiba y Villa Montes, la cual genera una potencia de 160 megavatios para cubrir la demanda nacional de energía eléctrica, esta abastecerá el suministro a las plantas que se van a instalar en la provincia Gran Chaco.

CAPITULO V

DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA

5.1. BASES DE DISEÑO

El propósito de esta sección es definir las Bases de Diseño a ser utilizadas durante la fase FEED del Proyecto de Construcción de las Plantas de Propileno y Polipropileno con base en el resultado de los estudios realizados en la Ingeniería Conceptual y la información básica a ser suministrada por los Licenciantes; de tal forma que sea ampliada, integrada y optimizada para constituir el paquete de documentos entregables de la Ingeniería FEED.

Este documento presenta información preliminar para ser considerada en el diseño FEED de las instalaciones de procesos (dentro y fuera de los límites de baterías); sin embargo, el CONTRATISTA FEED-EPC entenderá que es el único responsable del dimensionamiento y diseño apropiado para todas las instalaciones involucradas como alcance del Proyecto.

A continuación se muestra un cuadro que describe la información de base, evaluada durante la fase conceptual del Proyecto:

Tabla 9. Información Preliminar del PCPPP

| Unidad | Materia Prima | Capacidad de Producción | Fuente de Tecnología |
|---|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Propileno | GLP | 250 kta | Licenciada |
| Polipropileno | Propileno | 250 kta | Licenciada |
| Servicios Industriales y Otras Infraestructuras | No Aplica | Definida en FEED | No Licenciada |

Fuente: En base a datos de YPFB

De la Ingeniería Conceptual se tiene descripción de las instalaciones y operaciones, filosofía de diseño, especificaciones y capacidades requeridas

por producto, tecnologías evaluadas y seleccionadas, condiciones locales, servicios auxiliares y estándares de diseño.

Esta sección describe las unidades requeridas para el Proyecto dentro de los Límites de Batería (ISBL- Inside Battery Limits) y fuera de los Límites de Batería (OSBL-Outside Battery Limits), su función y capacidades estimadas.

5.1.1. ISBL (En los límites de la batería)

Para el Proyecto, son todos los equipos de las Unidades Licenciadas para producción de Propileno y Polipropileno que conformarán el proceso principal incluida la unidad de acondicionamiento de materia prima (depropanizadora).

Las unidades descritas en este punto serán suministradas por Licenciados certificados y con práctica comprobada a nivel mundial. Los datos y procedimientos aquí mencionados son preliminares para todas las plantas, deben ser revisados y complementados con el resultado del estudio desarrollado por los Licenciados durante el desarrollo de los Paquetes de Diseño de Procesos que serán empleados y/o administrados por el CONTRATISTA FEED-EPC.

5.2. PLANTA DE PROPILENO

El estudio conceptual se realizó considerando como materia prima el GLP proveniente de la planta Separadora de Líquidos Carlos Villegas, por lo cual la Unidad de acondicionamiento de materia prima (depropanizadora) deberá ser considerada como parte integral del ISBL de la planta de Propileno.

Para la fase de diseño FEED se utilizará la información desarrollada en el PDP realizada con el Licenciado seleccionado por YPFB. Los requerimientos específicos para cada planta, deben ser confirmados con el Licenciado durante el desarrollo del PDP.

a) Capacidad nominal de planta y factor de servicio

La planta de Propileno debe tener una capacidad de producción de 250 kta de propileno grado polímero, con un total de 8000 h/año de operación.

La planta debe ser diseñada para operar en forma estable y continua en un rango de 50 a 100% de su capacidad nominal.

No se requiere tomar previsiones ni pre-inversiones para lograr capacidad extra futura.

b) Materia Prima

La materia prima y alimentación de la planta de PROPILENO es GLP, que será entregado en las instalaciones de la planta de Separación de Líquidos Carlos Villegas ubicada en las proximidades de Yacuiba. Las condiciones de entrega del GLP son las siguientes:

c) Productos

PROPILENO: La planta debe producir Propileno grado polímero (mínimo 99.5 %mol) en forma líquida.

A continuación se indica la especificación del Propileno grado Polímero:

Tabla 10. Especificación del Propileno (Composición típica Grado Polímero)

| Componente | Especificación | Unidades |
|--|----------------|-------------|
| COMPOSICION | | |
| Propileno | 99.5 | min. % vol |
| Propano | 0.05 | max. % vol. |
| Hidrogeno | 20 ppm vol max | max. % vol |
| INERTES | | |
| No condensables (N ₂ , CH ₄) | 100 | max. ppmv |
| Etano | 200 | max. ppmv |

| | | |
|----------------------------------|----------|-----------|
| C4, C5, Hidrocarburos saturados | 200 | max. ppmv |
| MONÓMEROS COPOLIMERIZADOS | | |
| Etileno | 100 | max. ppmv |
| Buteno | 100 | max. ppmv |
| Penteno | 10 | max. ppmv |
| VENENOS TOXICOS | | |
| Acetileno | 3 | max. ppmv |
| Metilacetileno | 3 | max. ppmv |
| Propadieno | 5 | max. ppmv |
| Butadieno | 50 | max. ppmv |
| Total Acietilénicos | 10 | max. ppmv |
| Petróleo verde (C6-C12) | 20 | max. ppmv |
| Oxígeno | 2 | max. ppmv |
| Monóxido de carbono | 0.03 | max. ppmv |
| Dióxido de carbono | 1 | max. ppmv |
| COS | 0.02 | max. ppmv |
| Total Sulfuro | 1 | max. ppmp |
| Metanol | 5 | max. ppmv |
| Isopropanol | 15 | max. ppmv |
| Agua | 2 | max. ppmp |
| Arsano | 0.03 | max. ppmv |
| Amoniaco | 10 | max. ppmp |
| Ciclopentadieno* | 0.02 (*) | max. ppmv |
| Disopropildisulfuro | 0.03 | max. ppmv |
| Dimetil Eter | 0.4 | max. ppmv |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de YPFB Corporación

Tabla 11. Condiciones de presión y temperatura

| Componente | Especificación | Unidades |
|---|----------------|-----------|
| CONDICIONES DE PRESION Y TEMPERATURA | | |
| Presión | 25 - 26 | Barg Min. |
| Temperatura | 40°C/Ambiente | - |
| Estado | Líquido | - |

Fuente: En base a datos de YPFB Corporación

HIDROGENO: Hidrógeno purificado como sub-producto muy valorado (mínimo 99.9 %mol). A continuación se indica la especificación del Hidrogeno:

Tabla 12. Especificaciones de hidrogeno

| Componente | Especificación | Unidades |
|--|----------------|-----------|
| COMPOSICION | | |
| Hidrogeno | 99.9 | min.% vol |
| Inertes | Para Balance | max.% vol |
| VENENOS TOXICOS | | |
| Oxigeno | 5 | max. ppmv |
| Monóxido de carbono | 0.5 | max. ppmv |
| Dióxido de carbono | 0.5 | max. ppmv |
| Agua | 3 | max. ppmv |
| Acetileno (craqueo) | 10 | max. ppmv |
| Amoniaco (fertilizante) | 2 | max. ppmv |
| CONDICIONES DE PRESION Y TEMPERATURA | | |
| Presión para Homopolímero y Copolimero aleatorio | 50 | Barg Min. |
| Presión para Copolimero de impacto | 20 | Barg Min. |
| Temperatura | 40°C/Ambiente | |
| Estado | Gaseoso | |

Fuente: En base a datos de YPF B Corporación

La cantidad de hidrogeno necesario para la puesta en marcha de la planta de Propileno (PDH) será estimada en el desarrollo del PDP por el Licenciante.

El CONTRATISTA FEED-EPC deberá considerar las facilidades necesarias para el almacenamiento, acondicionamiento, transporte y disposición final del mismo.

La configuración del sistema de provisión de hidrogeno será confirmada y discutida con el CONTRATISTA FEED-EPC en la reunión de KOM.

BUTANO COMERCIAL: El Contratista FEED-EPC, deberá diseñar la unidad de la torre debutanizadora, garantizando las especificaciones de butano comercial detalladas en la tabla 13.

Asimismo para la fase de diseño de la torre Debutanizadora el contratista FEED-EPC utilizará la toda la información que fue elaborada por el Licenciante de Propileno en el desarrollo del PDP:

Tabla 13. Especificaciones de Butano comercial

| Prueba | Especificación | | Unidad | Método ASTM |
|-----------------------------------|----------------|--------|----------|-------------|
| | Mínimo | Máximo | | |
| Gravedad Específica a 60°F | 0,565 | 0,585 | - | D-1657 |
| Tensión de Vapor a 100 °F (38 °C) | 52 | 80 | psig | D-1267 |
| Residuo Volátil a 36°F / 2,2°C | | 2,2 | °C | D-1837 |
| Residuo por evaporación 100 ml | | 0,05 | ml | D-2158 |
| Corrosión lámina de Cobre | | 1 | | D-1838 |
| Contenido de Azufre Total | | 200 | ppm-peso | D-2784 |
| Humedad | Cumple | | | D-2713 |
| Poder calorífico Superior | Informar | | BTU/Lb | D-3588 |
| Composición: | | | | |
| C2- | | 2 | % vol | D-2163 |
| C3 | | 20 | % vol | D-2163 |
| IC4 y NC4 | 80 | | % vol | D-2163 |
| C5+ | | 2 | % vol | D-2163 |
| Diolefinas y Acetilenos | | 1.0 | ppm | D-2163 |
| Total Olefinas | | 10 | % vol | D-2163 |

Fuente: En base a datos de YPFB Corporación

GASOLINAS (Fondo de la Debutanizadora): el producto obtenido por el fondo de la debutanizadora deberá cumplir mínimamente con las siguientes especificaciones:

Tabla 14. Especificación de la Gasolina (Fondo de la debutanizadora)

| Prueba | Método | Unidad | Especificación | |
|--------------------------------|---------------|--------|----------------|--------|
| | ASTM D | | Minimo | Maximo |
| Tensión de Vapor Reid a 100 °F | ASTM D - 6378 | PSI | | 12 |
| Gravedad API a 60 °F | ASTM D - 4052 | API | | 85 |
| Color | VISUAL | - | INCOLORO | |
| Apariencia | VISUAL | - | CRISTALINA | |
| Gravedad especifica a 60/60 °F | ASTM D - 4052 | - | 0.65 | |

Fuente: En base a datos de YPFB Corporación

Nota: El CONTRATISTA FEED-EPC, debe considerar que eventualmente esta gasolina podrá ser utilizada dentro las Plantas de Propileno y Polipropileno como Gas Combustible para lo cual es responsabilidad del CONTRATISTA FEED EPC garantizar el diseño e implementación de todas las facilidades para su uso como combustible.

d) Definición de las unidades contenidas en la planta de procesos ISBL

El ISBL de la planta de Propileno incluye las siguientes unidades:

- Suministro y tratamiento de materia prima.
- Torre debutanizadora.
- Reacción.
- Recobro de calor de reacción para generación de vapor
- Regeneración continua del catalizador de reacción (de preferencia modularizada).
- Secado, compresión y enfriamiento del efluente de reacción
- Separación a baja temperatura (caja fría)
- Fraccionamiento de producto
- Purificación de hidrógeno (PSA)
- Facilidades de procesos ISBL tales como refrigeración, sistema de combustible, distribución de vapor y recuperación de condensado, red de purga y tambor separador, suministro y almacenaje de químicos,

pre-tratamiento de efluentes y agua de desecho, y cualquier otro sistema centralizado en los ISBL.

Para el diseño de la planta de Propileno se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

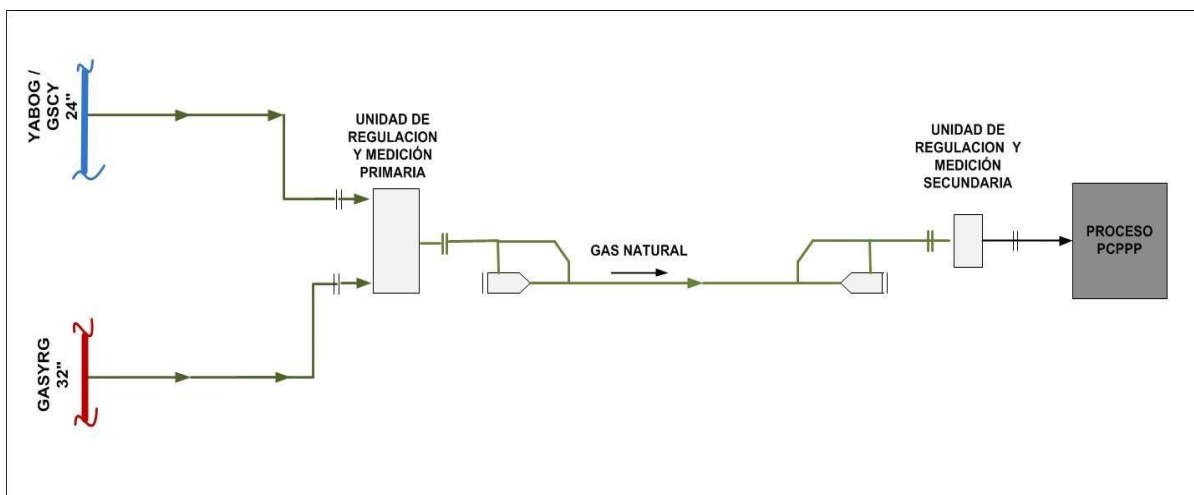
El CONTRATISTA FEED-EPC deberá diseñar puentes de medición para los productos, como ser GLP, Gas Combustible, Butano y para otros productos que pudieran ser producidos por las plantas y enviadas a usuarios externos (si aplica). Los puentes de medición serán instalados en los predios de la Planta, la misma que deberá estar acorde a la Norma API MPMS, OIML, ASME, considerando un medidor de flujo en operación y otro como respaldo (“stand by”). Ambos medidores deberán ser aptos y certificados para medición fiscal (“Custody Transfer”).

También el CONTRATISTA FEED-EPC deberá diseñar Puentes de Regulación de Presión (considerando una Válvula de Regulación en Operación y otra en Stand by) a la llegada de Materia Prima a la Planta y Gas Combustible, ubicados luego de la Estación de Medición, con todos sus accesorios (Filtros y Recipientes Separadores “Knock out Drum”).

Se diseñará un ducto que suministrará la materia prima (GLP) a la planta de Propileno que partirá desde la planta de Separación de Líquidos Carlos Villegas hasta las facilidades de la Planta.

Se diseñarán los ductos que transportarán corrientes secundarias de hidrocarburos a ser exportadas a la planta de separación de Líquidos Carlos Villegas como ser Butano, gasolina, etc.; además de ductos para la provisión de gas combustible desde el punto de interconexión más cercano como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6. Esquema de ductos de gas combustible para el PCPPP



Fuente: Elaboración propia en base a datos de YPF

El diseño de almacenamiento para materia prima, químicos, productos finales y subproductos se debe realizar en base a los requerimientos y mejores criterios de ingeniería para el óptimo funcionamiento de la Planta.

La materia prima recibida deberá ser acondicionada para cumplir con los requerimientos de calidad y las condiciones de presión y temperatura especificadas por el Licenciante de la tecnología de la planta de Propileno, antes del ingreso al proceso.

La planta contará con todos los sistemas de protección y recolección de alivio y/o venteo seguro diseñados para las condiciones de operación, parada segura y emergencia, siguiendo las normas internacionales y nacionales que apliquen.

Se deberá contar con válvulas de bloqueo antes de las PSV (Válvulas de Seguridad de Presión) y deberá contar con PSV múltiples con el fin de brindar mayor confiabilidad en la operación, para todo el sistema de alimentación de Materia Prima y donde se requiera.

5.3. PLANTA DE POLIPROPILENO

Para la fase de diseño FEED se utilizará la información desarrollada en el PDP realizada con el Licenciente seleccionado por YPFB.

Los requerimientos específicos para cada planta, deben ser confirmados con el Licenciente durante el desarrollo del PDP.

a) Capacidad nominal de planta y factor de servicio

La planta de Polipropileno debe tener una capacidad de 250 Toneladas métricas de Polipropileno con un total de 8000 h/año de operación.

La planta debe ser diseñada para operar en forma estable y continua en un rango de 50% a 100% de su capacidad nominal.

No se requiere provisiones ni pre-inversiones para lograr capacidad extra futura.

b) Materias primas

- Propileno grado polímero (mínimo 99.5 %mol) que será producido por la planta de Deshidrogenación de Propano ubicada aguas arriba de la planta de Polipropileno.
- Hidrógeno (mínimo 99.9% mol) que será producido por la planta de Deshidrogenación de Propano y purificado en una unidad PSA (de preferencia modularizada) ambas ubicadas aguas arriba de la Planta de Polipropileno.
- Etileno grado químico/polímero (mínimo 99.9 %mol) procedente del mercado externo y que será almacenado en el complejo petroquímico en esferas criogénicas. Los requerimientos específicos del Etileno serán confirmados durante el desarrollo del PDP.

c) Productos

La planta deberá ser diseñada para producir PP Homopolímero, Copolímero al Azar y Copolímero de Impacto.

Una lista de referencia de grados se muestra a continuación (Fuente: Estudio de la Ingeniería Conceptual de las plantas de Etileno, Polietileno, Propileno y Polipropileno):

- I. MFI = 3 homopolímero para película BOPP
- II. MFI = 25 homopolímero para fibra
- III. MFI = 13 copolímero aleatorio (3 a 4 por ciento de contenido de etileno) para empaque
- IV. MFI = 0,45 copolímero de impacto (9 a 10 por ciento de contenido de etileno) para tubería de baja presión por extrusión
- V. MFI = 50 copolímero de impacto (9 a 10 por ciento de contenido de etileno) para moldeo por inyección

A partir de esta lista el Licenciante de la tecnología propondrá su lista de grados cubiertos por la licencia para la aprobación de YPFB a ser empleados durante las pruebas de garantía.

Un desglose promedio de los productos es el siguiente

1. Homopolímero 68%
2. Copolimero al azar 8%
3. Copolimero de impacto 24%

(Fuente: Estudio de la Ingeniería Conceptual de las Plantas de Etileno, Polietileno, Propileno y Polipropileno):

d) Definición de las unidades contenidas en la planta de procesos

La Planta de Polipropileno incluye las siguientes unidades:

- Preparación de co-catalizador y catalizador, Sistema de medición de catalizador y
- Circuito de lavado del co-catalizador
- Pre-polimerización y Polimerización en circuitos de reactores
- Desgasificación de polímeros y almacenamiento de Propileno.
- Copolimerización de fase gaseosa y Secado de polímero
- Separador de Etileno y Secado de Polímero
- ISBL Servicios del proceso
- Purificación del monómero (si aplica)
- Adición de polímero y extrusión
- Sistema de transporte neumático desde extrusión a mezcla, mezcla de producto/silos de homogeneización y sistema de transporte neumático desde mezcla a la brida de entrada de los silos de empacado de producto.
- Facilidades de procesos ISBL tales como refrigeración, sistema de combustible, distribución de vapor y recuperación de condensado, red de purga y tambor separador, suministro y almacenaje de químicos, pre-tratamiento de efluentes y agua de desecho, y cualquier otro sistema centralizado en los ISBL.

Para el diseño de la planta de Polipropileno se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones: El Diseño Base será una planta de Polipropileno Homopolímero y Copolímero al Azar, considerando todas las facilidades y espacio físico para la implementación del segundo reactor y todas las facilidades para el suministro y recepción de Etileno, catalizadores y otros necesarios para la producción de Copolímero de Impacto.

El suministro del Propileno a la Planta para la producción de Polipropileno deberá cumplir los requerimientos de calidad y las condiciones de presión y

temperatura especificadas por el Licenciante de la planta en el punto de entrega.

La Planta contará con todos los sistemas de protección y recolección de alivio y/o venteo seguro diseñados para la operación, parada segura y emergencia, siguiendo las normas internacionales y nacionales que apliquen.

Se deberá contar con válvulas de bloqueo antes de las PSV (Válvulas de Seguridad de Presión) y deberá contar con PSV múltiples con el fin de brindar mayor confiabilidad en la operación, para todo el sistema de alimentación de Materia Prima y donde se requiera.

El diseño de almacenamiento de químicos, catalizadores, subproductos se debe realizar en base a los requerimientos y mejores criterios de ingeniería para el óptimo funcionamiento de la Planta.

El requerimiento de almacenamiento de producto se debe realizar en base a criterios mínimos de ingeniería para el óptimo funcionamiento de la Planta.

El suministro de Etileno deberá cumplir los requerimientos de calidad y las condiciones de presión y temperatura especificadas por el Licenciante.

Asimismo, en el diseño se deberá considerar, las facilidades para el transporte, recepción, adecuación, almacenaje y todos los aspectos de diseño que implique el suministro hasta la unidad de Polipropileno, sin embargo todas estas facilidades concernientes al suministro de Etileno y el segundo reactor, no serán construidas en la primera fase del Proyecto más si deberán ser diseñadas como alcance de la fase FEED del Proyecto. Las necesidades de OSBL asociadas al segundo reactor, deberán ser tratadas como un caso de Ingeniería de Valor, por lo cual el CONTRATISTA FEED-EPC debe considerar las horas asociadas de ingeniería para este fin. Resultado del análisis de Ingeniería de Valor se determinará si las instalaciones de OSBL mencionadas serán diseñadas con la capacidad

futura incluida o solo preverá los espacios y requerimientos a nivel de ingeniería de detalle para una ampliación futura.

Las Plantas estarán diseñadas también para la optimización en el consumo de agua considerando la tecnología que permita reutilizar la totalidad de agua considerando cero descargas líquidas.

Los productos y/o subproductos deben ser completados o desglosados de forma detallada y de acuerdo a otros requerimientos en el límite de batería.

Corrientes secundarias y su composición serán definidas en conjunto con el Licenciate de la tecnología recomendada para cada unidad de procesos a fin de maximizar el re-uso de las corrientes de subproductos generados y evitar posible impacto en el ambiente.

5.3.1. OSBL (Fuera de los límites de la batería)

5.3.1.1. *Tanques de almacenamiento*

El diseño conceptual de las plantas tiene previsto un área para colocar los tanques de almacenaje de los productos generados y de los productos a ser requeridos como materia prima (GLP, Butano, Gasolina, monómeros, co monómeros y otros).

Como parte del diseño FEED, se definirá la cantidad de tanques requeridos por tipo de producto generado, características de construcción y su ubicación definitiva dentro de la Planta, de acuerdo al tiempo de almacenamiento mínimo que se establezca en el Proyecto.

Como resultado del estudio de confiabilidad que vaya a desarrollar el FEED-EPC, la integración entre plantas de procesos y criterios de flexibilidad operacional.

5.3.1.2. Sistema de generación y distribución eléctrica

La planta de Generación Eléctrica se diseñará para generar y distribuir la energía eléctrica que permita satisfacer todas las demandas para áreas de procesos, servicios auxiliares y toda la infraestructura de la Planta. El sistema principal de generación eléctrica estará constituido por turbinas a Gas y sus sistemas auxiliares listados a continuación de manera enunciativa más no limitativa:

- Paquete de acondicionamiento de gas combustible.
- Sistema de enfriamiento por aire.
- Sistema de inyección de agua desmineralizada, para el control de emisiones y lavado de compresor.
- Sistema de lubricación.
- Aire comprimido para instrumentos.
- Sistemas de soporte para control, detección/extinción de fuego y gas; y parada de emergencia.

Adicionalmente, se instalará un sistema de Generación de Emergencia, para “blackstart” y suplir las cargas de emergencia en caso de una falla en el sistema de generación eléctrica principal. El sistema de generación de emergencia utilizará combustible diésel y contará con un tanque de almacenamiento de diésel con la capacidad mínima para 24 horas de operación.

El diseño FEED debe considerar el suministro de energía eléctrica, evaluando los resultados de los estudios realizados en la Ingeniería Conceptual y confirmados durante la ejecución de los PDP de las plantas de procesos realizados por los Licenciantes, implementando la generación y distribución eléctrica, para satisfacer todas las demandas estipuladas para áreas de procesos, actividades industriales, logísticas y administrativas de toda la Planta.

En general las características de la Planta de Generación Eléctrica deben ser verificadas por el FEED-EPC, tomando en cuenta los estudios de Servicios Auxiliares e Infraestructura.

Así mismo el FEED-EPC desarrollara un trabajo de ingeniería conceptual que determine los requerimientos del Proyecto para la interconexión del sistema eléctrico del Proyecto con el SIN (Sistema Interconectado Nacional), en previsión de fallas en el sistema de generación de energía eléctrico de planta.

5.3.1.3. Sistema de distribución y acondicionamiento de gas combustible

Se debe considerar como parte del diseño FEED, el suministro, distribución y acondicionamiento del gas combustible a las instalaciones del PCPPP, de tal forma que se garantice el requerimiento establecido para las unidades Licenciadas (ISBL) y las unidades no Licenciadas (OSBL).

Se tiene previsto que el Gas Combustible será tomado de los Gasoductos GASYRG (Gasoducto Yacuiba - Rio Grande) y GSCY (Gasoducto Santa Cruz – Yacuiba). En la tabla 15 se muestran algunas características de los Gasoductos mencionados.

Tabla 15. Condiciones operativas de los Gasoductos GASYRG y GSCY

| <u>Característica</u> | <u>GASYRG</u> | <u>GSCY</u> |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|
| Presión (psig) | 700 - 850 | 670 - 830 |
| Temperatura (°C) | 38 - 49 | 38 - 49 |
| Capacidad de transporte (MMmcd) | 20 | 9 |

Fuente: En base a datos de YPFB

El FEED-EPC deberá evaluar el punto óptimo de interconexión (Tie-In), trazado y dimensionamiento del gasoducto, diseño de los puentes de

medición y diseño de todas las unidades necesarias para abastecer de gas combustible el PCPPP.

La finalidad principal de los Gasoductos GASYRG y GSCY en proximidades del PCPPP es la exportación de Gas Natural a Argentina, se prevé que ambos Gasoductos manejan el mismo Gas proveniente de los Mega Campos Margarita y San Antonio. A continuación se muestra de manera referencial la composición del Gas Natural transportadas por el GASYRG y GSCY, el cual previo acondicionamiento de acuerdo a los requerimientos del PCPPP será utilizado como Gas Combustible. Sus propiedades y algunos contaminantes típicos presentes en el Gas Natural que será usado como Gas Combustible para el proyecto de manera referencial es el siguiente:

Tabla 16. Composición, propiedades y contaminantes del Gas combustible

| <u>COMPOSICIÓN</u> | <u>PORCENTAJE MOLAR</u> |
|---------------------------|--------------------------------|
| N2 | 0,56 |
| CO2 | 1,59 |
| C1 | 88,32 |
| C2 | 6,13 |
| C3 | 2,19 |
| iC4 | 0,36 |
| nC4 | 0,49 |
| iC5 | 0,15 |
| nC5 | 0,10 |
| C6+ | 0,011 |
| TOTAL | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de YPFB

Tabla 17. Propiedades y valor del gas combustible

| <u>PROPIEDADES</u> | <u>VALOR</u> |
|------------------------------------|---------------------|
| Caudal de Gas Combustible al PCPPP | Nota 2 |
| Gravedad Especifica | 0,64 |
| Poder Calorífico (BTU/PC) | 1.083,7 |

Fuente: En base a datos de YPFB

Tabla 18. Contaminantes presentes en el gas

| <u>CONTAMINANTES PRESENTES EN EL GAS</u> | <u>VALOR</u> |
|---|---------------------|
| Ácido Sulfhídrico (H ₂ S) (mg/m ³) | 1,71 |
| Sulfuro de Mercaptano (MeSH) (mg/m ³) | 0,83 |
| Carbonilo de Sulfuro (COS) (mg/m ³) | 2,70 |
| (MeSH) + (COS) Total (mg/m ³) | 3,52 |
| Azufre Total (mg/m ³) | 3,60 |
| Mercurio (µg/m ³) | 0,01 |

Fuente: En base a datos de YPFB

Nota 1: Todos los valores de Gas Combustible serán confirmados durante el desarrollo del FEED.

Nota 2: El FEED-EPC deberá determinar el caudal óptimo de diseño del gasoducto en base a la información de consumos del Licenciante y la estimación de los consumos del OSBL (que forma parte de los servicios del CONTRATISTA FEED-EPC).

Asimismo, el FEED-EPC debe considerar en el diseño de este sistema, el gas combustible que se genera en las unidades de procesos PDH (como son: Tail Gas, Off Gas, Net Gas y Gasolina Blanca) los volúmenes y especificaciones de estas corrientes serán definidos en el desarrollo del PDP. Si bien la mayoría de los fluidos considerados como gas combustible están en estado gaseoso hay corrientes como la gasolina que se extrae del fondo de la debutanizadora está en estado líquido para lo cual es necesario incorporar en el diseño un vaporizador y todo lo concerniente para su utilización como Gas Combustible.

5.3.1.4. Sistema de abastecimiento de agua

Se prevé que el agua cruda será suministrada a la Planta a través de un acueducto que capta la misma del Río Pilcomayo en Villamontes, de acuerdo a la alternativa con más puntaje propuesta en el Estudio de Micro y Macro Localización. Esta toma de agua se encuentra ubicada aproximadamente a

69 kilómetros del sitio de emplazamiento de las plantas. El suministro de agua cruda será continuo y confiable.

Se aclara que la procura, ingeniería de detalle y construcción propiamente dicha del acueducto no forman parte del alcance del FEED-EPC, por tanto será obligación de YPFB hacer la entrega del acueducto en el punto de ingreso a la piscina o embalse para almacenamiento de agua cruda. Es decir que la piscina o embalse forman parte del alcance del FEED-EPC.

El único alcance que el FEED-EPC tendrá con respecto a este acueducto se circunscribe a los siguientes puntos, los cuales se fijan como entregables de la fase FEED, los cuales deberán entregarse en un plazo no mayor a 3 meses de haber recibido el último PDP de los Licenciantes:

- Cálculo del requerimiento de caudal, presión, variables físicoquímicas, etc del agua que YPFB entregara en el punto de límite de batería que se fije durante el desarrollo del FEED.
- Determinación del arreglo de bombas más conveniente para la estación de bombeo que se instalara en el punto de toma de agua y cálculo de la potencia requerida para las mismas.
- Entrega de la filosofía de operación de la estación de bombeo.
- Desarrollo y entrega de las bases de diseño de construcción completas (piping, mecánica, electricidad, instrumentación, etc) que se involucren en este trabajo, de forma que YPFB pueda emplear los mismos para iniciar los trabajos de ingeniería de detalle y construcción del acueducto de la manera más temprana posible y en concordancia con el cronograma general del proyecto.
- Desarrollo de una ingeniería de valor que determine en función del arreglo de bombas más óptimo y su potencia, la fuente de energía más adecuada para el accionamiento de dichas bombas, tomando como alternativas: (1) accionamiento mediante turbina a gas o motor a gas,

cuya fuente serán alguno de los gasoductos cercanos que pasan por el área; (2) accionamiento eléctrico, cuya fuente será alguna de las líneas de media y alta tensión que llegan a Villamontes mediante el SIN (Sistema Interconectado Nacional) que es administrado por el CNDC (Comité Nacional de Despacho de Carga) o las distribuidoras de energía eléctricas locales, según sea el punto de interconexión. En ambos casos se indicara el proceso administrativo y requisitos que YPFB deberá reunir para lograr la interconexión a las fuentes de energía estudiadas. Este trabajo de ingeniería de valor recomendará la fuente de energía más apropiada para la aplicación tomando en cuenta factores económicos (mediante valoraciones económicas de la implementación de las alternativas estudiadas, en base a costos de proyectos similares previos realizados. Proporcionando un desglose detallado de los equipos y servicios necesarios en base a listados de materiales y servicios), técnicos, sociales y ambientales.

- Una vez hecha la selección de la fuente de energía por parte de YPFB, el FEED-EPC desarrollará y entregara a YPFB las bases de diseño de construcción completas (piping, mecánica, electricidad, instrumentación, etc) que se involucren para la implementación de la alternativa seleccionada, de forma que YPFB pueda emplear los mismos para iniciar los trabajos de ingeniería de detalle y construcción de la alternativa seleccionada. Este último punto deberá ser entregado hasta un mes después de que YPFB haya realizado la selección de la fuente de energía a emplearse.

El tratamiento del agua cruda para llevarla a las condiciones de alimentación que requiere la planta: agua desmineralizada, agua potable, agua de enfriamiento, agua del sistema contra incendios y otros debe realizarlo el FEED-EPC, mediante procesos de tratamiento requeridos establecidos en las presentes especificaciones y aprobadas por YPFB.

El agua para almacenamiento deberá cumplir con la caracterización de acuerdo a lo expresado en las legislaciones nacionales bolivianas.

El agua de reposición para el sistema contra incendio será derivada del tanque de almacenamiento de agua cruda, contando con una bomba exclusiva para suplir los requerimientos de reposición para dicho sistema, en caso de que ocurra un evento, pues el sistema contra incendio debe contar con un tanque exclusivo.

5.3.1.5. Sistema de agua de enfriamiento

El sistema de agua de enfriamiento será diseñado para alimentar a los diferentes usuarios del sistema que pueden estar en las áreas de las unidades principales del proceso así como en el área de servicios auxiliares.

El sistema de agua de enfriamiento estará conformado por una torre de enfriamiento, y las bombas de distribución. Para ello deberá consultarse lo recomendado por el GPSA (Gas Processors Suppliers Association) en la sección 11.

Para la operación del sistema de agua de enfriamiento será necesario, definir los ciclos de concentración, el flujo de reposición de agua de enfriamiento y la inyección de químicos que permita mantener el agua dentro de la piscina de la torre en las especificaciones establecidas.

5.3.1.6. Residuos industriales

El sistema de manejo de residuos Industriales, líquidos y sólidos en la Planta, debe diseñarse para manejar los distintos tipos de residuos de acuerdo a su naturaleza, como lo son:

a. Emisiones Gaseosas

En los sistemas de combustión las emisiones de Óxidos Nitrosos (NOx) para todos los sistemas deberán ser especificadas con diseños de quemadores altamente eficientes que reduzcan la emisión de este contaminante a fin de cumplir con la normativa ambiental vigente (Ley del Medio Ambiente N° 1333 y sus reglamentos – Reglamento Ambiental del Sector de los Hidrocarburos – Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero). Así mismo, el sistema de generación eléctrica, las turbinas de gas deberán ser especificadas con diseños de quemadores altamente eficientes. En el caso que el sistema de quemadores no pueda garantizar las bajas emisiones de NOx se debe considerar la inyección de agua desmineralizada.

También se recomienda la instalación de analizadores CEMS (Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones) que permitan un monitoreo continuo, para establecer correctivos necesarios en caso de desviaciones, y así evitar violaciones a las normativas ambientales.

La Planta contará con una antorcha (Flare), la cual recibirá todos los venteos provenientes del sistema de alivio para realizar una quema controlada y segura.

Para ello es necesario calcular la altura de la antorcha y la distancia de separación con respecto a las unidades de proceso, al igual que respecto a terceros (límite de batería de la Planta) mediante el cálculo de la intensidad de radiación y la geometría de la nube de dispersión de gas inflamable.

La normativa que se recomienda usar para el diseño del sistema de antorchas son las normas API RP 520 Relief Valve Sizing, la API 521 Guide for Pressure – Relieving and Depressuring Systems y la API 537 Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service.

b. Residuos Líquidos

Los residuos o efluentes líquidos generados en la Planta son las aguas aceitosas, los drenajes químicos, las aguas de lluvia contaminadas y no contaminadas y aguas sanitarias.

Las aguas aceitosas serán recolectadas a través de un sistema de cabezales y cámaras, para luego ser tratadas a través de un proceso completo en donde estarán involucrados varios equipos y diferentes procedimientos para obtener un agua de acuerdo a las normativas ambientales que apliquen en el caso, para su disposición final.

Las aguas serán recolectadas en drenajes químicos a través de cabezales y enviadas a una fosa de neutralización. Una vez sea neutralizada el agua, se debe aplicar tratamiento biológico a la misma.

Las aguas de lluvia que puedan ser contaminadas accidentalmente deberán ser recolectadas en una piscina que funciona como separador API.

Las aguas de lluvia no contaminadas, serán recolectadas de zonas en donde no es posible la contaminación de las mismas, y ellas son recolectadas en cámaras abiertas, para su disposición final.

Las aguas sanitarias de la Planta serán recolectadas en una red de drenajes, para su posterior tratamiento, y finalmente obtener un agua con las características mínimas exigidas por la Normativa Ambiental vigente del Estado Plurinacional de Bolivia para su disposición final.

c. Residuos Sólidos

En la planta de tratamiento de agua se generarán tres tipos de sólidos:

- Lodos “aceitosos” provenientes del tratamiento de aguas aceitosas.

- Lodos provenientes de los procesos de tratamiento de aguas sanitarias (con grasas y materia biológica).
- Lodos desgatados provenientes del tratamiento biológico que se aplica a las aguas (lodos activados que con el tiempo pierden sus propiedades).

Para cada uno de los tipos de lodos se definirá el procedimiento para su disposición final sin violar la Normativa Ambiental vigente del Estado Plurinacional de Bolivia.

5.4. DISEÑO DE EQUIPOS PRINCIPALES PARA LA PLANTA

5.4.1. Balance de materia y energía en los equipos

Teniendo en cuenta que la ecuación general del balance de masas es:

$$\mathbf{Entrada + Generacion - salida - consumo = Acumulacion}$$

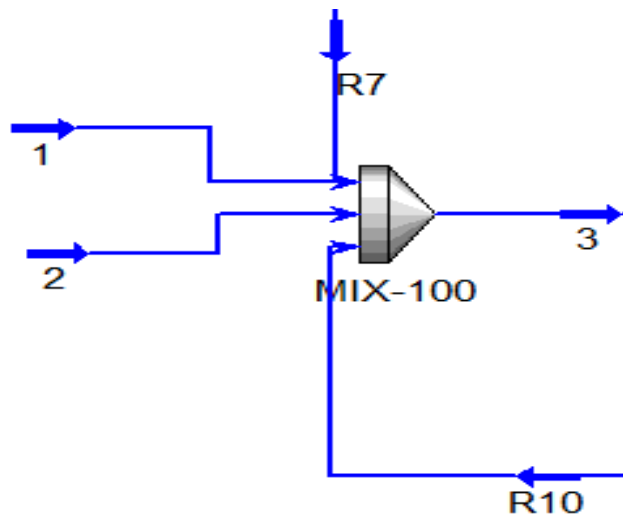
$$\mathbf{Entrada = salida}$$

Por tanto, se toma en cuenta esta expresión para realizar el balance de materia para un proceso continuo como es el caso de la planta de producción de propileno y polipropileno y poder desarrollar las ecuaciones de balance dentro del proceso.

Una vez calculados los flujos másicos y molar del etileno, agua y metano que ingresan a la alimentación del proceso se realiza el balance de materia y energía.

5.4.1.1. Balance del mixer

Este instrumento será el que se encargue de hacer recircular los residuos del proceso.



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 19. Propiedades calculadas de las corrientes de entrada y salida

| Nombre de la corriente | Unit | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | | Entrada | Entrada | Salida |
| Fracción de vapor | | 1 | 0 | 0,45453163 |
| Temperatura | F | 77 | 77 | 168,667276 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo molar | kgmole/h | 32 | 32 | 98,0651216 |
| Flujo másico | lb/hr | 1979,11708 | 4236,47933 | 10035,7313 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 353,61834 | 275,876108 | 958,584142 |
| Flujo de calor | Btu/hr | 1577264,61 | -13968764,8 | -21536015,2 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

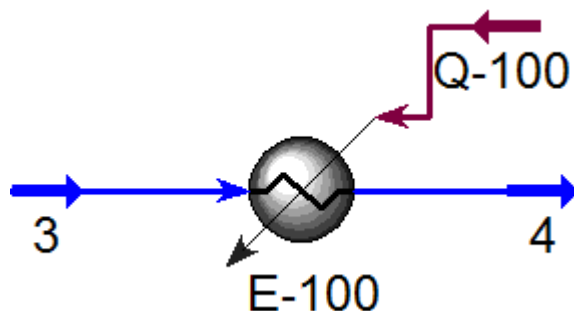
Tabla 20. Composición molar de los componentes

| | <i>Unit</i> | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|-------------|---|---|------------|
| Fracción molar del Etileno | | 1 | 0 | 0,43871684 |
| Fracción molar del Hidrogeno | | 0 | 1 | 0,54680228 |
| Fracción molar propano | | 0 | 0 | 0,01448088 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

5.4.1.2. Balance en el calentador (e-100)

Vaporiza toda la mezcla y la lleva a su punto de rocío



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 21. Propiedades de corriente de entrada y salida del enfriador

| Nombre de corrientes | Unit | 3 | 4 |
|----------------------|------|------------|---|
| Fracción fase | | 0,45453163 | 1 |

| | | | |
|-------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
| vapor | | | |
| Temperatura | F | 168,667276 | 327,721736 |
| Presión | Psia | 100 | 100 |
| Flujo molar | kgmole/h | 98,0651216 | 98,0651216 |
| Flujo másico | lb/hr | 10035,7313 | 10035,7313 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 958,584142 | 958,584142 |
| Flujo de calor | Btu/hr | - 21536015,2 | - 19787386,6 |

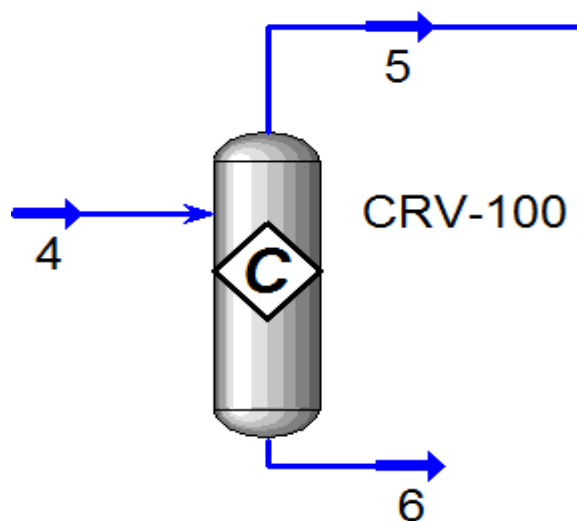
| Fracción molar de los componentes | | | |
|-----------------------------------|------|------------|------------|
| | Unit | 3 | 4 |
| propano | | 0,43871684 | 0,43871684 |
| hidrogeno | | 0,54680228 | 0,54680228 |
| butano | | 0,01448088 | 0,01448088 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

5.4.1.3. Balance en el reactor de conversión (crv-100)

La reacción exotérmica (4) tiene lugar en el reactor. Se elimina calor del reactor generando una corriente de vapor en el lado de la carcasa de los tubos.

Las reacciones son irreversibles y las expresiones de las velocidades de dichas reacciones vienen dadas por las ecuaciones a continuación:



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 22. Propiedades de las corrientes de entrada y salida en el Reactor

| | Unit | 4 | 5 | 6 |
|--|------------|-----------------|-----------------|------------|
| | | Entrada | Salida | Salida |
| Fracción fase vapor | | 1 | 1 | 0 |
| Temperatura | F | 327,721736 | 701,676734 | 701,676734 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 98,0651216 | 67,9491471 | 0 |
| Flujo másico | lb/hr | 10035,7313 | 10035,831 | 0 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 958,584142 | 808,817456 | 0 |
| Flujo de calor | Btu/hr | - 19787386,6 | - 19787208,8 | 0 |
| Fracción Molar de los componentes | | | | |
| | Unit | 4 | 5 | 6 |

| | | | | |
|------------------|--|------------|------------|------------|
| | | | | |
| hidrogeno | | 0,43871684 | 0,18994861 | 0,04059992 |
| propano | | 0,54680228 | 0,34593897 | 0,39192157 |
| butano | | 0,01448088 | 0,46411242 | 0,56747851 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| Componente | Peso molecular |
|------------|----------------|
| butano | 28.054 |
| hidrogeno | 60.052 |
| propano | 88.107 |

Ecuación del balance de energía:

$$\Delta E_c + \Delta P_p + \Delta H = Q + W$$

Para el proceso adiabático: $Q = 0$; $W = 0$

$$\Delta H = 0$$

El cambio de energía cinética y energía potencial se consideran despreciables por lo que el balance de energía se reduce a:

$$\Delta H = \sum_{salida} n_i * H_i - \sum_{entrada} n_i * H_i$$

Para resolver el balance de energía se utilizarán las entalpías de formación de los compuestos que intervienen en la reacción.

Ecuaciones de capacidades caloríficas:

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

$$\int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT = \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} (a + bT + cT^2 + dT^3) dT$$

$$\int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT = a(T_{ent} - T_{ref}) + b \frac{(T_{ent}^2 - T_{ref}^2)}{2} + c \frac{(T_{ent}^3 - T_{ref}^3)}{3} + d \frac{(T_{ent}^4 - T_{ref}^4)}{4}$$

Propano C_3H_8 :

Del apéndice C del libro Smith Van ess se tiene los siguientes datos:

$$\Delta H_{25^\circ C_3H_8}^0 = 52283 \text{ J/mol}$$

$$A = 1.424$$

$$B = 14.394$$

$$C = -4.392$$

Remplazando datos en la siguiente ecuación se tiene:

$$\int_{25}^{164.3} C_p dT = a(T_{ent} - T_{ref}) + b \frac{(T_{ent}^2 - T_{ref}^2)}{2} + c \frac{(T_{ent}^3 - T_{ref}^3)}{3} + d \frac{(T_{ent}^4 - T_{ref}^4)}{4}$$

$$\int_{25^\circ C}^{164.3} C_p dT = -7.92 * 10^{12} \text{ J/mol}$$

$$H_i = \Delta H_{C_3H_8} + \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT$$

Propano en la entrada:

$$H_{C_3H_8} = 52283 \frac{J}{mol} - 7,6733E12 \frac{J}{mol} = -7.91 * 10^{11} KJ/mol$$

Propano en la salida:

$$\int_{25}^{371.2} C_p dT = a(T_{ent} - T_{ref}) + b \frac{(T_{ent}^2 - T_{ref}^2)}{2} + c \frac{(T_{ent}^3 - T_{ref}^3)}{3} + d \frac{(T_{ent}^4 - T_{ref}^4)}{4}$$

$$\int_{25^{\circ}C}^{371^{\circ}C} C_p dT = -2.34 * 10^{12} J/mol$$

$$H_i = \Delta H_{C_3H_8} + \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT$$

$$H_{C_3H_8} = 52283 \frac{J}{mol} - 2.34 * 10^{12} \frac{J}{mol} = -2.34 * 10^1 KJ/mol$$

5.4.1.4. DISEÑO DEL REACTOR (CRV-100)

Datos técnicos

Se han obtenido los siguientes datos para estudiar el funcionamiento del reactor adiabático.

| | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|
| Presión de entrada (Psi.) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Conversión | 0.61 | 0.63 | 0.77 | 0.82 |

| | | | | |
|-----------------------|----|----|-----|-----|
| Velocidad de reacción | 33 | 62 | 119 | 177 |
|-----------------------|----|----|-----|-----|

Leyes de reactividad

$$r_1 = K_1 C_{C_3H_8}^\alpha C_{H_2O}^\beta$$

Ecuación de diseño para un reactor de lecho fijo

$$F_{AO} = \frac{dx}{dw} = -a$$

$$W = F_{AO} \int_0^x \frac{dx}{-r_a}$$

La velocidad de flujo molar de alimentación es:

$$F_{AO} = V_0 C_{AO} = \frac{V_0 Y_{AO} P_0}{RT_0}$$

Del balance realizado en el reactor tenemos:

$$F_{C_3H_8} = 28.6 \frac{KJ}{mol}$$

$$W = F_{AO} \int_0^x \frac{dx}{-r_a}$$

Datos de velocidad de reacción

| x | -r _a (mol/m ³ min.) | -r _a (mol/m ³ seg.) |
|------|---|---|
| 0.61 | 33 | 0.57 |
| 0.63 | 67 | 1.22 |
| 0.77 | 130 | 2.39 |
| 0.82 | 180 | 2.97 |

Fuente: <file:///C:/Users/Mary/Documents/cinetica%20de%20acetato%20de%20etilo.pdf>

La masa del catalizador varia por el reciproco de la velocidad

| x | 0.61 | 0.63 | 0.77 | 0.82 |
|---|-------|------|------|------|
| -r _a (mol/m ³ seg.) | 0.57 | 1.22 | 2.39 | 2.97 |
| 1/r _a (m ³ seg/mol) | 1.75 | 0.82 | 0.42 | 0.34 |
| F _{AO} /r _a (m ³) | 15.20 | 7.15 | 4.21 | 2.32 |

Mediante un integral se evalúa el área sombreada bajo la curva para hallar el volumen del reactor.

Del balance realizado en el reactor se tiene:

$$F_{AO} = 28.6 \text{ KJ/mol} \cdot 0.96 = 24.456 \text{ KJ/mol}$$

$$F_{AO} = 7.49 \text{E-3 KJ/seg.} \cdot 1000 \text{ mol/KJ}$$

$$F_{AO} = 7.49 \text{ mol/seg.}$$

La regla de Simpson 3 octavos (de cuatro pruebas)

$$W = \frac{3}{8}h(f_1(x_0) + 3f_2(x_1) + 3f(x_2) + f(x_3))$$

Dónde:

$$h = \frac{x_3 + x_0}{3}$$

$$x_1 = x_0 + h$$

$$x_2 = x_0 + 2h$$

$$W = \frac{3}{8} \left(\frac{0.82 - 0.61}{3} \right) (15.20 + 3 * 7.15 + 3 * 4.21 + 2.32)$$

El volumen del reactor es:

$$W = 1.3545 \text{m}^3 = 1354.5 \text{ lt.}$$

Parámetros de diseño “Datos del catalizador y el reactor”

Tabla 23. Parámetros de diseño

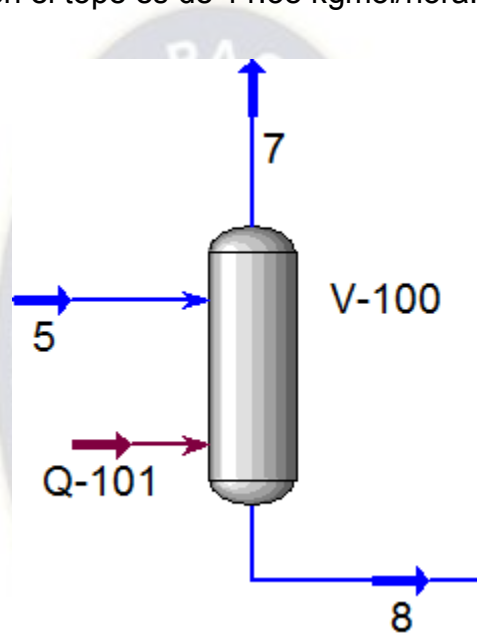
| Parámetro | Valor |
|---|--------------|
| Densidad (Kg/m ³) | 1.800 |
| Longitud de reactor (m) | 8,011 |
| Densidad de lecho de catalizador (Kg/m ³) | 1.123 |
| Diámetro interior del tubo (m) | 0.038 |
| Diámetro exterior del tubo (m) | 0.042 |
| Número de tubos | 4,900 |
| Fracción de huecos Capacidad de calor (KJ/KgK) | 0.40 |
| Diámetro de partículas | 6,02E-7 |

Fuente: Núñez, 2011, Comportamiento dinámico de un reactor

Como subproductos del proceso de obtención del propileno se obtienen bajos porcentajes de acetato de hidrocarburos saturados que fácilmente se deshidratan, obteniéndose así porcentajes de 95 a 98% de propileno.

5.4.1.5. Balance en el separador (v-100)

Se cuenta con un separador que consta de una chaqueta para enfriar Q-101 donde el flujo molar en el tope es de 11.38 kgmol/hora.



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 24. Propiedades de la corriente de entrada y salida

| | Unit | 5 | 7 | 8 |
|----------------------------|------|------------|--------|--------|
| | | Entrada | Salida | Salida |
| Fracción fase vapor | | 1 | 1 | 0 |
| Temperatura | F | 701,676734 | 100 | 100 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |

| | | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
| Flujo Molar | kgmole/h | 67,9491471 | 11,3780047 | 56,5711425 |
| Flujo másico | lb/hr | 10035,831 | 744,152913 | 9291,67808 |
| Caudal liquido | barrel/day | 808,817456 | 126,682727 | 682,134729 |
| Flujo de calor | Btu/hr | - | 415557,378 | - |
| | | 19787208,8 | | 24252538,3 |

| Fracción molar de los componentes | | | | |
|-----------------------------------|------|------------|------------|------------|
| | Unit | 5 | 7 | 8 |
| butano | | 0,18994861 | 0,97159233 | 0,03273867 |
| Hidrogeno | | 0,34593897 | 0,00332468 | 0,41484807 |
| Propano | | 0,46411242 | 0,025083 | 0,55241325 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance del separador:

$$F_5 = F_7 + F_8$$

- **Balance de materia por componentes:**

Balance de materia para el etileno ($X_{C_3H_8}$):

$$X_{C_3H_8} + F_5 = X_{C_3H_8} * F_7 + X_{C_3H_8} * F_8$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_5 = X_{H_2O} * F_7 + X_{H_2O} * F_8$$

De las corrientes de salida 7 y 8 se obtienen las siguientes fracciones molares del proceso.

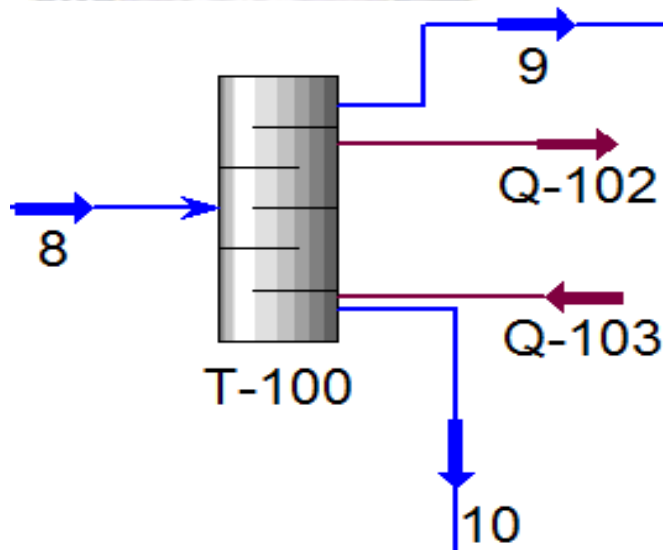
Fracción molar en la corriente de salida 7

Propano $X_{C_3H_8}$ 0.9716

| | | |
|--|-----------------|--------|
| Hidrogeno | X_{H_2} | 0.0033 |
| Butano | $X_{C_4H_{10}}$ | 0.0251 |
| Fracción molar en la corriente de salida 8 | | |
| Propano | $X_{C_3H_8}$ | 0.0294 |
| Hidrogeno | X_{H_2} | 0.4624 |
| Butano | $X_{C_4H_{10}}$ | 0.5082 |

5.4.1.6. Balance en la columna 1, corto y riguroso (T-100, T-103)

El proceso se obtendrá en fase líquida donde el componente más ligero será el propano



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| T-100 | | |
|----------------|-------------|--------|
| Minimum Reflux | 0,4622 | |
| Minimum Trays | 4,703 | |
| Actual Trays | 8,576 | |
| Optimal Feed | 3,993 | |
| Condenser Duty | -2,622e+006 | Btu/hr |
| Reboiler Duty | 3,099e+006 | Btu/hr |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance en la columna 1:

$$F_8 = F_9 + F_{10}$$

- **Balance de materia por componentes:**

Balance de materia para el etileno ($X_{C_3H_8}$):

$$X_{C_3H_8} + F_8 = X_{C_3H_8} * F_9 + X_{C_3H_8} * F_{10}$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_8 = X_{H_2O} * F_9 + X_{H_2O} * F_{10}$$

De las corrientes de salida 9 y 10 se obtienen las siguientes fracciones molares del proceso.

Fracción molar en la corriente de salida 9

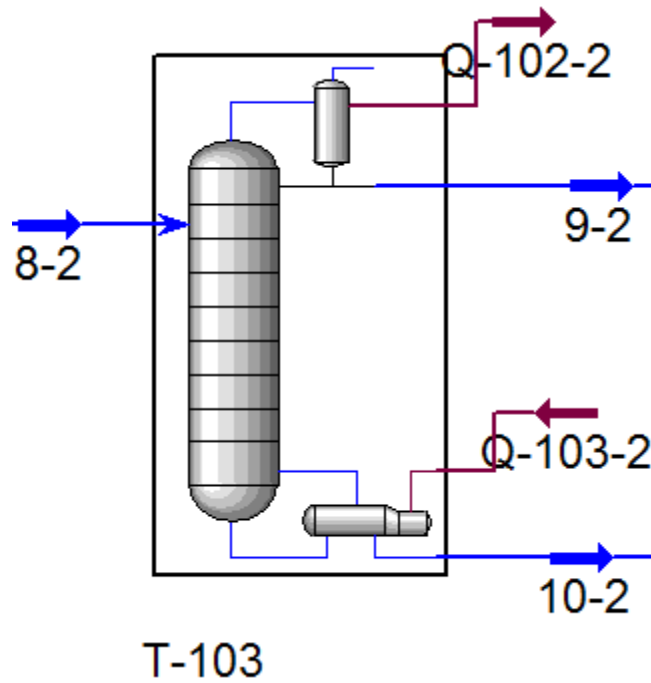
Propano $X_{C_3H_8}$ 0.0551

Hidrogeno X_{H_2} 0.0500

Butano $X_{C_4H_{10}}$ 0.8949

Fracción molar en la corriente de salida 10

| | | |
|-----------|-----------------|--------|
| Propano | $X_{C_3H_8}$ | 0.0000 |
| Hidrogeno | X_{H_2} | 0.9500 |
| Butano | $X_{C_4H_{10}}$ | 0.0500 |



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 25. Propiedad de la corriente de entrada y salida en la columna 1

| | Unit | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|----------|------------|------------|------------|
| Fracción de Vapor | | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura | F | 100 | 141,048199 | 372,303278 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 56,5711425 | 33,637951 | 22,9331915 |
| Flujo másico | lb/hr | 9291,67808 | 6184,63161 | 3107,04646 |

| | | | | |
|---|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 682,134729 | 477,455832 | 204,678897 |
| Flujo de calor | Btu/hr | - 24252538,3 | - 14127177,2 | - 9648560,89 |

| | Unit | 8 | 9 | 10 |
|------------------|-------------|------------|------------|-----------|
| butano | | 0,03273867 | 0,05505877 | 8,52E-14 |
| Hidrogeno | | 0,41484807 | 0,05 | 0,95 |
| Propano | | 0,55241325 | 0,89494123 | 0,05 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Dimensionamiento de la columna 1

Tabla 26. Dimensionamiento columna de destilación

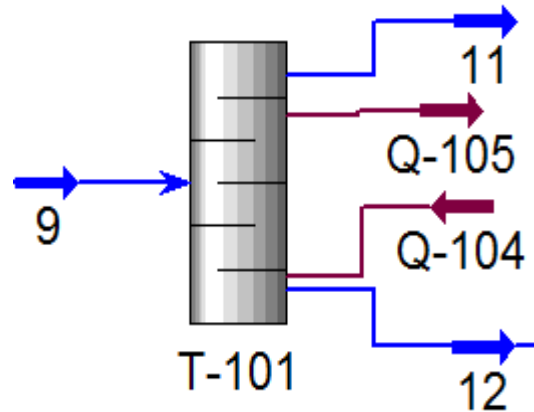
| | |
|--------------------------------|----------|
| Altura (m) | 8 |
| Número de platos | 12 |
| plato de alimentación | 6 |
| razón de reflujo | 1 |
| eficiencia de platos | 50% |
| separación entre platos | 0,613 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

5.4.1.7. Balance en la columna 2, corto y riguroso (T-101, T-104)

Donde se destilan los componentes más ligeros, el componente más ligero será el propano. La obtención será en fase vapor ya que para poder

condensar el propano se requiere de temperaturas muy bajas, si se quisiera obtener en fase líquida se necesitaría de refrigerantes, por tal motivo la obtención de fase vapor es la más adecuada.



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| T-101 | | |
|----------------|-------------|--------|
| Minimum Reflux | 0,1176 | |
| Minimum Trays | 2,703 | |
| Actual Trays | 4,178 | |
| Optimal Feed | 1,102 | |
| Condenser Duty | -8,408e+004 | Btu/hr |
| Reboiler Duty | 6,217e+005 | Btu/hr |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance en la columna:

$$F_9 = F_{11} + F_{12}$$

- **Balance de materia por componentes:**

Balance de materia para el propano ($X_{C_3H_8}$):

$$X_{C_3H_8} + F_9 = X_{C_3H_8} * F_{11} + X_{C_3H_8} * F_{12}$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_9 = X_{H_2O} * F_{11} + X_{H_2O} * F_{12}$$

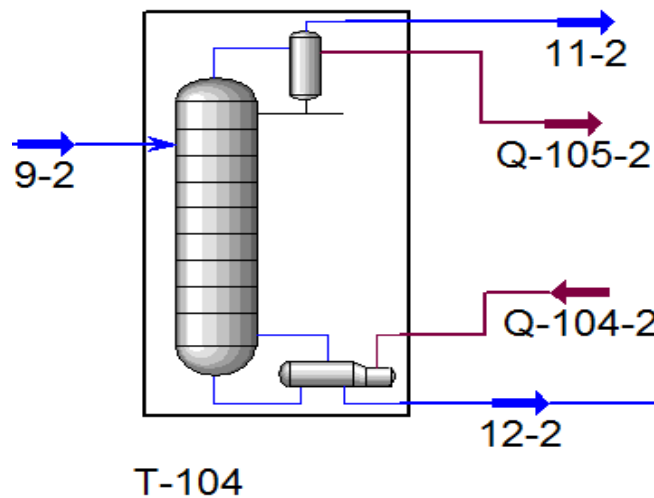
De las corrientes de salida 11 y 12 se obtienen las siguientes fracciones molares del proceso.

Fracción molar en la corriente de salida 11

| | | |
|-----------|-----------------|--------|
| Propano | $X_{C_3H_8}$ | 0.9799 |
| Hidrogeno | X_{H_2} | 0.0001 |
| Butano | $X_{C_4H_{10}}$ | 0.0200 |

Fracción molar en la corriente de salida 12

| | | |
|-----------|-----------------|--------|
| Propano | $X_{C_3H_8}$ | 0.0001 |
| Hidrogeno | X_{H_2} | 0.0530 |
| Butano | $X_{C_4H_{10}}$ | 0.9469 |



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 27. Propiedades de la corriente de entra y salida

| | Unit | 9 | 11 | 12 |
|----------------------------|------------|-----------------|------------|-----------------|
| Fracción fase vapor | | 0 | 1 | 0 |
| Temperatura | F | 141,048199 | 145 | 303,52382 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 33,637951 | 1,88678333 | 31,7511676 |
| Flujo Másico | lb/hr | 6184,63161 | 121,699828 | 6062,93178 |
| Caudal liquido | barrel/day | 477,455832 | 20,9873191 | 456,468512 |
| Flujo de calor | Btu/hr | - 14127177,2 | 78433,3962 | - 13664600,6 |

| Composición molar | Unit | 9 | 11 | 12 |
|-------------------|------|------------|------------|------------|
| butano | | 0,05505877 | 0,97991592 | 1,00E-04 |
| Hidrogeno | | 0,05 | 8,38E-05 | 0,05296622 |
| Propano | | 0,89494123 | 0,02000024 | 0,94693378 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Dimensionamiento de la columna 2

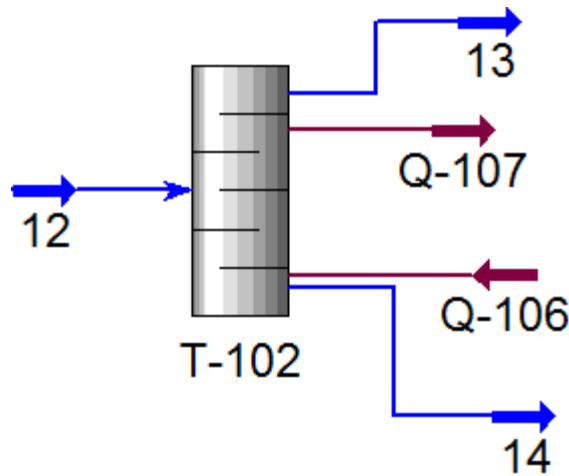
Tabla 28. Dimensionamiento columna de destilación 2

| | |
|--------------------------------|----------|
| Altura (m) | 7 |
| Número de platos | 5 |
| plato de alimentación | 2 |
| razón de reflujo | 1 |
| eficiencia de platos | 50% |
| separación entre platos | 0,613 |

Fuente: Elaboración propia, 2020

5.4.1.8. Balance en la columna 3, corto y riguroso (T-102, T-105)

La destilación se llevará a cabo para la obtención en fase líquida donde el componente ligero será el propano obtenido en el tope, por otro lado, el componente pesado será el propano.



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| T-102 | | |
|----------------|-------------|--------|
| Minimum Reflux | 1,176 | |
| Minimum Trays | 18,42 | |
| Actual Trays | 31,36 | |
| Optimal Feed | 13,80 | |
| Condenser Duty | -2,217e+006 | Btu/hr |
| Reboiler Duty | 2,217e+006 | Btu/hr |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance en la columna:

$$F_{12} = F_{13} + F_{14}$$

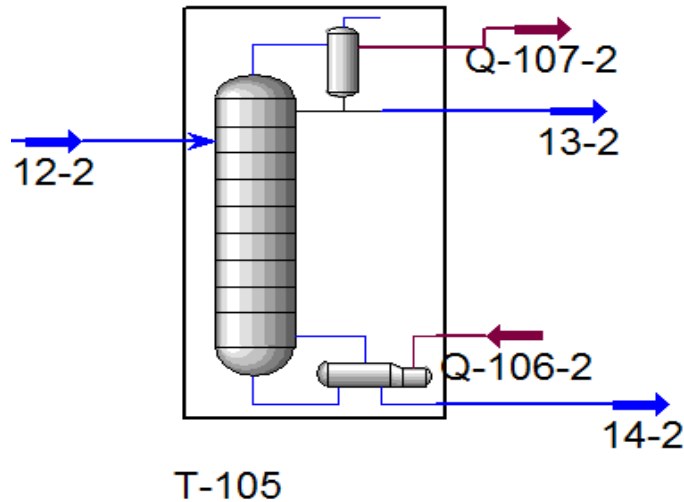
- Balance de materia por componentes:

Balance de materia para el propano ($X_{C_3H_8}$):

$$X_{C_3H_8} + F_{12} = X_{C_3H_8} * F_{13} + X_{C_3H_8} * F_{14}$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_{12} = X_{H_2O} * F_{13} + X_{H_2O} * F_{14}$$



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 29. Propiedades de las corrientes de entrada y salida

| | Unit | 12 | 13 | 14 |
|---------------------|------|-----------|------------|------------|
| | | Entrada | Salida | Salida |
| Fracción fase vapor | | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura | F | 303,52382 | 301,517332 | 377,650555 |

| | | | | |
|--------------------------|------------|-------------|-----------------|------------|
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 31,7511676 | 30,0828277 | 1,66833993 |
| Flujo másico | lb/hr | 6062,93178 | 5841,02842 | 221,903369 |
| Caudal líquido | barrel/day | 456,468512 | 441,984145 | 14,4843673 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -13664600,6 | - 12962889,1 | -701243,9 |
| Composición molar | Unit | 12 | 13 | 14 |
| | | | | |
| butano | | 1,00E-04 | 0,00010555 | 0 |
| Hidrogeno | | 0,05296622 | 0,001 | 0,99 |
| Propano | | 0,94693378 | 0,99889445 | 0,01 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Dimensionamiento de la columna 3

Tabla 30. Dimensionamiento columna de destilación 3

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Altura (m) | 18 |
| Número de platos | 32 |
| plato de alimentación | 14 |
| razón de reflujo | 2 |
| eficiencia de platos | 50% |
| separación entre platos | 0,613 |

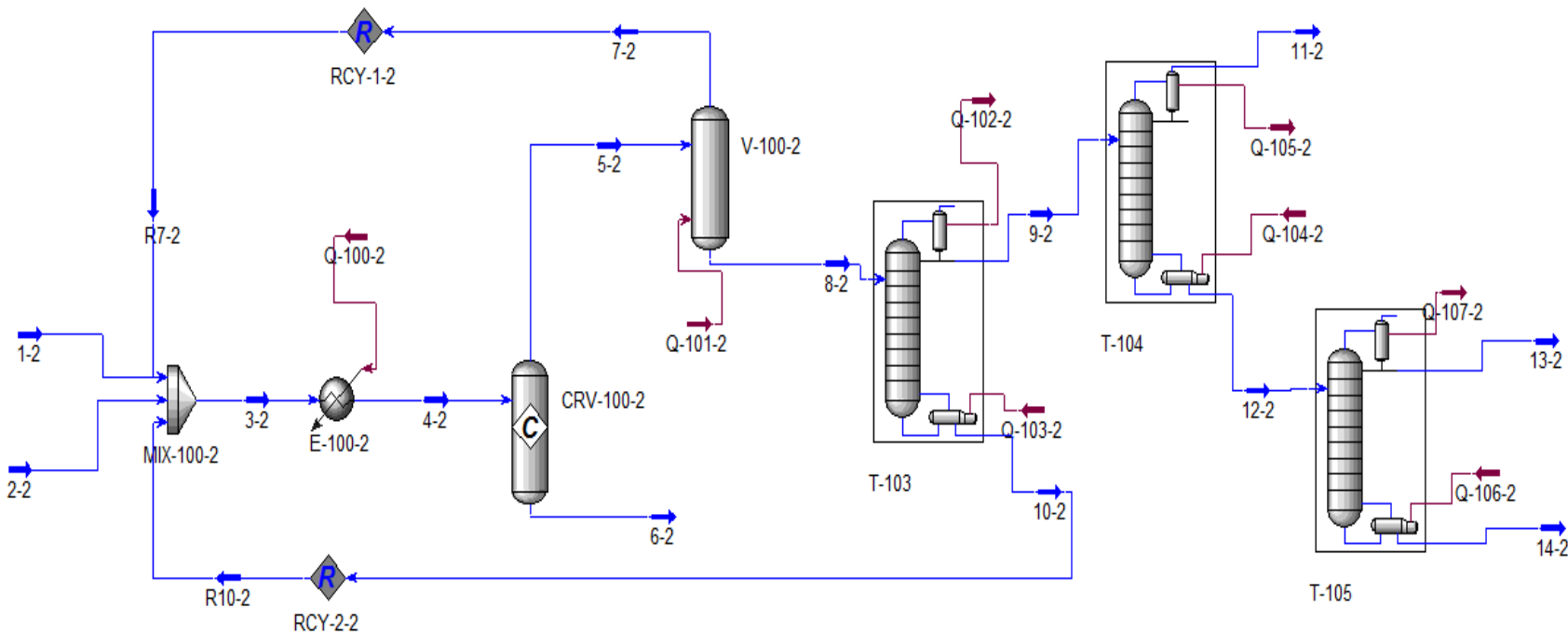
Fuente: Elaboración propia, 2020

5.4.2. Diagrama de flujo del proceso

El proceso de producción de propileno y polipropileno, consta de la recepción de la materia prima, sistema de reacción, separación propano, en la gráfica a continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso.



Figura 7. Diagrama de flujo, simulación de (Modelo riguroso)



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)



5.5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

5.5.1. Evaluación de riesgos

a) Riego por inundación

Bolivia tiene un alto riesgo de inundación en especial en los departamentos de Santa Cruz, Pando, Beni y parte de Cochabamba, debido a las características del suelo, el acto de deforestación que sufren los bosques. También, hay lugares en La Paz y Oruro con amenaza de inundación de grado medio. En la región de estudio el riesgo de inundación es casi nulo.

b) Riego por sequía

En Bolivia el riesgo de sequía es de alto grado en los departamentos de Oruro, Potosí, Santa Cruz, Chuquisaca y Tarija. Los departamentos donde la sequía es muy poco frecuente son La Paz y Beni.

c) Riego por sismo

Un sismo se origina por el movimiento repentino de las placas continentales que flotan sobre grandes masas de magma que forman la corteza terrestre. En Bolivia los departamentos con más riesgo de sismo son Cochabamba, La Paz y Sucre.

d) Riego por incendio

Las causas inmediatas que dan lugar a los incendios son muy variadas, aunque la existencia de grandes masas de vegetación en concurrencia con periodos más o menos prolongados de sequía genera condiciones altamente favorables para un incendio. Los departamentos donde se producen incendios son Santa Cruz y Cochabamba.

a) Riego por deslizamiento

Acontece cuando una porción de materiales de una ladera se rompe o pierde el equilibrio y se deslizan por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, frecuentemente se presentan en laderas de poca pendiente a causa de movimientos de reptación del suelo por baja compactación y sobresaturación de agua. El departamento de La paz, Cochabamba tiene un riesgo medio y alto de deslizamiento. En la Zona de análisis el riesgo de deslizamiento es medio.

5.5.2. Estudio de impacto ambiental

Impacto ambiental es todo efecto que causa la actividad humana sobre el medio ambiente. Para descripción y evaluación del impacto ambiental se necesitan hacer exámenes minuciosos de todo aquello que pueda ser fuente de impacto ya sea positivo o negativo por lo cual es importante seleccionar tratar de predecir la magnitud y las características de dicho impacto ambiental, para el proyecto se pueden en impactos ambientales que se presentaran en la etapa de construcción e impactos ambientales en etapa de operación.

5.5.2.1. *Impacto ambiental en la etapa de construcción*

Durante la etapa de construcción de la planta las actividades que se desarrollan son la de preparación y adecuación del suelo con maquinaria industrial, por lo tanto los impactos ambientales serán los siguientes:

- Generación de polvo y ruido en la excavación y eliminación de vegetación
- Generación de polvo y ruido en los rellenos del terreno en obras de aplanamiento y limpieza en la concentración de los materiales de construcción y en el aumento de la carga vehicular

- Mayor oferta de empleos en la zona, aumentando las expectativas en cuanto al mejoramiento de la calidad de vida, en este caso el impacto causado es positivo, aunque temporal.

También se realizarán la construcción de las tuberías, colocación de redes de agua y desagüe, instalación de las redes de energía eléctrica lo cual también generará polvo, ruido y resto de materiales.

Durante esta etapa de construcción no se generarán prácticamente aguas residuales, si bien cabe indicar que las aguas residuales mal conducidas pueden dañar al suelo generando contaminación.

También se generará un impacto visual adverso adicional ya que la zona de análisis está en pleno campo abierto.

Tabla 31. Evaluación de impacto ambiental en la etapa de construcción

| | Aguas superficiales y subterráneas | Suelo y subsuelo | Calidad del aire | Flora y fauna | Paisaje | Salud y seguridad | Relaciones sociales | Actividades económicas |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|---------------|---------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Generación de Polvo | | Yellow | Yellow | Yellow | | Red | | |
| Uso de medios de transporte cubierto | | | | | | Green | Dark Blue | |
| Ruidos | | | | Pink | | Pink | | |
| Tráfico de vehículos | | | | Yellow | | Yellow | | |
| Riesgo de accidentes | | | | | | Red | | |
| Generación de empleo | | | | | | | Dark Blue | Dark Blue |
| Generación de desechos inorgánicos | | Yellow | | | Yellow | | | |

| | Negativo | Positivo |
|----------|-----------|-------------|
| Pequeño | Yellow | Blue |
| Bajo | Light Red | Dark Blue |
| Moderado | Red | Light Green |
| Alto | Purple | Dark Blue |

Fuente: Elaboración propia, 2020

5.5.2.2. *Impacto ambiental en la etapa de operación*

En la etapa de operación de la planta se podrían generar residuos que podrían afectar directamente el suelo, aire, agua y la salud humana. Los cuidados y precauciones en esta etapa están dirigidos a la seguridad industrial. Los impactos que podrían generarse son:

- La calidad de aire, referida a las emisiones puntuales de gas natural o de productos intermedios para obtener propileno o del mismo propileno que podrían proceder de los distintos sistemas tales como bridas, válvulas, válvulas de purga y uniones o atreves de pequeñas fugas en estos sistemas llegarían a afectar la calidad del aire
- Ruidos y vibraciones durante la etapa de operación de la planta serán generados principalmente por los distintos procesos que conlleva la transformación del metanol en propileno.
- Suelo, subsuelo y Agua podrían ser contaminados si pudiera existir una fuga accidental, para lo cual deberían existir planes de contingencia y posterior biorremediación.
- Población y medio económico, todas las operaciones que se llevan a cabo durante la etapa de operación de la planta es favorable desde el punto de vista económico, puesto que aunque no se generará aumento de puestos de trabajo, si se dispondrá de suministro de propileno al mercado interno y externo.

- Paisaje sufrirá un impacto significativo en la etapa de construcción y en la etapa de operación.

Tabla 32. Evaluación de impacto ambiental en etapa de operación

| | Aguas superficiales y subterráneas | Suelo y subsuelo | Calidad del aire | Flora y fauna | Paisaje | Salud y seguridad | Relaciones sociales | Actividades económicas |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|---------------|---------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Tráfico de vehículos | | | | Pequeño | | Pequeño | | Moderado |
| Ruido | | | | Pequeño | | Pequeño | Bajo | |
| Riesgo de accidentes | | | | | | Alto | | |
| Generación de empleo | | | | | | | Moderado | Alto |
| Emisión de gases | | | Bajo | Bajo | | Bajo | | |
| Residuo sólido industrial | | Bajo | | Bajo | | | | |

| | Negativo | Positivo |
|----------|----------|----------|
| Pequeño | Pequeño | Pequeño |
| Bajo | Bajo | Bajo |
| Moderado | Alto | Moderado |
| Alto | Alto | Alto |

Fuente: Elaboración propia, 2020

5.5.3. Seguridad industrial

La seguridad e higiene industrial en el trabajo, son factores de gran trascendencia que permiten impartir una mayor protección a los recursos humanos y bienes de la industria; así como al medio ambiente del trabajo; estos son elementos básicos para el incremento de la eficiencia y la productividad.

Al avanzar la tecnología industrial, se incrementan los riesgos de accidentes y enfermedades de trabajo; originando que se desarrollen y establezcan mejores técnicas para el manejo y control de la seguridad.

Las funciones de seguridad e higiene, en la actualidad se han venido desarrollando en áreas multidisciplinarias, que contemplan una diversificación de puntos verdaderamente especiales.

La aplicación correcta de las normas manuales y procedimientos será en beneficio de los trabajadores y en el incremento de la productividad en las obras.

El grado real de la seguridad en una empresa, es el espíritu con el cual los integrantes de la organización se rigen, teniendo en mente que la seguridad del hombre tiene prioridad en todas las operaciones que ejecuta y que es parte importante de todo proceso que conduzca a una eficiencia segura.

Los objetivos generales en todo proyecto deben ser salvaguardar los recursos humanos y bienes de la empresa contra posibles riesgos de lesión y/o daño, así como establecer normas y procedimientos de aplicación sobre la prevención y control de los riesgos de accidentes en el desarrollo de la construcción, pruebas y arranque; así mismo los objetivos específicos se encaminarán a resaltar la responsabilidad de cada individuo de proteger su integridad y la de sus compañeros, promover el interés del personal de construcción en el uso de la seguridad al efectuar sus labores y enfocar hacia el personal los elementos básicos de la higiene.

5.5.3.1. *Impacto ambiental en la construcción y operación de la planta*

En cualquier tipo de empresa ocurren accidentes, y estos son generados por actos o condiciones inseguras. Los actos inseguros se producen porque la persona no conoce, no quiere o no puede evitarlos, siempre afectan al trabajador ya sean sin lesiones, con lesiones leves, con incapacidades

parciales permanentes o hasta con la pérdida de la vida y consecuentemente afectan a la familia, moralmente, en la alimentación, en la educación, en el vestido, en vivienda, etc.

Para evitar accidentes en las distintas etapas de operación en la planta se deben cumplir los puntos a continuación.

- Lograr el desarrollo total de la seguridad e higiene industrial, con la activa participación de todos y cada uno de los responsables de las diferentes disciplinas de la organización.
- Que todos los departamentos y áreas de ejecución de obra de la planta de propileno, manejen la seguridad e higiene como parte del trabajo y no como un hecho secundario.
- Cumplir con las leyes y reglamentos relativos al hombre y al trabajo.
- Salvaguardar los bienes de la empresa y mejorar la productividad.
- Lograr la reducción del Índice de accidentes.
- Que los trabajos se desenvuelvan con un alto grado de seguridad, para tener clientes satisfechos.

5.5.3.2. Funciones de seguridad e higiene

Por lo general en plantas petroquímicas y químicas manejan 5 departamentos independientes y con funciones específicas que trabajan en conjunto para cumplir con las normas de seguridad industrial, estos departamentos son:

- Departamento De Seguridad Laboral.
- Departamento De Protección Industrial.
- Departamento De Control De Servicios.
- Departamento De Primeros Auxilios.
- Departamento De Capacitación Adiestramiento y Control.

5.5.3.2.1. Departamento de seguridad laboral

Las funciones que desempeña este departamento son:

- Supervisar y controlar los riesgos en las áreas.
- Supervisar el uso del equipo de protección.
- Controlar el equipo de protección personal.
- Supervisión y control de emergencias y suministros.
- Supervisar y controlar el equipo contra-incendio.
- Relaciones con grupos de rescate, salvamiento y bomberos
- Supervisión y control de limpieza.
- Relaciones con autoridades médicas, civiles, militares y sindicales.

5.5.3.2.2. Departamento de protección industrial

Las funciones que desempeña este departamento son:

- Control de accesos y salidas de la planta.
- Vigilancia de instalaciones (oficinas administrativas, almacén, áreas de trabajo, superintendencia, comedor).
- Mantener el orden y el control en días de pago.
- Realizar vigilancia perimetral en las puertas de acceso a la planta.
- Coordinación de vigilancia con el cliente, para permitir el pase a vehículos, equipos, materiales, subcontratistas y personal.
- Control de actas de robo y trámites con autoridades.
- Llevar una bitácora de vigilancia.

5.5.3.2.3. Departamento de control de servicios

Se encarga de controlar:

- Se encargan de controlar el transporte de personal obrero y técnico-administrativo.
- Supervisar alimentos vendidos en el comedor interno.
- Mantener higiénicos los sanitarios.
- Suministrar oportunamente el agua.

5.5.3.2.4. Departamento de primeros auxilios

- Se lleva una bitácora de enfermería para registrar a todo el personal atendido.
- Control de medicamentos y equipo médico.
- Detección de enfermedades en general.
- Control de campañas de vacunación.
- Proporcionan y controlan de avisos de salida por enfermedad y/o accidente.

5.5.3.2.5. Departamento de capacitación adiestramiento y control

- Relaciones con autoridades civiles y sindicales.
- Se llevar a cabo cursos de capacitación sobre temas de: Prevención de accidentes, protección contra incendio y primeros auxilios.
- Elaboración de reportes de seguridad e higiene.

5.5.4. Plan de contingencias

Un plan de contingencias es un mecanismo para verificar el funcionamiento de los equipos y materiales con las que se cuentan para enfrentar las emergencias o contingencias de las etapas de construcción y operación para proyectos, a través de un programa de inspecciones, del cual se tiene que contar con un responsable de Seguridad, Salud y Ambiente encargado de mantener, registrar e inspeccionar dichos equipos

Por lo general la inspección revisa los siguientes aspectos:

- Estado de equipos y materiales que se utilizarán para las emergencias de búsqueda, rescate, incendios, etc., así como las condiciones de seguridad de los mismos.
- Espacios para evacuación (liberar de obstáculos las salidas de emergencia).
- Mantenimientos realizados. (con registros de los mismos).
- Verificación del control de averías en el complejo petroquímico (mantener un registro de los mismos).

5.5.4.1. En caso de accidentes de los operadores

La mayoría de ellos suceden por descuidos de las personas, por lo tanto es importante difundir conocimientos de primeros auxilios al personal que operara la planta. Evitar las lesiones, por actuaciones inadecuadas puede llegar a causar graves lesiones e incluso la muerte. La forma de atender y trasladar a un accidentado es de vital importancia, por lo cual es importante tener elementos adecuados para trasladar accidentados graves (camillas, tablas, cuello cervical) sin olvidar la rápida actuación en la atención al lesionado.

En caso de un accidente es importante seguir lo siguientes aspectos a continuación:

- **Observe al accidentado**
 - Revise su respiración:
 - Respira normalmente – Siga observando
 - Respira con dificultad – Revise la boca
 - No respira – Dar respiración

- **Reconozca su grado de conciencia:**

- Dice su nombre.
- Se ubica en el lugar.
- Señala la fecha.

- **Tome el pulso de la víctima:**

- Pulso normal – Siga observando
- Pulso débil – Shock
- Pulso irregular – Hemorragia interna, derive a Centro Médica
- No presenta pulso – Masaje Cardíaco

Shock: Cuando hay víctimas de accidentes graves como fracturas, hemorragias, quemaduras, y sus funciones vitales descienden bruscamente, hablamos de Shock por lo tanto es importante observar lo siguiente:

- Rostro pálido
- Pupilas dilatadas
- Respiración entrecortada y superficial
- Perdida del conocimiento
- Edad avanzada, mala nutrición y dolor son causas agravantes en el Shock

Por lo tanto se recomienda realizar lo siguiente en caso de determinar que el afectado presenta un cuadro de Shock

- Ponga a la víctima en posición horizontal y los pies levemente levantados
- Mantenga temperatura normal (37° C)
- Si hay hemorragia, deténgala aplicando Primeros Auxilios
- Si el afectado no respira ni tiene pulso, darle Reanimación Cardiopulmonar
- Derive de inmediato a un Centro Médico

5.5.4.2. Procedimiento en caso de incendio y explosión de la planta

La eficaz protección contra incendios y explosión de una instalación petroquímica es de vital importancia debido a los riesgos ahí presentes. El propileno como se indicó, tiene un punto de ignición muy bajo lo que hace al propileno altamente inflamable por lo tanto es importante tener un personal en la planta altamente capacitado (brigadas contraincendios), que pueda reaccionar en caso de incendio y explosiones que además este equipado adecuadamente.

5.5.5. Ficha ambiental

La Ficha Ambiental, es un documento que da inicio al proceso técnico y administrativo de realizar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y es un instrumento que determina la categoría del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) relacionado a las actividades o proyectos. Toda Ficha Ambiental, debe tener un contenido mínimo de información que refleje una idea general del proyecto, es decir: Identificación y ubicación del proyecto, explicar qué actividades se van a desarrollar y el tiempo que dure la obra, la tecnología que se va a utilizar, la inversión total, descripción de la calidad y cantidad de recursos humanos a emplear, debe explicar qué recursos naturales del área serán aprovechados como materia prima, los insumos y la producción que demande la obra, la generación de residuos, los posibles accidentes y contingencias, se debe indicar los impactos que se ocasionará y las medidas de mitigación y prevención que se emplearan para evitar o minimizar los impactos negativos, es por tal razón que dicha ficha ambiental debe ser llenada por un profesional especializado en el área.

CAPITULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

Teniendo en cuenta el estudio realizado en el capítulo de estudio del mercado entendemos que la demanda de propileno y polipropileno es creciente ya que Bolivia importa alrededor de 2.641.879 TMA provenientes de otros países. donde la mayor cantidad importada de propileno y polipropileno son por los departamentos de Tarija, seguidamente por Santa Cruz, de modo que implementando la planta de producción de propileno y polipropileno a partir de etileno podemos satisfacer la demanda del mercado interno y el excedente que será destinado para la exportación.

Teniendo en cuenta el precio de propileno y polipropileno de la tabla anterior, definimos cuál es el gasto que se realiza para satisfacer el mercado interno, por tanto, se tiene:

$$2641.879 \frac{TM}{Año} * \frac{1000 Kg}{1-TM} * \frac{0.93 \$us}{1-Kg \text{ propano}}$$
$$= 2456947.47 \frac{\$us}{Año}$$

Teniendo en cuenta que la planta tendrá una capacidad de producción de 20000 TMA se estima una ganancia económica total de:

$$20.000 \frac{TM}{Año} * \frac{1000 Kg}{1-TM} * \frac{0.93 \$us}{1-Kg \text{ propano}}$$
$$= 18.600.000,00 \frac{\$us}{Año}$$

6.2. Evaluación económica

El estudio económico dentro de la elaboración de un proyecto es muy importante ya que a partir del resultado de éste estudio depende la factibilidad económica del proyecto. En el presente capítulo se hace un análisis económico partiendo de las inversiones a realizar, equipos, transporte, instalación. Analizando estas inversiones e ingresos anuales que producirá el nuevo sistema a implementar se realiza un análisis de flujo de caja para determinar si es conveniente o no la realización de este proyecto.

6.2.1. Análisis de inversiones

Los costos a analizar en este subtítulo son los correspondientes a las inversiones a realizar sobre equipos, transporte, instalación y otros.

Los equipos necesarios para la implementación y puesta en marcha de la planta de producción de propileno polipropileno se muestran a continuación.

Tabla 33. Costos de equipos (expresados en USD)

| Detalle | Cantidad | Costo | Total \$us |
|---------------------------|----------|-----------|------------|
| Separador | 3 | 6.442.000 | 19,326.000 |
| Reactor de conversión | 1 | 2.450.000 | 2.450.000 |
| Intercambiadores de calor | 1 | 82.000 | 82.000 |
| Válvulas de manipulación | 4 | 10.950 | 43.800 |
| Total | | | 21.901.800 |

Fuente: Bollandy Cia S.A.

En la tabla a continuación se muestran los costos de los equipos, incluyendo los costos de transporte e instalación. Se consideran los costos de transporte

como el 10 % de los costos unitarios y se consideran los costos de instalación como el 25% de los costos unitarios.

Tabla 34. Costos de implementación de equipo (expresados en USD)

| Detalle | Cantidad | Costo | | Transporte | Instalación |
|---------------------------|----------|-----------|-------------------|------------------|------------------|
| | | Unitario | Total \$us | | |
| Separador | 3 | 6.442.000 | 19.326.000 | 1.932.600 | 4.831.500 |
| Reactor de conversión | 1 | 2.450.000 | 2.450.000 | 245.000 | 612.500 |
| Intercambiadores de calor | 1 | 82.000 | 82.000 | 8.200 | 20.500 |
| Válvulas de Manipulación | 4 | 10.950 | 43.800 | 4.380 | 10.950 |
| Total | | | 21.901.800 | 2.190.180 | 5.475.450 |

Fuente: Bollandy Cia S.A.

Por tanto, el costo total del equipo asciende a **29.567.430 \$us**.

Tabla 35. Depreciación de equipos (expresados en USD)

| Detalle | Cantidad | Costo | | Vida Útil | Depreciación |
|---------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------|------------------|
| | | Unitario | Total \$us | | |
| Separador | 3 | 6.442.000 | 19.326.000 | 10 años | 1.932.600 |
| Reactor de conversión | 1 | 2.450.000 | 2.450.000 | 10 años | 245.000 |
| Intercambiadores de calor | 1 | 82.000 | 82.000 | 10 años | 8.200 |
| Válvulas de Manipulación | 4 | 10.950 | 43.800 | 10 años | 4.380 |
| Total | | | 21.901.800 | | 2.190.180 |

Fuente: Bollandy Cia S.A.

Tabla 36. Costo total (expresado en USD)

| Detalle | Monto \$us |
|--|-------------------|
| Equipos | 29.567.430 |
| Transporte e Instalación de equipos | 7.665.630 |
| Instrumentos de control | 250.000 |
| Obras civiles y planchadas | 200.000 |
| Costos administrativos e imprevistos (10%) | 2.190.180 |
| Total | 39.873.240 |

Fuente: Elaboración propia, 2020

Los costos totales del proyecto propuesto son de **39.873.240 \$us**, como se puede apreciar en la tabla anterior.

6.2.2. Flujo de caja

Para el análisis del estado financiero del proyecto se realizó un flujo de caja proyectado, posteriormente se generan ratios financieras para el análisis de viabilidad del mismo, así mismo se deberá tener en cuenta las proyecciones realizadas en el capítulo de estudio del mercado (interno y externo) evaluados a 5 años a partir de la puesta en marcha de la planta proyectado para el año 2023.

Tabla 37. Demanda interna

| DEMANDA INTERNA | | |
|------------------------|---|-----------------------|
| AÑOS | | CANTIDAD (TMA) |
| 2023 | 1 | 4.092,8214 |
| 2024 | 2 | 4.290,7802 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 2025 | 3 | 4.488,7390 |
| 2026 | 4 | 4.686,6978 |
| 2027 | 5 | 4.884,6566 |

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 38. Demanda externa

| DEMANDA EXTERNA | | |
|-----------------|---|-------------------|
| AÑOS | | CANTIDAD (TMA) |
| 2023 | 1 | 8.083,0931 |
| 2024 | 2 | 8.442,3824 |
| 2025 | 3 | 8.801,6717 |
| 2026 | 4 | 9.160,9610 |
| 2027 | 5 | 9.520,2503 |

Fuente: Elaboración propia, 2020

A continuación, realizando conversiones se estiman los ingresos por ventas pertenecientes a los 5 años de estudio para el flujo de caja que sirve para el estudio de ratios financieros y estudio de factibilidad de la planta de propileno y polipropileno

Demanda interna:

Año 2023

$$4.092,82 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93 \$us}{1 \text{ Kg}} = 3.806.322,60 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2024

$$4.290,78 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 3.990.425,40 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2025

$$4.488,74 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 4.174.528,20 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2026

$$4.686,70 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 4.358.631,00 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2027

$$4.884,66 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 4.542.733,80 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Demanda externa:

Año 2023

$$8.083,09 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 7.517.273,70 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2024

$$8.442,38 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 7.851.413,40 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2025

$$8.801,67 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 8.185.553,10 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2026

$$9.160,96 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 8.519.692,80 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2027

$$9.520,25 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 8.853.832,50 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Tabla 39. Ingresos por ventas

| Demanda Interna | Demanda externa | Total |
|----------------------------|----------------------------|--------------|
| 3806323 | 7517274 | 11323596 |
| 3990425 | 7851413 | 11841839 |
| 4174528 | 8185553 | 12360081 |
| 4358631 | 8519693 | 12878324 |
| 4542734 | 8853833 | 13396566 |

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 40. Flujo de caja

| Flujo de Caja | Año base | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|--|--------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ingresos | | | | | | |
| Ingresos por ventas | | 11323596 | 11841839 | 12360081 | 12878324 | 13396566 |
| IT 3% | | 339647,88 | 355255,17 | 370802 | 386350 | 401897 |
| Costos Operativos | | | | | | |
| Gastos en materia prima | | -8038588 | -8038588 | -8038588 | -8038588 | -8038588 |
| Gastos de operación | | -10000 | -11000 | -12100 | -13310 | -14641 |
| Depreciación | | | | | | |
| Depreciación activo fijo | | -2190180 | -2190180 | -2190180 | -2190180 | -2190180 |
| Utilidad antes de Impuestos | | 343180 | 1246816 | 1748411 | 2249896 | 2751260 |
| Impuesto a las utilidades (IUE) 25% | | 85795 | 311704 | 437103 | 562474 | 687815 |
| IVA 13% | | 44613 | 162086 | 227293 | 292486 | 357664 |
| Utilidad después de impuestos | | 212772 | 773026 | 1084015 | 1394936 | 1705781 |
| Inversión | 39.873.240 | | | | | |
| Flujo de caja de utilidad neta | -39.873.240 | 212772 | 773026 | 1084015 | 1394936 | 1705781 |

Fuente: Elaboración propia, 2020

6.3. CÁLCULO DE RATIOS FINANCIEROS

6.3.1. Valor actual neto (VAN)

También llamado Valor Presente Neto (VPN), Valor Neto Descontado (VND), Beneficio Neto Actual (BNA) y en varias calculadoras financieras como Net Present Value (NPV), se calcula como:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Dónde:

$-I$ = Inversión inicial

F_t = Flujo de caja en el instante

n = Último flujo de caja

r = Costo de oportunidad del capital

$$\begin{aligned} VAN &= 39.873.240 + \frac{212.772}{1+r} + \frac{773.026}{(1+r)^2} + \frac{1.084.015}{(1+r)^3} + \frac{1.394.936}{(1+r)^4} + \frac{1.705.781}{(1+r)^5} \\ &= 36.214.594,85 \text{ \$us} \end{aligned}$$

El VAN mide la riqueza equivalente que aporta el proyecto medido en dinero del período inicial ($t=0$), calculando el valor presente de los flujos futuros de caja proyectados para el plan de negocios. Por tanto, para el proyecto de creación de una planta de propileno y polipropileno, nos permite determinar si el flujo proyectado a 5 años es rentable.

El resultado del VAN para el proyecto considerando los flujos de efectivo a 5 años, proporciona un valor de **\$us. 36.214.594,85** indicando que la implementación del Proyecto es factible.

6.3.2. Tasa interno de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno de un proyecto mide la rentabilidad promedio anual que genera el capital que permanece invertido en él, esta tasa iguala el valor presente de los flujos (VAN) a cero.

Si la TIR es mayor que el coste de oportunidad del capital, entonces el capital del proyecto evaluado genera una rentabilidad mayor que la que puede ser generada por la mejor alternativa de inversión. En ese caso es recomendable apostar por el proyecto.

$$TIR = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Para el presente proyecto el valor de la **TIR es de 47%** lo que implica que es altamente rentable.



CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

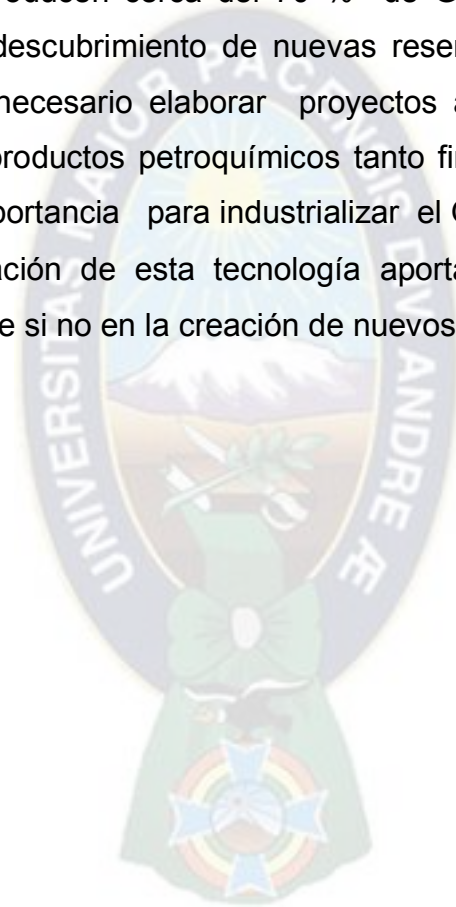
- En el presente proyecto se comprobó, a través de proyecciones de oferta y demanda de gas licuado de petróleo en Bolivia y la capacidad de producción de este hidrocarburo en la planta Gran Chaco, la disponibilidad de esta materia prima (GLP), evidenciando que se cuenta con un excedente para el año 2022 de 944,0 TMD de GLP que no comprometen al cumplimiento de la demanda interna y que estarán disponibles a partir de la puesta en marcha de la planta Gran Chaco.
- De acuerdo al análisis, y procesos realizados para la implementación de una planta petroquímica que produzca polipropileno a partir de propano obtenido del gas natural, se concluye que las propiedades que presentará el propileno para la industrialización son altamente eficientes ya que los resultados del simulador fueron de una pureza de propileno de 0,999964 %, Fracción de Vapor 1, Flujo Molar 1.096,794 (lbmol/hr), Flujo Másico 46.153,876 (lb/hr) Entalpia 9,131(MMBtu/hr) y Flujo Volumétrico 417.943,623 (pie³/hr) o 502,441 TMD en el referido proyecto, previa purificación en las columnas de destilación, siendo su industrialización, una de las prioridades nacionales para el país, debido a su gran aprovechamiento en la producción del polipropileno a partir de los recursos naturales con los que cuenta Bolivia.
- Se realizó el diseño final de la simulación para la instalación de la planta considerando el empleo del simulador HYSYS V9 que simplifico de manera considerable los cálculos para el análisis final, en el simulador se optimiza los tiempos al momento de la toma de decisiones y estima aproximaciones para los resultados con mucha precisión.
- En el estudio de análisis económico del proyecto se observa que el VAN es de \$us. 36.214.594,85 y TIR es 47%, ambos son positivos para el proyecto donde se muestra la factibilidad del mismo.

7.2. RECOMENDACIONES

- Para la producción de polipropileno en Bolivia es importante llevar a cabo un avance en el proyecto o una ingeniería básica, esperar y observar cómo se va desarrollando el mercado, debido a que las fluctuaciones de oferta y demanda del polipropileno por el elevado costo de este producto han hecho que el mercado no halle estabilidad en los últimos años. Por otro lado al presentarse una tendencia positiva en el mercado, se recomienda realizar un proyecto de ingeniería básica para evaluar la implementación de una planta de polipropileno para industrializar el propano , ya que de ser obtenidos estos productos en Bolivia , nuestro país pasaría de ser un país exportador de materias primas e importador de productos terminados , a un país que industrialice sus recursos hidrocarburíferos obteniendo beneficios económicos que sin duda contribuirán al desarrollo de Bolivia.
- Para desarrollar este y otros proyectos de industrialización de hidrocarburos es necesario contar una unidad especializada en Bolivia que trabaje en el marco normativo y regulatorio para la comercialización de productos petroquímicos que garantice la competitividad de la producción petroquímica de Bolivia con relación a proveedores internacionales.
- Las reservas de gas natural en Bolivia van declinando continuamente lo que obliga al estado a invertir más en exploración. La exportación de gas natural hacia los países de Brasil y Argentina no ha facilitado la situación del país, el gas natural tiene que ser industrializado adecuadamente dándole así un valor agregado y generar recursos para el país , de otra manera proyectos como este de obtención de propileno quedaran abandonados .Pero la situación podría cambiar en el año 2019 , año en el cual se termina el contrato de exportación de gas natural , esta puede ser una alternativa para asegurar la materia prima de nuevos de proyectos para su industrialización . La exploración y producción de nuevos campos es necesaria para mantener las reservas en un nivel en el que pueda

asegurarse el futuro de Bolivia. Campos como el de Rio Grande , Víbora, Bulo Bulo , Paloma , Sirari y otros cuya producción alcanzo un pico importante de 451.5 MMpcd en 2002 hoy no alcanzan a producir más de 172.8 MMpcd , lo cual es una situación muy alarmante. La sobre producción de los campos Sábalo, San Alberto, Margarita y Tacobo cuya producción en el año 2000 fue de 8.3MMpcd y que ahora producen 997.3 MMpcd , pone en una situación alarmante al estado dado que un reducido número de campos producen cerca del 70 % de Gas natural . Por lo tanto es importante el descubrimiento de nuevas reservas de gas y petróleo. Por otra parte es necesario elaborar proyectos a favor del estado para la obtención de productos petroquímicos tanto finales como intermedios que son de vital importancia para industrializar el Gas Natural.

- La implementación de esta tecnología aportará mucho al país no solo monetariamente si no en la creación de nuevos empleos.



BIBLIOGRAFÍA

- (1).ALVAREZ, G., D., "Propileno"; Petroquímica Básica; Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ingeniería; (2011).
- (2).BASS, B.M., et al.; Selecting Foreign Plant Sites: Economic, Social and Political Considerations; Academy of Management Journal; vol.20; EEUU; 1977.
- (3).BANDIERA, J.; Kinetics of methanol dehydration on dealuminated H-mordenite: Model with acid and basic active centres; Universidad Claude Bernard;Francia; (1990).
- (4).BIAGIO, F.; Latinoamérica en primer Plano; Business News Américas;pj2-5;(2012).
- (5).BRACHO, P., N., A.; Evaluación de Tamices Moleculares en la Purificación de Propileno utilizado para la Producción de Polipropileno; Tesis Magistral; Venezuela; Universidad del Zulia; (2001).
- (6).BRUCE, E., R.; Olefin/Paraffin Separation Technology: A Review. Industries Engineering Chemical Research; Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie00022a002>; (1993).
- (7).CRAM, Donald J.; Hammond, George S.: Química Orgánica, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, (1963).
- (8).CAMARASA, E., A.; Contribución al estudio de Plantas Químicas Multiproducto de Proceso discontinuo; Barcelona-España; 1994.
- (9).CARCAÑO, R., J.; Estudio de Factibilidad para la instalación de una planta recicladora de envases PET; Tesis Disponible en:
(10). <http://tesis.ipn.mx/jspui/handle/123456789/4504>; México D.F.; (2009).
- (11). CRYSTAL BALL 7.2; Guía de Inicio; Disponible en: <http://www.softonic.com/s/crystal-ball-7.2>.
- (12). Domínguez, R., Y.; PDVSA, entre la crisis y la lucha por reflotar; Energy Press; 2013.
- (13). ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION; Natural Gas and the Environment ;Disponible en : <http://www.eia.gov/> Estados Unidos ; (1998).

- (14). ENDE; Informe sobre sistema ENDE-Aroma; Patacamaya; Enero (2010).
- (15). FABIÁN C.G.; Polipropileno, Industrias Petroquímicas; Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44871677/Polipropileno>; Universidad Nacional de Cuyo; Mendoza-Argentina, (2010).
- (16). GOBIERNO AUTONOMO DE SICA SICA ; Plan de desarrollo Municipal ; La Paz;(2008).
- (17). GUO, W., et al. Comparison among monolithic and randmly packed reactors for the methanol-to-propylene process; Chemical Engineering Journal;Disponible en www.elsevier.com/locate/cej. ; (2012).
- (18). HADI, N., et al; Development of a New Kinetic Model for Methanol to Propylene Process on Mn/H-ZSM-5 Catalyst; Artículo científico; Universidad de Mazandaran;Babolsar-Iran;(2013).
- (19). HARITZ, U.,O.;Proyecto de automatización de una columna de destilación Etano-Etileno Propano-Propileno; Proyecto de grado Universidad Rovira I Virgili; Cataluña- España ; (2003).
- (20). HEREDIA, R., E.; Industrialización del Gas Natural para la obtención de Metanol a escala convencional;Proyecto de Grado; Universidad Mayor de San Andrés ; La Paz-Bolivia ; (2012).
- (21). Higgins, R., A.; Engineering Meta- llurgy; Vol. 1, Cap. XIII:Alloy Steels. Fifthn Edition. Hodder & Stoughton, Suffolk, Gran Bretaña ; (1987).
- (22). McCabe, W., et al.; Operaciones unitarias en Ingeniería Química; McGraw Hill; Cuarta edición; España;(1991).
- (23). MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY; Forecast of Global Supply and Demand Trends for Petrochemical Products; Disponible en <http://www.meti.go.jp/english/information/downloadfiles/cForecastPetrochem e.pdf>; Tokio – Japón; (2013).
- (24). MAZUELO,S.,L.,;Propuesta para el VI Plan de Desarrollo del Programa DIPECHO;La Paz-Bolivia;(2008).

- (25). Naciones Unidas; Manual de preparación de estudios de viabilidad industrial; ONUDI ;(1978).
- (26). NEE, J., R. y Lesemann, M.; Propylene Production in the FCC Unit: An Opportunity to Increase Refinery Profitability ; EEUU; (2004).
- (27). PEGALAJAR, M., Q.; Análisis de Series. Modelos Heterocedásticos; Tesis de Maestría; Universidad de Granada; Granada – España; 2003.
- (28). QUINTANILLA,J., et al.; Hidroquímica de las Aguas del Altiplano; La Paz-Bolivia;1995.
- (29). SAAD, D.,A. ; Conversion Of Dimethyl-Ether to Olefins Over HZSM-5: Reactivity and Kinetic Modeling ;University of Western Ontario – Canada ; (2013).
- (30). SAPAG, CH., N.; Preparación y Evaluación de Proyectos; México, DF; Mc.GrawHill; Segunda Edición; (1991).
- (31). WADE, L., G., JR.; *Química Orgánica*; PEARSON EDUCACIÓN, S. A., Madrid, Quinta Edición; (2004).
- (32). YPFB; Plan de Inversiones 2009-2015; YPFB CORPORACIÓN 2009-2015; Bolivia (2009).
- (33). ZHAO, T.,S., et al.;Direct synthesis of Propylene and light olefins from dimethyl ether catalyzed by modified H-ZSM-5;Investigacion química de ELSEVIER ; disponible en :www.sciencedirect.com ; (2006)
- (34). Zhang M. A; Catalyst annual cost; Dierks; Wang; (2013).

ANEXOS

Anexo 2. Norma ISO 45001:2018

| ISO 45001:2018 | | ISO 14001:2004 | | ISO 9001:2000 | |
|----------------|--|----------------|--|---------------|--|
| — | Introducción | — | Introducción | 0 | Introducción |
| | | | | 0.1 | Generalidades |
| | | | | 0.2 | Enfoque basado en procesos |
| | | | | 0.3 | Relación con la Norma ISO 9004 |
| | | | | 0.4 | Compatibilidad con otros sistemas de gestión |
| 1 | Objeto y campo de aplicación | 1 | Objeto y campo de aplicación | 1 | Objeto y campo de aplicación |
| | | | | 1.1 | Generalidades |
| | | | | 1.2 | Aplicación |
| 2 | Publicaciones para consulta | 2 | Normas para consulta | 2 | Normas para consulta |
| 3 | Términos y definiciones | 3 | Términos y definiciones | 3 | Términos y definiciones |
| 4 | Requisitos del sistema de gestión de la SST (título solamente) | 4 | Requisitos del sistema de gestión ambiental (título solamente) | 4 | Sistema de gestión de la calidad (título solamente) |
| 4.1 | Requisitos generales | 4.1 | Requisitos generales | 4.1 | Requisitos generales |
| | | | | 5.5 | Responsabilidad, autoridad y comunicación |
| | | | | 5.5.1 | Responsabilidad y autoridad |
| 4.2 | Política de SST | 4.2 | Política ambiental | 5.1 | Compromiso de la dirección |
| | | | | 5.3 | Política de la calidad |
| | | | | 8.5 | Mejora continua |
| 4.3 | Planificación (título solamente) | 4.3 | Planificación (título solamente) | 5.4 | Planificación (título solamente) |
| 4.3.1 | Identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles | 4.3.1 | Aspectos ambientales | 5.2 | Enfoque al cliente |
| | | | | 7.2.1 | Determinación de los requisitos relacionados con el producto |
| | | | | 7.2.2 | Revisión de los requisitos relacionados con el producto |

| ISO 45001:2018 | | ISO 14001:2004 | | ISO 9001:2000 | |
|----------------|--|----------------|--|---------------------------------------|--|
| 4.3.2 | Requisitos legales y otros requisitos | 4.3.2 | Requisitos legales y otros requisitos | 5.2 7.2.1 | Enfoque al cliente Determinación de los requisitos relacionados con el producto |
| 4.3.3 | Objetivos y programas | 4.3.3 | Objetivos, metas y programa | 5.4.1 5.4.2 8.5.1 | Objetivos de la calidad Planificación del sistema de gestión de la calidad Mejora continua |
| 4.4 | Implementación y operación (título solamente) | 4.4 | Implementación y operación (título solamente) | 7 | Realización del producto (título solamente) |
| 4.4.1 | Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad | 4.4.1 | Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad | 5.1 5.5.1 5.5.2 6.1 6.3 | Compromiso de la dirección Responsabilidad y autoridad Representante de la dirección Provisión de recursos Infraestructura |
| 4.4.2 | Competencia, formación y toma de conciencia | 4.4.2 | Competencia, formación y toma de conciencia | 6.2.1 6.2.2 | (Recursos humanos) Generalidades Competencia, toma de conciencia y formación |
| 4.4.3 | Comunicación, participación y consulta | 4.4.3 | Comunicación | 5.5.3 7.2.3 | Comunicación interna Comunicación con el cliente |
| 4.4.4 | Documentación | 4.4.4 | Documentación | 4.2.1 | (Requisitos de la documentación) Generalidades |
| 4.4.5 | Control de documentos | 4.4.5 | Control de documentos | 4.2.3 | Control de los documentos |
| 4.4.6 | Control operacional | 4.4.6 | Control operacional | 7.1 7.2 7.2.1 7.2.2 7.3.1 | Planificación de la realización del producto Procesos relacionados con el cliente Determinación de los requisitos relacionados con el producto Revisión de los requisitos relacionados con el producto Planificación del diseño y desarrollo |

| ISO 45001:2018 | | ISO 14001:2004 | | ISO 9001:2000 | |
|----------------|--|----------------|--|---------------|--|
| | | | | 7.3.2 | Elementos de entrada para el diseño y desarrollo |
| | | | | 7.3.3 | Resultados del diseño y desarrollo |
| | | | | 7.3.4 | Revisión del diseño y desarrollo |
| | | | | 7.3.5 | Verificación del diseño y desarrollo |
| | | | | 7.3.6 | Validación del diseño y desarrollo |
| | | | | 7.3.7 | Control de los cambios del diseño y desarrollo |
| | | | | 7.4.1 | Proceso de compras |
| | | | | 7.4.2 | Información de las compras |
| | | | | 7.4.3 | Verificación de los productos comprados |
| | | | | 7.5 | Producción y prestación del servicio |
| | | | | 7.5.1 | Control de la producción y de la prestación del servicio |
| | | | | 7.5.2 | Validación de los procesos de la producción y de la prestación del servicio |
| | | | | 7.5.5 | Preservación del producto |
| 4.4.7 | Preparación y respuesta ante emergencias | 4.4.7 | Preparación y respuesta ante emergencias | 8.3 | Control del producto no conforme |
| 4.5 | Verificación (título solamente) | 4.5 | Verificación (título solamente) | 8 | Medición, análisis y mejora (título solamente) |
| 4.5.1 | Seguimiento y medición del desempeño | 4.5.1 | Seguimiento y medición | 7.6 | Control de los dispositivos de seguimiento y de medición (Medición, análisis y mejora) |
| | | | | 8.1 | Generalidades |
| | | | | 8.2.3 | Seguimiento y medición de los procesos |
| | | | | 8.2.4 | Seguimiento y medición del producto |
| | | | | 8.4 | Análisis de datos |
| 4.5.2 | Evaluación del cumplimiento legal | 4.5.2 | Evaluación del cumplimiento legal | 8.2.3 | Seguimiento y medición de los procesos |
| | | | | 8.2.4 | Seguimiento y medición del producto |

| ISO 45001:2018 | | ISO 14001:2004 | | ISO 9001:2000 | |
|----------------|---|----------------|---|--|---|
| 4.5.3 | Investigación de incidentes, no conformidad, acción correctiva y acción preventiva (título solamente) | — | — | — | — |
| 4.5.3.1 | Investigación de incidentes | — | — | — | — |
| 4.5.3.2 | No conformidad, acción correctiva y acción preventiva | 4.5.2 | No conformidad, acción correctiva y acción preventiva | 8.3 8.4 8.5.2 8.5.3 | Control del producto no conforme Análisis de datos Acción correctiva Acción preventiva |
| 4.5.4 | Control de los registros | 4.5.4 | Control de los registros | 4.2.4 | Control de los registros |
| 4.5.5 | Auditoría interna | 4.5.5 | Auditoría interna | 8.2.2 | Auditoría interna |
| 4.6 | Revisión por la dirección | 4.6 | Revisión por la dirección | 5.1 5.6 5.6.1 5.6.2 5.6.3 8.5.1 | Compromiso de la dirección Revisión por la dirección (título solamente) Generalidades Información para la revisión Resultados de la revisión Mejora continua |

Anexo 2. Diagrama de flujo del procedimiento en caso de incendio

