

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO

**“INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
PLANTA RECICLADORA DE PLÁSTICOS DE POLIETILENO
TEREFTALATO (PET) EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE KALLUTACA”**

POSTULANTE: Univ. FRANZ ARIEL GONZALES ZENTENO

TUTOR: Ing. JUAN FERNANDO CUEVAS BANDA

**LA PAZ – BOLIVIA
2022**



**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

El presente proyecto está dedicado a Dios, por ser el pilar fundamental en mi vida y en todos mis proyectos.

A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy y por todos los valores que me han inculcado; a mi madre por creer siempre en mí, por todo su sacrificio y su amor incondicional.

A mis hermanos, por ser mis confidentes, amigos, por sus palabras de ánimo y por brindarme su apoyo en cada momento.

A mi novia, por confiar en mí y por apoyarme en esta nueva etapa de mi vida y a mis amigos por ser un pilar de motivación.

Dedicado a todos ellos, que han fomentado mi deseo de superación, esperanza y felicidad en mi vida; enseñándome a hacer frente a la adversidad.

Este proverbio árabe significa mucho para mí, por ello lo comparto:

***“ Quien quiere hacer algo encuentra un medio,
quien no quiere hacer nada encuentra una excusa. ”***

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Mayor de San Andrés, a la carrera de Ingeniería en Gas, Petróleo y Procesos, por haberme abierto sus puertas y permitirme formar parte de ella y del gran conocimiento que alberga; así mismo agradezco al plantel docente y administrativo, por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

Al director de la carrera de Ing. Petrolera, al Ing. Reynaldo Marín, por su apoyo y por ser fuente de motivación.

A mi tutor, el Ing. Fernando Cuevas, por la orientación, correcciones en el desarrollo de mi proyecto.

Al Ing. Jimmy Guillen, Ing. Félix Orellana y a la Ing. Pamela Chambi, por sus observaciones y consejos que hicieron posible la culminación de este proyecto.

Al plantel administrativo por la colaboración en los tramites, agradecer a la Sra. Lucy, Marcela y Marcos por la buena predisposición.

Para finalizar; agradecer a todos mis compañeros de los diferentes niveles de carrera, que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral hicieron que la etapa universitaria sea increíble e inolvidable llevándome los mejores recuerdos de ello.

CONTENIDO

DEDICATORIA	<i>i</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>ii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>x</i>
ÍNDICE DE GRÁFICOS	<i>xii</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>xiii</i>
RESUMEN EJECUTIVO	<i>xv</i>
ACRÓNIMOS	<i>xvi</i>
GLOSARIO	<i>xvii</i>
CAPÍTULO 1	<i>1</i>
GENERALIDADES	<i>1</i>
1.1. Introducción	<i>1</i>
1.2. Antecedentes	<i>1</i>
1.3. Planteamiento del Problema	<i>3</i>
1.3.1. Identificación del problema	<i>3</i>
1.3.2. Formulación del problema	<i>4</i>
1.4. Objetivos	<i>4</i>
1.4.1. Objetivo General	<i>4</i>
1.4.2. Objetivos Específicos	<i>4</i>
1.5. Justificación	<i>5</i>
1.5.1. Justificación Técnica	<i>5</i>

1.5.2.	Justificación Económica	5
1.5.3.	Justificación Social	6
1.6.	Alcance	7
1.6.1.	Alcance temático	7
1.6.2.	Alcance geográfico	7
1.6.3.	Alcance legal.....	7
CAPITULO II		8
MARCO TEÓRICO.....		8
2.1.	Origen y evolución de los plásticos	8
2.2.	Características generales de los plásticos.....	10
2.3.	Clasificación de los plásticos según su plasticidad	11
2.3.1.	Termoplásticos	11
2.3.2.	Termoestables	11
2.4.	Codificación de los plásticos	12
2.5.	Polietileno tereftalato	14
2.5.1.	Propiedades generales del PET.....	15
2.5.2.	Obtención del PET.....	16
2.5.3.	Polimerización	16
2.5.4.	Cristalización	17
2.5.5.	Polimerización en estado sólido o post polimerización.....	17
2.6.	Reciclaje.....	18
2.7.	El reciclado de plásticos.....	19
2.7.1.	Reciclado químico.....	20

2.7.1.1	Pirólisis	20
2.7.1.2	Hidrogenación.....	20
2.7.1.3	Gasificación.....	20
2.7.1.4	Quimiólisis.....	20
2.7.1.5	Metanólisis.....	21
2.7.2.	Reciclado mecánico.....	21
2.7.2.1	Trituración	22
2.7.2.2	Remoción de contaminantes.....	22
2.7.2.3	Lavado.....	22
2.7.2.4	Secado	22
2.7.2.5	Extrusión.....	23
CAPITULO III		24
ESTUDIO DE MERCADO.....		24
3.1.	Mercado de PET	24
3.2.	Diagnóstico de la gestión de residuos en Bolivia	26
3.3.	Generación total de residuos sólidos en Bolivia.....	27
3.4.	Análisis de la demanda y oferta mundial.....	29
3.5.	Análisis de la demanda.....	32
3.5.1.	Método de mínimos cuadrados	32
3.6.	Análisis de la oferta.....	34
3.6.1.	Método de mínimos cuadrados	35
3.7.	Determinación de la demanda potencial insatisfecha	37
3.8.	Comparación entre la resina virgen y la resina PET reciclada	38

3.8.1.	Principales Ventajas. -	39
CAPÍTULO 4		41
ESTUDIO TÉCNICO		41
4.1.	Localización de la planta	41
4.2.	Tamaño de la planta	42
4.2.1.	Factores que determinan el tamaño óptimo de la planta	42
4.2.2.	El tamaño del proyecto y la demanda.....	43
4.2.3.	El tamaño del proyecto, los suministros e insumos.....	43
4.2.4.	El tamaño del proyecto, la tecnología y los equipos	43
4.3.	Método de escalación	44
4.4.	Ingeniería del proyecto	44
4.4.1.	Descripción del proceso de producción	44
4.4.1.1	Acopio del material.....	45
4.4.1.2	Molienda.....	45
4.4.1.3	Separación.....	46
4.4.1.4	Lavado.....	47
4.4.1.5	Secado	48
4.4.1.6	Peletizadora.....	49
4.4.1.7	Embolsadora	50
4.5.	Características de los equipos utilizados en el proceso	52
4.6.	Balance de masa.....	53
4.6.1.	Alimentador de molino	54
4.6.2.	Molienda	54

4.6.3.	Separación	55
4.6.4.	Lavar	55
4.6.5.	Secar	56
4.6.6.	Peletizar	56
4.7.	Análisis organizacional de la planta.....	57
4.8.	Responsabilidades dentro de la planta.....	58
4.8.1.	Gerente General.....	58
4.8.2.	Auxiliar contable.....	59
4.8.3.	Jefe de comercialización	59
4.8.4.	Fuerza de ventas	59
4.8.5.	Jefe de planta.....	59
4.8.6.	Jefe de mantenimiento	60
4.8.7.	Operarios.....	60
4.9.	Seguridad ocupacional	60
4.9.1.	Evaluación de riesgos laborales	60
4.9.2.	Acciones preventivas para los riesgos involucrados.....	61
4.9.2.1	Exposición a temperaturas elevadas	61
4.9.2.2	Exposición a ruido.....	62
<i>CAPÍTULO V</i>		63
<i>ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL</i>		63
5.1.	Residuos sólidos en Bolivia.....	63
5.2.	Reciclado de PET y medio ambiente.....	64
5.2.1.	Beneficios del reciclado	64

5.3.	Problemática ambiental asociada al proyecto	64
5.3.1.	Efluentes líquidos.....	65
5.4.	Impactos generados por la producción de pellets	65
5.4.1.	Matriz de Leopold	65
<i>CAPÍTULO VI.....</i>		67
<i>ESTUDIO ECONÓMICO.....</i>		67
6.1.	Determinación de los costos.....	67
6.2.	Costos de producción.....	67
6.2.1.	Costo por materia prima	67
6.2.2.	Costo de mano de obra directa e indirecta	68
6.2.3.	Costo por los servicios.....	68
6.2.4.	Costos por mantenimiento y cargos por depreciación	69
6.3.	Costo de recursos humanos: administración y comercialización	70
6.4.	Costo por infraestructura	72
6.5.	Costo por equipos	73
6.6.	Ventas netas	73
6.7.	Estado de resultados	74
6.8.	Flujo de caja	75
6.9.	Valor actual neto (VAN).....	76
6.10.	Tasa interna de retorno (TIR).....	76
6.11.	Relación del VAN con la TIR.....	77
<i>CAPÍTULO 7</i>		78

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
7.1. Conclusiones	78
7.2. Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFIA.....	80
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tipo de plásticos.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2. Fórmula química del PET.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3. Botellas de PET.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4. Reciclaje.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5. Proceso de reciclado mecánico.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6. Lista de países importadores de RPET.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Porcentaje de PET reciclado.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Mapa satelital del parque industrial de Kallutaca.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9. Proceso del reciclado mecánico.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10. Molienda.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 11. Equipo de separación por burbujeo.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 12. Hidrociclón para la limpieza de PET.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 13. Secador centrífugo.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14. Peletizadora.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15. Máquina para embolsar pellet.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 16. Bolsas con pellet.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 17. Producto terminado; pellet para la comercialización.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 18. Esquema gráfico del proceso de reciclado mecánico.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 19. Estructura organizacional.....</i>	<i>58</i>

Figura 20.	<i>Indumentaria a elevadas temperaturas</i>	62
Figura 21.	<i>Elementos de protección auditiva</i>	62
Figura 22.	<i>Referencia de grados de impacto</i>	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Consumo mundial de la resina PET.....	25
Gráfico 2.	Porcentaje de residuos sólidos generados por departamento	28
Gráfico 3.	Composición porcentual de los residuos sólidos	29
Gráfico 4.	Demanda Histórica de PET en Bolivia	32
Gráfico 5.	Proyección de la demanda.....	34
Gráfico 6.	Oferta Histórica de PET reciclado en Bolivia.....	35
Gráfico 7.	Proyección de la oferta de PET reciclado	37
Gráfico 8.	Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha	38
Gráfico 9.	Precio histórico de resina PET reciclada	40
Gráfico 10.	Riesgos significativos identificados por actividad.....	61
Gráfico 11.	Relación del VAN con TIR	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Código de los plásticos.....</i>	13
Tabla 2.	<i>Propiedades del PET</i>	16
Tabla 3.	<i>Residuos Sólidos Recolectados por ciudades en toneladas</i>	27
Tabla 4.	<i>Cálculo de variables para mínimos cuadrados</i>	33
Tabla 5.	<i>Proyección de la demanda.....</i>	34
Tabla 6.	<i>PET reciclado en Bolivia</i>	35
Tabla 7.	<i>Calculo de variables para mínimos cuadrados</i>	36
Tabla 8.	<i>Proyección de la oferta de PET reciclado.....</i>	36
Tabla 9.	<i>Proyección de la demanda insatisfecha</i>	38
Tabla 10.	<i>Características de los equipos</i>	52
Tabla 11.	<i>Composición de la botella.....</i>	53
Tabla 12.	<i>Situación actual de los rellenos sanitarios</i>	63
Tabla 13.	<i>Matriz de impacto ambiental para la producción</i>	66
Tabla 14.	<i>Costo de materia prima más insumo.</i>	67
Tabla 15.	<i>Costo por mano de obra directa e indirecta que intervienen en la producción.....</i>	68
Tabla 16.	<i>Costo de los servicios</i>	68
Tabla 17.	<i>Costo por mantenimiento y cargo por depreciación</i>	69
Tabla 18.	<i>Costos de producción.</i>	69

Tabla 19.	<i>Determinación de la mano de obra indirecta</i>	70
Tabla 20.	<i>Gasto operativo general</i>	70
Tabla 21.	<i>Gasto operativo área de comercialización</i>	71
Tabla 22.	<i>Gasto operativo área de administración</i>	71
Tabla 23.	<i>Presupuesto gasto operativo.....</i>	72
Tabla 24.	<i>Costo por infraestructura</i>	72
Tabla 25.	<i>Costo por equipos.....</i>	73
Tabla 26.	<i>Ventas netas.....</i>	73
Tabla 27.	<i>Estado de Resultados en Bs.....</i>	74
Tabla 28.	<i>Flujo de caja</i>	75
Tabla 29.	<i>Flujo de caja</i>	76
Tabla 30.	<i>Datos para la relación VAN con TIR.....</i>	77

RESUMEN EJECUTIVO

El consumo de botellas PET aumenta cada año, siendo el mayor problema de este material el tiempo de degradación ya que puede llegar a ser más de 100 años. En la actualidad ante el poco conocimiento en temas de reciclaje hacen que su principal destino sean vertederos de basura, por lo que la tasa de reciclado es mínima, y esta sea motivo de contaminación medioambiental cada vez mayor.

Para producir plástico virgen PET como materia prima se utilizan recursos naturales no renovables como petróleo y gas; con el reciclaje de este material se podría reducir la contaminación, generando así ahorro de recursos no renovables y mayor movimiento económico; por ello la creación de esta planta de reciclaje se abocará específicamente al reciclado y procesamiento de botella PET post- consumo.

El detalle analítico de este proyecto se presenta en seis capítulos principales como a continuación se describe: En el primer capítulo I se menciona la realidad problemática, los objetivos y justificación del proyecto. En el capítulo II se describe el marco teórico que fue utilizado durante la realización del proyecto. En el capítulo III se realiza un estudio sobre investigación de mercado analizando puntos como oferta y demanda. En el capítulo IV se desarrolla el estudio técnico se trata puntos como el tamaño, la localización de la planta que será en el parque industrial de Kallutaca y la ingeniería del proyecto. En el capítulo V se realiza un estudio medioambiental. En el capítulo VI se realiza el estudio económico donde se determina la factibilidad del proyecto de acuerdo a los resultados obtenidos en el flujo de caja y los indicadores VAN, TIR.

ACRÓNIMOS

CAGR: Compound anual growth rate o tasa de crecimiento anual compuesto

DMT: Dimetil tereftalato

PE: Polietileno

PET: Polietileno tereftalato

PP: Polipropileno

HDPE: High density Polyethylene o polietileno de alta densidad

RPET: Polietileno tereftalato reciclado

PS: Poliestireno

PTA: Ácido Tereftálico

PVC: Cloruro de polivinilo

GLOSARIO

Cloruro de polivinilo: Es un plástico obtenido a partir de la polimerización; los diversos componentes de este material derivan del gas natural, del petróleo y del sodio. Una de las principales virtudes del PVC es que es un material muy versátil; puede ser tan rígido como una tubería industrial o tan flexible como una funda de plástico.

Edafología: Ciencia que estudia la naturaleza y propiedades de los suelos con relación a la producción vegetal.

Flake: Escama u hojuela molida para ser procesada.

Geomorfología: Rama de la geología y la geografía física, que se dedica al estudio e interpretación de todos los tipos de relieves del planeta tierra.

Impacto ambiental: Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una acción sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea base, debido a la acción antrópica o a eventos naturales.

Polietileno de alta densidad: Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Es más duro, fuerte y un poco más pesado que el de baja densidad, pero es menos dúctil. Tiene muchas aplicaciones; más de la mitad de su uso es para la fabricación de recipientes, tapas y cierres; otro gran volumen se moldea para utensilios domésticos y juguetes; un uso también importante que tiene es para tuberías y conductos.

Polietileno tereftalato: Poliéster que forma parte de la familia de los plásticos termoformables (o termoplásticos) fácilmente moldeables cuando se le aplica el nivel de temperatura correspondiente.

Polímero: Son compuestos formadas a partir de estructuras más pequeñas llamadas monómeros. Los monómeros son moléculas de bajo peso molecular que, cuando se someten al proceso de polimerización, generan una macromolécula polimérica.

Polipropileno: El polipropileno es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno. Pertenece al grupo de las poliolefinas. Es uno de los polímeros más versátiles, con aplicaciones tanto de plástico como en fibras.

Relleno Sanitario: Un relleno sanitario es un lugar destinado a la disposición final de residuos sólidos, en el cual se toman múltiples medidas para reducir los problemas generados por otro método de tratamiento de los residuos, estas medidas comprenden el estudio meticoloso de impacto ambiental, económico y social desde la planeación y elección del lugar hasta la vigilancia y estudio del lugar en toda la vida del relleno sanitario.

Residuos sólidos o basura: Son materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en los procesos que los genero, que pueden ser objeto de tratamiento o reciclaje.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Introducción

El presente proyecto se encuentra dirigido al reciclaje de botellas PET post-consumo, como opción para reducir la contaminación y preservación de recursos no renovables; ya que las botellas PET son fabricadas en base a petróleo crudo, gas y aire. Siendo así preocupación de muchos gobiernos el crecimiento y producción imparable de botellas PET, debido a que es un producto de un solo uso y cada vez existe un incremento de residuos PET.

Para esto la palabra reciclaje nos abre una puerta a un mundo donde el desarrollo sustentable no es solo una utopía, sino que una realidad tangible y que puede llegar a causar un impacto positivo en la lucha por mantener el equilibrio y la sustentabilidad del planeta.

El reciclaje se realiza de distintas maneras ya sea mecánico o químico. La poca inversión que existe para este tipo de proyectos, se debe a que, a diferencia de los países desarrollados, los países subdesarrollados no cuentan con una conciencia ambientalista, no ven como prioridad la realización de proyectos que contribuyan la mejora del medio ambiente, sino que todavía batallan con problemas sociales y buscan el desarrollo de forma apresurada.

En este proyecto se presenta la oportunidad que se tiene de realizar este tipo de negocio, el de reciclar botellas de PET, así contribuir de forma discreta al reciclaje, también generar mercados potenciales, posibilidades de empleo, emprendimiento, innovación y poder desarrollar en corto o mediano plazo, para así crear conciencia de que podemos desarrollar una economía sustentable y circular.

1.2. Antecedentes

Los plásticos son polímeros que junto a los aditivos apropiados ofrecen materiales con excelentes propiedades térmicas, aislantes, resistencia a ácidos, bases y disolventes. La

complejidad de estos materiales hace que los plásticos no se eliminen con facilidad y tarden en degradarse muchos años hasta siglos; además que se generan en gran volumen.

El PET es uno de estos polímeros, empleados en gran medida para la fabricación de botellas y envases de alimentos; entre otros usos. A pesar de que su fabricación y disposición genera grandes impactos ambientales, gracias a sus características pueden ser objeto de reciclaje.

Desde la década de los años 90 se incorporó a la agenda internacional los temas de medio ambiente, con impactos reflejados en la importancia del emprendimiento de proyectos que permitan cumplir con los objetivos verdes de cada uno de los países que han ratificado los acuerdos logrados.

Desde el año de 1992, con la Cumbre de Rio de Janeiro o Cumbre de la Tierra; se reconoció la importancia del medio ambiente en la agenda de los países, de esta forma se establecieron 27 principios no vinculantes a los países participantes, pero que reconocían y determinaban lineamientos que tienen como principal objetivo contribuir a un desarrollo sostenible del planeta. (Manos unidas, 2020)

Posterior a la Cumbre de Rio, en 1997 se celebró en Kyoto, una cumbre cuyo resultado se refleja en el protocolo de Kyoto, documento que recopila en 28 artículos los compromisos y metas específicos de los países industrializados y en vía de desarrollo con relación a la protección del medio ambiente. (United Nations Climate Change, 2012)

Al principio nadie cayó en la cuenta del problema que se venía, y ahora tenemos que lidiar con 8.300 millones de toneladas de este material. Cada hora se compran 60 millones de botellas de plástico en todo el mundo, muchas de las cuales acaban en el medio ambiente. (National Geographic España, 2019)

Ya nadie duda del gravísimo problema que suponen los plásticos de un solo uso, por eso es importante alcanzar acuerdos lo antes posible.

En respuesta a este hecho la cuarta asamblea medioambiental de la ONU celebrada en Nairobi, Kenia, ha terminado con una declaración en la que más de 200 países se han comprometido a reducir el uso de plásticos para 2030. Para algunos, un objetivo poco ambicioso, pero que para otros se podría resumir en el castizo dicho: "algo es algo".

En el día mundial del medio ambiente, el instituto nacional de estadística dio a conocer que la recolección de residuos sólidos en las ciudades capitales de los nueve departamentos del país llegó a 1.426.988 toneladas el 2016, registrando en una década el incremento de 576.257 toneladas, según datos obtenidos de los registros administrativos de las empresas municipales de aseo. (INE, 2021)

Los principales problemas del país son la disposición de residuos sólidos con rellenos sanitarios ya por colapsar, el poco conocimiento e la informalidad en la industria del reciclaje que existe en nuestro país; el uso indiscriminado de materiales plásticos de un solo uso y políticas de reciclaje.

Con esta información disponible se evidencia una gran oportunidad de estudiar la viabilidad de una alternativa que promueva el aumento de los niveles de reciclaje de residuos PET en Bolivia.

1.3. Planteamiento del Problema

1.3.1. Identificación del problema

La acumulación de sólidos residuales urbanos es una de las temáticas ambientales más preocupantes en la actualidad. Por la gran cantidad de materiales desechables no degradables que genera la industria del plástico. El PET es un polímero termoplástico usado ampliamente por sus buenas propiedades para envases de productos alimenticios como agua, bebidas carbonatadas, aceites, etc. El volumen de los desechos de este material se acumula en los rellenos sanitarios.

El plástico es un material altamente contaminante y tarda de 100 a 1000 años en degradarse, así el impacto que provoca en el medioambiente es enorme y constituye una de las principales causas de contaminación en el mundo. Por lo mismo urge la necesidad de modificar nuestro estilo de vida y reemplazarlo por uno más sustentable y ecológico.

La gran mayoría de las botellas plásticas de bebidas como agua, gaseosas son de resina PET. El PET está hecho de petróleo crudo, gas y aire; un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Se necesitan casi 91 millones de litros de petróleo para producir 1.000 millones de botellas plásticas. Más del 4% de la producción de petróleo en el mundo se usa para la producción de plástico. (Greenpeace, 2015)

Por estas razones es necesario implementar una planta de reciclado de PET para reducir la contaminación, preservar y reducir el uso de recursos renovables y generar una economía sustentable a partir del reciclaje.

1.3.2. Formulación del problema

Realizando un análisis del problema que enfrentamos, con respecto a la contaminación y poca cultura del reciclaje de botellas PET; formulamos la siguiente interrogante:

¿Cómo afecta a nuestro país la falta de conciencia en tema de reciclaje y de qué manera contribuirá una planta de reciclado de botellas PET en nuestra sociedad y en la preservación de nuestros recursos renovables?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un estudio de ingeniería conceptual para la implementación de una planta recicladora de plásticos de polietileno tereftalato (PET) en el parque industrial de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ❖ Disminuir la contaminación ambiental por plásticos PET mediante el reciclado.

- ❖ Reducir las cantidades de residuos plásticos destinados a rellenos sanitarios y botaderos de basura.
- ❖ Disminuir la afectación a los recursos naturales.
- ❖ Realizar un estudio de mercado.
- ❖ Realizar un estudio técnico donde exista la descripción de los procesos usados en el reciclaje.
- ❖ Determinar la viabilidad del proyecto mediante un estudio económico.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación Técnica

La acumulación de residuos sólidos urbanos es un problema que afecta a nivel mundial. En Bolivia este problema se acentúa por la escasa cultura ambiental, los pocos programas de reciclaje en el país y el poco interés por los beneficios socioeconómicos del reciclaje.

Es notoria la presencia de residuos PET en los cauces de corrientes superficiales y en el drenaje, provocando taponamiento del sistema y dificultades en los procesos de desagües, lo que facilita inundaciones en temporada de lluvias; además de generar "montañas" de envases en las orillas de los cauces de ríos. Los lotes baldíos representan también un fuerte foco de atracción para el desecho de diversos residuos, de entre los cuales destacan los envases de PET.

Por esta razón la elaboración de este proyecto para contribuir al reciclado de botellas PET mediante el método tecnológico de reciclaje mecánico. La planta se instalará en el departamento de La Paz en el parque industrial Kallutaca.

1.5.2. Justificación Económica

El actual modelo de producción y gestión de recursos, bienes y servicios que busca potenciar un consumo a corto plazo está llevando al planeta a una situación insostenible. Para poder preservar recursos no renovables como el petróleo y gas es necesario reciclar. Como dato

alarmante; reciclar dos toneladas de plástico usado significaría ahorrar una tonelada de petróleo bruto, gran cantidad de agua, y además conseguimos que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero y los residuos generados en el proceso.

El plástico no es basura con esa premisa una planta de reciclaje de botellas PET estará destinado a apoyar una economía circular eficiente en el uso de recursos basada en una sociedad del reciclado a fin de reducir la producción de residuos y utilizarlos como recursos; generando un negocio rentable que no solo genera ganancias y empleo en el país, sino que también dará un respiro al medioambiente.

1.5.3. Justificación Social

La mayoría de las personas por no decir todas viven en una sociedad consumista que no valora las cosas que tiene, y todo lo que compra lo desecha enseguida, sin saber a dónde va a parar, la mayoría de esos desechos vuelve al ser humano a través de la cadena alimentaria y el otro porcentaje se transforma en materiales de contaminación que dañan la atmósfera y contaminan el oxígeno que el ser humano necesita para vivir, como lo son en este caso los plásticos. Esto según algunos analistas, es cuestión de actitud, y de conciencia, es la manera en que el hombre ha perdido parte de sus valores y se ha vuelto un ser depredador, que todo lo daña y destruye sin pensar en el futuro, y he allí entonces en donde es necesario cambiar los hábitos y transformar el modo de vida de las personas, educándolos en pensamientos y conocimientos que logren rescatar los valores perdidos, para que adquieran mayor sensibilidad por el ambiente que lo rodea.

Con este trabajo de investigación se da a conocer la problemática que existe a cerca del mal manejo de plásticos en el país. Debido a esto la comunidad requiere una estrategia desde el ámbito educativo. El propósito de esta investigación es sensibilizar a las personas que, al reutilizar los elementos reciclables, damos a entender que reciclar ayuda al planeta.

1.6. Alcance

1.6.1. Alcance temático

En el presente proyecto se desarrolla la ingeniería conceptual para la implementación de una planta recicladora de plásticos PET, este proyecto aborda aspectos propios tales como la ingeniería conceptual, evaluación económica y financiera, todos estos aspectos son desarrollados por medio de herramientas y técnicas adquiridas a lo largo de una formación profesional.

Dado que el PET es el plástico que más se encuentra en productos de consumo doméstico, y por ende en basureros; y teniendo en cuenta el fin que motiva este proyecto es de contribuir a la reducción de la contaminación ambiental en forma de basura, la planta se abocara específicamente al reciclado de plásticos PET.

1.6.2. Alcance geográfico

El presente proyecto se desarrollará en el parque industrial de Kallutaca, ubicado en el departamento de La Paz, en la provincia de Los Andes, en el municipio de Laja. Se eligió este lugar ya que ofrece espacio físico; además de infraestructura, seguridad y la posibilidad de formar economías de red y ganar escala

1.6.3. Alcance legal

Para este proyecto se toma en cuenta normas, decretos supremos y leyes como el Decreto Supremo No 2887; Ley del Medio Ambiente 1333. Además, se toma en cuenta la guía de educación ambiental en la gestión integral de residuos sólidos del ministerio de medio ambiente y agua.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Origen y evolución de los plásticos

En 1860 el inventor norteamericano Wesley Hyatt, desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol dando así origen al plástico. Este producto, fue patentado con el nombre de celuloide el cual tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz. (Rubept, 2014)

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Como característica del celuloide podía ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar, no conducía electricidad, era resistente al agua y los disolventes, pero fácilmente mecanizable. Se lo bautizó con el nombre de baquelita (o bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia. (Rubept, 2014)

Baekeland nunca supo que lo que había sintetizado; era lo que hoy conocemos con el nombre de copolímero. A diferencia de los homopolímeros, que están formados por unidades monoméricas idénticas, los copolímeros están constituidos, al menos, por dos monómeros diferentes.

Se desconocía que el alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular de la baquelita le confiere la propiedad de ser un plástico termoestable, es decir que puede moldearse apenas concluida su preparación.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP). (Lugo, 2008)

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo, que al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustituto del caucho.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos y recipientes.

También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Dupont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico, formaban polímeros que bombeados a través de agujeros y estirados formaban hilos que podían tejerse. (Richardson, 2004)

Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

Durante la segunda guerra mundial, existieron reducciones en los suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos

aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, por lo que inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos.

La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético.

Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos.

Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas.

En 1953, el químico alemán Karl Ziegler realizó avances sobre el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros. (Lugo, 2008)

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del PET, material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

2.2. Características generales de los plásticos

Los plásticos se caracterizan por su alta relación entre resistencia y densidad, siendo excelentes aisladores térmicos y eléctricos con una buena resistencia a los ácidos álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales,

ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas es decir que estas se ablandan al calor, mientras que las entrecruzadas son termoendurecibles esto quiere decir que se endurecen con calor.

2.3. Clasificación de los plásticos según su plasticidad

Desde el punto de vista de la plasticidad por elevación de la temperatura, los plásticos se clasifican en dos categorías muy diferentes:

Termoplásticos.

Termoestables.

2.3.1. Termoplásticos

Estos tipos de plásticos al calentarse fluyen como líquidos viscosos y al enfriarse se solidifican. El enfriamiento y calentamiento puede realizarse cuantas veces se quiera sin perder las propiedades del material. Este tipo de plásticos componen aproximadamente el 85% de los plásticos consumidos y son reciclables.

Los principales tipos de termoplásticos son:

- ❖ Polietileno
- ❖ Polipropileno
- ❖ Poliestireno
- ❖ Cloruro de Polivinilo
- ❖ Nylon
- ❖ Polietileno Tereftalato

2.3.2. Termoestables

Este tipo de plásticos se funden al aplicar calor y se solidifican al aplicar aún más calor. Estos no pueden ser recalentados y remodelados pero pueden reprocesarse por fusión. Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos.

Los principales tipos de termoestables son:

- ❖ Resina de Poliéster.
- ❖ Melanina Formaldehído.
- ❖ Urea Formaldehído.
- ❖ Fenol Formaldehído (Bakelita).

2.4. Codificación de los plásticos

Estos símbolos desarrollados en 1988 por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI por sus siglas en inglés), identifican el contenido de resina del recipiente en el que se han colocado los símbolos. Durante más de 20 años, el sistema del Código de Identificación de Resinas de la SPI ha facilitado el reciclaje de los plásticos después de utilizados por el consumidor. (Tecnología de los plásticos, 2011)

Los propósitos del código original de SPI fueron:

- ❖ Brindar un sistema coherente para facilitar el reciclado de los plásticos usados.
- ❖ Concentrarse en los recipientes plásticos.
- ❖ Ofrecer un medio para identificar el contenido de resina de las botellas y recipientes que se encuentran normalmente en los residuos residenciales.
- ❖ Ofrecer una codificación para los seis tipos de resinas más comunes, y una séptima categoría para todos los otros tipos que no estén dentro de los códigos 1 al 6.

Tabla 1. Código de los plásticos

RESINA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
 PET	Está constituido de petróleo, gas y aire: a partir del crudo se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para obtener ácido tereftálico. El Etileno, obtenido de derivados del gas natural se oxida con aire para formar etilenglicol. La combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol da como resultado el PET.	Botellas para agua, gaseosa, aceite y vinos. Envases farmacéuticos
POLIETILENTEREFTALATO (PET)		Películas para empaque de alimentos. Cuerdas, alfombras, rafia, zuncho y otras fibras
 HDPE	Se produce a partir del etileno derivado del petróleo o el gas. En un reactor se somete a un proceso de polimerización en presencia de un catalizador y en condiciones de presión y temperatura que dan como resultado gránulos o pellets. Según el proceso de fabricación, existen diferentes variedades: Polietileno de alta densidad (PEAD) y Polietileno de Baja densidad (PEBD), el cual puede ser convencional o lineal.	PEAD: Tubería, tanques, canastas, contenedores, recubrimiento para cables, bañeras, juguetes, señalizadores viales.
 LDPE POLIETILENO (PEAD – PEBD)		PEBD: Películas para envolver productos y para uso agrícola, bolsas, sacos, tapas, láminas adhesivas, botellas, mangueras de conducción de agua, contenedores flexibles y recubrimientos
 PVC CLORURO DE POLIVINILO (PVC)	En su composición están presentes: carbono e hidrógeno en forma de etileno, derivado del petróleo o gas, y cloro. La resina virgen se mezcla con aditivos específicos para obtener las propiedades requeridas: flexibilidad, transparencia, textura o color.	PVC Suspensión-rígido: Tubería y accesorios, construcción, partes de electrodomésticos y computadores.
		PVC Suspensión-flexible: Membranas para impermeabilización, aislantes para cables, bolsas para suero o sangre.
 PP POLIPROPILENO (PP)	Hidrocarburo que pertenece a la familia de las poliolefinas y que se produce a partir de la polimerización del Propileno. Su estructura molecular consiste en un grupo metilo (CH3) unido a un grupo vinilo (CH2). El Polipropileno también puede ser copolimerizado con etileno para formar los copolímeros random (para mayor transparencia y brillo) y los copolímeros de impacto (resistencia al impacto y a bajas temperaturas).	Películas para empaques flexibles, botellas y botellones, bolsas en general y laminaciones. Rafia, cuerda industrial, zuncho y mallas. Muebles plásticos, utensilios domésticos y juguetes.
 PS POLIESTIRENO (PS)	Polímero resultante de la síntesis orgánica entre el etileno y el benceno por medio de un proceso de polimerización. Hay dos principales tipos de Poliestireno: de uso general y de alto impacto.	Envases y empaques de uso permanente y desechables. Accesorios médicos e industria farmacéutica y cosmética. Industria de la construcción: divisiones de baño, difusores de luz, cielorazos y concreto aligerado. Elementos para equipos electrónicos. Artículos escolares y de oficina.
 OTROS OTROS	Policarbonato (PC) Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) Poliamida (PA) Nylon Acetatos Estireno Acrilonitrilo (SAN)	Botellones para agua, empaques para alimentos, discos compactos, carcasas para computadores y equipos de tecnología, películas. Son resistentes a la corrosión, flexibles, livianos y resistentes a la temperatura

Fuente: <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/clasificacion-de-plasticos>

Figura 1. Tipo de plásticos



Fuente: <https://www.vivirsinplastico.es>

2.5. Polietileno tereftalato

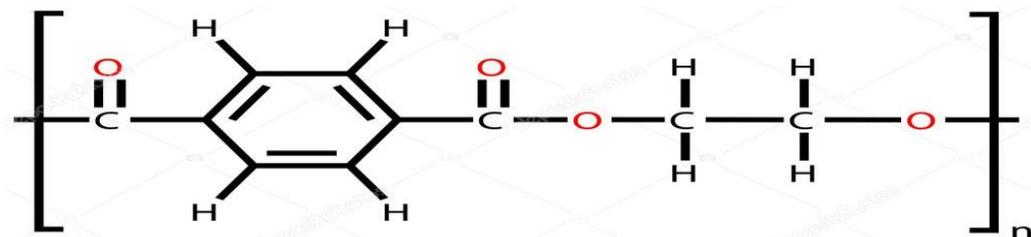
El PET, cuyo nombre técnico es Polietileno Tereftalato, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941. Años más tarde, en 1951 comenzó la producción comercial de fibra de poliéster. (Quiminet, 2005)

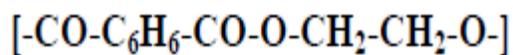
Desde entonces, la fabricación de PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico, logrando un alto nivel de calidad y una diversificación en sus empleos.

A partir de 1976 se emplea en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas, los cuales, al principio eran botellas gruesas y rígidas, pero hoy en día, sin perder sus excelentes propiedades como envase, son mucho más ligeros.

El PET se produce a partir del ácido tereftálico y etilenglicol y su fórmula química es la siguiente:

Figura 2. Fórmula química del PET





Fuente: <https://www.omnexus.specialchem.com>

El PET es un material caracterizado por su gran ligereza, resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, es 100% reciclable y se identifica con el número uno, o la sigla PET, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según el sistema de identificación SPI. En resumen, es un plástico de alta calidad con posibilidad de ser reutilizable.

Figura 3. Botellas de PET



Fuente: <http://www.algodonorganico.es/pet>

2.5.1. Propiedades generales del PET

- ❖ Procesable por soplado, inyección, extrusión
- ❖ Transparencia y brillo con efecto lupa
- ❖ Barrera contra gases
- ❖ Cristalizable
- ❖ Esterilizable por gamma y óxido de etileno
- ❖ Alto grado para reciclar

❖ Liviano

Tabla 2. Propiedades del PET

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1,39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 – 0,04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15,2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3,65
Absorción de agua (24 h)	%	0,02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Industria del Plástico. Richardson

2.5.2. Obtención del PET

El PET es una resina poliéster de etilenglicol y ácido tereftálico. Se clasifica en función de la viscosidad intrínseca, la cual es directamente proporcional a su peso molecular y de la modificación polimérica que reduce la velocidad de cristalización y el punto de fusión.

2.5.3. Polimerización

De manera industrial, se puede partir de dos productos intermedios distintos:

- ❖ TPA - Ácido tereftálico
- ❖ DMT - Dimetiltereftalato

Mediante la esterificación la cual consiste en la eliminación de agua en el proceso del TPA y metanol en el proceso del DMT, se obtiene el monómero Bis-beta- hidroxietil-tereftalato, para posteriormente pasar a la fase de policondensación, la que se realiza mediante catalizadores

y temperaturas elevadas arriba de 270° C, alcanzando así la polimerización de esta resina. (Textos científicos, 2010)

Cuando la masa del polímero ha alcanzado la viscosidad deseada, se romperá el vacío, introduciendo nitrógeno en el recipiente. En este punto se detiene la reacción y la presencia del nitrógeno evita fenómenos de oxidación. La masa fundida, por efecto de una suave presión ejercida por el nitrógeno, es obligada a pasar a través de una matriz, en forma de hilos gruesos, cayendo en un recipiente con agua, donde se enfrían y consolidan. Los hilos que pasan por una cortadora, se reducen a gránulos, los cuales, tamizados y desempolvados se envían al almacenamiento y fabricación.

El gránulo así obtenido es brillante y transparente porque es amorfo, tiene baja viscosidad, o sea un bajo peso molecular, volviéndolo apto para la producción de botellas.

2.5.4. Cristalización

La cristalización es el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos, de estructura amorfa (transparente a la luz), a una estructura cristalina (opaca a la luz) que le confiere a la resina una coloración blanca lechosa. El proceso industrial consiste en un tratamiento térmico a 130 - 160 °C, durante un tiempo que puede variar de 10 minutos a una hora. Con la cristalización, la densidad del PET pasa de 1.33 g/cm³ del amorfo a 1.4 del cristalino.

2.5.5. Polimerización en estado sólido o post polimerización

Esta es una fase posterior de polimerización del PET. El granulo cristalizado es sometido a un flujo de gas inerte por lo general se utiliza nitrógeno a temperatura elevada superior a los 200 ° C. Este tratamiento crea una reacción de polimerización que aumenta el peso molecular de la resina hasta los valores correspondientes de índice de viscosidad que va desde 0.72 a 0.86 los cuales son idóneos para la fabricación de botellas. Esta resina contiene un elevado porcentaje de cristalinidad mayor a 50 con viscosidad grado para botella.

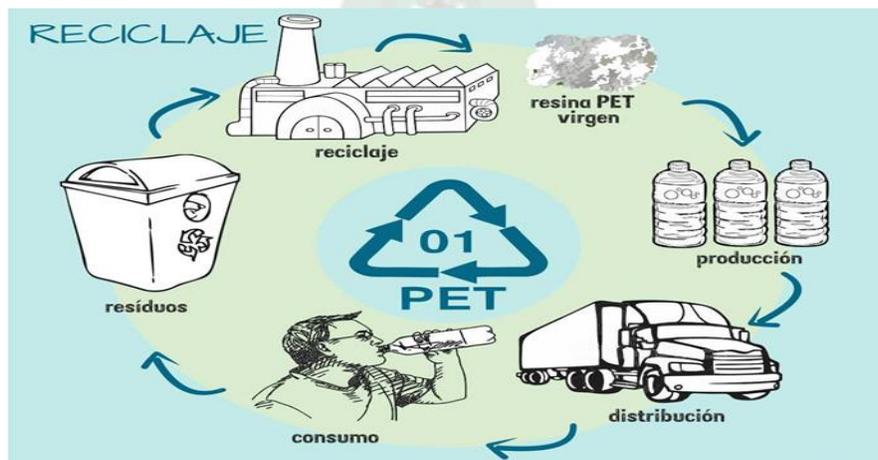
La fabricación de botellas PET consiste en un proceso de inyección-estirado-soplado. El PET utilizado para botellas se presenta en forma de pequeños cilindros o chips, los cuales, una vez secos se funden e inyectan a presión en máquinas de cavidades múltiples de las que salen las preformas, recipientes similares a tubos de ensayo, pero con rosca para un tapón. Estas son sometidas a un proceso de calentamiento controlado y gradual y a un moldeado donde son estirados por medio de una varilla hasta el tamaño definitivo del envase. Por último, son "soplados" inflados con aire a presión limpio hasta que toman la forma del molde.

Con este proceso, las moléculas se acomodan en forma de red, orientándose en dos direcciones; longitudinal y paralela al eje del envase, propiedad denominada biorientación la cual aporta la elevada resistencia mecánica del envase.

2.6. Reciclaje

El reciclaje consiste en someter un material o producto ya utilizado a un nuevo ciclo de tratamiento total o parcial, para obtener una materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos en el ciclo de la reutilización, esto se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales y para eliminar de forma eficaz los desechos. (Ferro, 2008)

Figura 4. Reciclaje



Fuente: <https://www.ecologic.com/reciclaje-de-pet>

2.7. El reciclado de plásticos

Principalmente se debería minimizar el volumen y peso de los residuos para resolver el problema global de los mismos. Toda gestión de los residuos plásticos debe comenzar por la reducción en la fuente.

La reducción en la fuente se refiere directamente al diseño y a la etapa productiva, principalmente de envases antes de ser consumidos. Es una manera de concebir los productos con un nuevo criterio ambiental; generar menos residuos. Y esto es aplicable a todas las materias primas: vidrio, papel, cartón, aluminio y plásticos.

En el caso de los residuos plásticos, la reducción en la fuente es responsabilidad la industria petroquímica, de la industria transformador, y de quién diseña el envase.

También podría decirse que al consumidor le corresponde una buena parte de la responsabilidad, ya que es quién tiene la facultad de elegir entre un producto que ha sido concebido con criterio de reducción en la fuente y otro que derrocha materia prima y aumenta innecesariamente el volumen de los residuos.

Las principales ventajas del reciclaje son:

- ❖ Disminuye la cantidad de residuos, es mejor no producir residuos que resolver qué hacer con ellos.
- ❖ Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.
- ❖ Se ahorran recursos naturales, energía, materia prima y recursos financieros.
- ❖ La reducción en la fuente aminora la polución y el efecto invernadero.
- ❖ Requiere menos energía transportar materiales más livianos. Menos energía significa menos combustible quemado, lo que implica a su vez menor agresión al ambiente.

Para el reciclaje de plásticos se deben separar los distintos tipos de plásticos en fracciones individuales. Luego existen dos opciones para el reciclaje de plásticos, mecánica o químicamente.

2.7.1. Reciclado químico

El reciclado químico trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas dando origen nuevamente a materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos.

El reciclado químico comenzó a ser desarrollado por la industria petroquímica con el objetivo de lograr las metas propuestas para la optimización de recursos y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación. Dando origen a productos finales de muy buena calidad.

Los principales procesos existentes son:

2.7.1.1 Pirólisis

Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

2.7.1.2 Hidrogenación

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

2.7.1.3 Gasificación

Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

2.7.1.4 Quimiólisis

Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poli acetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos

como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos. (Billmeyer, 1975)

2.7.1.5 Metanólisis

Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster, es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonadas.

Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET. (Ferro, 2008)

Estos procesos tienen diferentes costos y características.

Algunos, como la quimiólisis y la metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. En cambio, la pirólisis permite utilizar residuos plásticos mixtos.

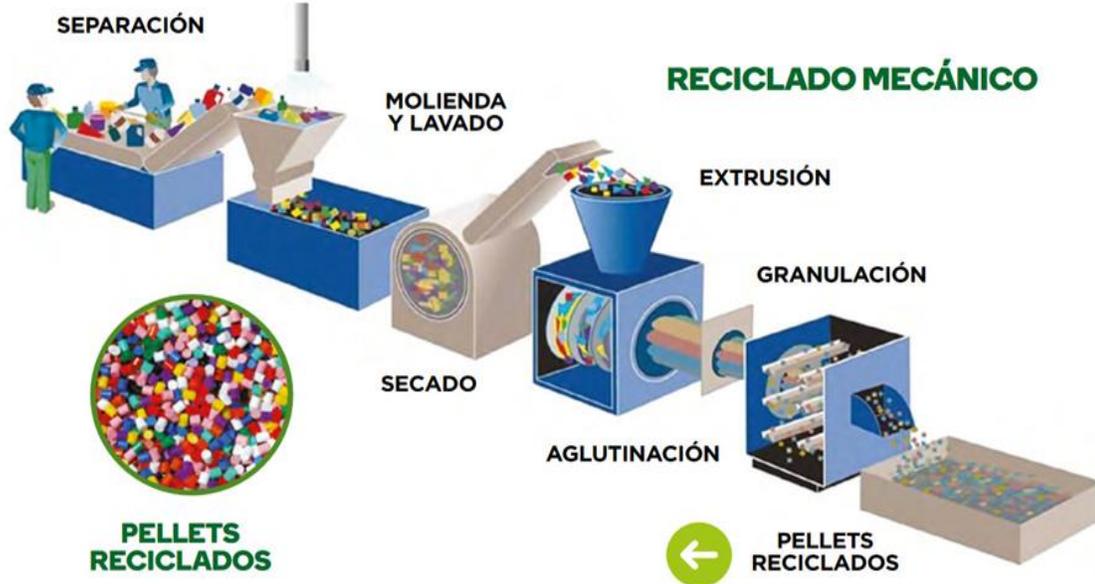
2.7.2. Reciclado mecánico

El reciclado mecánico es la conversión de los desechos plásticos post-industriales o post-consumo en gránulos que pueden ser reutilizados en la producción de otros productos, dicho reciclado hace posible obtener diferentes plásticos en determinadas proporciones o productos compuestos por un único tipo de plástico. (Ecoplast, 2000)

El reciclaje mecánico consta de las siguientes etapas:

- ❖ Trituración para obtener hojuelas
- ❖ Remoción de contaminantes
- ❖ Lavado
- ❖ Secado
- ❖ Extrusión para formar pellets (materia prima para realizar nuevos objetos)

Figura 5. Proceso de reciclado mecánico



Fuente: <https://ecoplas.org.ar>

2.7.2.1 Trituración

El plástico es fragmentado en pequeñas partes con un molino especial.

2.7.2.2 Remoción de contaminantes

En esta etapa son removidos los diferentes tipos de contaminantes por ejemplo etiquetas, papel otros contaminantes.

2.7.2.3 Lavado

Después de la remoción de contaminantes, el plástico pasa por una etapa de lavado para eliminar la suciedad. Es preciso que el agua de lavado reciba un tratamiento para su reutilización o emisión como afluente.

2.7.2.4 Secado

En esta etapa se retira el agua que se encuentra junto al material, el método utilizado es conocido como centrifugado, aquí el material pasa por una centrifugadora la cual retira el exceso de agua.

2.7.2.5 Extrusión

La extrusora funde y vuelve a la masa plástica homogénea. A la salida de la extrusora se encuentra el cabezal, del cual sale un “espagueti” continuo que es enfriado con agua. Enseguida, el “espagueti” es picado en un granulador transformando en pellet o granos de plásticos.



CAPITULO III

ESTUDIO DE MERCADO

3.1. Mercado de PET

Durante la última década, el consumo de resina de estado sólido de PET ha aumentado en más del 60%. El consumo de resina PET se ha beneficiado de la sustitución de envases de vidrio de paredes pesadas, especialmente en el mercado de bebidas, y ha crecido a un ritmo elevado. En los mercados desarrollados, el consumo de PET está madurando, ya que la mayor parte de la sustitución del vidrio ya ha tenido lugar; sin embargo, en las regiones en desarrollo, los mercados de resina PET siguen creciendo, como resultado del aumento del PIB, el cambio de estilos de vida y la mejora de los niveles de vida, así como la expansión de la población. China continental representó casi una cuarta parte del consumo mundial de resina de PET en 2019; el consumo ha crecido más del 10% anual durante los últimos 15 años. El subcontinente de India y África han tenido un crecimiento significativo de la demanda, mientras que los mercados maduros como América del Norte y Europa Occidental han tenido un consumo estancado e incluso decreciente de resinas de PET. (Markit, 2021)

El siguiente gráfico circular muestra el consumo mundial de resinas de estado sólido de tereftalato de polietileno (PET):

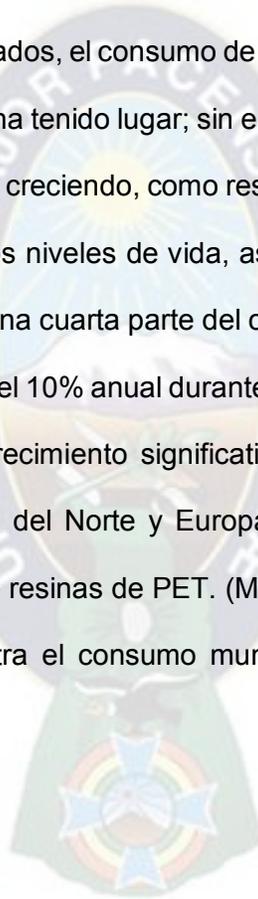
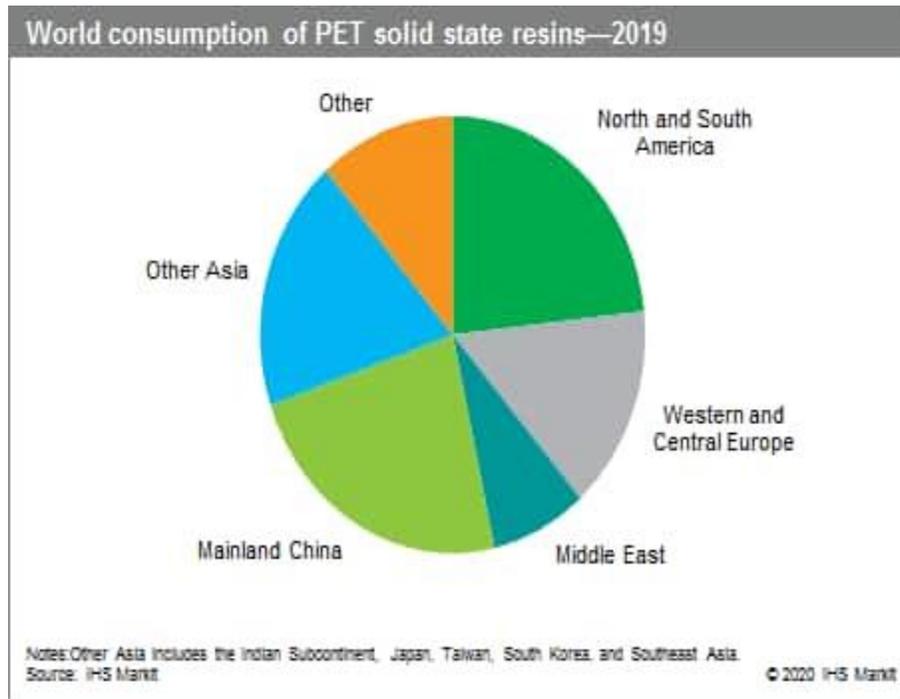


Gráfico 1. Consumo mundial de la resina PET



Fuente: <https://ihsmarkit.com/products/polyethylene-terephthalate-resins-chemical-economics-handbook.html>

El consumo mundial de resina PET está liderado por la producción de envases para bebidas, seguido de envases para alimentos, aplicaciones cosméticas y farmacéuticas. El crecimiento futuro en el consumo de resinas en estado sólido de PET seguirá siendo impulsado por los dos segmentos de uso final más grandes, envases de bebidas y otros. Como la mayor parte de la sustitución del vidrio ya se ha logrado, el consumo de resina de PET está impulsado actualmente principalmente por el crecimiento general de la industria de bebidas (envases). Como tal, el mercado ahora está fuertemente impulsado por economías emergentes donde la población en crecimiento, la mejora de los niveles de vida y la occidentalización progresiva están impulsando el consumo de más bebidas embotelladas. (Markit, 2021)

3.2. Diagnóstico de la gestión de residuos en Bolivia

El sector de gestión de residuos sólidos en Bolivia, a consecuencia de la falta de planificación e inversión que ha sufrido en los últimos años, se encuentra en un momento de transformación en la actualidad.

Se trata de un servicio de orden público y que, además, se encuentra expuesto a una gran sensibilidad ciudadana y política. El caso del desborde del relleno sanitario de Alpacoma en La Paz en enero de 2019 ha puesto de relieve la necesidad de llevar a cabo un análisis profundo del estado en el que se encuentra el sector y el estudio de las posibles soluciones en las distintas regiones y ciudades.

Las ciudades que requieren de actuaciones con mayor inmediatez son La Paz y Cochabamba, ya que los rellenos sanitarios se encuentran al término de su vida útil y se precisan medidas urgentes y eficaces.

Además, la precariedad de la tecnología empleada es constatable ya que en la mayoría de los casos la disposición final de los residuos no cuenta con control de lixiviados. Otro de los aspectos deficitarios del sistema es que no se produce la separación de residuos ni en origen ni en destino, por lo que se hace necesario un mayor fortalecimiento técnico y administrativo, también falta concientizar a la población.

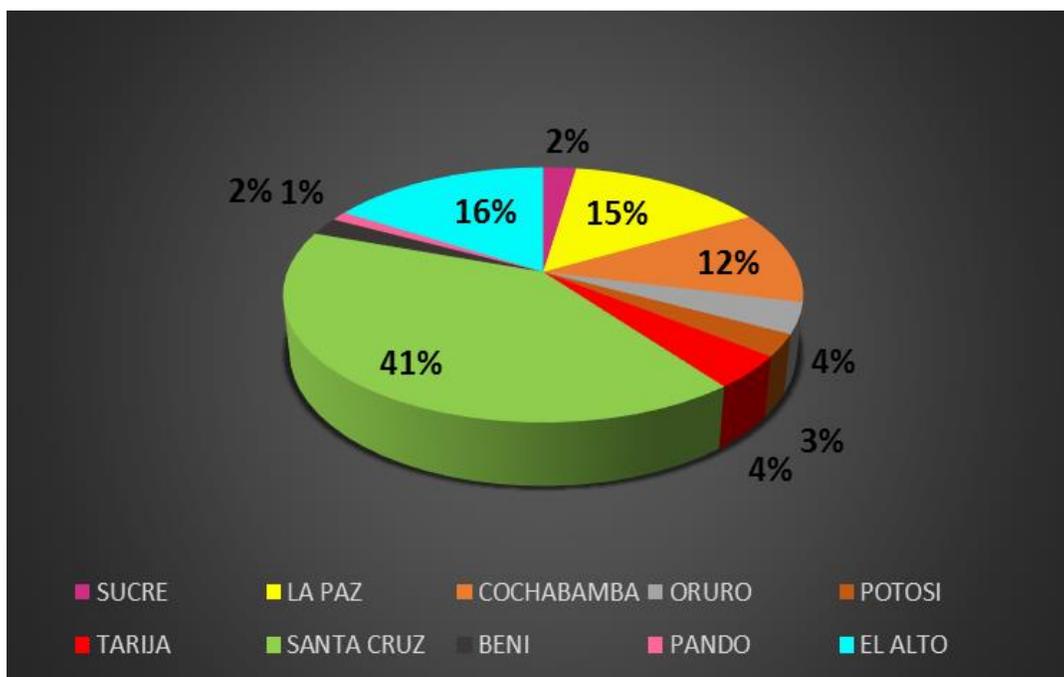
3.3. Generación total de residuos sólidos en Bolivia

Tabla 3. Residuos Sólidos Recolectados por ciudades en toneladas

TIPO DE PROCEDENCIA	TOTAL	SUCRE	LA PAZ	COCHABAMBA	ORURO	POTOSÍ	TARJA	SANTA CRUZ	TRINIDAD	COBIJA	EL ALTO
2016	1.426.988	60.987	212.554	171.337	57.044	47.335	56.648	558.229	28.069	17.950	216.836
Domiciliarios	1.185.712	47.379	175.604	145.927	39.513	31.260	45.329	452.349	26.114	14.359	207.877
Áreas Públicas	28.854	n.d.	11.237	10.349	809	3.160	1.843	n.d.	1.366	90	0
Mercados	139.799	11.481	12.619	14.454	13.151	3.280	4.039	78.532	449	1.795	0
Establecimientos de salud	11.311	1.019	3.321	607	427	3.634	254	1.334	140	359	215
Otros ⁽¹⁾	61.312	1.108	9.773	n.d.	3.144	6.001	5.182	26.013	n.d.	1.346	8.743
2017	1.521.884	57.199	224.433	192.008	60.512	47.717	59.060	599.853	19.553	16.511	245.038
Domiciliarios	1.246.981	43.187	184.860	163.312	42.910	30.330	48.607	483.302	17.766	11.558	221.149
Áreas Públicas	29.909	n.d.	12.216	11.655	213	3.600	1.986	n.d.	207	33	n.d.
Mercados	161.815	11.859	13.588	16.435	13.768	6.667	3.877	91.255	1.065	3.302	n.d.
Establecimientos de salud	10.026	1.017	2.745	607	357	2.405	365	1.417	516	380	218
Otros ⁽¹⁾	73.153	1.137	11.025	n.d.	3.264	4.715	4.225	23.879	n.d.	1.238	23.670
2018	1.616.728	60.652	236.370	212.196	61.492	45.810	62.881	636.928	26.100	17.042	257.257
Domiciliarios	1.363.874	48.430	198.119	179.573	44.961	27.350	53.537	530.198	23.724	11.980	246.001
Áreas Públicas	27.331	n.d.	9.175	13.733	185	3.400	796	n.d.	8	34	n.d.
Mercados	158.757	10.074	15.426	18.239	12.899	8.170	3.799	84.767	2.032	3.351	n.d.
Establecimientos de salud	9.802	825	2.775	651	479	2.360	343	1.507	205	394	264
Otros ⁽¹⁾	56.965	1.323	10.875	n.d.	2.969	4.530	4.406	20.456	130	1.283	10.992
2019	1.600.938	22.461	230.674	199.123	64.781	43.460	64.317	672.341	30.642	18.359	254.780
Domiciliarios	1.333.568	18.005	192.377	169.289	49.012	26.010	55.975	562.460	27.515	12.852	220.072
Áreas Públicas	23.511	0	6.388	12.087	530	4.470	0	0	0	37	0
Mercados	156.389	3.654	16.470	17.046	12.999	7.510	4.208	88.017	2.813	3.672	0
Establecimientos de salud	8.210	168	2.483	702	390	1.725	308	1.542	214	422	255
Otros ⁽¹⁾	79.260	633	12.957	0	1.849	3.745	3.826	20.322	100	1.375	34.453
2020^(p)	1.620.982	39.505	234.939	192.140	62.923	45.300	67.800	659.547	36.978	19.497	262.353
Domiciliarios	1.405.022	31.667	195.810	163.409	48.003	31.650	60.868	570.159	33.593	13.648	256.215
Áreas Públicas	23.257	0	7.308	11.668	307	2.530	0	1.392	13	39	0
Mercados	135.405	6.427	16.847	16.447	12.206	5.085	3.359	67.949	3.184	3.899	0
Establecimientos de salud	9.826	296	2.528	617	471	3.160	311	1.556	187	448	251
Otros ⁽¹⁾	47.473	1.114	12.446	0	1.936	2.875	3.261	18.491	0	1.462	5.886

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Gobiernos Autónomos Municipales

Gráfico 2. Porcentaje de residuos sólidos generados por departamento



Fuente: Elaborado con base a datos de INE

Se estima que en Bolivia se generan aproximadamente 4502,73 ton/día equivalente a 1.620.982 ton/año de residuos sólidos. (INE, 2021)

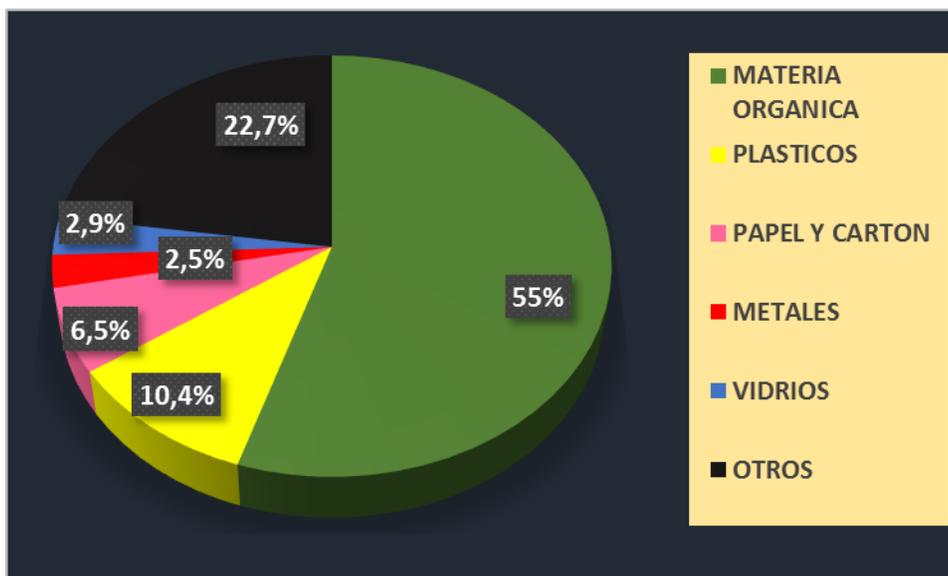
En términos generales, la fracción orgánica representa más del 55% del total de los residuos generados, los residuos inorgánicos reciclables representan el 22,3% y el 22,7% restante es considerado como residuo no aprovechable; de los cuales se estima que el 4% son residuos peligrosos generados por los establecimientos de salud. (MMAyA, 2012)

A nivel general, la fracción orgánica representa más del 50% del total de residuos generados, a excepción de algunos municipios que presentan valores menores.

Respecto a los residuos reciclables, la generación de plásticos está por encima del 10,4 %, particularmente en las ciudades de mayor población, cuya actividad principal es el comercio.

En segundo lugar, están los papeles y cartones, en promedio por encima del 6,5%. Con respecto a los metales y vidrios estos varían en el orden del 1 al 3%. (MMAyA, 2012)

Gráfico 3. Composición porcentual de los residuos sólidos



Fuente: Elaborado con base a datos del Viceministerio de agua y saneamiento básico.

En base a los datos obtenidos se tiene 468,28 ton/día de plásticos que se generan en Bolivia. Se estima que en nuestro país se genera 163,99 ton/día de material PET post consumo o su equivalente 59003,74 ton/año.

3.4. Análisis de la demanda y oferta mundial

En los últimos años se ha observado la adopción sistemática de una amplia gama de soluciones de envasado de PET reciclado, especialmente en las economías en desarrollo de Asia oriental y Asia meridional. La rápida penetración de industrias como la de alimentos, bebidas y salud, ha dado lugar a una notable demanda de soluciones de envasado de PET reciclado.

Sobre la base de estos factores, se prevé que el mercado mundial de PET reciclado registre una impresionante CAGR (tasa de crecimiento anual compuesto) del 6.5 % durante el período previsto de 2019 a 2029.

La demanda de PET post-consumo está encabezada por los mercados asiáticos emergentes. El 42% de la demanda global de PET reciclado se ubica en China y Asia, mientras que

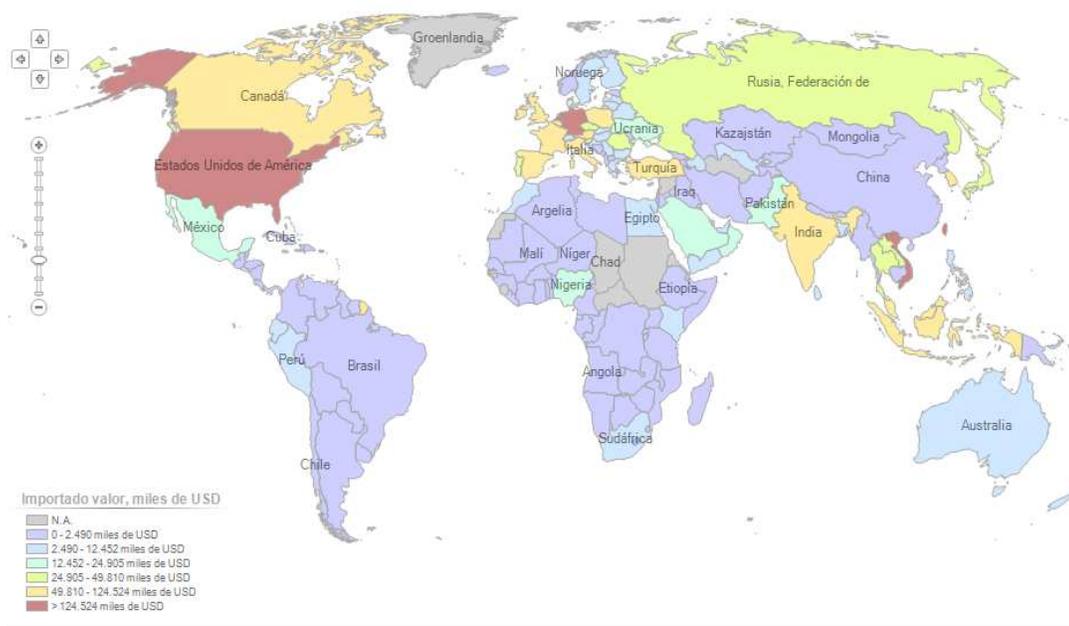
Norteamérica (EU, Canadá y México) registra el 19% y Sudamérica el 6%. Esta demanda de PET continúa siendo dominada por el mercado de bebidas (69%). (Technology, 2020).

En la actualidad en Bolivia la producción de PET virgen es nula, esta limitante hace que los industriales dependan totalmente de la importación de este material. Aunque Bolivia es un país productor de gas todavía no cuenta con la tecnología necesaria para la producción de PET. Además, no existe un registro concreto y claro sobre la oferta de pellets de PET

Los pellets producidos a partir del reciclaje de PET serán destinados a la exportación, Estados Unidos y países del continente asiático como China son los principales importadores de este material usándolo en diferentes áreas como la industria textil.

Actualmente a nivel mundial el principal destino de PET reciclado es la fabricación de fibras textiles, utilizándose en la confección de cuerdas, cepillos, alfombras, escobas calzados, camisetas, y en la industria textil donde se fabrica la fibra de poliéster y para material de relleno.

Figura 6. Lista de países importadores de RPET



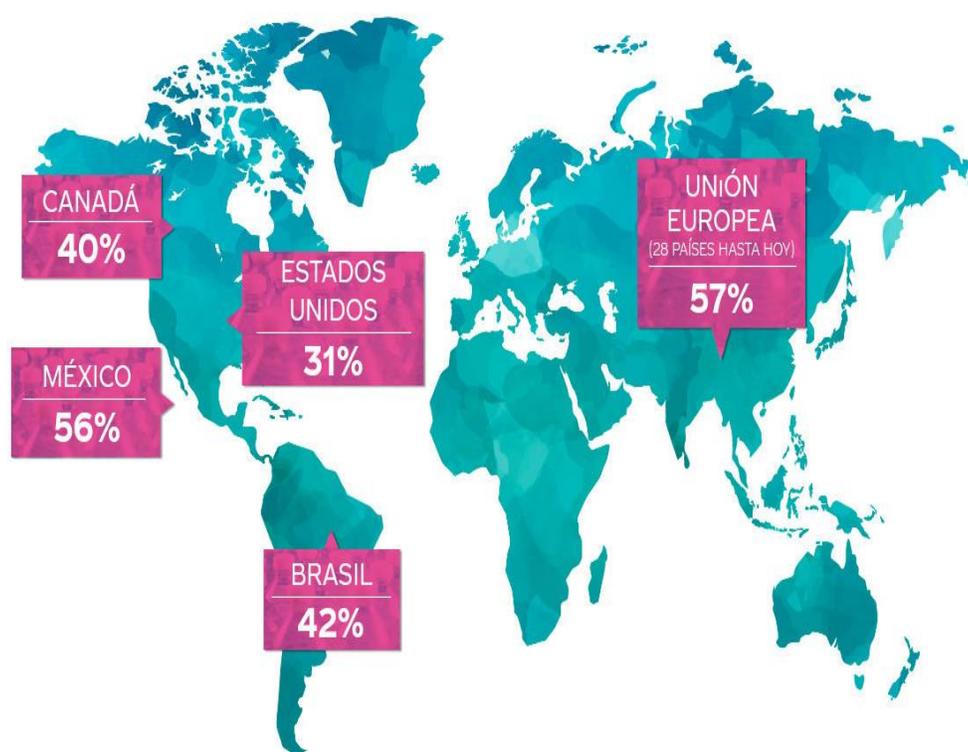
Fuente: <https://www.trademap.org>

Con la información anterior podemos constatar que existe una gran cantidad de envases de PET post-consumo que no está siendo aprovechada, ya que la tasa de reciclaje es aún muy baja.

Según datos de ECOCE existen países como Japón, que recicla 65%; mientras que la Unión Europea recicla en promedio el 57%; México lidera el reciclaje a nivel de Latinoamérica con 56% y Estados Unidos 31%. (Plastics technology México, 2017)

Lo que es más importante es que estos envases se pueden transformar en un producto altamente demandado de manera internacional y es necesario su aprovechamiento mediante la comercialización, además se puede observar que existe una demanda no satisfecha y creciente en Estados Unidos y países asiáticos, lo cual representa una oportunidad que no está siendo aprovechada para el PET reciclado por nuestro país.

Figura 7. Porcentaje de PET reciclado

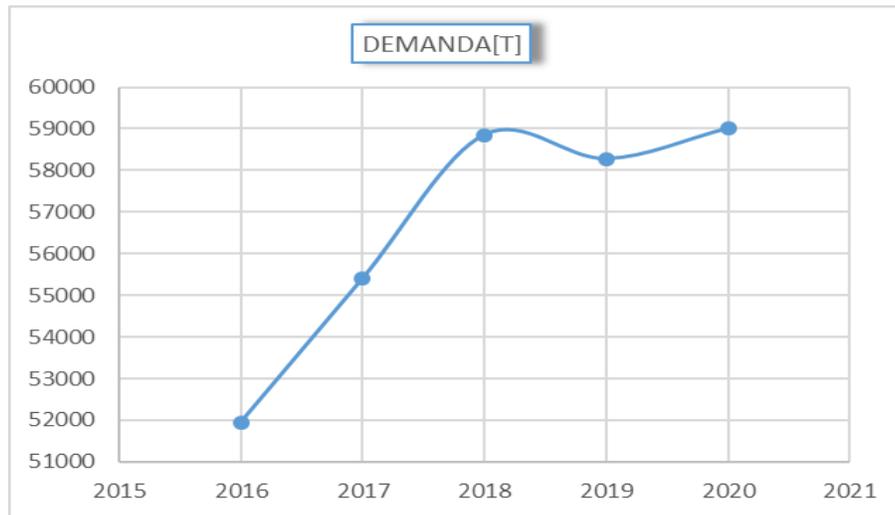


Fuente: <https://www.ecoce.mx>

3.5. Análisis de la demanda

La demanda es la cantidad de bienes y servicios que el mercado requiere o solicita para buscar la satisfacción de una necesidad específica a un precio determinado. (Baca, 2010)

Gráfico 4. Demanda Histórica de PET en Bolivia



Fuente: Elaborado con base a datos de INE

A partir de dichos datos, se realizará un pronóstico de la evolución futura del plástico PET, tomando como variable dependiente la demanda de PET en Bolivia y como variable independiente el tiempo.

3.5.1. Método de mínimos cuadrados

El método que utilizaremos será el de mínimos cuadrados, donde los datos se ajustaran a la ecuación de la recta, cuyo error debe ser lo más pequeño posible para garantizar un pronóstico adecuado.

La ecuación de la recta es.

$$Y = ax + b$$

Tabla 4. Cálculo de variables para mínimos cuadrados

	X	Y	X^2	X*Y
	1	51942,36	1	51942,36
	2	55396,58	4	110793,16
	3	58848,90	9	176546,7
	4	58274,14	16	233096,56
	5	59003,74	25	295018,7
TOTAL	15	283465,72	55	867397,48

Fuente: Elaborado con base a datos calculados y recopilados

Para calcular los términos a y b de la ecuación de la recta, según este método se emplea las siguientes expresiones.

$$a = \frac{\sum xy - \frac{\sum x * \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$b = \frac{\sum y - a \sum x}{n}$$

Donde n es igual a n=5; realizando cálculos de las ecuaciones se obtienen los valores:

$$a = 1700,03$$

$$b = 51592,91$$

Reemplazando datos en la ecuación de la recta:

$$Y = 1700,03x + 51592,91$$

Para la proyección futura de demanda de PET se calcula para 5 años para poder confiar en la rentabilidad del proyecto.

Reemplazar en la ecuación x=6 donde obtenemos

$$Y = 1700,03 * (6) + 51592,91$$

$$Y = 61793,09 [tn]$$

Y así sucesivamente se realiza el cálculo para los demás valores

Tabla 5. Proyección de la demanda

Nº	Año	Tonelada
6	2021	61793,09
7	2022	63493,12
8	2023	65193,15
9	2024	66893,18
10	2025	68593,21

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Gráfico 5. Proyección de la demanda



Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Este método nos permite observar el comportamiento de la demanda ajustando el resultado a una recta, dejando ver a su vez el incremento de ésta, dando una pauta para afirmar que el proyecto resultara un éxito.

3.6. Análisis de la oferta

La oferta es la cantidad de bienes o servicios que un cierto número de productores están dispuestos a poner a disposición del mercado.

En Bolivia existe una oferta de resina reciclada la cual es:

Tabla 6. PET reciclado en Bolivia

Nº	Año	Tonelada
1	2016	35420,84
2	2017	38100,56
3	2018	37270,70
4	2019	38500,67
5	2020	39700,11

Fuente: Elaborado con base a datos de FUNDARE

Gráfico 6. Oferta Histórica de PET reciclado en Bolivia



Fuente: Elaborado con base a datos de FUNDARE

3.6.1. Método de mínimos cuadrados

Se realiza la proyección del reciclado de PET para los próximos 5 años.

La ecuación de la recta es.

$$Y = ax + b$$

Tabla 7. Calculo de variables para mínimos cuadrados

	X	Y	X^2	X*Y
	1	35420,84	1	35420,84
	2	38100,56	4	76201,12
	3	37270,70	9	111812,1
	4	38500,67	16	154002,68
	5	39700,11	25	198500,55
SUMATORIA	15	188992,88	55	575937,29

Fuente: Elaborado con base en datos calculados

Para calcular los términos a y b de la ecuación de la recta, según este método se emplea las siguientes expresiones.

$$a = \frac{\sum xy - \frac{\sum x * \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$b = \frac{\sum y - a\sum x}{n}$$

Donde n es igual a n=5; realizando cálculos de las ecuaciones se obtienen los valores:

$$a = 895,86$$

$$b = 35110,99$$

Reemplazando datos en la ecuación de la recta:

$$Y = 895,86x + 35110,99$$

Tabla 8. Proyección de la oferta de PET reciclado

Nº	Año	Tonelada
6	2021	40486,15
7	2022	41382,01
8	2023	42277,87
9	2024	43173,73
10	2025	44069,59

Fuente: Elaborado con base a datos calculados.

Gráfico 7. Proyección de la oferta de PET reciclado



Fuente: Elaborado con base a datos calculados.

3.7. Determinación de la demanda potencial insatisfecha

El análisis de la oferta y de la demanda permite cotejar datos cualitativos y cuantitativos que caracterizan al mercado del producto, con el fin de prever la viabilidad del proyecto durante su vida útil.

La demanda potencial insatisfecha se obtiene mediante la diferencia de los datos de un año con otro, siendo el resultado la cantidad de bienes y servicios que se pueden consumir en el futuro.

La demanda potencial insatisfecha (DPI) se calcula con la siguiente ecuación:

$$DPI = Demanda - Oferta$$

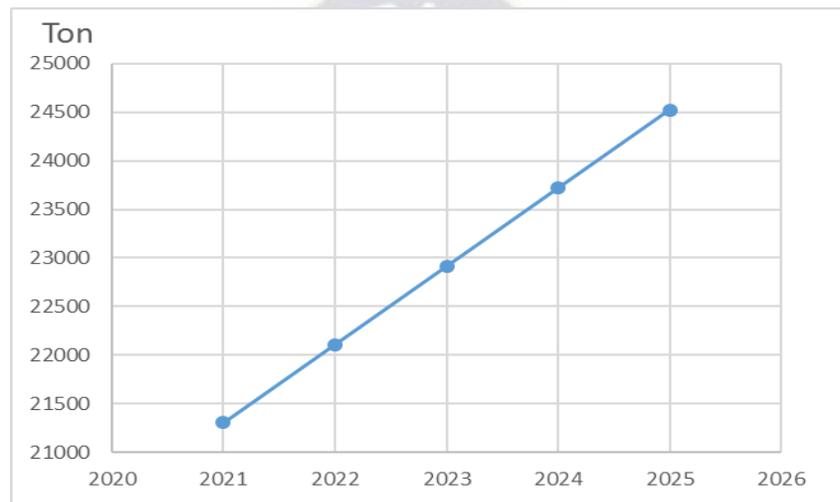
Tomando los datos de la Proyección de la demanda y oferta se obtiene:

Tabla 9. Proyección de la demanda insatisfecha

Año	Tonelada
2021	21306,94
2022	22111,11
2023	22915,28
2024	23719,45
2025	24523,62

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Gráfico 8. Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha



Fuente: Elaborado con base a datos calculados.

3.8. Comparación entre la resina virgen y la resina PET reciclada

El plástico PET reciclado tiene cada vez más peso en el ámbito de los materiales usados en las fábricas, ya que suponen una gran ventaja que favorece a los integrantes de la cadena por completo: consumidores, empresa y medio ambiente.

Antes de empezar, es necesario hacer una aclaración respecto a la diferencia que existe entre el plástico reciclado y el plástico virgen: fundamentalmente, sus principales diferencias residen en el precio y en la calidad del plástico.

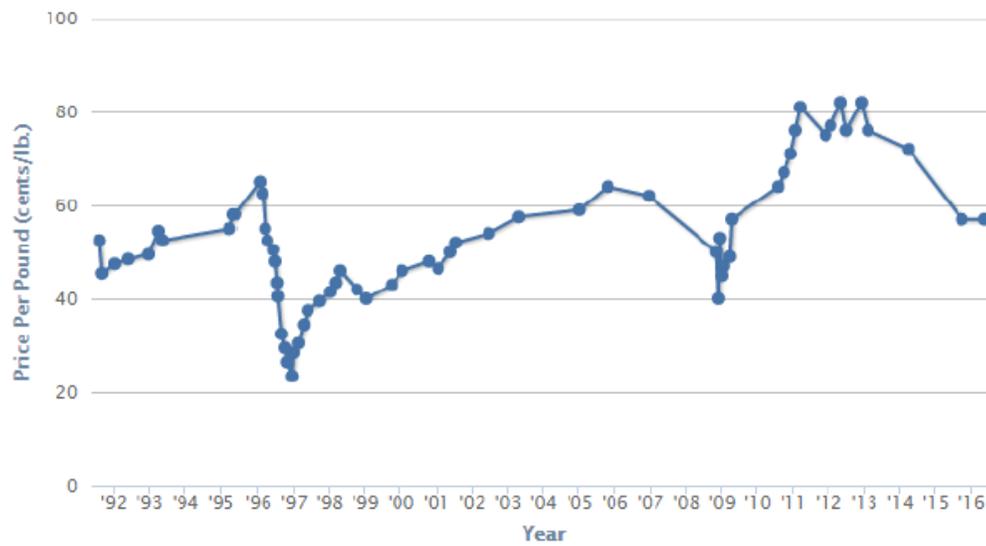
En la actualidad, el plástico 100% reciclado (RPET) es muy difícil de distinguir frente al virgen, ya que la calidad y acabado de este último está muy conseguido, pese a que tienen un menor brillo y una mayor opacidad.

Además, el plástico reciclado es más económico que el virgen, se puede reutilizar para recursos y es beneficioso para el medio ambiente.

3.8.1. Principales Ventajas. -

- ❖ Contribuye en el ahorro de recursos
- ❖ Reduce las necesidades de materia prima
- ❖ Más económico
- ❖ Ahorro de energía
- ❖ 16% menos de huella de CO₂ (Dióxido de carbono)
- ❖ 20% menos de huella de SO₂ (Dióxido de Azufre)
- ❖ 45% menos de huella de PO₄ (Fosfatos)
- ❖ Es impermeable
- ❖ Es inerte
- ❖ Es rígido y duro
- ❖ Contiene una alta resistencia química
- ❖ Muy buenas propiedades térmicas

Gráfico 9. Precio histórico de resina PET reciclada



Fuente: <https://www.napcor.com>

En la gráfica se observa el precio histórico del PET reciclado que para el año 2016 tenía un precio es 0,58 euro por libra o su equivalente que va en el rango de 1 \$ a 1.43 \$ por Kg. Para la actualidad el precio se mantuvo con pequeñas variaciones.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO TÉCNICO

4.1. Localización de la planta

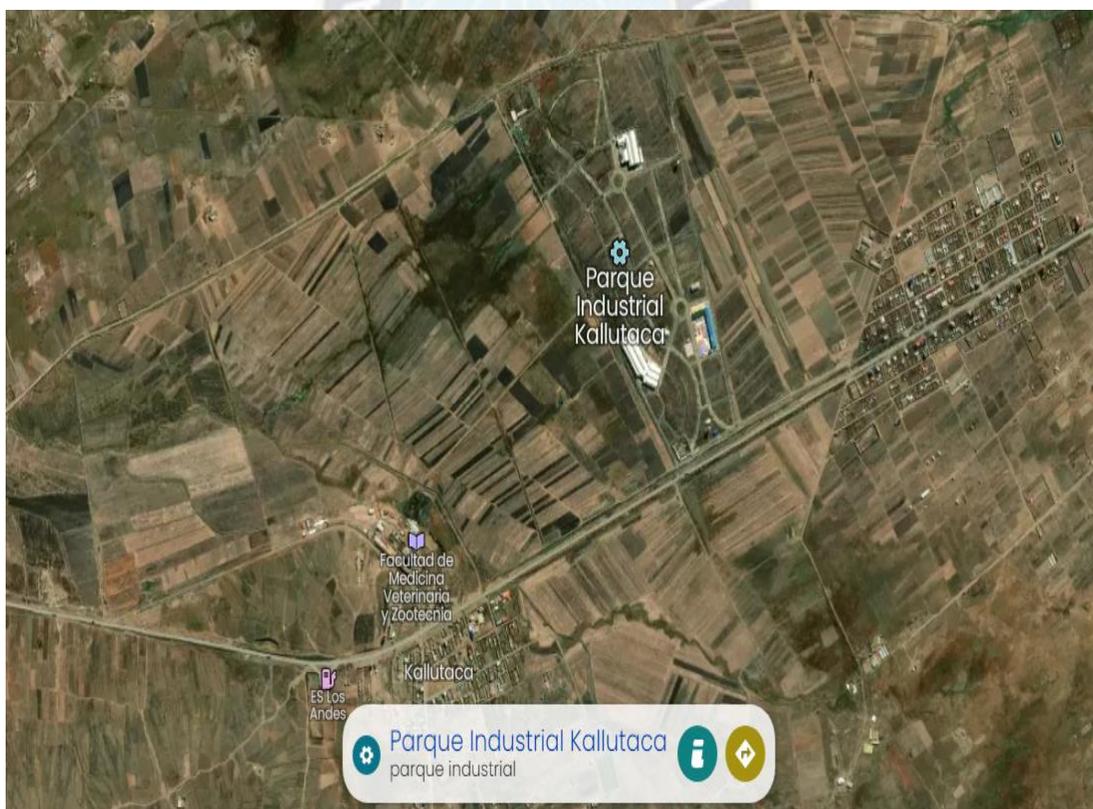
El lugar óptimo para la instalación de la planta recicladora de PET será en el parque industrial de Kallutaca. El parque está a 20 kilómetros de El Alto y puede albergar a 220 unidades productivas.

El parque industrial de Kallutaca está ubicado en las coordenadas

Latitud $-16,5163^{\circ}$ o $16^{\circ} 30' 58,8''$ sur.

Longitud $-68,3008^{\circ}$ o $68^{\circ} 18' 2,7''$ oeste

Figura 8. Mapa satelital del parque industrial de Kallutaca



Fuente: <https://www.google.com/maps>

La ubicación es estratégica, por estar en un parque industrial. Es un sector de gran desarrollo en la industria del plástico porque:

- ❖ Potencia comercial en el sector.
- ❖ Grandes infraestructuras y servicios que facilitan la implementación y extensión de redes de servicios públicos.
- ❖ Permite la difusión y el uso de nuevas tecnologías.
- ❖ Acceso controlado y directo con la carretera principal.
- ❖ Liderazgo: ya que no hay otra empresa de reciclaje de PET en la zona.
- ❖ Productividad: permite trabajar con otras empresas en un ambiente colaborador.
- ❖ Rentabilidad: se facilita a cada empresa en sus actividades de acuerdo a su función.
- ❖ Promover temas ecológicos, seguridad, formación y valores a futuras generaciones.
- ❖ Flexibilidad: visión de innovar e implantar estrategias efectivas en todos los departamentos que constituyen la empresa.
- ❖ Sustentabilidad: garantizamos una armonía entre empresa y entorno.

4.2. Tamaño de la planta

El tamaño óptimo de un proyecto es su capacidad instalada, y se expresa en unidades de producción por año. Para determinar el tamaño óptimo de la planta es necesario conocer el proceso de manufactura. Se instalará la planta de reciclado en un terreno de 1500 metros cuadrados en el parque industrial de Kallutaca.

Debe entenderse por manufactura la actividad de tomar insumos, como las materias primas, mano de obra, energía, entre otros y convertirlos en productos. (Baca, 2010)

4.2.1. Factores que determinan el tamaño óptimo de la planta

En la práctica, determinar el tamaño de una nueva unidad de producción es una tarea limitada por las relaciones recíprocas que existen entre el tamaño, la demanda, la disponibilidad de las materias primas, la tecnología, los equipos y el financiamiento.

4.2.2. El tamaño del proyecto y la demanda

La demanda es uno de los factores más importantes para condicionar el tamaño de un proyecto. El tamaño propuesto sólo puede aceptarse en caso de que la demanda sea claramente superior.

En el capítulo anterior de determino, la demanda potencial insatisfecha que existe en Bolivia que es alrededor de 21307 toneladas por año de PET; la capacidad de producción debe de ser por debajo de esta cantidad. Considerando estas cifras, la capacidad de producción de la planta propuesta será de 1200 toneladas año con opción a incrementar la capacidad de producción.

4.2.3. El tamaño del proyecto, los suministros e insumos.

El abasto suficiente en cantidad y calidad de materias es un aspecto vital en el desarrollo de un proyecto.

La planta necesita cubrir una demanda de 1200 ton de PET reciclado al año, Considerando que la eficiencia del proceso de reciclado mecánico que se usará es del 85%. Por tal razón el acopio de botellas PET post consumo será de 1412 toneladas anuales.

4.2.4. El tamaño del proyecto, la tecnología y los equipos

La tecnología y los equipos, están relacionados directamente con el financiamiento, puesto que, si se cuenta con tecnología de punta en algunos procesos, la inversión es mayor, entonces la capacidad de producción se debe de ajustar a las capacidades de producción de los equipos que realizan este proceso. Además de que la línea debe de estar balanceada, para que las capacidades de los equipos estén siendo utilizadas óptimamente.

La capacidad de producción instalada será de 1200 toneladas anuales, pero siguiendo la tendencia de plantas de este tipo se comenzará a trabajar con una producción de 1000 toneladas anuales y al final de los 5 años, se alcanzará el objetivo de cumplir con las 1200 toneladas.

4.3. Método de escalación

Una forma más detallada de determinar la capacidad óptima de producción es considerar la capacidad de los equipos disponibles en el mercado y con esto analizar las ventajas y desventajas de trabajar cierto número de turnos de trabajo y horas extra. Cuando se desconoce la disponibilidad de capital para invertir, este método es muy útil. (Baca, 2010).

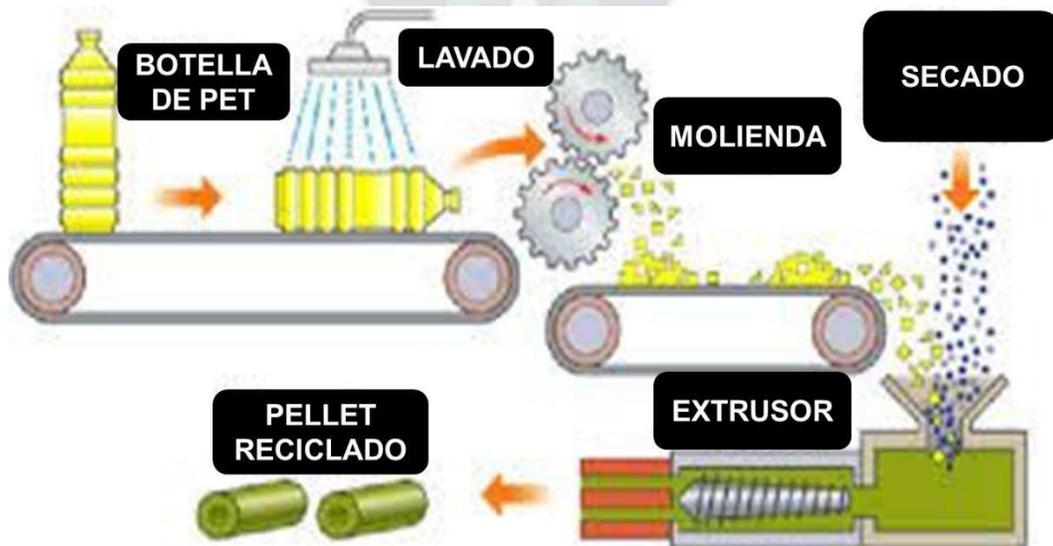
Para el estudio, se trabajarán 2 turnos de ocho horas cada uno, seis días a la semana y 46 semanas al año, con aproximadamente 4650 horas de producción. La capacidad de producción de las máquinas de la línea de reciclaje están en unidades de kilogramo por hora, por lo tanto, la capacidad a producir será de 1000 ton/año hasta llegar a las 1200 toneladas anuales.

4.4. Ingeniería del proyecto

4.4.1. Descripción del proceso de producción

El proceso de producción es el procedimiento técnico que se utiliza en el proyecto para obtener los bienes y servicios a partir de insumos. (Baca, 2010)

Figura 9. Proceso del reciclado mecánico



Fuente: <https://www.plastico.com>

4.4.1.1 Acopio del material.

El acopio es simplemente la recolección del material, ya sea en centros de acopio ya establecidos o *recolección directa con segregadores*, es importante señalar que un buen sistema de acopio garantizará el suministro de materia prima para el desarrollo del proceso y el funcionamiento de la planta al no existir cortes de materia prima. Puede entonces contarse con un sistema de proveedores, puntos de acopio o agentes de recolección.

La importancia del papel del acopiador establecido en el canal de distribución del PET post-consumo radica en que ellos se encargan de reunir el material, clasificarlo y empacarlo para proveer de materia a la planta. Los suministros de los envases serán al 100% por medio de centros de acopio.

4.4.1.2 Molienda.

Es el proceso donde los envases son transformados en hojuelas por medio del molino, esto con el fin de reducir su tamaño y facilitar las siguientes operaciones dentro del proceso del reciclado. En el núcleo del molino se encuentra un rotor giratorio con un sistema de cuchillas a diferentes ángulos y formas que gira a altas velocidades dentro de una cámara de corte donde están montadas otras cuchillas. El tamaño de las escamas se puede variar configurando la separación de las cuchillas del molino. En general el tamaño adecuado para las hojuelas de PET, de acuerdo a las necesidades del mercado es entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ de pulgada. Para el caso en estudio, las hojuelas serán de media pulgada.

La molienda comienza con la entrada de las botellas en la cámara de corte del molino triturador. El plástico entra en contacto con las cuchillas de la cámara, creando un movimiento de corte de tijera. Mientras el rotor sigue girando, las botellas de PET se van cortando en trozos cada vez más pequeños. Una vez triturado el material, se abre una tolva y caen escamas de botellas de PET recién molidas, listas para dirigirse al siguiente proceso.

Figura 10. Molienda



Fuente: <https://www.interempresas.net/Plastico>

4.4.1.3 Separación

La importancia de la separación radica en que, si existen otros materiales presentes, estos podrían perjudicar el proceso de reciclaje o directamente empeorar la calidad del producto final. Es decir, si existen partículas metálicas u otros materiales afectan directamente la calidad del producto o si existiesen familias de polímeros inmiscibles juntas, las unas crearan fases dentro de las otras o finalmente durante el proceso puede existir una degradación o quemado de alguna de las máquinas. (Asociación Civil Argentina Pro Reciclado de PET, 2006)

Las escamas de botellas de PET trituradas, también contienen material de PEAD o PP, que proviene de las tapas de las botellas. Los distintos plásticos que componen la botella (botella, tapa y etiqueta), se someten a una tecnología de flotación en agua; se aprovecha las diferencias de densidad, los materiales se llegan a separar; donde flotan y otros se hunden.

El material molido, cae en un tanque de separación de acero inoxidable que está lleno de agua. El agua tiene la densidad de 1 g/cm^3 . Cualquier material con mayor densidad, se hundirá; mientras que aquel material con menor densidad flotará. El PET tiene una densidad

de $1,38 \text{ g/cm}^3$ por lo que las escamas de las botellas se hundirán, mientras que el PEAD tiene una densidad de $0,95 \text{ g/cm}^3$ por lo que las escamas de las tapas flotarán.

Tornillos sin fin operan en la parte inferior del tanque de separación moviendo las escamas de PET hacia la siguiente etapa del proceso. Los cilindros coladores giratorios mueven el material flotante hacia adelante para ser recogidos. El agua utilizada se recupera mediante un sistema de filtrado para ser nuevamente utilizado.

Figura 11. Equipo de separación por burbujeo



Fuente: <https://www.tecnologiadelosplasticos.com>

4.4.1.4 Lavado.

Las hojuelas de PET están generalmente contaminadas con comida, papel, polvo, aceite, solvente, pegamento, etc. El PET ya triturado presenta mayor facilidad y mejor eficiencia a la hora del lavado ya que cuenta con mayor superficie de contacto con el agua la botella. Para la limpieza de las hojuelas de PET existen principalmente dos métodos que son el uso de hidrociclones y el uso de detergentes.

Para el lavado se implementará el agregado de soda cáustica. Se requiere baja concentración de la misma para realizar el lavado y para luego ser reutilizado.

Figura 12. Hidrociclón para la limpieza de PET



Fuente: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia>

4.4.1.5 Secado

Posteriormente al ciclo de lavado sigue un proceso de secado donde se elimina el remanente de humedad de material, para que pueda ser sencillo de fundir; con la finalidad de realizar los nuevos pellets. Pueden usarse secadores centrífugos, es decir tambores especialmente diseñados para extraer la humedad por las paredes externas del equipo; también se utilizan secadores de aire, ya sea caliente o frío, que circulando por entre el material picado, eliminan la humedad hasta límites permisibles.

Es relevante tener en cuenta la importancia del proceso de secado. Al fabricar cualquier producto con escamas de PET reciclado como materia prima, si queda agua contenida en las escamas causará el deterioro del material durante el proceso de fusión a alta temperatura dentro del extrusor.

Después del centrifugado donde los niveles de humedad ya se redujeron, las escamas pasan al secador térmico que utiliza calor a altas temperaturas para deshidratar la humedad de las escamas y reducirlas a niveles de menos del 1%.

Figura 13. Secador centrifugo



Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/neue-herbold-maschinen>

4.4.1.6 Peletizadora

Es el proceso mediante el cual las hojuelas limpias son transformadas en pellets mediante su fundición la cual se lleva a una temperatura de 250 °C. En este estado de “fundición” el plástico es forzado e impulsado a salir bajo presión a través de una matriz metálica que le confiere forma definida y sección transversal constante, esta matriz denominada “dado” es la que le da la forma útil al producto para que finalmente éste sea enfriado en un baño de agua por 13 segundos favoreciendo su solidificación y confiriéndole estabilidad, evitando así deformaciones posteriores. Una vez frío es cortado en pedazos pequeños llamados pellets

Figura 14. Peletizadora

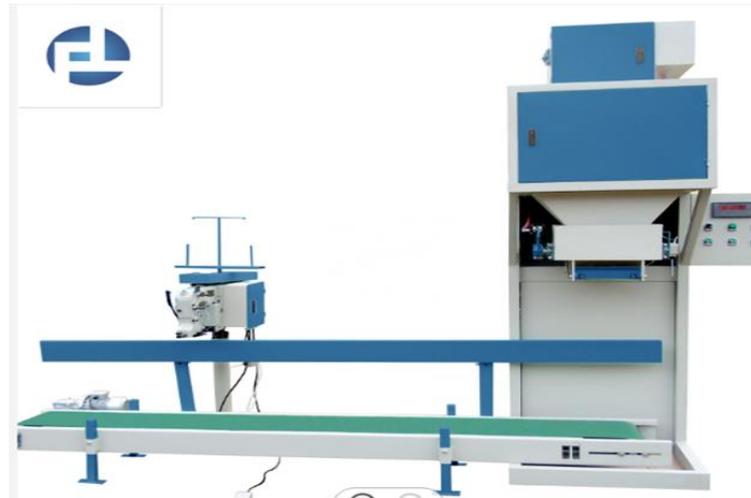


Fuente: <https://www.interempresas.net/Plastico>

4.4.1.7 Embolsadora

El producto terminado pasara por una tolva para ser embolsado en presentaciones de 100 kg

Figura 15. Máquina para embolsar pellet



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/wood-pellet-bagger-biomass-pellet-bagging-machine>

Figura 16. Bolsas con pellet



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/reinforced-plastic>

Figura 17. Producto terminado; pellet para la comercialización



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/reinforced-plastic-pellets>



4.5. Características de los equipos utilizados en el proceso

Tabla 10. Características de los equipos

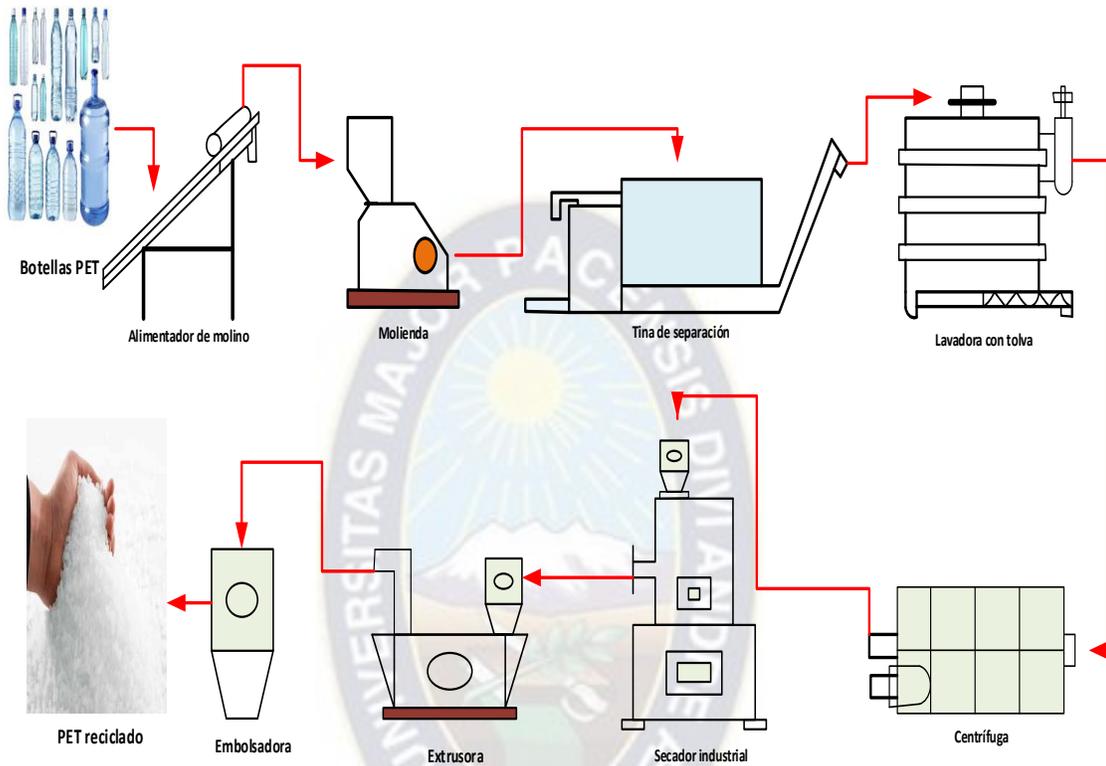
EQUIPO	CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES	PROVEEDOR
Alimentador de molino	Sistema transportado de banda. Motor de 2Hp, 380 V, 50 Hz. Capacidad: 5000 botellas/hr	Navarini
Molino	Sistema con rotor tipo tijera de un solo paso, hasta 1/2 plg de producto. Motor: 45 Hp, 380 V, 50 Hz. Capacidad: 250 Kg/hr.	Navarini
Transportador de carga	De tornillo sin fin con sistema de descarga de agua. Motor: 2 Hp, 380 V, 50 Hz. Capacidad: 300 Kg/hr.	Navarini
Tina de separación de PP y PET	Separacion por rodillos de proceso manual. Capacidad 250 Kg/hr de material molido	Navarini
Lavadora con tolva pulmon	Rotación con eje vertical de lata rotación; trabaja a temperatura ambiente o tambien con agua caliente. Dosificador forzado de material molido. Motor: 25 Hp, 380 V, 50 Hz.	Navarini
Centrifuga	Sistema de tambor horizontal de alta velocidad. Motor de 10 Hp, 380V, 50 Hz Capacidad: 300 Kg/hr	Navarini
Secador industrial	Secador de hojuelas en frío o caliente. Motor: 15 Hp, 380 V, 50 Hz. Capacidad: 300 Kg/hr	Selenis
Peletizadora	Modelo SJ-140. Carga de 200 a 300 kg/hr. Caja de cambios: 225. Diámetro del tornillo: 225 Cambiador de pantalla hidraulico de 250 x 250 mm Motor:45 kw	Hero Machine
Embolsadora	Componentes de centro: PLC Voltaje: 220 V, 50 Hz. Capacidad de produccion 4- 10 bolsas/min	Hero Machine

Fuente: Elaborado en base a catálogos

4.6. Balance de masa

Se realiza el balance de masa para la línea de reciclaje para 1 hora del proceso.

Figura 18. Esquema gráfico del proceso de reciclado mecánico



Fuente: Elaborado con base en datos recopilados y en Visio

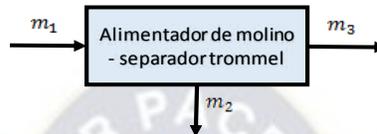
Tabla 11. Composición de la botella

Composición de la botella	
	% en peso
PET	91,939
Tapa	5,008
Polipropileno	4,820
Etilenvinilacetato (EVA)	0,188
Etiqueta	1,053
Pegamento	0,092
HDPE	0,961
Polvo fino y partículas extrañas	2,000

Fuente: Elaborado con base en datos recopilados

4.6.1. Alimentador de molino

Antes de que se trituren las botellas pasa por el alimentador del molino y el separador trommel rotatorio que está ligeramente inclinado, tiene la función de eliminar las partículas de tierra y polvo en este proceso existe pérdida del 2% por eliminación de pequeñas partículas extrañas y polvos finos que existen en las botellas. Se considera un rendimiento del 95%.



$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_3 = 250 - (250 * 0,02 * 0,95)$$

$$m_3 = 245,25 [kg]$$

4.6.2. Molienda

En este proceso las botellas son trituradas por las cuchillas de la molienda hasta obtener un tamaño de ½ plg. El 97% del flujo m_3 se tritura de manera correcta al tamaño preestablecido, el 3% restante está formado por un 90 % de finos que se quedan atrapadas en las paredes del equipo y un 10% de escamas grandes, las cuales son eliminadas.



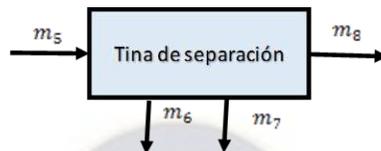
$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_5 = 245,25 - (245,25 * 0,03)$$

$$m_5 = 237,89 [kg]$$

4.6.3. Separación

En esta etapa se elimina por diferencia de densidad material de PP y HDPE que se llegan a separar de las hojuelas de PET; teniendo el porcentaje en peso de las tapas de 5,008 % y de la etiqueta de 1,053 %, se tiene el siguiente cálculo.



$$m_5 = m_6 + m_7 + m_8$$

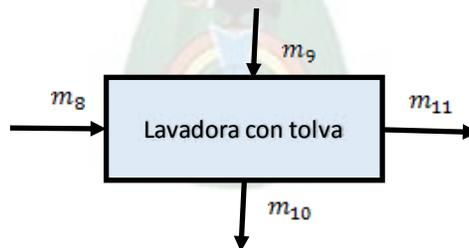
$$m_8 = 237,89 - (237,89 * 0,05) - (237,89 * 0,01)$$

$$m_8 = 223,62 [kg]$$

4.6.4. Lavar

El proceso de lavado determina la calidad del producto final. En esta operación se utilizará agua, combinada con soda caustica (NaOH) para asegurar un lavado más eficaz.

Se considerará apropiado un valor de concentración de soda caustica del 0.5%, una relación del material solido a agua de 1/5, y se genera un 3% de pérdidas de material por concepto de material fino, suciedad y pegamento.



$$m_8 + m_9 = m_{10} + m_{11}$$

Para el cálculo de la solución de agua y soda caustica

$$m_9 = m_{agua} + m_{soda\ caustica}$$

Para el cálculo de cantidad de agua

$$m_{agua} = 5 m_8$$

$$m_{agua} = 1118,1 [kg]$$

Como se consideró según parámetros el uso de soda caustica será de 0,5% de la cantidad de resina empleada

$$m_{soda\ caustica} = 1,25 [kg]$$

Por lo tanto:

$$m_9 = m_{agua} + m_{soda\ caustica}$$

$$m_9 = 1119,35 [kg]$$

Para el cálculo de escamas de PET lavadas

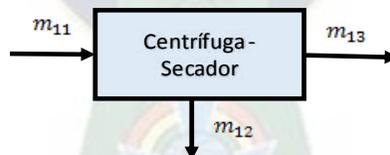
$$m_{11} = m_8 + m_9 - m_{10}$$

$$m_{11} = [223,62 - (223,62 * 0,03)] + 1119,35 - 1119,35 * 0,98$$

$$m_{11} = 239,30 [kg]$$

4.6.5. Secar

En el secado existen pérdidas mínimas por concepto de flakes retenidos en el tambor de la centrifuga



$$m_{11} = m_{12} + m_{13}$$

$$m_{13} = [239,30 - (239,30 * 0,01)] - 239,30 * 0,18 * 0,95$$

$$m_{13} = 214,46 [kg]$$

4.6.6. Peletizar

La ventaja de la extrusora de doble tornillo reticulado es su notable capacidad de mezcla, la cual confiere características excepcionales a los productos extrudidos



$$m_{13} = m_{14}$$

$$m_{14} = 214,46 [kg]$$

En el proceso identificamos todos los flujos de entrada y salida, es decir todos los flujos de materia que atraviesen las fronteras del sistema. Estos datos fueron calculados en base a información recopilada. (Antolin, 2016).

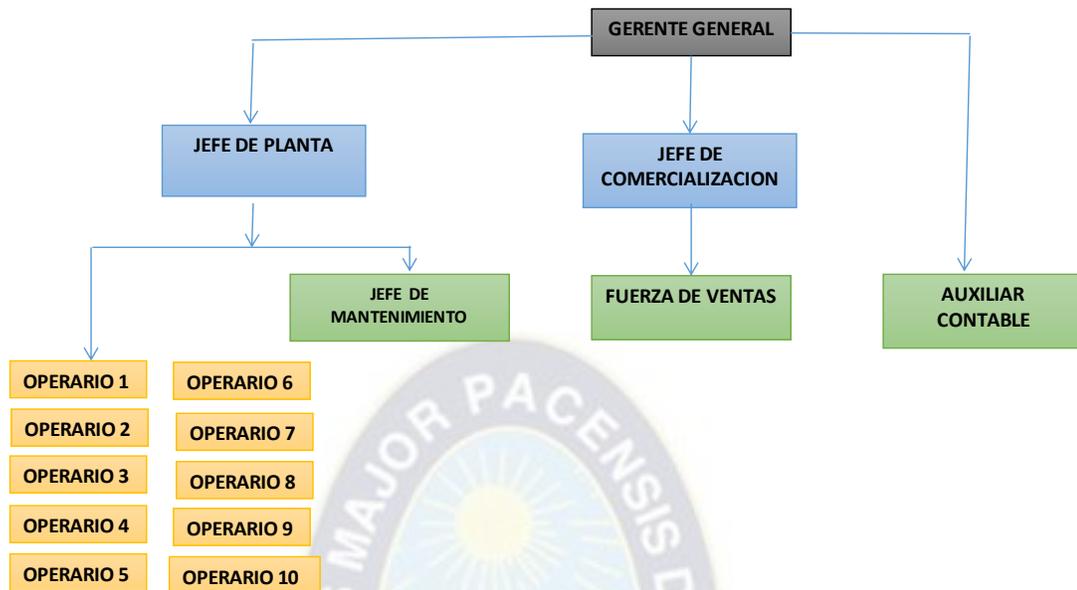
4.7. Análisis organizacional de la planta

Los recursos humanos (R.R.H.H.) son el conjunto de trabajadores, de empleados, que posee una organización, un determinado sector, así como una economía en su conjunto. Cualquier persona física que posea una vinculación a una organización, sector o economía, se considera un recurso humano.

A su vez, dentro de la administración de empresas, el concepto hace referencia a la gestión que la empresa realiza con sus trabajadores. Desde la contratación hasta el despido, es tarea del departamento de recursos humanos. (Chiavenato, 2001)

El organigrama es la representación gráfica de la estructura organizativa de la empresa, representa las estructuras departamentales y muestra el esquema sobre las relaciones jerárquicas. El modelo que se escogió para esta representación es el organigrama, que se esquematiza a continuación.

Figura 19. Estructura organizacional



Fuente: Elaborado con base a datos recopilados

4.8. Responsabilidades dentro de la planta

4.8.1. Gerente General

Es el encargado de la administración general y de las decisiones que se deben tomar; además supervisa a los encargados de cada departamento (administración, comercialización y producción). Las actividades que desempeña son:

- ❖ Trazar el plan de acción de la empresa, disponiendo para ello del personal, materiales y equipos, a los que debe coordinar a los efectos de conseguir una máxima eficiencia operativa.
- ❖ Fijar las normas de administración del personal superior.
- ❖ Analizar los costos de producción que prepara contabilidad.
- ❖ Investigar el mercado, analizar y estudiar los precios, programas de adquisición de productos y elaboración. Estar al tanto de la información permanente del país y del extranjero sobre precios de bienes y servicios suministrados por la empresa.

4.8.2. Auxiliar contable

Tendrá las siguientes funciones:

- ❖ Realizar el trabajo contable.
- ❖ Controlar el pago y liquidaciones del personal y terceros.
- ❖ Realizar la recepción, tramitación de registros, envío de facturas de proveedores y de ventas.
- ❖ Confeccionar planillas de caja, elaborar el balance y cierre del ejercicio y atender lo relativo a impuestos y seguros.

4.8.3. Jefe de comercialización

Tendrá las siguientes funciones:

- ❖ Organizar, planificar y controlar las ventas.
- ❖ Análisis de mercados y estrategias de introducción.
- ❖ Control y evaluación de la red comercial

4.8.4. Fuerza de ventas

Tendrá las siguientes funciones:

- ❖ Registrar las entradas y salidas de materiales, materia prima y productos terminados.
- ❖ Diseñar campañas promocionales.
- ❖ Diseñar servicio post venta.
- ❖ Atender a los clientes.
- ❖ Dar seguimiento a indicadores de rendimiento.

4.8.5. Jefe de planta

Depende del gerente general; tiene las siguientes funciones:

- ❖ Ejercitar los planes de producciones trazados por el Gerente General, disponiendo para ello de personal, materiales y equipos, a los que debe coordinar para conseguir la máxima eficiencia operativa.

- ❖ Coordinar las actividades de los diferentes sectores a su cargo.
- ❖ Programación de la producción de acuerdo a las directivas que elabore el gerente.
- ❖ Fiscalización y dirección de las actividades en los distintos sectores a su cargo.

4.8.6. Jefe de mantenimiento

Entre sus funciones están:

- ❖ Planeamiento y control de los servicios.
- ❖ Mantenimiento de equipos y maquinarias preventivos y correctivos de acuerdo a las necesidades.

4.8.7. Operarios

Entre sus funciones están:

- ❖ Operar la línea de reciclaje.
- ❖ Inspeccionar la calidad del producto en proceso.
- ❖ Apoyo a la presentación de informes que se generen en el área de desempeño para los entes de control internos y externos (llevar y mantener registros de carácter técnico y responder por la exactitud de los mismos).
- ❖ Cumplir tareas que le sean asignadas por el jefe de planta.

4.9. Seguridad ocupacional

4.9.1. Evaluación de riesgos laborales

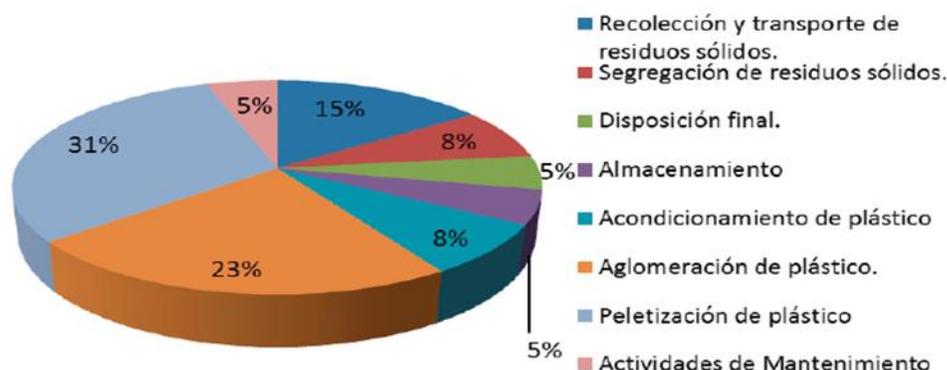
La actividad de peletización es la que registra mayor cantidad de accidentes principalmente debido a la transmisión de corriente eléctrica y quemaduras, seguida por la segregación presentando lesiones de cortes en las manos originadas por manejo de residuos sólidos punzo cortantes como vidrios y fierros, siendo la mano el miembro que sufre mayor cantidad de lesiones.

También existen factores ergonómicos con movimientos repetitivos como el aglomerado de plástico y carga de material en tolva de ingreso en la peletización de plástico exponen a trabajo

repetitivo en un nivel de riesgo no aceptable. Tiene como principales causas la falta de pausas para descansar y el uso de fuerza en su procedimiento.

Las actividades con mayor cantidad de riesgos significativos se presentan en la siguiente figura.

Gráfico 10. Riesgos significativos identificados por actividad



Fuente: Elaborado con base a datos recopilados.

4.9.2. Acciones preventivas para los riesgos involucrados

Cada riesgo involucrado al proceso debe tener una acción de prevención, a continuación, se detallan las acciones tomadas para los potenciales riesgos involucrados en el proyecto.

4.9.2.1 Exposición a temperaturas elevadas

Esta exposición está presente en las etapas de extrusión, tanque de sosa caustica, con el agravante de que, las temperaturas empleadas en cualquiera de las etapas son muy altas en comparación con las temperaturas tolerables por el cuerpo humano, por lo cual, generan mayor riesgo y requiere de acciones preventivas.

Las acciones de prevención aplicadas frente a este riesgo son:

- ❖ Overol ignífugo, mandiles y guantes de cuero para prevenir quemaduras.
- ❖ Ejecución de los procesos en ambientes abiertos evitando concentración de calor.
- ❖ Distanciamiento de cualquier elemento inflamable o combustible cercano.

Figura 20. Indumentaria a elevadas temperaturas



Fuente: www.google.com/search?q=overol+para+alta+temperatura+3m

4.9.2.2 Exposición a ruido

Este riesgo se monitorea a través de la realización de mediciones de ruido en las diferentes fuentes sonoras y a través de un cálculo se determinará, por local de trabajo, si los niveles hallados superan el máximo establecido, y de ser así sugerir las medidas correspondientes.

Son varias las etapas donde el operario está expuesto a ruidos, como por ejemplo el ruido generado por la extrusora durante el proceso de peletización. En esta etapa es necesario que el operario cuente con protección auditiva ya que los decibeles son superiores a 85.

Figura 21. Elementos de protección auditiva



Fuente: Catálogo de seguridad industrial Lube

CAPÍTULO V

ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

5.1. Residuos sólidos en Bolivia

Los sistemas actuales de disposición de residuos sólidos traen consigo diversos problemas al medio ambiente. Un problema es la precariedad de la tecnología empleada, que es constatable ya que en la mayoría de los casos la disposición final de los residuos no cuenta con control de lixiviados. Otro de los aspectos deficitarios del sistema es que no se produce la separación de residuos ni en origen ni en destino, por lo que se hace necesario un mayor fortalecimiento técnico y administrativo, así como educación y concienciación ciudadana.

Tabla 12. Situación actual de los rellenos sanitarios

Municipio	Relleno sanitario	Ocupación [%]	Observaciones
El Alto	Villa Ingenio	90	Cuenta con posibilidades de ampliación
La Paz	Alpacoma	100	Se encuentra en una situación de desborde
Santa Cruz	Normandía	95	Esta próximo al agotamiento de su vida útil
Santa Cruz	San Miguel de los Junos	10	Se trata del relleno sanitario más grande del país. Se encuentra en la Fase I de ejecución.
Cochabamba	Karakara	95	El complejo no cuenta con posibilidades de ampliación

Fuente: Elaborado con base a datos del mercado de la gestión de residuos sólidos en Bolivia

El incremento en el uso de PET está ocasionando efectos ambientales adversos debidos a las actuales formas de disposición de los productos PET una vez son utilizados por el consumidor final. Entre los problemas ambientales ocasionados por el PET se encuentra, mayor acumulación en el medio debido a la baja degradabilidad que presentan, inundaciones causadas por el taponamiento de alcantarillas y puntos de desagüe al ser desechados de forma indiscriminada a las calles, disminución de la vida útil de los rellenos sanitarios debido al volumen que ocupan, cuando son destinados para incineración producen contaminación al aire por la generación de gases de efecto invernadero.

5.2. Reciclado de PET y medio ambiente

El reciclaje consiste en someter de nuevo una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto, útil a la comunidad.

También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de reutilización y se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales y para eliminar de forma eficaz los desechos.

Los plásticos suponen una grave amenaza para el medio ambiente por dos motivos principales; su utilización masiva en todo tipo de productos y su lenta degradación.

El proceso de reciclado mecánico del PET no produce contaminación del medio ambiente, con el tratamiento de los efluentes líquidos del proceso se llega a controlar el proceso ambientalmente.

5.2.1. Beneficios del reciclado

- ❖ Ahorro de energía y Recursos Naturales.
- ❖ Disminución de la contaminación y daño a los ecosistemas.
- ❖ Disminución del volumen de residuos sólidos reciclables.
- ❖ Reducción de la emisión de gases efecto invernadero.
- ❖ Disminución del consumo de energía comparado con PET virgen.

5.3. Problemática ambiental asociada al proyecto

La planta de producción de pellet usando el proceso de reciclado mecánico se instalará en un Parque Industrial, esto supone ciertas ventajas en lo que respecta a la instalación de la misma.

La planta generará efluentes líquidos que serán los que deberán tratarse.

Los desechos sólidos y líquidos deberán ser manejados y dispuestos desde el punto de origen hasta su disposición final, para cumplir con los límites establecidos en el reglamento en

materia de contaminación hídrica y de gestión de residuos sólidos de la ley del medio ambiente No 1333 y los requerimientos. (Presidente y ministros, 1996)

5.3.1. Efluentes líquidos

Se considera el agua utilizada para lavado, como también la necesaria para enfriar los pellets a la salida de la peletizadora. En la etapa de lavado el agua utilizada arrastra la suciedad que traen las escamas, la cual está contaminada con aceites, grasas y material en suspensión. Esta agua será tratada en la planta de tratamiento de efluentes. En lo que respecta al agua utilizada a la salida de la peletizadora, se pretende enfriarla en una columna de enfriamiento y volver a reutilizarla.

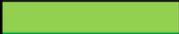
5.4. Impactos generados por la producción de pellets

5.4.1. Matriz de Leopold

El método para la evaluación del impacto ambiental utilizado en el presente proyecto fue elaborado sobre la base de las matrices de Leopold.

Las escalas cromáticas corresponden a las influencias positivas o negativas, e incluyen niveles de evaluación expresados por diferentes tonalidades. Permite una identificación inmediata y sintética de los elementos críticos de impacto, que eventualmente demandará medidas de control.

Figura 22. Referencia de grados de impacto

Impactos Positivos	
	Bajo
	Mediano
	Alto
Impactos Negativos	
	Bajo
	Mediano
	Alto

Fuente: Elaborado con base a impactos

Tabla 13. Matriz de impacto ambiental para la producción

SISTEMA	FACTOR AMBIENTAL		COMPONENTE AMBIENTAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	TRANSPORTE DE INSUMO	ALMACENAMIENTO DE MATERIALES	PRODUCCIÓN	ALMAC. DE PRODUCTO TERMINADO	GENERACIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS	TRANSPORTE PRODUCTO TERMINADO	TAREAS ADMINISTRATIVAS	
MEDIO FÍSICO	ATMÓSFERA		CALIDAD QUÍMICA									
			TEMPERATURA									
			NIVEL DE MATERIAL	X	X						X	
			NIVEL SONORO	X	X			X			X	
	SUELO		CALIDAD QUÍMICA						X			
			EDAFOLOGÍA									
			GEOMORFOLOGÍA									
	AGUA		SUBTERRÁNEA		CALIDAD QUÍMICA				X			
					CAUDAL							
					RECARGA							
			SUPERFICIAL		CALIDAD QUÍMICA						X	
					CAUDAL							
					RECARGA							
MEDIO BIÓTICO	FLORA Y FAUNA		BIODIVERSIDAD									
			ABUNDANCIA									
			DISTRIBUCIÓN									
MEDIO SOCIO - ECONÓMICO			INFRAESTRUCTURA									
			USO DEL SUELO									
			POBLACION									
			ECONOMIA	X	X		X	X		X	X	
			NIVEL DE EMPLEO	X	X		X	X		X	X	

Fuente: Elaborado con base a ejemplos de matrices de Leopold

Se estableció los posibles impactos ambientales será en la producción de los pellets; los impactos negativos de mayor importancia afectan a factores ambientales como la atmósfera, agua y suelo. Se tuvo presente que el proceso genera efluentes líquidos de baja peligrosidad. En cuanto a los impactos positivos, se concluye que el medio socio-económico contiene el mayor beneficio.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO ECONÓMICO

La parte del análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será el costo total de la operación de la planta (que abarque las funciones de producción, administración y ventas), así como otra serie de indicadores que servirán como base para la parte final y definitiva del proyecto, que es la evaluación económica. (Baca, 2010).

6.1. Determinación de los costos

El costo es un desembolso en efectivo o en especie hecho en el pasado, en el presente, en el futuro o en forma virtual.

6.2. Costos de producción

Los costos de producción son el conjunto de inversiones o erogaciones por los bienes y recursos en que la empresa incurre para obtener el producto final para ser comercializado. Están formados por los siguientes elementos:

6.2.1. Costo por materia prima

Son los materiales que entran y formaran parte del producto terminado.

Tabla 14. Costo de materia prima más insumo.

PERIODO ANUAL	PRODUC [TON/AÑO]	PERDIDA EN EL PROCESO (15%)	REQUERIMIENTO MATERIA PRIMA I1 [TON]	PRECIO DE TONELADA [BS]	COSTO I1 TOTAL [BS]	HIDROXIDO DE SODIO I2 [TON]	PRECIO DE TONELADA [BS]	COSTO I2 TOTAL [BS]	COSTO TOTAL I1+2 (BS)
1	1.000,00	176,47	1.176,47	2.100,00	2.470.588,24	6	2.800,00	16.470,59	2.487.058,82
2	1.050,00	185,29	1.235,29	2.100,00	2.594.117,65	6	2.800,00	17.294,12	2.611.411,76
3	1.100,00	194,12	1.294,12	2.100,00	2.717.647,06	6	2.800,00	18.117,65	2.735.764,71
4	1.150,00	202,94	1.352,94	2.100,00	2.841.176,47	7	2.800,00	18.941,18	2.860.117,65
5	1.200,00	211,76	1.411,76	2.100,00	2.964.705,88	7	2.800,00	19.764,71	2.984.470,59

Fuente: Elaborado con base a datos calculados y recopilados

6.2.2. Costo de mano de obra directa e indirecta

Es la que se utiliza para transformar la materia prima en producto terminado.

Tabla 15. Costo por mano de obra directa e indirecta que intervienen en la producción

Nro.	Departamento / componente de costo	Clase	Cantidad	COSTO EN Bs				
				TOTAL GANADO +CARGAS SOCIALES (MENSUAL)	ANUAL	SEMANAL	HORA	
1	PRODUCCION	MOI	Jefe de Planta (ingeniero)	1	7.000,00	84.000,00	1.750,00	36,46
2			Tecnico en mantenimiento	1	5.000,00	60.000,00	1.250,00	26,04
3		MOD	Operador 01	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
4			Operador 02	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
5			Operador 03	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
6			Operador 04	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
7			Operador 05	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
8			Operador 06	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
9			Operador 07	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
10			Operador 08	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
11			Operador 09	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
12			Operador 10	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
TOTALES			12	47.000,00	564.000,00	11.750,00	244,79	

		COSTO (Bs)			
PRODUCCION	MOI	Mes	Año	Semana	Hora
			12.000,00	144.000,00	3.000,00
	MOD	35.000,00	420.000,00	8.750,00	182,29
TOTAL		47.000,00	564.000,00	11.750,00	244,79

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

6.2.3. Costo por los servicios

Todo proceso productivo requiere una serie de insumos para su funcionamiento. Éstos pueden ser: agua, energía eléctrica, combustibles, gases industriales especiales, etc.

Tabla 16. Costo de los servicios

ITEM	Requerimiento anual	Tarifa [Bs]	Costo anual [Bs]
ENERGIA ELECTRICA [Kw/hr]	3.400.000,00	0,40	1.360.000,00
AGUA [m ³]	10.000,00	4,55	45.500,00
TOTAL			1.405.500,00

Fuente: Elaborado con base a datos calculados y recopilados

6.2.4. Costos por mantenimiento y cargos por depreciación

Para el mantenimiento de las maquinas se estableció un 5%; los costos por depreciación son costos virtuales, se tratan y tienen el efecto de un costo sin serlo.

Tabla 17. Costo por mantenimiento y cargo por depreciación

Clasificación del Activo	Nº	Descripción	Precio de compra			Credito Fiscal IVA [Bs]	Costo de Inversion [Bs]	Vida util [años]	Depreciación anual [Bs]	% Manteni miento	Costo Mantenimient o [Bs]
			Unitario	Cantidad	Total						
			Bs/u	u	Bs						
Equipos e instalaciones	1	Instalación energía eléctrica	12.000,00	1	12.000,00	1.560,00	10.440,00	8	1.305,00	5%	522,00
	2	Instalación de agua	10.000,00	1	10.000,00	1.300,00	8.700,00	8	1.087,50	5%	435,00
Maquinaria para la producción	3	Alimentador de molino	20.650,00	1	20.650,00	2.684,50	17.965,50	7	2.566,50	5%	898,28
	4	Molino	371.000,00	1	371.000,00	48.230,00	322.770,00	10	32.277,00	5%	16.138,50
	5	Transportador de carga	21.476,00	3	64.428,00	8.375,64	56.052,36	5	11.210,47	5%	2.802,62
	6	Tina de separación de PP y PET	24.780,00	1	24.780,00	3.221,40	21.558,60	10	2.155,86	5%	1.077,93
	7	Lavadora con tolva pulmon	330.400,00	1	330.400,00	42.952,00	287.448,00	10	28.744,80	5%	14.372,40
	8	Centrifuga	58.450,00	1	58.450,00	7.598,50	50.851,50	6	8.475,25	5%	2.542,58
	9	Secador industrial de lecho fluidizado en frio	495.600,00	1	495.600,00	64.428,00	431.172,00	10	43.117,20	5%	21.558,60
	10	Peletizadora	105.000,00	1	105.000,00	13.650,00	91.350,00	10	9.135,00	5%	4.567,50
	11	Embalsadora	48.000,00	1	48.000,00	6.240,00	41.760,00	7	5.965,71	5%	2.088,00
TOTAL							1.340.067,96		146.040,30		67.003,40

Fuente: Elaborado con base a datos calculados y recopilados

Con todos los datos calculados se obtiene los costos de producción

Tabla 18. Costos de producción.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
MD: Costo de Materiales Utilizados	2.487.058,82	2.611.411,76	2.735.764,71	2.860.117,65	2.984.470,59
MOD : Mano de Obra Directa	420.000,00	420.000,00	420.000,00	420.000,00	420.000,00
Costo Primo	2.907.058,82	3.031.411,76	3.155.764,71	3.280.117,65	3.404.470,59
GIF : Costo Indirecto de Fabricación	1.762.543,69	1.765.893,86	1.769.411,54	1.773.105,10	1.776.983,35
GIF : Mano de Obra Indirecta	144.000,00	144.000,00	144.000,00	144.000,00	144.000,00
GIF : Depreciaciones	146.040,30	146.040,30	146.040,30	146.040,30	146.040,30
GIF : Mantenimiento	67.003,40	70.353,57	73.871,25	77.564,81	81.443,05
GIF : Servicios	1.405.500,00	1.405.500,00	1.405.500,00	1.405.500,00	1.405.500,00
Costo de producción	4.669.602,52	4.797.305,63	4.925.176,25	5.053.222,75	5.181.453,93

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

6.3. Costo de recursos humanos: administración y comercialización

Es mano de obra indirecta que no está involucrada directamente con el proceso, es el personal que se encarga de la parte administrativa y del área de comercialización.

Tabla 19. Determinación de la mano de obra indirecta

Nro.	Departamento / componente de costo	Clase	Cantidad	COSTO EN Bs			
				TOTAL GANADO +CARGAS SOCIALES (MENSUAL)	ANUAL	SEMANAL	HORA
1	ADMINISTRACION	GERENTE GENERAL/JEFE ADMINISTRACION	1	8.500,00	102.000,00	2.125,00	44,27
2		AUXILIAR CONTABLE	1	3.500,00	42.000,00	875,00	18,23
TOTALES			2	12.000,00	144.000,00	3.000,00	62,50
3	COMERCIALIZACION	JEFE DE COMERCIALIZACION	1	6.500,00	78.000,00	1.625,00	33,85
4		FUERZA DE VENTAS	2	5.000,00	60.000,00	1.250,00	26,04
TOTALES			3	11.500,00	138.000,00	2.875,00	59,90

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Tabla 20. Gasto operativo general

Clasificación del Activo	No	Descripción	Precio de compra			Credito Fiscal IVA [Bs]	Costo de Inversion [Bs]	Vida útil [años]	Depreciación anual [Bs/año]	% Manteni miento	Costo de Mantenimie nto	
			Unitario	Cant.	Total							
			Bs/u	u	Bs							
Vehículos	Comercialización	1	Camión	103.500,00	2	207.000,00	26.910,00	180.090,00	5	36.018,00	5%	9.004,50
Muebles y enseres	Comercialización	2	Escritorio	800,00	2	1.600,00	208,00	1.392,00	8	174,00	5%	69,60
		3	Mueble de computadora	600,00	2	1.200,00	156,00	1.044,00	8	130,50	5%	52,20
	Administración	4	Escritorio	800,00	2	1.600,00	208,00	1.392,00	8	174,00	5%	69,60
		5	Mueble de computadora	600,00	2	1.200,00	156,00	1.044,00	8	130,50	5%	52,20
Equipo de computación	Comercialización	6	Computadora	3.450,00	2	6.900,00	897,00	6.003,00	5	1200,6	5%	300,15
	Administración	7	Computadora	3.450,00	2	6.900,00	897,00	6.003,00	5	1200,6	5%	300,15
Equipo de oficina y comunicación	Comercialización	8	Aparato telefónico	400,00	2	800,00	104,00	696,00	5	139,2	5%	34,8
		9	Central telefónica	2.000,00	1	2.000,00	260,00	1.740,00	5	348	5%	87
	Administración	10	Aparato telefónico	400,00	2	800,00	104,00	696,00	5	139,2	5%	34,8
		11	Aparato telefónico central	1.000,00	1	1.000,00	130,00	870,00	5	174	5%	43,5
TOTAL			18	24.000,00	3.120,00	3.120,00	20.880,00	39.828,60				10.048,50

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Tabla 21. Gasto operativo área de comercialización

GASTOS OPERATIVOS	Descripción	Precio de compra			Credito Fiscal IVA [Bs]	Costo de Inversion [Bs]	Vida útil [años]	Depreciación anual [Bs/año]	% Mantenimiento	Costo de Mantenimiento
		Unitario	Cantidad	Total						
		Bs/u	u	Bs						
Vehiculos	Camión	103.500,00	2	207.000,00	26.910,00	180.090,00	5	36.018,00	5%	9.004,50
Comercialización	Escritorio	800,00	2	1.600,00	208,00	1.392,00	8	174,00	5%	69,60
	Mueble de computadora	600,00	2	1.200,00	156,00	1.044,00	8	130,50	5%	52,20
	Computadora estacional	3.450,00	2	6.900,00	897,00	6.003,00	5	1.200,60	5%	300,15
	Aparato telefónico	400,00	2	800,00	104,00	696,00	5	139,20	5%	34,80

TOTAL		8	10.500,00	1.365,00	9.135,00	37.662,30	9.461,25
--------------	--	----------	------------------	-----------------	-----------------	------------------	-----------------

Fuente: Elaborado con base a datos calculados y recopilados

Tabla 22. Gasto operativo área de administración

GASTOS OPERATIVOS	Descripción	Precio de compra			Credito Fiscal IVA [Bs]	Costo de Inversion [Bs]	Vida útil [años]	Depreciación anual [Bs/año]	% Mantenimiento	Costo de Mantenimiento
		Unitario	Cantidad	Total						
		Bs/u	u	Bs						
ADMINISTRACION	Escritorio	800,00	2	1.600,00	208,00	1.392,00	8	174,00	5%	69,60
	Mueble de computadora	600,00	2	1.200,00	156,00	1.044,00	8	130,50	5%	52,20
	Computadora estacional	3.450,00	2	6.900,00	897,00	6.003,00	5	1.200,60	5%	300,15
	Central telefónica	2.000,00	1	2.000,00	260,00	1.740,00	5	348,00	5%	87,00
	Aparato telefónico	400,00	2	800,00	104,00	696,00	5	139,20	5%	34,80
	Aparato telefónico centra	1.000,00	1	1.000,00	130,00	870,00	5	174,00	5%	43,50

TOTAL		10	13.500,00	1.755,00	11.745,00	2.166,30	587,25
--------------	--	-----------	------------------	-----------------	------------------	-----------------	---------------

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Determinados los datos se introducen los valores en la tabla para tener el presupuesto de gasto operativo.

Tabla 23. Presupuesto gasto operativo

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Gastos de Operación	335.177,10	335.679,53	336.207,07	336.760,99	337.342,61
Gastos de Comercialización	186.923,55	187.396,61	187.893,33	188.414,88	188.962,51
Depreciaciones incluidas en Gasto de Comercialización	37.662,30	37.662,30	37.662,30	37.662,30	37.662,30
RRHH	138.000,00	138.000,00	138.000,00	138.000,00	138.000,00
Mantenimiento	9.461,25	9.934,31	10.431,03	10.952,58	11.500,21
Gastos en servicios y otros	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00
Gastos de Administración	148.253,55	148.282,91	148.313,74	148.346,12	148.380,11
Depreciaciones incluidas en Gasto de Administración	2.166,30	2.166,30	2.166,30	2.166,30	2.166,30
RRHH	144.000,00	144.000,00	144.000,00	144.000,00	144.000,00
Mantenimiento	587,25	616,61	647,44	679,82	713,81
Gastos en servicios y otros	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

6.4. Costo por infraestructura

Tabla 24. Costo por infraestructura

Clasificación del Activo	Nro	Descripción	Precio de compra			Credito Fiscal IVA [Bs]	Costo de Inversión [Bs]	Vida útil [años]	Depreciación anual [Bs/año]
			Unitario	Cantidad	Total				
			Bs/u	u	Bs				
Obras Civiles	1	Tinglado	150.000,00	1	150.000,00	19.500,00	130.500,00	8	16.312,50
	2	Almacenes	300.000,00	2	600.000,00	78.000,00	522.000,00	8	65.250,00
Terreno	3	Terreno	1.000.000,00	1	1.000.000,00	130.000,00	870.000,00		
TOTAL				4	1.750.000,00	227.500,00	1.522.500,00		81.562,50

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

6.5. Costo por equipos

Tabla 25. Costo por equipos

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO [Bs]	VIDA UTIL	COSTO TOTAL [Bs]	CREDITO FISCAL IVA [Bs]	COSTO INVERSION [Bs]	DEPRECIACION [BS/AÑO]	% Mantenim	COSTO DE MANTENIMIENTO
Alimentador de molino	1	20.650,000	7	20.650,00	2.684,50	17.965,50	2.566,50	5%	898,28
Molino	1	371.000,000	10	371.000,00	48.230,00	322.770,00	32.277,00	5%	16.138,50
Transportador de carga	3	21.476,000	5	64.428,00	8.375,64	56.052,36	11.210,47	5%	2.802,62
Tina de separación de PP y PET	1	24.780,000	10	24.780,00	3.221,40	21.558,60	2.155,86	5%	1.077,93
Lavadora con tolva pulmon	1	330.400,000	10	330.400,00	42.952,00	287.448,00	28.744,80	5%	14.372,40
Centrifuga	1	58.450,000	6	58.450,00	7.598,50	50.851,50	8.475,25	5%	2.542,58
Secador industrial	1	495.600,000	10	495.600,00	64.428,00	431.172,00	43.117,20	5%	21.558,60
Peletizadora	1	105.000,000	10	105.000,00	13.650,00	91.350,00	9.135,00	5%	4.567,50
Embolsadora	1	48.000,000	7	48.000,00	6.240,00	41.760,00	5.965,71	5%	2.088,00
TOTAL				1.518.308,00	197.380,04	1.320.927,96	143.647,80		66.046,40

Fuente: Elaborado con base a datos recopilados y calculados

6.6. Ventas netas

En la tabla tenemos la cantidad total producida a un precio de 6900 bs la tonelada para obtener las ventas netas.

Tabla 26. Ventas netas

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cantidad vendida	1.000,00	1.050,00	1.100,00	1.150,00	1.200,00
Precio de venta unitario	6.900,00	6.900,00	6.900,00	6.900,00	6.900,00
Presupuesto de Ventas	6.900.000,00	7.245.000,00	7.590.000,00	7.935.000,00	8.280.000,00
Presupuesto de Ventas	6.900.000,00	7.245.000,00	7.590.000,00	7.935.000,00	8.280.000,00
Débito Fiscal IVA	897.000,00	941.850,00	986.700,00	1.031.550,00	1.076.400,00
Ventas	6.003.000,00	6.303.150,00	6.603.300,00	6.903.450,00	7.203.600,00
Ventas	6.003.000,00	6.303.150,00	6.603.300,00	6.903.450,00	7.203.600,00
(-) Devoluciones sobre ventas					
(-) Descuentos sobre ventas					
Ventas Netas	6.003.000,00	6.303.150,00	6.603.300,00	6.903.450,00	7.203.600,00

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

6.7. Estado de resultados

Tabla 27. Estado de Resultados en Bs.

	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>
Ventas	6.003.000,00	6.303.150,00	6.603.300,00	6.903.450,00	7.203.600,00
(-) Devoluciones sobre ventas					
(-) Descuentos sobre ventas					
Ventas Netas	6.003.000,00	6.303.150,00	6.603.300,00	6.903.450,00	7.203.600,00
Costo de Ventas de artículos producidos	4.669.602,52	4.797.305,63	4.925.176,25	5.053.222,75	5.181.453,93
Resultado Bruto en Ventas	1.333.397,48	1.505.844,37	1.678.123,75	1.850.227,25	2.022.146,07
Gastos de Operación	542.177,10	355.224,43	336.207,07	336.760,99	337.342,61
Gastos de Comercialización	393.923,55	206.941,52	187.893,33	188.414,88	188.962,51
Depreciaciones incluidas en Gasto de Comercialización	37.662,30	37.662,30	37.662,30	37.662,30	37.662,30
RRHH	138.000,00	138.000,00	138.000,00	138.000,00	138.000,00
Mantenimiento	9.461,25	9.934,31	10.431,03	10.952,58	11.500,21
Gastos en servicios y otros	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00
IT	207.000,00	19.544,90	0,00	0,00	0,00
Gastos de Administración	148.253,55	148.282,91	148.313,74	148.346,12	148.380,11
Depreciaciones incluidas en Gasto de Administración	2.166,30	2.166,30	2.166,30	2.166,30	2.166,30
RRHH	144.000,00	144.000,00	144.000,00	144.000,00	144.000,00
Mantenimiento	587,25	616,61	647,44	679,82	713,81
Gastos en servicios y otros	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00
Resultado en Operaciones	791.220,38	1.150.619,94	1.341.916,68	1.513.466,25	1.684.803,45
Otros ingresos netos					
Otros egresos netos					
Resultado de la gestión antes de IUE	791.220,38	1.150.619,94	1.341.916,68	1.513.466,25	1.684.803,45
IUE	197.805,10	287.654,99	335.479,17	378.366,56	421.200,86
Resultado de la gestión despues de IUE	593.415,29	862.964,96	1.006.437,51	1.135.099,69	1.263.602,59

Fuente: Elaborado con base a datos calculado

6.8. Flujo de caja

Tabla 28. Flujo de caja

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Resultado de la gestión despues de IUE		593.415,29	862.964,96	1.006.437,51	1.135.099,69	1.263.602,59
(+) Depreciaciones		185.868,90	185.868,90	185.868,90	185.868,90	185.868,90
Depreciaciones incluidas en Costo de Producción		146.040,30	146.040,30	146.040,30	146.040,30	146.040,30
Depreciaciones incluidas en Gasto de Comercialización		37.662,30	37.662,30	37.662,30	37.662,30	37.662,30
Depreciaciones incluidas en Gasto de Administración		2.166,30	2.166,30	2.166,30	2.166,30	2.166,30
(-) Inversiones		-3.063.537,96				
Terreno		-870.000,00				
Construcciones, maquinaria y equipo		-1.992.567,96				
Vehiculo		-180.090,00				-180.090,00
Muebles y enseres		-4.872,00				
Equipo de computo y comunicación		-16.008,00				-16.008,00
(+) Valores Residuales		0,00	0,00	0,00	0,00	38.419,20
Terreno						
Construcciones, maquinaria y equipo						
Vehiculo						36.018,00
Muebles y enseres						
Equipo de computo y comunicación						2.401,20
(-/+) Capital de Trabajo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flujo de Caja Neto	-3.063.537,96	779.284,18	1.048.833,85	1.192.306,41	1.320.968,59	1.487.890,69

TIR 23%

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

6.9. Valor actual neto (VAN)

Se define como la diferencia entre el valor presente de los flujos futuros del proyecto y la inversión inicial necesaria para ejecutar el mismo. Es un indicador que mide el beneficio económico de un proyecto dado su flujo de fondos y su tasa de descuento. (Virreira, 2020)

$$VAN = -I_0 + \frac{FFN_1}{(1+r)} + \frac{FFN_2}{(1+r)^2} + \frac{FFN_3}{(1+r)^3} + \frac{FFN_4}{(1+r)^4} + \frac{FFN_5}{(1+r)^5}$$

Con los datos obtenidos en el flujo de caja neto o flujo futuro neto y considerando una tasa de descuento del 10%

Tabla 29. Flujo de caja

<i>FC0</i>	<i>FC1</i>	<i>FC2</i>	<i>FC3</i>	<i>FC4</i>	<i>FC5</i>
-3.063.537,96	779.284,18	1.048.833,85	1.192.306,41	1.320.968,59	1.487.890,69

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$VAN = 1.233.606,70$$

6.10. Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR de un proyecto representa la tasa de descuento que el VAN del proyecto valga cero.

Por lo tanto, en cierta medida, representa la rentabilidad del proyecto.

$$0 = -I_0 + \frac{FFN_1}{(1+TIR)} + \frac{FFN_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FFN_3}{(1+TIR)^3} + \frac{FFN_4}{(1+TIR)^4} + \frac{FFN_5}{(1+TIR)^5}$$

Realizando cálculos en la planilla de Excel se obtiene:

$$TIR = 23\%$$

Con estos datos se concluye que el proyecto es viable por tener un TIR = 23% ya que la rentabilidad generada es mayor que la rentabilidad requerida

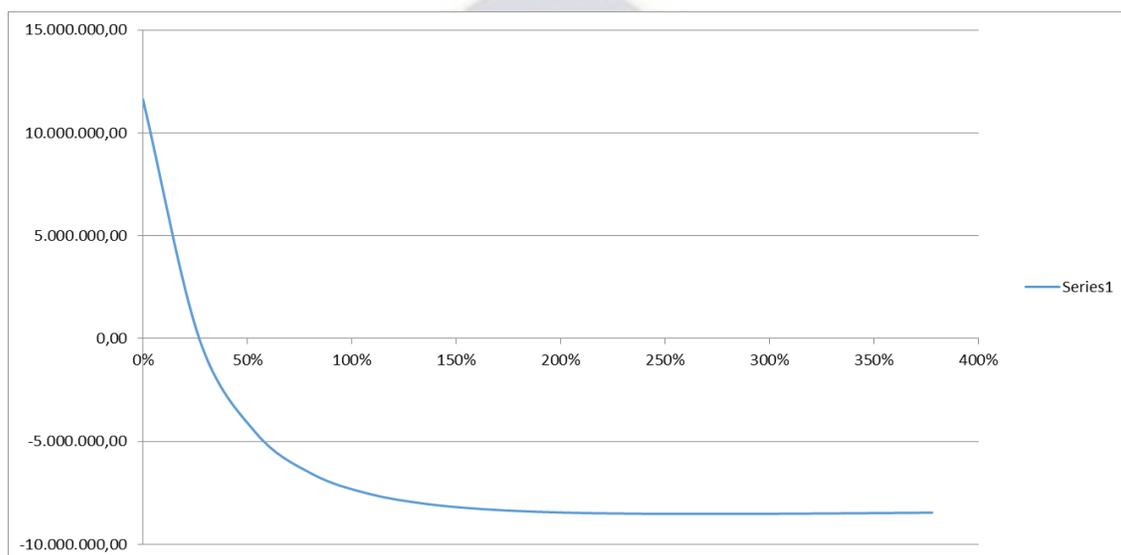
6.11. Relación del VAN con la TIR

Tabla 30. Datos para la relación VAN con TIR

Tasa Interna de Retorno	23%
Tasa de descuento	10%
Valor Actual Neto	1.233.606,70

Fuente: Elaborado con base a datos calculados

Gráfico 11. Relación del VAN con TIR



Fuente: Elaborado con base a datos calculados

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

La producción de PET se encuentra en creciente demanda debido a la versatilidad del material, a su creciente aplicación para múltiples usos y a su coste relativamente barato de producción. Uno de los mayores problemas es el tiempo que tarda en degradarse y el impacto que genera en el medio ambiente. En este sentido la necesidad de contrarrestar esta resina mediante el reciclado.

Una planta de reciclado de PET contribuye con el medio ambiente debido a que indirectamente las industrias tendrán que utilizar menos materia prima; de esta manera se genera un ahorro en recursos no renovables como el petróleo y gas.

El proceso mecánico planteado de reciclaje es el más utilizado a nivel mundial y es un método que no requiere de alta inversión. Este proyecto no sólo genera rentabilidad, sino también mano de obra, sustituirá la importación en gran medida, y la opción de exportar para mejorar la balanza comercial del país.

Con el estudio económico, se llegó a determinar que el proyecto es perfectamente viable; con una inversión de 3.063.537,96 bs se tendrá una producción de 1000 toneladas el primer año hasta llegar a producir 1200 toneladas el quinto año de PET reciclada recuperando la inversión hasta el segundo trimestre del cuarto año y generando ganancias en el quinto año. Se obtuvo una TIR del 23%, este indicador de rentabilidad da más soporte al proyecto.

Con esta cantidad de material reciclado se contribuirá a la reducción de residuos sólidos reciclables en rellenos sanitarios y a reducir la contaminación en nuestro país.

7.2. Recomendaciones

Vivimos en una sociedad de consumo continuo; nuestra sociedad es de usar y tirar plásticos; debemos cambiar nuestros hábitos de consumo.

Los gobiernos y entidades correspondientes deben tomar medidas en un corto, mediano y largo plazo para mejorar políticas y estrategias en la generación de residuos sólidos y en el reciclaje de PET e incentivar inversiones para el reciclado de materiales, lo cual a su vez haría más rentable este tipo de proyectos generando trabajo y economía. Se considera que esto es posible, ya que en otros países si se aplican este tipo de normativas.

Buscar soluciones a los principales problemas del país en el tema de la generación de residuos sólidos como la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios que están ya por colapsar, el poco conocimiento e informalidad en la industria del reciclaje que existe en nuestro país y el uso indiscriminado de materiales plásticos de un solo uso.

Apoyar, financiar y buscar incrementar la producción del reciclaje de plásticos en nuestro país mejorando desde el acopio y disposición final de botellas PET por parte de la población en colaboración con alcaldías y gobierno mediante contenedores diferenciados de residuos sólidos. También reciclar otros plásticos como el polipropileno, el polietileno de alta y baja densidad.

Motivar e incentivar a la continuidad de este proyecto para la obtención de pellets grado alimenticio; para fortalecer políticas para que en mediano plazo obligue a industrias que producen botellas PET para bebidas carbonatadas, agua y energizantes a combinar resina virgen de PET con resina reciclada PET grado alimenticio para la producción de nuevas botellas. En Bolivia contamos con el decreto supremo 2887 el cual manifiesta que las nuevas botellas deben contener al menos 30% de dicho material.

BIBLIOGRAFIA

- Antolin, M. (2016). *Producción de pellets grado alimenticio a partir del reciclado mecánico*.
Mendoza, Argentina.
- Arlie, J. (1990). *Commodity Thermoplastics*". Paris: Technip.
- ASEPLAS. (s.f.). *Manual de plásticos*. México DF.
- Asociación Civil Argentina Pro Reciclado de PET. (2006). *www.arpet.org*. Obtenido de
<http://www.arpet.org/>
- Baca, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (Sexta ed.). Mc Graw-Hill.
- Billmeyer, F. W. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona: Reverte.
- Chiavenato, I. (2001). *Administración de recursos humanos* (Quinta ed.). Mexico: Nomos S.A.
- Cohen, L. (1990). *Métodos de investigación educativa*. Madrid.
- Ecoplast. (2000). *Valorización de residuos plásticos*. Obtenido de Ecoplast:
http://ecoplas.org.ar/plasticos_y_medioambiente
- Espinosa, P. (2005). *Análisis de Factibilidad Técnico Económico para el Reciclaje de envases de PET*. Colombia.
- Ferro, A. (2008). *El envase del polietilentereftalato y su impacto ambiental*. Universitaria.
- Greenpeace. (2015). *Datos sobre la producción de plásticos*. Obtenido de Greenpeace:
<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- INE. (2021). *Estadística de residuos sólidos*. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/>
- Jacobs, R. (2000). *Administración de Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios*. .
- Lugo, M. (2008). *La historia del plástico*. Obtenido de Ingeniería plástica:
http://www.ingenieriaplastica.com/novedades_ip/instituciones/cipres_historia.html

- Manos unidas. (2020). *Cumbre de la Tierra*. Obtenido de <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/cumbre-tierra>
- Markit, I. (2021). *IHS MARKIT*. Obtenido de <https://ihsmarkit.com/products/polyethylene-terephthalate-resins-chemical-economics-handbook.html>
- MMAyA. (2012). *Guía de educación ambiental en la gestión integral de residuos sólidos*. Bolivia.
- National Geographic España. (2019). *Acuerdo de la Onu para reducir los plásticos en 2030*. Obtenido de National Geographic España: <https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/acuerdo-onu-para-reducir-plasticos-2030>
- Plastics technology México. (2017). *ECOCE*. Obtenido de plastics technology México: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/ecoce-celebra-15-a%C3%B1os-de-promover-el-reciclaje>
- Presidente y ministros. (1996). *Apruébanse los reglamentos de la Ley de HidrocarbuReglamento ambiental para el sector hidricarburos. Decreto supremo N 24335*. Obtenido de <https://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/verGratis/16237>
- Quiminet. (2005). *Historia del PET*. Obtenido de Quiminet: <https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm>
- Richardson, T. (2004). *Industrial Plastics: Theory and applications*.
- Rubept. (2014). *Orígenes de los plásticos*. Obtenido de Rubept: <https://rubept.com/es/origenes-de-los-plasticos/>
- Sanchez, J. I. (2007). *Valoración Aduanera* (2007 ed.). Peru: Bellido.

Technology, P. (2020). *Plastics Technology Mexico*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/demanda-de-reciclables-pone-presion-al-mercado-del-pet-lapet-2019>

Tecnología de los plásticos. (s.f.). Recuperado el 2021, de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/p/indice.html>.

Tecnología de los plásticos. (2011). *Código de los plásticos*. Obtenido de Tecnología de los plásticos: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/codigos-de-los-plasticos.html>

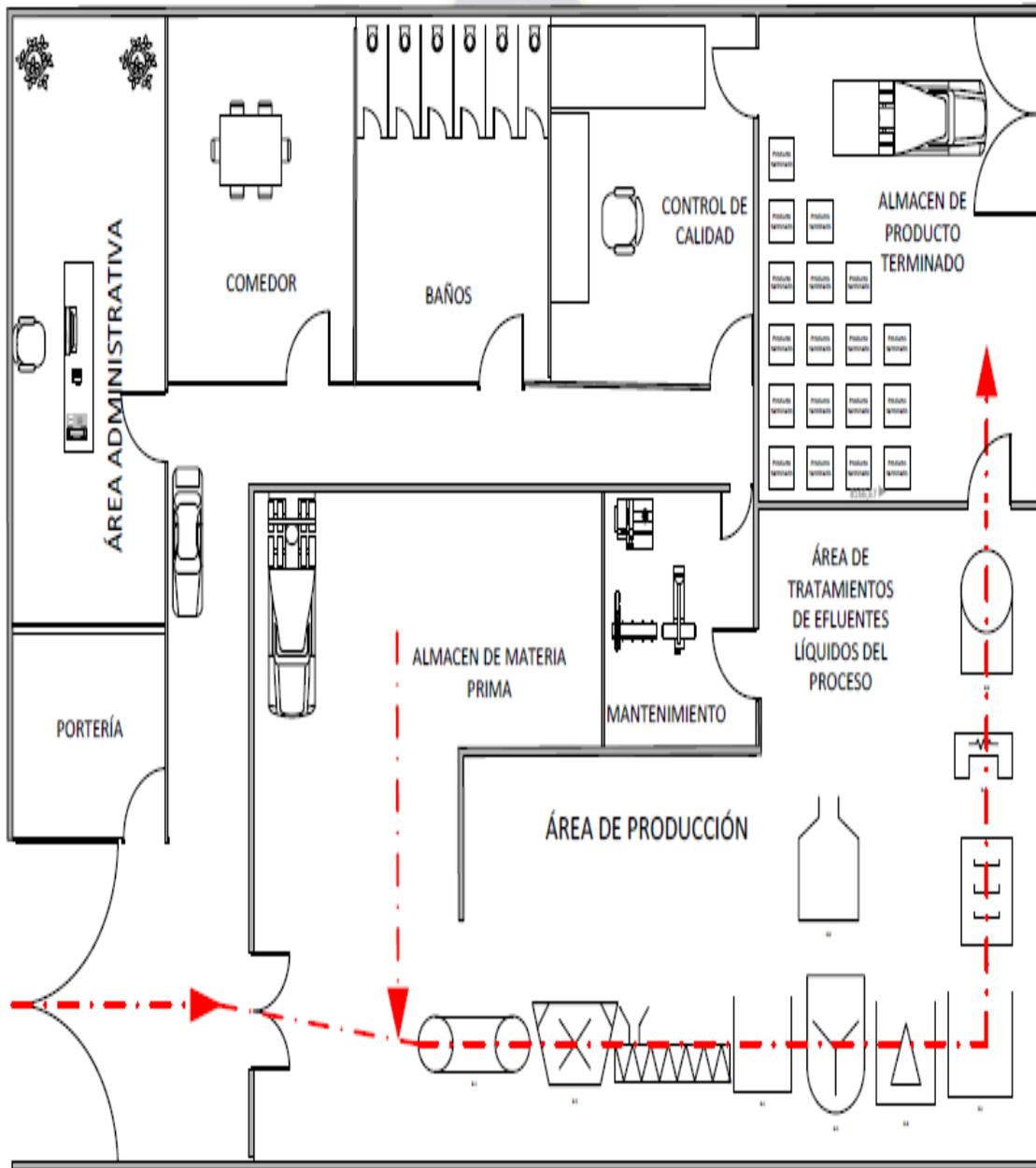
Textos científicos. (2010). *Producción del PET*. Obtenido de Textos científicos: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet/produccion-pet>

United Nations Climate Change. (2012). *Protocolo de Kyoto*. Obtenido de United Nations climate change: https://unfccc.int/es/kyoto_protocol

Virreira, M. (2020). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Santa Cruz, Bolivia.

ANEXOS

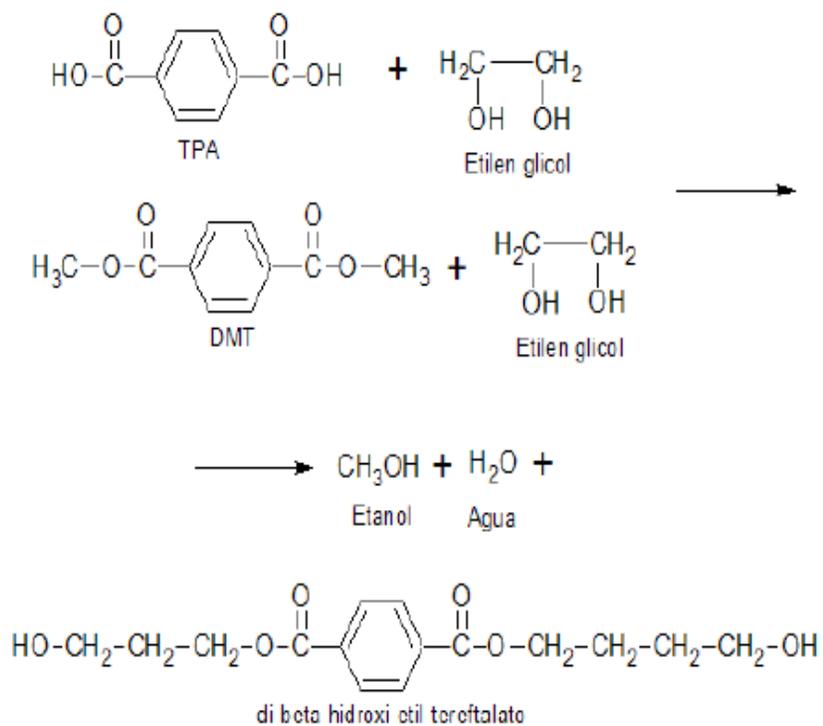
Anexo 1. Layout de la planta



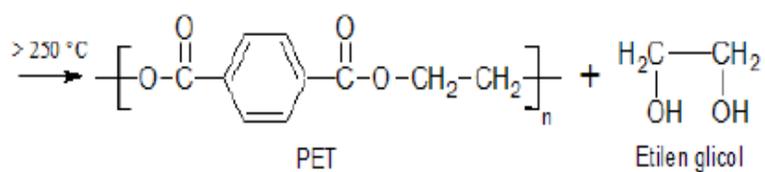
Fuente: Elaborado con base a Visio

Anexo 2. Polimerización del PET

Esterificación



Policondensación



Fuente: <https://tecnologiadelosplasticos.com>

Anexo 3 Código de los plásticos

 PET	Botellas de bebida Botellas de agua Envases de aceite	
 PEAD	Bolsas de supermercado Implementos de aseo	
 PVC	Tubos y cañerías Cables eléctricos Envases de detergentes	
 PEBD	Mantales, envases de crema y shampoo, bolsas para basura	
 PP	Mamaderas Tapas de botellas Vasos no desechables Contenedores de alimentos	
 PS	Vasos, platos y cubiertos desechables Envases de yogurt Envases de helado Envases de margarina	
 Otros	Teléfonos Artículos médicos Juguetes	

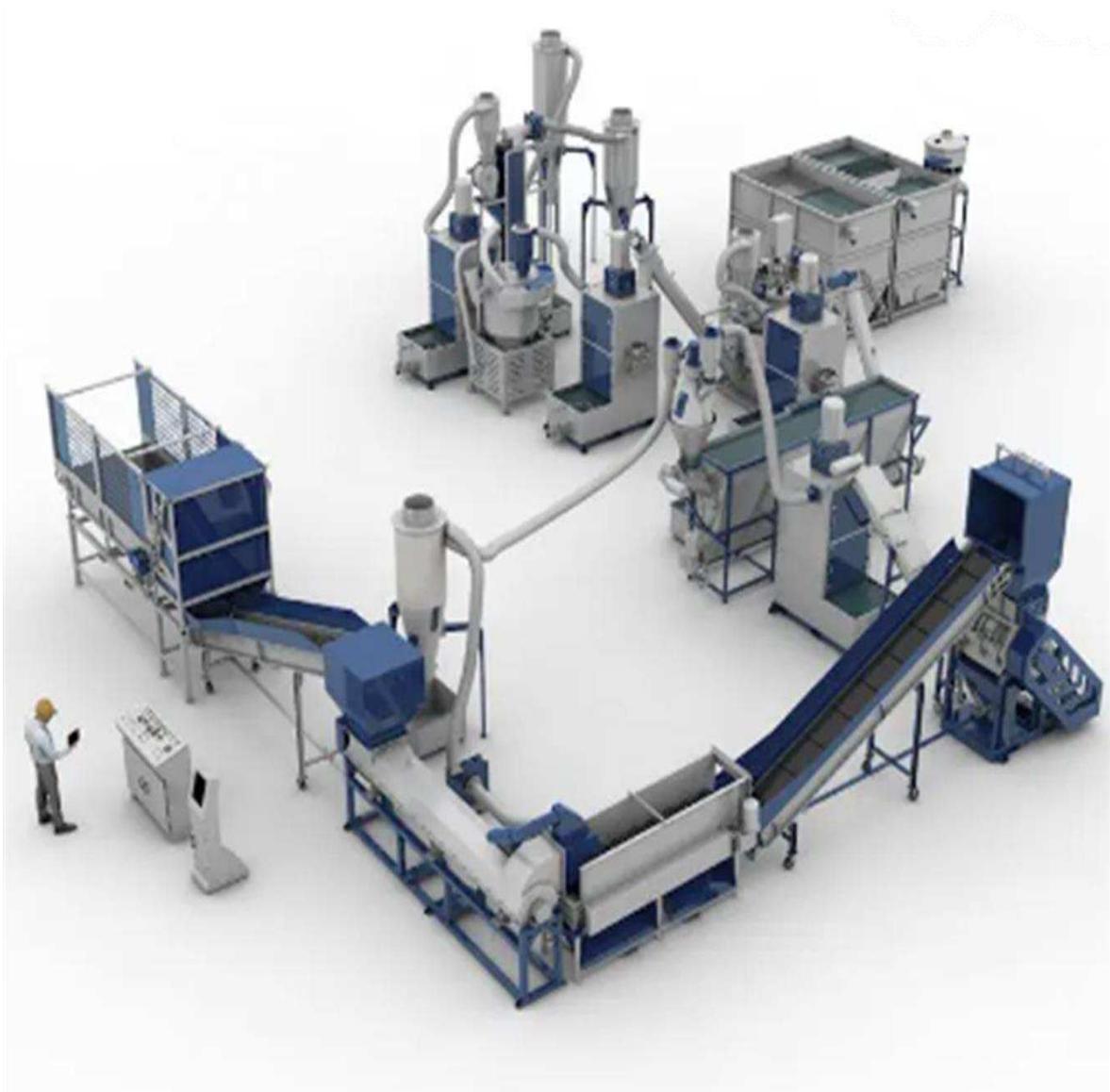
Fuente: <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/clasificacion-de-plasticos>

Anexo 5 Uso de pellet PET a la industria textil



Fuente: <https://www.excelsior.com.mx/nacional/botellas-pet-de-transportar-agua-a-la-fabricacion-de-pantalones>

Anexo 4. Línea de reciclaje de PET



Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/stankopolimech/product>

