



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE TABLAS DE  
MADERA A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DE MATERIALES  
PLÁSTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**GODOFREDO TIBERIO PONGO CANAZA**

**IVAN NINA AGUILAR**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE TABLAS DE MADERA A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE PUNO.pdf**

AUTOR

**GODOFREDO TIBERIO PONGO CANAZA  
IVAN NINA AGUILAR**

RECUENTO DE PALABRAS

**29176 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**159324 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**177 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**6.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 11, 2023 8:41 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 11, 2023 8:43 PM GMT-5**

### ● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

  
Dr. Fredy B. Cozla Apara  
Ingeniero Mecánico Electricista  
CIP 166054  
SUB DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN (E) EPIME



DR. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑON  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
Reg. CIP: 77541

ASESOR DE TESIS

Resumen



## DEDICATORIA

Con gratitud a mi padre José, a mi madre Celestina, a mi hermana Clotilde y a mi hermanito por su apoyo incondicional, ayudándome a lograr un objetivo más como profesional.

A mis amigos y a la vida por permitirme desarrollar esta investigación que contribuya en una mejora a la sociedad.

**Godofredo Tiberio Pongo Canaza**



## DEDICATORIA

A mis queridos padres por el gran apoyo e inspiración que me brindaron para seguir logrando mis objetivos y metas trazadas.

**Ivan Nina Aguilar**





## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios, por darme salud y sabiduría para lograr mis objetivos y metas planeadas.

Agradezco a mi familia, por ser el pilar de mi formación personal y haberme encaminado por el sendero correcto de la vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, alma mater de mi formación superior.

Al Dr. Norman Jesus Beltran Castañon por su asesoramiento, por su apoyo y orientación en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

A los miembros del jurado calificador: Dr. Olger Alejandrino Ortega Achata, Ing. Benito Hugo Fernandez Ochoa, M.Sc. Jose Antonio Vargas Maron, por su apoyo y orientación en el presente proyecto de investigación.

A la Lic. Amanda Aydee Ordoñez Pacori por su orientación en todos los trámites y procedimientos que se realizan en esta etapa de investigación.

A los docentes y administrativos de la escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su amistad, enseñanzas y experiencias que contribuyeron en mi formación profesional.

**Godofredo Tiberio Pongo Canaza**

**Ivan Nina Aguilar**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRONIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

1.1.1 Descripción de problema ..... 17

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 18**

1.2.1 Problema General ..... 18

1.2.2 Problemas Específicos ..... 18

**1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 18**

**1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 19**

1.4.1 Objetivo General..... 19

1.4.2 Objetivos Específicos ..... 19

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 20**

**2.2 MARCO TEÓRICO ..... 21**

2.2.1 La madera Plástica ..... 21

2.2.2 Eficiencia de la Madera Plástica Respecto a la Madera Convencional ..... 23

2.2.3 Clasificación de los Plásticos..... 24

2.2.3.1 Los Termoplásticos..... 24

2.2.3.2 Los Termoestables.. ..... 25

2.2.4 Proceso de Mezcla Para Obtener Madera Plástica ..... 43

2.2.5 Tipos de Plásticos Aptos Para la Fabricación de la Madera Plástica ..... 43



2.2.6	Aditivos Para la Fabricación De Madera Plástica .....	49
2.2.7	Situación de los Plásticos Reciclados en El Mundo y en El Perú .....	50
2.2.8	Situación de los Plásticos Reciclados en la Ciudad De Puno .....	51
2.2.9	Procesos de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Puno.....	53
2.2.10	Procesos de Recolección de Plásticos.....	53
2.2.11	Situación de las Plantas de Relleno Sanitario en la Ciudad de Puno.....	54
2.2.12	Situación de las Plantas de Fabricación de Tablas de Madera a Nivel Nacional.....	56
2.2.13	Situación de las Plantas de Fabricación de Tablas de Madera Plástica a Nivel Internacional .....	56
2.2.14	Conceptos Generales Sobre las Plantas Mecánicas de Recuperación de Plásticos Reciclados.....	57
2.2.14.1	Proceso de Recepción de los Plásticos Reciclados.....	57
2.2.14.2	Proceso de Prelavado de los Plásticos Reciclados.....	58
2.2.14.3	Proceso de Secado de los Plásticos Reciclados .....	58
2.2.14.4	Proceso de Triturado de los Plásticos Reciclados.....	58
2.2.14.5	Proceso de Transportado de los Plásticos Triturados .....	59
2.2.14.6	Proceso de Lavado en Frio.....	59
2.2.14.7	Proceso de Transportado de los Plásticos Lavados .....	59
2.2.14.8	Proceso de Enjuague y Secado de los Plásticos Lavados .....	59
2.2.14.9	Proceso de Transportado de los Plásticos Secos.....	60
2.2.14.10	Proceso de Extrusión de los Plásticos Preparados .....	60
2.2.14.11	Proceso de Moldeo y Enfriado del Plástico Extruido .....	60
2.2.15	Propuesta Tecnológica Para la Planta de Recuperación de Materiales Plásticos Reciclados.. .....	61
2.2.15.1	Área de Recepción y Clasificación .....	62
2.2.15.2	Tanque de Prelavado.....	63
2.2.15.3	Contenedor de Secado .....	64
2.2.15.4	Trituradora de Plásticos .....	65
2.2.15.4.1	Tipos de Trituradoras.....	67
2.2.15.5	Faja Transportadora .....	69
2.2.15.6	Tanque de Lavado.....	72
2.2.15.6.1	Tipos de Tanques de Lavado .....	73
2.2.15.7	Transportador Helicoidal Sin Fin .....	80



2.2.15.7.1 Tipos de Transportadoras Helicoidales Sin Fin .....	91
2.2.15.8 Máquina de Centrifugado de Enjuague .....	92
2.2.15.8.1 Tipos de Centrifugadoras de Enjuague .....	93
2.2.15.9 Maquina Extrusora de Plástico .....	96
2.2.15.9.1 Tipos de Extrusoras .....	98
2.2.15.10 Perfil de Moldeo y Enfriado .....	101

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>105</b>
<b>3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>106</b>
<b>3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>107</b>
<b>3.4 PROCEDIMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>107</b>
3.4.1 Procedimiento Metodológico.....	107
3.4.2 Procedimiento de Mediciones y Obtención de Datos .....	107
3.4.2.1 Pesaje de las Compactadoras .....	108
3.4.2.2 Disgregación de Tipos de Plásticos .....	108
3.4.2.3 Pesaje de los Tipos de Plásticos.....	108
<b>3.5 ANÁLISIS DE DATOS DE LA RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....</b>	<b>111</b>

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 RESULTADOS DE LA SELECCIÓN Y CÁLCULOS DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTAS EN LOS PROCESOS DE FABRICACION DE LAS TABLAS DE MADERA PLASTICA DE LA PLANTA .....</b>	<b>113</b>
4.1.1 Diseño del Área de Recepción y Clasificación.....	113
4.1.2 Diseño del Tanque de Prelavado .....	113
4.1.3 Diseño del Contenedor de Secado .....	115
4.1.4 Diseño de la Tolva de la Trituradora de Plásticos .....	116
4.1.5 Diseño y Calculo de la Trituradora de Plásticos.....	119
4.1.6 Diseño de la Faja Transportadora .....	121
4.1.7 Selección del Tanque de Lavado en Frio.....	136
4.1.8 Diseño y Calculo de la Máquina Transportadora Helicoidal Sin Fin .....	139
4.1.9 Selección de la Maquina Centrifugadora de Enjuague.....	146



4.1.10 Selección de la Máquina Extrusora de Doble Husillo .....	148
4.1.11 Diseño del Perfil de Moldeo y Enfriado de Madera Plástica.....	149
4.1.12 Proceso Final de los Plásticos .....	152
<b>4.2 RESUMEN DE RESULTADOS.....</b>	<b>153</b>
<b>4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>156</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>158</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>159</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>163</b>

**ÁREA:** Ingeniería Mecánica

**TEMA:** Planta de Fabricación de Tablas de Madera

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 22 de agosto del 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> : Tablas de madera plástica .....	23
<b>Figura 2</b> : Codificación del plástico tipo PET .....	27
<b>Figura 3</b> : Productos del plástico tipo PET .....	27
<b>Figura 4</b> : Codificación del plástico tipo HDPE .....	29
<b>Figura 5</b> : Productos del plástico tipo HDPE.....	29
<b>Figura 6</b> : Codificación del plástico tipo PVC.....	31
<b>Figura 7</b> : Productos del plástico tipo PVC .....	31
<b>Figura 8</b> : Codificación del plástico tipo LDPE.....	33
<b>Figura 9</b> : Productos del plástico tipo LDPE .....	34
<b>Figura 10</b> : Codificación del plástico tipo PP .....	35
<b>Figura 11</b> : Productos del plástico tipo PP.....	36
<b>Figura 12</b> : Codificación del plástico tipo PS .....	38
<b>Figura 13</b> : Productos del plástico tipo PS.....	38
<b>Figura 14</b> : Codificación del plástico tipo OTROS .....	42
<b>Figura 15</b> : Productos del plástico tipo PS.....	43
<b>Figura 16</b> : Residuos sólidos en un contenedor de basura de la ciudad de Puno.....	52
<b>Figura 17</b> : Proceso de la gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Puno .....	53
<b>Figura 18</b> : Situación actual del relleno sanitario en la ciudad de Puno .....	55
<b>Figura 19</b> : Relleno sanitario de la ciudad de Puno .....	55
<b>Figura 20</b> : Diagrama de operación del proceso de la planta para la elaboración de madera plástica. ....	61
<b>Figura 21</b> : Trituradora de plásticos.....	67
<b>Figura 22</b> : Tambor motriz .....	70
<b>Figura 23</b> : Rodillos de soporte .....	71



<b>Figura 24:</b> Faja transportadora.....	72
<b>Figura 25:</b> Tanque de lavado en frio.....	75
<b>Figura 26:</b> Tanque de lavado en caliente .....	76
<b>Figura 27:</b> Tanque de lavado por fricción .....	79
<b>Figura 28:</b> Detalle del Transportador Helicoidal.....	82
<b>Figura 29:</b> Transportador Helicoidal .....	83
<b>Figura 30:</b> Partes del Transportador Helicoidal.....	88
<b>Figura 31:</b> Tabla de Tamaños Máximos de Partículas .....	89
<b>Figura 32:</b> Tabla de Factor de diámetro del transportador (Fd) .....	89
<b>Figura 33:</b> Tabla de Factor buje colgante .....	90
<b>Figura 34:</b> Tabla de Factor de sobrecarga (F0) .....	90
<b>Figura 35:</b> Centrifugadora de enjuague .....	93
<b>Figura 36:</b> Detalle de una maquina extrusora.....	98
<b>Figura 37:</b> Extrusora de tornillo simple.....	100
<b>Figura 38:</b> Detalle del perfil de moldeo de plásticos extruidos .....	103
<b>Figura 39:</b> Detalle de la tina de enfriamiento .....	104
<b>Figura 40:</b> Ubicación del lugar de estudio.....	105
<b>Figura 41:</b> Grafico porcentual de Residuos plásticos generados en una compactadora en el relleno sanitario de Puno.....	109
<b>Figura 42:</b> Grafico porcentual de los Residuos plásticos generados durante todo un día en el relleno sanitario de Puno .....	111
<b>Figura 43:</b> Tanque de Prelavado de plásticos .....	115
<b>Figura 44:</b> Contenedor de secado .....	116
<b>Figura 45:</b> Dimensiones de la tolva diseñada .....	119
<b>Figura 46:</b> Características técnicas de las maquinas trituradoras .....	120



<b>Figura 47:</b> Área transversal de la Faja transportadora.....	122
<b>Figura 48:</b> Extrapolación de datos .....	129
<b>Figura 49:</b> Diseño de la Faja transportadora.....	136
<b>Figura 50:</b> Tanque de lavado seleccionado .....	138
<b>Figura 51:</b> Diseño del Tanque de lavado en frio .....	139
<b>Figura 52:</b> Partes del tornillo helicoidal sin fin .....	140
<b>Figura 53:</b> Tabla de diámetros helicoidales de acuerdo a la carga de artesa .....	142
<b>Figura 54:</b> Diseño del transportador Helicoidal sin fin .....	146
<b>Figura 55:</b> Selección de la maquina Centrifugadora de enjuague y secado .....	147
<b>Figura 56:</b> Maquina extrusora de husillo doble .....	148
<b>Figura 57:</b> Características técnicas de las maquinas extrusoras de husillo doble.....	149
<b>Figura 58:</b> Diseño del Perfil de moldeo rectangular termocupla.....	150
<b>Figura 59:</b> Cabezal del perfil de moldeo .....	150
<b>Figura 60:</b> Diseño de la Tina de enfriamiento .....	151
<b>Figura 61:</b> Dimensiones de la tina de enfriamiento.....	152
<b>Figura 62:</b> Tabla de madera final a partir del procesado de los plásticos reciclados ..	153
<b>Figura 63:</b> Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las tablas de madera a partir de los plásticos reciclados.....	155





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Residuos plásticos generados en una compactadora En el relleno sanitario de Puno.....	109
<b>Tabla 2:</b> Residuos plásticos generados durante todo un día el relleno sanitario de Puno.....	110
<b>Tabla 3:</b> Plásticos aptos para la fabricación de las tablas de madera plástica .....	111
<b>Tabla 4:</b> Factor de Ancho de banda de la Faja Transportadora .....	128
<b>Tabla 5:</b> Factor de longitud de la banda transportadora .....	129
<b>Tabla 6:</b> Factor de servicio $K(f)$ .....	130
<b>Tabla 7:</b> Potencias adicionales de equipos auxiliares de la faja transportadora .....	132
<b>Tabla 8:</b> Diámetros de los tornillos helicoidales.....	143
<b>Tabla 9:</b> Cantidad de tablas fabricadas en la planta.....	153
<b>Tabla 10:</b> Resumen de las máquinas y mecanismos utilizados en la planta.....	154



## ÍNDICE DE ACRONIMOS

<b>PET</b>	: Polietileno Tereftalato
<b>PVC</b>	: Policloruro De Vinilo
<b>HDPE</b>	: Polietileno De Alta Densidad
<b>LDPE</b>	: Polietileno De Baja Densidad
<b>PP</b>	: Polipropileno
<b>PS</b>	: Poliestireno
<b>HP</b>	: Horse Power
<b>KW</b>	: Kilovatio
<b>WPC</b>	: wood plastic composite
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>UV</b>	: Ultravioleta
<b>MINAM</b>	: Ministerio del Ambiente
<b>SINIA</b>	: Sistema Nacional de Información Ambiental
<b>PC</b>	: Policarbonato
<b>PA</b>	: Poliamida



## RESUMEN

Actualmente en la ciudad de Puno, los residuos plásticos representan una preocupante amenaza para el medio ambiente y la salud pública, ya que, Según el Ministerio del Ambiente, Puno genera 94 toneladas de residuos sólidos diariamente, de los cuales el 10.37% corresponde a los residuos plásticos, que en su mayoría no son reutilizados. En este sentido el objetivo del presente estudio es determinar los procesos, las máquinas y herramientas necesarias que se utilizaran para el diseño de la planta de fabricación de las tablas de madera plástica. El tipo de investigación es descriptivo-teórico con un enfoque cuantitativo. La metodología empleada para la recolección de datos se realizó por medio de un muestreo estratificado y registros públicos para identificar los tipos y las cantidades de plásticos que se generan en el relleno sanitario de la ciudad de Puno. Como resultado de la investigación se determinó que los plásticos aptos para la recuperación fueron el polietileno de alta densidad y el polipropileno, con un total de 1.613,65 kilogramos diarios, lo que permite determinar la planta con los siguientes procesos, la recepción de los plásticos reciclados, prelavado, secado, triturado, transportado de los plásticos triturados, lavado en frío, transportado de los plásticos lavados, centrifugado y secado, transportado de los plásticos secados, extrusión, moldeo y enfriado de la madera plástica; donde se utilizó las siguientes máquinas y mecanismos, un tanque de prelavado, un tanque de secado, una maquina trituradora, una faja transportadora, un tanque de lavado, una máquina centrifugadora, un transportador helicoidal, una maquina extrusora, un perfil de moldeo y una tina de enfriamiento. Dando como resultado 76 unidades de perfiles de madera plástica requiriendo una potencia instalada de 117 Kw.

**Palabras Clave:** Diseño, Maquinas, Planta, Plásticos, Residuos.



## ABSTRACT

Currently in the city of Puno, plastic waste represents a worrying threat to the environment and public health, since, according to the Ministry of the Environment, Puno generates 94 tons of solid waste daily, of which 10.37% corresponds to plastic waste, most of which is not reused. In this sense, the objective of the present study is to determine the processes, the necessary machines and tools that will be used for the design of the manufacturing plant of the plastic wood boards. The type of research is descriptive-theoretical with a quantitative approach. The methodology used for data collection was carried out through stratified sampling and public records to identify the types and quantities of plastics that are generated in the sanitary landfill of the city of Puno. As a result of the investigation, it was determined that the plastics suitable for recovery were high-density polyethylene and polypropylene, with a total of 1,613.65 kilograms per day, which allows determining the plant with the following processes, the reception of the plastics recycled, pre-washed, dried, crushed, transported from crushed plastics, cold washing, transported from washed, centrifuged and dried plastics, transported from dried plastics, extrusion, molding and cooling of plastic wood; where the following machines and mechanisms were used, a prewash tank, a drying tank, a grinding machine, a conveyor belt, a washing tank, a centrifuge machine, a helical conveyor, an extruder machine, a molding profile and a cooling tub. Resulting in 76 units of plastic wood profiles requiring an installed power of 117 Kw.

**Key words:** Design, Machines, Plant, Plastics, Waste.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente producción de plásticos de un solo uso representa una preocupante amenaza para el medio ambiente tanto en la región de Puno, Perú, como a nivel global. El consumismo impulsado por la sobrepoblación ha resultado en una alarmante contaminación ambiental, especialmente debido a la falta de plantas de reciclaje y reutilización de plásticos en la región, lo que ha llevado a la colmatación de los rellenos sanitarios.

Ante esta urgente necesidad de abordar el problema, esta tesis se enfoca en el diseño de una planta de fabricación de tablas de madera a partir de los plásticos generados diariamente, donde se define los tipos de procesos a llevarse y las máquinas y herramientas que se utilizarán para recuperar y reutilizar los plásticos reciclados. Además, se identificarán la cantidad necesaria y óptima de los residuos plásticos generados en la ciudad de Puno.

El propósito es brindar una solución efectiva que no solo reduzca significativamente la contaminación ambiental, sino que también fomente la reutilización y transformación de los plásticos en productos de valor agregado.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1 Descripción de problema

En la actualidad, la ciudad de Puno enfrenta un desafío significativo relacionado con la gestión de residuos sólidos. Se estima que aproximadamente 90 toneladas de los residuos sólidos son generadas diariamente, de los cuales el 10% corresponde a materiales plásticos. De hecho, gran parte de estos plásticos no son reutilizados y terminan acumulándose en el relleno sanitario, exacerbando la contaminación ambiental.



El manejo inadecuado de los plásticos generados en la ciudad de Puno representa una preocupante amenaza para el medio ambiente y la salud pública. La acumulación de plásticos en el relleno sanitario contribuye a la contaminación del suelo y agua, la emisión de gases de efecto invernadero y la mejora paisajística. Esta problemática afecta negativamente el ecosistema local, la calidad de vida de los ciudadanos y limita las posibilidades de un desarrollo industrial sostenible.

Ante este escenario, el presente proyecto de investigación tiene como fundamento diseñar una planta de recuperación de materiales plásticos reutilizables y establecer los lineamientos para la fabricación de madera plástica en la ciudad de Puno. Se busca proporcionar soluciones concretas para la gestión sostenible de los plásticos, reducir su impacto ambiental y promover su reutilización en la fabricación de tablas de madera plástica.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General**

¿Es posible el diseño de una planta para la fabricación de la madera plástica a partir de la reutilización de los materiales plásticos reciclados en la ciudad de Puno?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

¿Qué maquinarias y herramientas son necesarias para implementar un sistema de recuperación de los materiales plásticos reciclados?

¿Los diferentes tipos de materiales plásticos reciclados en la ciudad de Puno serán aptos y suficientes para la fabricación de las tablas de madera plástica?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En la ciudad de Puno, la gestión inadecuada de los residuos plásticos representa una grave problemática ambiental y social. La falta de una planta de fabricación



especializada para el aprovechamiento de los residuos plásticos contribuye a la colmatación de los rellenos sanitarios y genera conflictos en la población cercana a los botaderos. Ante esta situación, se hace necesario el desarrollo de una investigación que promueva el aprovechamiento eficiente de los residuos plásticos mediante las técnicas y procesos de la planta que permita recuperar y transformar estos materiales en tablas de madera plástica. Esta iniciativa busca reemplazar la madera procedente de los árboles, con el objetivo de lograr una disminución significativa en la contaminación ambiental y avanzar hacia una gestión sostenible de los residuos plásticos.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar un modelo de una planta de recuperación de materiales plásticos reciclados para el aprovechamiento y la fabricación de tablas de madera plástica en la ciudad de Puno.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Definir y seleccionar las máquinas y herramientas para los procesos de recuperación de materiales plásticos reciclados.
- Identificar y seleccionar la cantidad necesaria y adecuada de los residuos plásticos generados en la ciudad de Puno para la fabricación de tablas de madera plástica.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el 2019, se presentó el proyecto de tesis “Estudio de factibilidad para una planta recicladora de materiales plásticos para la producción de tablas y similares en Arequipa” en la Universidad Católica San Pablo - Facultad de Ingenierías y computación – Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.

(Pastor Montes, 2019). El objetivo de esta investigación es realizar un estudio de factibilidad para una planta recicladora de materiales plásticos para la producción de materiales para la producción de tablas que permita disminuir la contaminación ambiental en la ciudad de Arequipa

En el 2019, se presentó el proyecto de tesis “Elaboración de madera plástica a partir de polímeros post-consumo” en la universidad técnica del norte, facultad de ingeniería en ciencias aplicas- carrera de ingeniería industrial

(Albam Jacome, 2019). El objetivo de esta investigación es elaborar prototipos de madera plástica a partir de polímeros post-consumo.

En el 2017, se presentó el proyecto de tesis “Diseño de una planta de reciclaje de residuos sólidos en el distrito de Pachiza provincia de Mariscal Cáceres” En la Universidad Cesar Vallejo-Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

(Urbina Ruiz, 2017). El objetivo de la investigación es diseñar un modelo de planta de reciclaje para los residuos sólidos domésticos en el distrito de Pachiza, basado en los requerimientos ambientales diagnosticados.





En el 2015, se presentó el proyecto de tesis “Diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos para la empresa pública municipal mancomunada del pueblo cañari de los cantones: Cañar, biblian, el tambo y suscal en el año 2014” En la universidad politécnica Salesiana sede Cuenca – Carrera de Ingeniería Mecánica.

(Ormaza Salamea, 2015). El objetivo de la investigación es realizar un estudio y proponer el diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos para los municipios de cañari y los cantones para reducir el impacto ambiental.

En el 2013, se presentó el proyecto de tesis “Diseño de una planta piloto de recuperación de materiales reciclados”, en la Escuela superior politécnica del litoral- Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción

(Aguinaga Aguinaga & Bonilla Rodriguez, 2013). El objetivo de la investigación es realizar el diseño de planta piloto de recuperación de materiales para separar los distintos tipos de materiales reciclables al flujo de residuos generados en la ciudad de Guayaquil.

En el 2006, se presentó el proyecto de tesis “Diseño de una máquina para la fabricación de productos de gran volumen en polipropileno reciclado” en la Universidad EAFIT, departamento de Ingeniería Mecánica – Área de proyectos

(Vicente Perez & Lopez Perez, 2006). El objetivo de esta investigación es configurar un sistema para formar piezas de polipropileno de gran volumen que garantice las características entre una pieza y otra.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 La madera Plástica**

La madera plástica es un material compuesto, cuyos constituyentes son: plástico reciclado o virgen, acompañado de residuos de madera. El objetivo de la madera plástica



es fusionar las ventajas de la madera y el plástico, aprovechando la apariencia estética que presenta la madera, junto con las propiedades impermeabilizantes que aporta el plástico en la mezcla. De manera general se tiende a denominar madera plástica a cualquier tipo de mezcla, que dé como resultado un producto polimérico con características similares a las de la madera, para poder diferenciar la madera plástica que contiene residuos de madera de la que está formada por otros constituyentes se ha usado el idioma inglés para diferenciarlos:

“Plastic lumber”, la cual está constituida únicamente por plástico, sea este reciclado o virgen, pudiendo ser de un solo material polimérico, o la mezcla de algunos materiales. De preferencia se utilizan materiales termoplásticos, se suele adicionar estabilizantes UV, lubricantes, agentes espumantes que facilitan la mezcla, mejoran las propiedades, permiten proteger al polímero y facilitan el moldeado, obteniendo piezas que llegan a parecer madera natural. (Olivares, Galán, & Roa, 2003, p. 46)

Variedades de plástico sintético constituido principalmente por polímeros. (Noticias de la Ciencia y Tecnología, 2020)

La madera plástica reciclada o también conocido como: Wood Plastic Composite (WPC) son los materiales compuestos a partir de la mezcla de plásticos termoestables o termoplásticos y residuos de madera o aserrín. O también se tiende a designar madera plástica a todo tipo de mezcla que da como resultado un material polimérico con características semejantes a la madera. (Rodríguez, 2018).



**Figura 1:** Tablas de madera plástica  
Fuente: Andina agencia peruana de noticias

### 2.2.2 Eficiencia de la Madera Plástica Respecto a la Madera Convencional

Los compuestos de madera plástica o (WPC) presentan distintas propiedades respecto a la madera convencional como:

La resistencia de flexión puede llegar a los 20 000 PSI en el ámbito teórico, pero en una mezcla de 50% de plástico y un 50 % de aserrín de madera la resistencia de flexión es aproximadamente igual a 10 700 PSI. Y en compuestos de una mezcla de aserrín de madera y HDPE es 1500 – 4400 PSI.

Los compuestos de madera plástica presentan una deficiencia en la flexibilidad debido al límite permisible en la carga de rotura y en cuanto a la dilatación térmica los WPC es 10 veces mayor la expansión – contracción respecto a la madera, en algunos casos los WPC pueden contraerse hasta 250% más que otros materiales.

Respecto a la resistencia al deslizamiento generalmente las tablas de madera son más resbaladizas que las tablas de madera teniendo como un coeficiente de fricción menor



a 50 $\mu$ . Para minimizar el deslizamiento los fabricantes de la madera plástica texturizan la superficie del material (cepillado o estampado profundo), algunos plásticos como el polietileno de baja densidad tienen un menor deslizamiento o mayor coeficiente de fricción.

En otro aspecto los compuestos de madera plástica han logrado un crecimiento anual de 30% durante los 10 últimos años del siglo XXI, ya que la madera plástica presenta menor costo de mantenimiento, ni pintado de las mismas y son resistentes al moho, a la humedad, al deterioro ambiental, a las termitas, son reciclables y tienen una mayor durabilidad en ambientes agresivos como el mar y la selva. Esto teniendo como resultado la aceptación en el mercado. (Klyosov A. A., 2007).

La madera plástica puede sustituir a la madera con ciertas limitaciones debido a los varios factores como: el bajo índice de elasticidad, pero que se puede mejorar aumentando, la sección transversal de la tabla o realizar una mezcla del 60% de aserrín al polímero, obteniendo como resultado una elasticidad mayor de la tabla de madera plástica. Al variar los elementos que componen la madera plástica (plástico + aserrín + aditivos) en el proceso de extrusión se mejora las propiedades mecánicas como la tracción y la flexión. En otro aspecto se ha comprobado que la madera plástica tiene una absorción de agua del 0.26 - 0.31% después de permanecer más de 148 horas bajo el agua. (Ramírez, 2020)

### **2.2.3 Clasificación de los Plásticos**

Existen dos grandes tipos de plásticos según (Capela, 2010):

#### **2.2.3.1 Los Termoplásticos**

Son los plásticos que no sufren cambios en su estructura química durante el calentamiento. Se pueden calentar y volver a moldear repetidamente y en consecuencia



reciclarse. Los termoplásticos están constituidos por moléculas largas y se dividen en dos grupos: termoplásticos de uso general y termoplásticos de Ingeniería. Los termoplásticos de uso general abarcan la mayoría de los plásticos que se utilizan en la actualidad, Por ejemplo, el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno expandido (EPS), el politereftalato de etilenglicol (PET), y demás tipos de plásticos. Las propiedades mecánicas de estos materiales se pueden optimizar con la adición de rellenos o fibras, haciéndolos más eficientes.

Los termoplásticos de ingeniería poseen propiedades como buena resistencia mecánica, rigidez, tenacidad y/o resistencia al desgaste. Estos materiales constituyen una alternativa al uso de materiales metálicos siendo los más importantes las poliamidas, poliacetales, policarbonatos, poliésteres y polioxido de fenileno.

### **2.2.3.2 Los Termoestables**

Son los plásticos que sufren un cambio químico cuando se moldean y, una vez transformados por la acción del calor, adquieren una determinada forma permanente; no se pueden fundir y reformar ya que se degradan o descomponen cuando se calientan a una temperatura alta, no son reciclables. Por ejemplo, las resinas epoxídicas, las resinas fenólicas y amídicas y los poliuretanos. Estos compuestos comprenden una alta temperatura de distorsión térmica, buena resistencia a los solventes químicos, buena rigidez

Según (Ecología Verde, 2020) existen siete principales plásticos que tienen una mayor utilización en el mundo y estas son:

#### **Polietileno Teraftalato (PET):**

Este tipo de plástico se produce a través del ácido tereftálico y el Etilenglicol por policondensación. Los PET son uno de los más reciclados, ya que se encuentran en



envases para gaseosas, Aceites, Agua mineral, cosmética, películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera productos alimenticios), bandejas para microondas, geotextiles, películas radiográficas.

Las botellas de plástico PET tardan más de 1000 años en degradarse y respecto a otros plásticos el PET representa el 11% de los residuos plásticos en el planeta. (Seguros DKV, 2021).

A nivel mundial El PET representa más del 50% de la producción de las fibras sintéticas y se ha informado que el consumo global de PET supera los \$ 17 mil millones por año. (Webb, et al., 2013)

Al polietileno teraftalato se le establece un código de Identificación de plástico N° 1.

Las Ventajas que posee el PET son:

- Barrera a los gases
- Transparente
- Irrompible
- Liviano
- Impermeable
- No tóxico
- Inerte (al contenido)

Según (Brydson, 1999, pp 434-439) afirma que las propiedades físicas y mecánicas de PET son:

- Densidad: 1,38 g/cm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 260°C
- Resistencia a la tracción: 55-75 MPa

- Módulo de elasticidad: 2.1-2.8 GPa
- Alargamiento a la ruptura: 20-40%
- Resistencia al impacto: 10-20 kJ/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de expansión térmica:  $70-80 \times 10^6$  m/m°C



**Figura 2:** Codificación del plástico tipo PET

Fuente: SP Group



**Figura 3:** Productos del plástico tipo PET

Fuente: ENVASELIA Central de Envases SL



### **Polietileno de Alta Densidad (HDPE).**

Es un polímero termoplástico fabricado a partir del Etileno que es elaborado a partir del Etano. Es muy versátil y se lo puede transformar de diferentes maneras como: inyección, soplado, extrusión o rotomoldeo.

Las propiedades del polietileno de alta densidad HDPE/PEAD hacen ideal para fabricar objetos como envases para detergentes, aceites de motor, champú, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para gaseosas, cervezas, baldes para pintura, sillas, mesas, caños para gas, agua, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.

Al poliestireno de alta densidad se le designa el código de Identificación de plástico N° 2

Las Ventajas que posee el HDPE son:

- Resistente a las bajas temperaturas
- Irrompible
- Liviano
- Inerte (al contenido)
- No tóxico

Según (Brydson,1999,pp 245-253 ) afirma que las propiedades físicas y mecánicas del HDPE son:

- Densidad: 0,95 g/cm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 130-135°C
- Resistencia a la tracción: 20-40 MPa
- Módulo de elasticidad: 0.8-1.5 GPa
- Alargamiento a la ruptura: 600-1000%
- Resistencia al impacto: 20-40 kJ/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de expansión térmica: 120-200 × 10<sup>6</sup> m/m°C





**Figura 4:** Codificación del plástico tipo HDPE

Fuente: SP Group



**Figura 5:** Productos del plástico tipo HDPE

Fuente: Turflex Perú



### **Policloruro de Vinilo (PVC).**

Se produce a partir de la mezcla de dos materias primas naturales como: el 43% gas natural y 57% cloruro de sodio. Se obtienen productos rígidos a totalmente flexibles como Botellas para aceites, agua mineral, yogurt, tuberías para agua, desagüe, electricidad, suelas de calzado, aislante de cables, sandalias, botas, capas, tapas de libros, artículos para oficina, balones y otros sectores.

Al policloruro de vinilo se le designa el código de Identificación de plástico N° 3.

Las Ventajas que posee el PVC son:

- Ignífugo
- Resistente a la intemperie
- Transparente
- No tóxico
- Inerte (al contenido)
- Impermeable

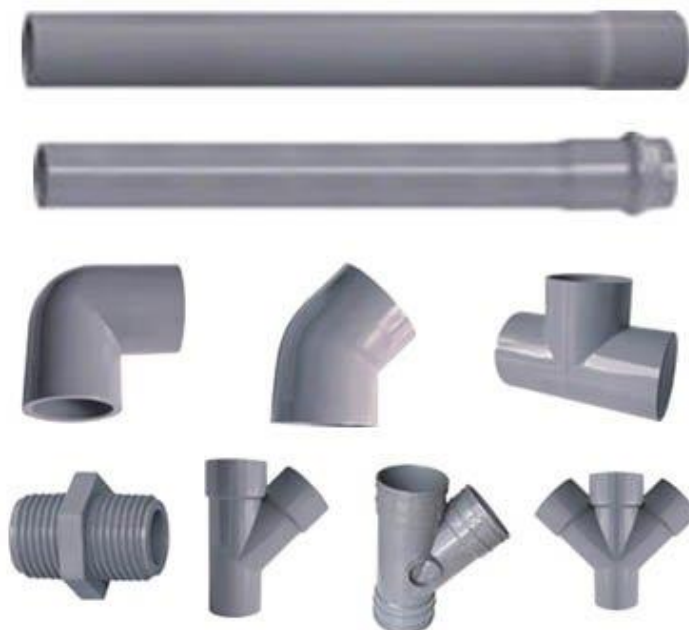
Según (Brydson, 1999, pp. 345-360) afirma que las propiedades físicas y mecánicas del PVC son:

- Densidad: 1.3-1.6 g/cm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 150-200°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal:  $7-9 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- Resistencia al impacto: 10-25 kJ/m<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad: 2.0-4.0 GPa
- Resistencia a la tracción: 40-80 MPa
- Resistencia a la flexión: 50-100 MPa
- Resistencia a la compresión: 60-100 MPa



**Figura 6:** Codificación del plástico tipo PVC

Fuente: SP Group



**Figura 7:** Productos del plástico tipo PVC

Fuente: Turflex Perú



### **Polietileno de Baja Densidad (PEBD/LDPE).**

Es un polímero que se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD, es de gran versatilidad y es un material que se procesa con facilidad de diversas formas: inyección, extrusión, soplado y rotomoldeo. Su transparencia, flexibilidad, resistente a las altas temperaturas y a sustancias químicas y su bajo costo hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones como: Bolsas de todo tipo: mercados, boutiques, panificación, bazares, películas para agricultura (invernaderos), sacos de plástico, base para pañales descartables, bolsas para suero.

Además, el polietileno de baja densidad es un material reciclable. Se le designa el código de Identificación de plástico N° 4.

Las Ventajas que posee el LDPE son:

- No tóxico
- Flexible
- Liviano
- Transparente
- Inerte (al contenido)
- Impermeable
- Económico

Según (Brydson, 1999, pp 227-228) afirma que las propiedades físicas y mecánicas del PEBD/LDPE son:

- Densidad: 0.91-0.93 g/cm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 110-120°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal: 12-20 x 10<sup>-5</sup> K<sup>-1</sup>

- Resistencia al impacto: 10-25 kJ/m<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad: 0.1-0.35 GPa
- Resistencia a la tracción: 10-25 MPa
- Resistencia a la flexión: 15-30 MPa
- Resistencia a la compresión: 30-60 MPa



**Figura 8:** Codificación del plástico tipo LDPE

Fuente: SP Group



**Figura 9:** Productos del plástico tipo LDPE

Fuente: Interempresas

### **Polipropileno (PP).**

Es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando Etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido, de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y el de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado, extrusión y termoformado.

El polipropileno es el segundo plástico más utilizado y sus aplicaciones abarcan desde Película / Film (para alimentos, golosinas, indumentaria), bolsas de rafia tejidas, envases industriales (Big Bag), hilos, tapas en general, envases, cajas para bebidas, baldes para pintura, fibras para tapicería, cajas de baterías.

Al polipropileno se le designa el código de Identificación de plástico N° 5.

Según (Brydson, 1999, pp. 253-260) afirma que las propiedades físicas y mecánicas del PP son:

- Densidad: 0.90-0.91 g/cm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: 160-170°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.00015-0.0002 cm/cm/°C.
- Resistencia al impacto: buena resistencia al impacto incluso a bajas temperaturas.
- Módulo de elasticidad: 1.5-2.5 GPa.
- Resistencia a la tracción: 32-40 MPa.
- Resistencia a la flexión: 48-57 MPa.
- Resistencia a la compresión: 32-40 MPa.



**Figura 10:** Codificación del plástico tipo PP

Fuente: SP Group



**Figura 11:** Productos del plástico tipo PP

Fuente: IndustriaMinera.cl

Las Ventajas que posee el PP son:

- Inerte (al contenido)
- Resistente a la temperatura (hasta 135°)
- Barrera a los aromas
- Impermeable
- Irrompible
- Brilloso
- Liviano
- Transparente en películas
- No tóxico

### **Poliestireno (PS).**

Es un polímero de estireno monómero un derivado del petróleo, es un polímero de estireno monómero con oclusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto. Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de inyección,





extrusión, termoformado y soplado. Sus aplicaciones abarcan desde el poliestireno expandido para el sector construcción, embalajes, envases para lácteos (yogurt, postres, etc.), helados, dulces, vasos, bandejas de supermercado, flotadores, máquinas de afeitar descartables, platos, cubiertos, juguetes, planchas de PS espumado. El poliestireno es 100% reciclable pero económicamente no resulta rentable, ya que reciclarlo resulta costoso, por tal motivo se ha prohibido en algunas ciudades del mundo.

Al poliestireno se le designa el código de Identificación de plástico N° 6.

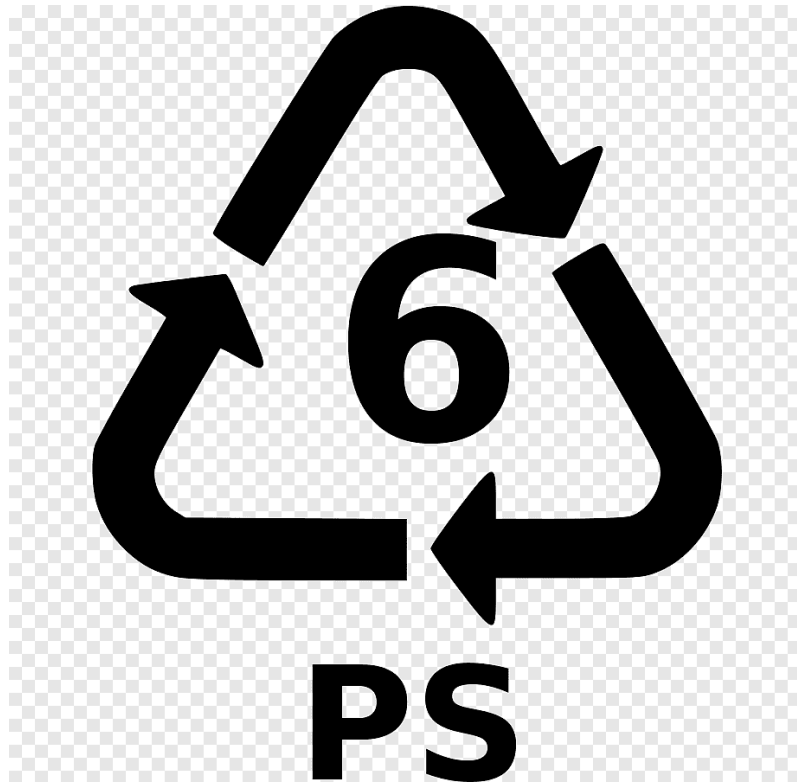
Las Ventajas que posee el PS son:

- Brilloso
- Ignífugo
- Liviano
- Irrompible
- Impermeable
- Inerte y no tóxico
- Transparente
- Fácil de limpiar

Según (Brydson, 1999, pp. 455-459) afirma que las propiedades físicas y mecánicas del PS son:

- Densidad: 1.04-1.09 g/cm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 70-115°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.00006-0.00007 cm/cm/°C
- Resistencia al impacto: baja resistencia al impacto, especialmente a bajas temperaturas
- Módulo de elasticidad: 3.1-3.5 GPa

- Resistencia a la tracción: 30-40 MPa
- Resistencia a la flexión: 45-65 MPa
- Resistencia a la compresión: 25-40 MPa



**Figura 12:** Codificación del plástico tipo PS

Fuente: SP Group



**Figura 13:** Productos del plástico tipo PS

Fuente: Tiempo&Forma



## Otros Plásticos

En este grupo se incluyen una enorme variedad de plásticos no reciclables tales como Policarbonato (PC), Poliamida (PA), ABS, SAN, EVA, Poliuretano (PU), Acrílico (PMMMA) entre otros. Estas son reutilizables, pero no se pueden reciclar porque no se sabe con certeza las resinas que fueron utilizadas. Pueden integrar componentes tóxicos como el antimonio, bromo y bisfenol A y ostenta la cifra más alta de residuos plásticos en el planeta con 24%.

Sus aplicaciones son empleados en partes de computadoras. Teléfonos, electrodomésticos, CD`s, Accesorios náuticos y deportivos, Piezas de ingeniería aeroespacial, garrafas de fuentes de agua, colchones, artículos para cosmetología.

A este grupo de mezclas de plásticos se le designa el código de Identificación N° 7.

Las ventajas que posee los otros plásticos son:

- Resistentes a la corrosión
- Flexibles
- Livianos
- Altísima resistencia a la temperatura, propiedades mecánicas y productos químicos

Según (Brydson, 1999, pp. 584-611) afirma que las propiedades físicas y mecánicas del plástico como el Policarbonato (PC), Poliamida (PA), ABS, SAN, EVA, Poliuretano (PU), Acrílico (PMMMA) son:

- **Policarbonato (PC).**
  - Densidad: 1.2-1.4 g/cm<sup>3</sup>
  - Temperatura de transición vítrea: 140-150°C
  - Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.00006-0.00007 cm/cm/°C



- Resistencia al impacto: alta resistencia al impacto
- Módulo de elasticidad: 2.2-2.4 GPa
- Resistencia a la tracción: 55-70 MPa
- Resistencia a la flexión: 80-90 MPa
- Resistencia a la compresión: 70-80 MPa
- Poliamida (PA):

Las propiedades físicas y mecánicas del PC son:

- Densidad: 1.03-1.15 g/cm<sup>3</sup>
- Temperatura de transición vítrea: 55-80°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.00006-0.00012 cm/cm/°C
- Resistencia al impacto: buena resistencia al impacto
- Módulo de elasticidad: 1.5-4.0 GPa
- Resistencia a la tracción: 50-85 MPa
- Resistencia a la flexión: 80-160 MPa
- Resistencia a la compresión: 60-120 MPa

- **ABS.**

- Densidad: 1.05-1.15 g/cm<sup>3</sup>
- Temperatura de transición vítrea: 95-115°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.00006-0.00008 cm/cm/°C
- Resistencia al impacto: alta resistencia al impacto
- Módulo de elasticidad: 2.1-3.5 GPa
- Resistencia a la tracción: 40-60 MPa
- Resistencia a la flexión: 60-90 MPa
- Resistencia a la compresión: 70-80 MPa

- **SAN.**



- Densidad: 1.05-1.07 g/cm<sup>3</sup>
- Temperatura de transición vítrea: 100-110°C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.00007-0.00008 cm/cm/°C
- Resistencia al impacto: baja resistencia al impacto
- Módulo de elasticidad: 2.0-2.4 GPa
- Resistencia a la tracción: 35-55 MPa
- Resistencia a la flexión: 60-80 MPa
- Resistencia a la compresión: 70-80 MPa
- **EVA.**
  - Densidad: 0.91-0.94 g/cm<sup>3</sup>
  - Temperatura de transición vítrea: -20°C
  - Resistencia al impacto: buena resistencia al impacto
  - Módulo de elasticidad: 40-200 MPa
  - Resistencia a la tracción: 5-10 MPa
- **Poliuretano (PU).**
  - Densidad: 1.03-1.25 g/cm<sup>3</sup>
  - Temperatura de transición vítrea: -50 a -100 °C
  - Coeficiente de dilatación térmica lineal: 70-150 x 10<sup>-6</sup>/K
  - Resistencia al impacto: 40-80 kJ/m<sup>2</sup>
  - Módulo de elasticidad: 1-10 GPa
  - Resistencia a la tracción: 10-80 MPa
  - Resistencia a la flexión: 20-70 MPa
  - Resistencia a la compresión: 10-50 MPa
- **Acrílico (PMMMA).**
  - Densidad: 1.17-1.20 g/cm<sup>3</sup>

- Temperatura de transición vítrea: 105-110 °C
- Coeficiente de dilatación térmica lineal:  $7-8 \times 10^{-5}/K$
- Resistencia al impacto: 0.5-1.5 kJ/m<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad: 2.7-3.6 GPa
- Resistencia a la tracción: 60-80 MPa
- Resistencia a la flexión: 90-120 MPa
- Resistencia a la compresión: 70-90 MPa



**Figura 14:** Codificación del plástico tipo OTROS

Fuente: SP Group



**Figura 15:** Productos del plástico tipo PS

Fuente: Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido.

#### **2.2.4 Proceso de Mezcla Para Obtener Madera Plástica**

Según (Jara, 2015) realizo sus investigaciones de la mezcla del plástico y los aditivos para obtener madera plástica por lo cual llego a afirmar lo siguiente:

Que los tipos de plásticos más recomendados para trabajar son el polietileno de alta densidad y el polipropileno, ya que según sus características mecánicas y físicas son ideales para fabricar la madera plástica que generalmente son utilizados en mueble para el exterior. Los aditivos que se utilizan para la mezcla de los plásticos son el aserrín como también diferentes aditivos químicos.

#### **2.2.5 Tipos de Plásticos Aptos Para la Fabricación de la Madera Plástica**

Según (Klyosov A. , 2007) afirma que existen diferentes tipos de plásticos aptos para la fabricación de la madera plástica, en base a sus propiedades físicas, mecánicas y demás características como son:



### **Polietileno Teraftalato (PET).**

El PET es un plástico más rígido y quebradizo en comparación con el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP), que son los plásticos más utilizados para fabricar madera plástica. La rigidez y la fragilidad del PET pueden hacer que sea menos adecuado para aplicaciones que requieren flexibilidad y resistencia al impacto, características que son deseables en los productos de madera plástica. Además, el PET tiene una menor resistencia a los rayos UV y a la degradación causada por la exposición a la intemperie en comparación con el HDPE y el PP. Esto puede limitar su uso en aplicaciones exteriores donde se requiere una mayor resistencia a la degradación por la luz solar y los elementos ambientales.

### **Polietileno de alta densidad (HDPE).**

El polietileno de alta densidad es uno de los plásticos más utilizados y adecuados para fabricar madera plástica, ya que el HDPE ofrece una combinación de propiedades favorables que lo convierten en un material adecuado para la fabricación de madera plástica; estas ventajas son las siguientes:

La durabilidad: El HDPE es un plástico resistente y duradero, capaz de soportar condiciones adversas, como la exposición a la intemperie, la humedad y los rayos UV. Esta durabilidad lo hace adecuado para aplicaciones al aire libre.

La resistencia al agua y a la humedad: El HDPE es resistente al agua y no se ve afectado por la humedad. No se hincha, no se pudre ni se deteriora como la madera natural cuando está expuesto al agua o la humedad.

La resistencia a productos químicos y termitas: El HDPE es resistente a la mayoría de los productos químicos y no es atractivo para las termitas y otros organismos





destructivos. Esto lo convierte en una opción adecuada para aplicaciones en entornos corrosivos y donde la presencia de termitas sea una preocupación.

La baja absorción de humedad: A diferencia de la madera natural, el HDPE tiene una baja absorción de humedad, lo que evita problemas de hinchazón y contracción.

El bajo mantenimiento: La madera plástica fabricada con el plástico HDPE no requiere pintura, barniz o sellado periódico como la madera natural. Esto reduce significativamente el mantenimiento necesario.

El plástico HDPE se utiliza ampliamente en la industria de la madera plástica para fabricar una variedad de productos, como tablas de cubierta, cercas, revestimientos de paredes, muebles de exterior y otros productos similares.

### **Policloruro de Vinilo (PVC).**

El policloruro de Vinilo es un plástico que se utiliza considerablemente en la fabricación de madera plástica, pero que por sus propiedades específicas que presenta puede ser adecuado solo para ciertas aplicaciones de madera; las ventajas y desventajas para la fabricación de madera plástica con este tipo de plástico son:

La durabilidad: El PVC es un material duradero y resistente que puede soportar condiciones adversas, como la exposición a la intemperie y los rayos UV. Es menos propenso a la decoloración y la degradación causada por la luz solar en comparación con otros plásticos.

La Resistencia al agua y a la humedad: El PVC es resistente al agua y no se ve afectado por la humedad. No se hincha, no se pudre ni se deteriora cuando está expuesto al agua o la humedad, lo que lo hace adecuado para aplicaciones al aire libre.



La estabilidad dimensional: El PVC tiene una buena estabilidad dimensional, lo que significa que tiene una menor tendencia a expandirse o contraerse en respuesta a cambios de temperatura y humedad.

La versatilidad: El PVC es un material moldeable y puede ser fabricado en diferentes formas y perfiles, lo que permite una variedad de diseños y aplicaciones en la fabricación de madera plástica.

Los aditivos: el plástico PVC requiere aditivos, estabilizadores y refuerzos para mejorar sus propiedades y resistencia al impacto. Además, en comparación con el HDPE y el PP, el PVC es más propenso a la degradación por exposición a productos químicos agresivos. Esto afecta el porcentaje de pvc utilizado en mezclas para la fabricación de madera plástica.

### **Polietileno de Baja Densidad (PEBD/LDPE).**

El polietileno de baja densidad no es tan comúnmente utilizado para la fabricación de madera plástica, ya que tiene algunas características que limitan su uso. A diferencia del HDPE y el PP, el LDPE es más flexible y menos rígido, lo que afecta la resistencia y la estabilidad dimensional de los productos de madera plástica. Además, el LDPE es más susceptible a la degradación causada por la exposición a los rayos UV, son menos resistentes al fuego y a los productos químicos, factores que impiden utilizarse para las aplicaciones al aire libre.

Aunque el LDPE no es una opción principal para la fabricación de madera plástica, puede utilizarse en combinación con otros plásticos o como parte de una formulación específica, junto con aditivos y refuerzos, para mejorar sus propiedades y adaptarlo a aplicaciones particulares.



## **Polipropileno (PP).**

El polipropileno es un plástico muy utilizado y apto para fabricar madera plástica. El PP ofrece varias características y propiedades favorables para este tipo de aplicación. Y estas son algunas razones por las que el PP es adecuado para la fabricación de madera plástica:

**La durabilidad:** El PP es un material plástico resistente y duradero. Tiene una buena resistencia al impacto y puede soportar condiciones adversas, como la exposición a la intemperie y a los rayos UV. Es menos propenso a la decoloración y la degradación causada por la luz solar en comparación con otros plásticos.

**La resistencia al agua y a la humedad:** El PP es resistente al agua y no se ve afectado por la humedad. No se hincha, se pudre ni se deteriora como la madera natural cuando está expuesto al agua o la humedad.

**La resistencia a productos químicos:** El PP es resistente a una amplia gama de productos químicos, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos corrosivos.

**La baja absorción de humedad:** El PP tiene una baja absorción de humedad, lo que evita problemas de hinchazón y contracción.

El PP se utiliza ampliamente en la industria de la madera plástica para fabricar productos como tablas de cubierta, revestimientos de paredes, muebles de exterior y otros productos similares. Su combinación de propiedades lo convierte en una opción popular para aplicaciones que requieren durabilidad y resistencia al clima.

## **Poliestireno (PS).**

El poliestireno no es un plástico comúnmente utilizado ni considerado óptimo para la fabricación de madera plástica. El poliestireno es un material quebradizo y rígido, lo



que puede limitar su uso en aplicaciones que requieren flexibilidad y resistencia al impacto, además, el poliestireno no es tan resistente a la intemperie y a la degradación causada por los rayos UV como otros plásticos más adecuados, como el polietileno de alta densidad (HDPE) o el polipropileno (PP). La exposición a la luz solar y las condiciones ambientales pueden causar la decoloración y la degradación del poliestireno con el tiempo.

Si bien existen algunos aditivos y modificadores que se pueden utilizar para mejorar las propiedades del poliestireno y adaptarlo a aplicaciones específicas, en general, existen mejores opciones de plásticos para la fabricación de madera plástica, como el HDPE y el PP, que ofrecen características más favorables en términos de durabilidad, resistencia y resistencia a la intemperie.

Otros Plásticos (PC, PA, ABS, PMMA).

Los plásticos como el PC (policarbonato), PA (poliamida), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PMMA (polimetacrilato de metilo) no son considerados como los plásticos más adecuados para la fabricación de madera plástica y estas son las siguientes:

**Policarbonato (PC):** El PC es un plástico resistente al impacto y transparente, no poroso, pero no es utilizado para la fabricación de madera plástica, Ya que específicamente se emplean en aplicaciones como lentes de seguridad, paneles de protección y dispositivos electrónicos.

**Poliamida (PA):** Las poliamidas, también conocidas como nylon, son plásticos resistentes y duraderos con una alta resistencia mecánica. Sin embargo, debido a su alta absorción de humedad, la poliamida no es factible para la fabricación de madera plástica en aplicaciones al aire libre.



Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS): El ABS es un plástico resistente, rígido y liviano utilizado en una amplia gama de aplicaciones. Aunque el ABS puede tener ciertas ventajas en términos de resistencia y procesabilidad, no es utilizado para fabricar madera plástica debido a su baja resistencia a la intemperie y a la degradación causada por los rayos UV.

Polimetacrilato de Metilo (PMMA): El PMMA es un plástico transparente y rígido conocido comúnmente como acrílico. Aunque el PMMA puede tener una apariencia atractiva, no es adecuado para la fabricación de madera plástica debido a su fragilidad y su susceptibilidad a la degradación por exposición a la intemperie y a los rayos UV.

#### **2.2.6 Aditivos Para la Fabricación De Madera Plástica**

Según (Segerholm, 2007) Para la fabricación de madera plástica, se utilizan alrededor del 5% del total de la madera plástica en diversos aditivos para mejorar el procesamiento, la estabilidad, las propiedades físicas y mecánicas del material y algunos de los aditivos más utilizados son:

**Estabilizadores UV:** Se utilizan para proteger la madera plástica de la radiación ultravioleta del sol, lo que evita el deterioro y decoloración del material.

**Agentes de refuerzo:** Se añaden para aumentar la resistencia mecánica de la madera plástica, mejorando su durabilidad y capacidad de carga.

**Pigmentos y colorantes:** Se emplean para proporcionar color y acabado a la madera plástica, permitiendo una amplia gama de opciones estéticas.

**Lubricantes:** Se utilizan para reducir la fricción entre los componentes de la madera plástica durante el proceso de fabricación, facilitando la extrusión y mejorando la calidad del producto final.



### 2.2.7 Situación de los Plásticos Reciclados en El Mundo y en El Perú

Desde 1950, el índice de fabricación de los polímeros ha aumentado drásticamente más que cualquier otro material. Se estima que existe una producción de entre 300 millones y 460 millones de toneladas de basura plástica, esto significa más que el peso de todos los seres humanos en el planeta. (El Peruano, 2023)

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), los micro plásticos provenientes de la degradación de los desechos fabricados a partir de hidrocarburos fósiles son los responsables del 3.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, la OCDE manifiesta que todo el plástico producido en el 2019 en el mundo, menos del 10% se recicla y el 22% queda abandonado en vertederos improvisados, donde se quema o arroja en cualquier parte no acondicionada para recibir estos residuos, donde la mayor parte llega al mar sin ningún control.

Los datos publicados según (Geyer et al., 2017) muestran algunas cifras sobre la producción de plásticos hasta el 2015, en donde el total de la producción mundial acumulada de plásticos asciende los 8300 millones de toneladas.

La mayoría de los plásticos resisten la degradación en el tiempo, se conoce que los plásticos se decoloran, secan, agrietan, rompen y pasan por cambios físicos, que al convertirse en micropartículas y nanométricas, se convierten en contaminantes persistentes, de larga vida, que se acumulan y liberan lixiviados y productos de degradación que pueden actuar como disruptores endocrinos. (Cultura Científica, 2022)

Según el experto en plásticos Max Liboiron, de la Universidad de Terranova y Labrador, en Canadá. Afirma que la mayoría de los plásticos son fragmentos minúsculos que se distribuyen por debajo de la superficie del mar, atmósfera, o están enterrados en sedimentos o arenas costeras y que los suelos contienen cantidades mayores de



microplásticos donde sus contaminantes asociados como ftalatos o retardantes de llama con bromo podrían interferir con la capacidad de la tierra para albergar vida.

Según el MINAM en el Perú el uso promedio de plásticos por persona es de 30Kg por año. En 2018, en el país circularon 237,000 toneladas de envases plásticos y que el 0.4% fueron envases retornables. Del mismo modo se generaron 191,000 toneladas de residuos de envases de plásticos PET, el 62.5% se perdió en rellenos y botaderos municipales e informales y solo se recicló el 17.5%. Sin embargo, solo el 9.8% de estos residuos regresó a la industria de fabricación de envases PET.

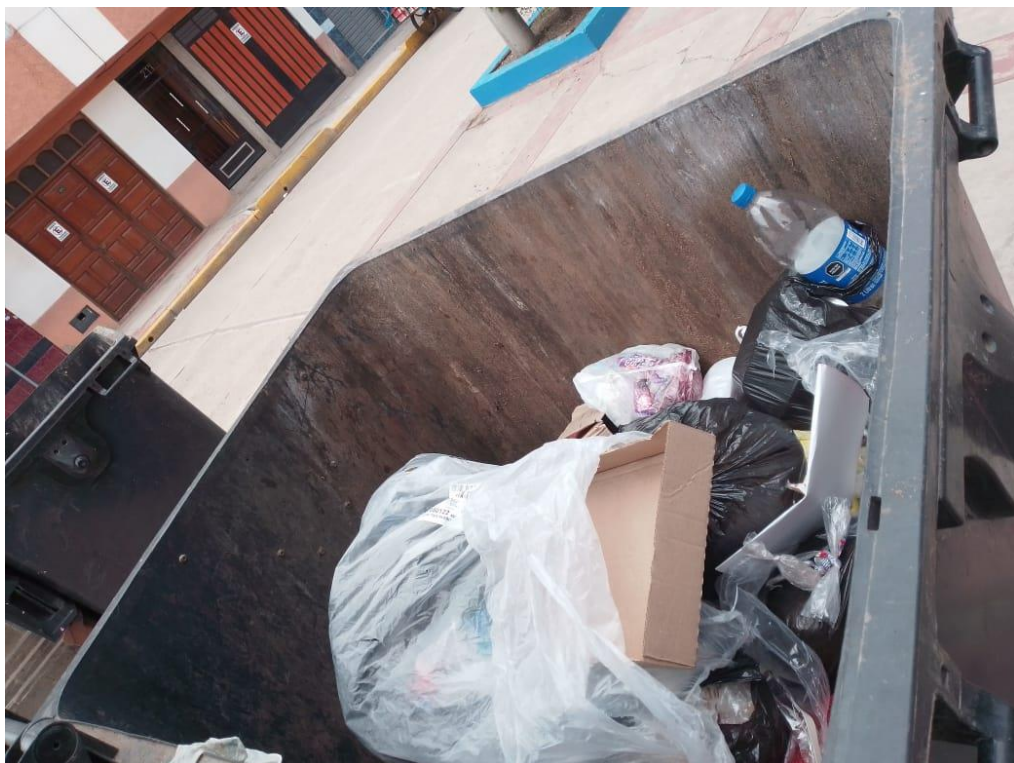
Actualmente el gobierno peruano ha implementado la normativa de Ley N° 30884 que regula el consumo de los recipientes o envases de plástico de un solo uso como las bolsas de plástico, envases de poliestireno expandido o tecnopor y sorbetes de base polimérica (pajitas, popotes, cañitas) donde se prohíbe el consumo de aquellos productos de plástico que no pueden reciclarse o que representen un riesgo para la salud pública y/o el ambiente. Además, la normativa obliga a las empresas al uso de material reciclado en al menos quince por ciento (15%) de su composición en las botellas de tereftalato de polietileno (PET) para bebidas de consumo, aseo personal y otras similares. Por otra parte, la normativa crea el impuesto al consumo de las bolsas de plástico, donde bajo cualquier título de bolsas de plástico cuya finalidad sea cargar o llevar bienes enajenados por los establecimientos comerciales o de servicios, esto con el objetivo de desincentivar el uso de las bolsas de plástico y contribuir a la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

### **2.2.8 Situación de los Plásticos Reciclados en la Ciudad De Puno**

La situación actual sobre los residuos plásticos en la ciudad de Puno sigue siendo un problema social y ambiental, debido a que no existe una normativa municipal que

incentive el reciclaje domiciliario, comunitario, Hospitalario, comercial e industrial, por esa razón los plásticos reciclados son vertidos en botaderos municipales juntamente con los demás residuos sólidos urbanos, y solo una mínima cantidad son reciclados por los programas de la municipalidad de Puno y existe otra menor cantidad de reciclaje informal. Asimismo, no existe un programa para el tratamiento de los residuos plásticos que permanecen en los rellenos sanitarios.

Según la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (SINIA) en el año 2021, la ciudad de Puno genero 49375.76 toneladas /año de residuos sólidos, esto equivalente a 135.28 toneladas/día. De los cuales el plástico representa el 10% de todos los residuos sólidos generados en la ciudad de puno, esto representaría 4937.57 toneladas de plástico/año o 13.52 toneladas de plástico/día



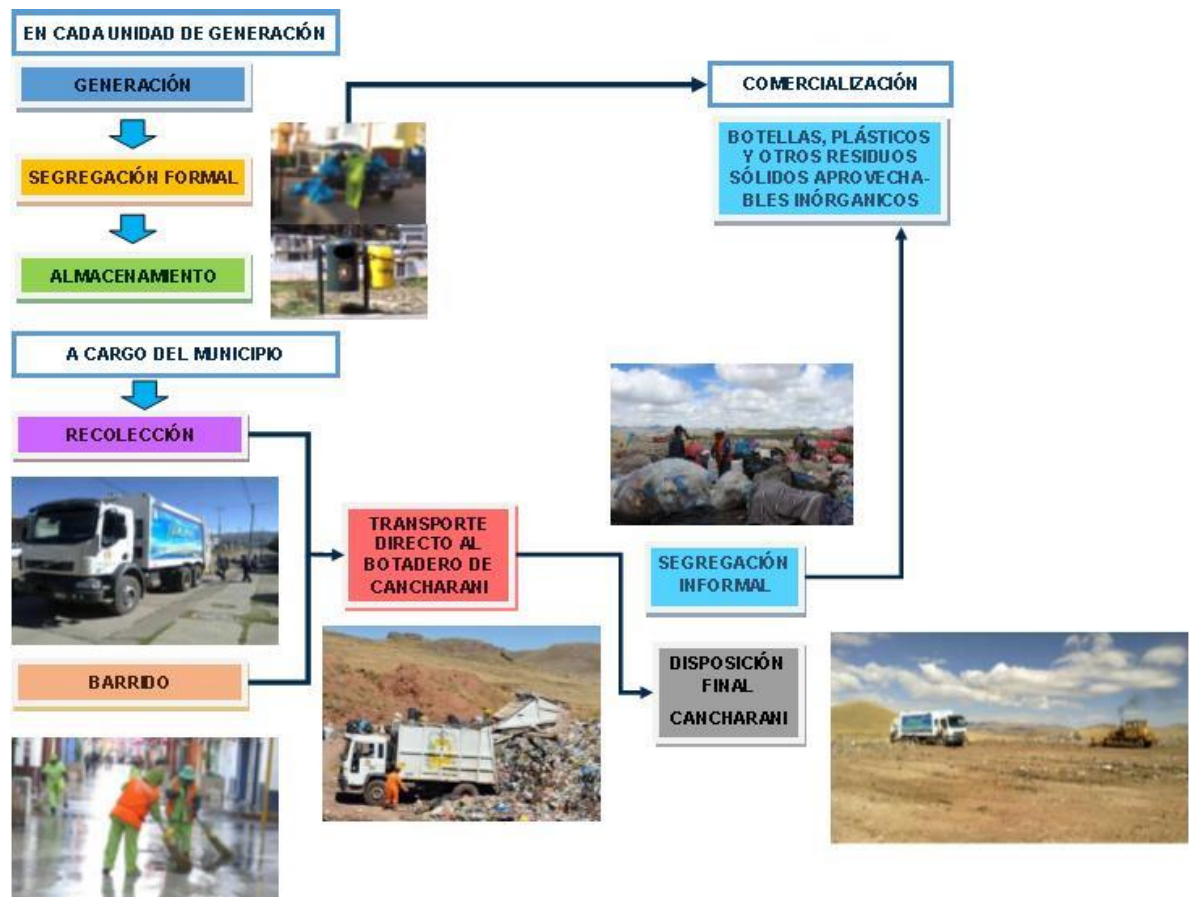
**Figura 16:** Residuos sólidos en un contenedor de basura de la ciudad de Puno

Elaborado por el equipo de trabajo



### 2.2.9 Procesos de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Puno

Según los estudios realizados en la ciudad de Puno, al menos 800 personas se dedican a las actividades de selección y recolección de residuos sólidos de manera informal, quienes llevan los residuos a centros de acopio artesanales donde se empaquetan para comercializar en las ciudades de Arequipa y Lima. (Pari, 2017)



**Figura 17:** Proceso de la gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Puno

Fuente: Plan Estratégico Institucional al 2018 de la Municipalidad Provincial de Puno.

### 2.2.10 Procesos de Recolección de Plásticos

Existen tres tipos de procesos para poder reutilizar los plásticos reciclados cuando su vida útil termina:



Un proceso de reciclado mecánico, proceso de reciclado químico, proceso de reciclado energético, en el cual en esta investigación se realizará el proceso de reciclado mecánico para efectuar la fabricación de tablas de madera plástica.

Proceso de reciclaje mecánico:

El reciclaje mecánico es un proceso físico mediante el cual los plásticos reciclados son recuperados para una posterior fabricación de tablas de madera plástica.

Esta técnica consiste en el lavado, segregación y la trituración de los plásticos. Con este proceso se elaboran los productos de inyección o extrusión

En el Perú, el reciclaje mecánico es el más utilizado debido a la facilidad del proceso e implementación de las maquinas eléctricas, mecánicas y de control; también el proceso mecánico resulta ser adecuado a la economía peruana, ya que la inversión inicial no es costosa ante la transformación del plástico reciclado. (Zea, 2019)

### **2.2.11 Situación de las Plantas de Relleno Sanitario en la Ciudad de Puno**

La ciudad de Puno cuenta con un relleno sanitario ubicado a 20 km de la ciudad, en un terreno de la comunidad de Itapalluni sobre un área de 21 hectáreas. El complejo comprende celdas transitorias para recibir los residuos clasificados como restos de medicamentos, esto para cada tres años, además cuenta con edificios administrativos, bascula de control (pesaje), zonas de drenaje, área de valorización y la zona de relleno sanitario para los restos aprovechables. El relleno sanitario todavía no cuenta con una planta de compostaje, por lo que la basura orgánica es mezclada con los demás residuos sólidos. Estudios señalan que la cantidad de residuos sólidos que se producen en la ciudad de Puno es 80 toneladas diarias de los cuales el 50% son orgánicos y 30% inorgánicos aprovechables de los cuales el 10% son plásticos reciclables. (El Comercio, 2019).



**Figura 18:** Situación actual del relleno sanitario en la ciudad de Puno

Fuente: El comercio Perú



**Figura 19:** Relleno sanitario de la ciudad de Puno

Fuente: El comercio Perú



## **2.2.12 Situación de las Plantas de Fabricación de Tablas de Madera a Nivel**

### **Nacional**

El Ministerio del Ambiente (MINAM) inauguro la primera planta de producción de madera plástica del Perú con la participación de cinco municipalidades que gestionan los residuos sólidos para el proceso en la planta, con una capacidad de reciclado de 1000 kilos de plástico por día. (Inforegion, 2009)

La madera plástica, resultante de la mezcla de plástico, fibra vegetal y polvo de madera, es fabricado por la empresa Madecoplast, una empresa familiar ubicado en Villa el Salvador- Lima donde para fabricar la madera plástica utilizan el aserrín, virutas de madera, los plásticos reciclados con un proceso a través de una línea de fabricación que utiliza maquinas secadoras, pulverizadoras y turbo mezcladoras, extrusoras, sistema de enfriamiento de la mezcla y de la extrusora. (Prensarte, 2014)

## **2.2.13 Situación de las Plantas de Fabricación de Tablas de Madera Plástica a**

### **Nivel Internacional**

La situación actual de las plantas de fabricación de madera plástica en el mundo está en un proceso de crecimiento debido al aumento de los desechos plásticos que en su mayoría llegan a parar en los rellenos sanitarios o hacia el mar.

Una de las empresas Sudamericanas MODUPLAST S.A.S. del país de Colombia desde el año 1980 hasta la actualidad desarrolla diferentes productos de madera plástica con un variado número de aplicaciones en el sector agropecuario, industrial, comercial y residencial, todo esto por medio de la recuperación de materiales plásticos post-industrial como el propileno y el polietileno de alta densidad, siendo procesados en varias máquinas como la extrusora, molinera, tanque de enfriamiento, torre de enfriamiento, mezcladora, aglutinadora y finalmente en el alimentador.





Otra empresa como POLYHEX del país de México es una industria que transforma plásticos post consumo reciclados convirtiéndolos en plastimadera o WPC, un producto innovador, funcional, estéticamente muy parecido a la madera, pero con las ventajas de la alta durabilidad, resistencia a los rayos UV y a la vez, seguras y fáciles de instalar; estos son fabricados de 70% de compuestos de madera reciclada y el 25% de polietileno de alta densidad (HDPE) y cloruro de polivinilo (PVC). La tecnología que utiliza esta industria es la extrusión de los materiales plásticos.

#### **2.2.14 Conceptos Generales Sobre las Plantas Mecánicas de Recuperación de Plásticos Reciclados**

Las plantas mecánicas están conformadas por diferentes procesos para la elaboración de las tablas de madera plástica y varía según el tipo de procesado de plástico a requerir.

Según (Mancilla et al., 2020) en una planta mecánica de recuperación de plásticos reciclados existen diferentes procesos desde el proceso de acopio y selección, cortado y triturado, lavado, secado, peletizado y moldeado, en el cual se detalla cada proceso que se desarrolla para la fabricación de las tablas de madera plástica.

##### **2.2.14.1 Proceso de Recepción de los Plásticos Reciclados.**

En este proceso se reciben los plásticos provenientes del reciclaje del Municipio y de las microempresas dedicadas al reciclaje de plásticos para posteriormente ser examinados sus especificaciones y términos de referencia exigidos, preparándose para una posterior verificación de control de calidad para el siguiente proceso. Para esto se utiliza un área de almacenamiento de los materiales plásticos reciclados.



#### **2.2.14.2 Proceso de Prelavado de los Plásticos Reciclados**

Este proceso se efectúa el prelavado de los plásticos disgregados de manera manual con un rastrillo en medio de un tanque con agua y una cantidad de detergente industrial y sosa caustica, para una eliminación de los residuos orgánicos o suciedad que pueden llegar adheridos en los plásticos.

En el proceso de prelavado generalmente se dispone de un sistema de retenedores de arena, piedras y metales para una mayor eficiencia en el lavado.

En este proceso también se podrá verificar la presencia de otro tipo de plásticos que podría perjudicar en la fabricación de las tablas de madera plástica.

#### **2.2.14.3 Proceso de Secado de los Plásticos Reciclados**

En este proceso se efectúa el secado de los plásticos por medio manual, transportando por medio de un cesto metálico con mallas desde el tanque de prelavado hasta el área de secado, eliminando así la humedad presente en los plásticos.

Existen otros métodos para el secado de los plásticos como las maquinas centrifugadoras en frio, caliente y diferentes sistemas de secado.

#### **2.2.14.4 Proceso de Triturado de los Plásticos Reciclados**

En este proceso los plásticos se introducen en la trituradora por medio de la tolva llegando a las cuchillas de la trituradora, donde el plástico es sometido a fuerzas mecánicas y de corte accionados por un motor eléctrico y su sistema de mecanismos, produciéndose fragmentos más pequeños, generalmente en forma de virutas y trozos irregulares, que se deslizaran hacia el orificio inferior de la máquina trituradora donde se transportara por medio de una faja transportadora hacia la siguiente etapa.

La trituración de los plásticos reciclados facilita el transporte y el procesamiento en las posteriores etapas de la planta mecánica.



#### **2.2.14.5 Proceso de Transportado de los Plásticos Triturados**

Es un proceso donde los plásticos triturados llegan a la faja transportadora accionados por un motor eléctrico y su sistema de reducción, donde son transportados de manera uniforme para llegar a la siguiente etapa del proceso de la planta.

En este proceso los plásticos pueden ser inspeccionados nuevamente para evitar cualquier material no admisible que perjudique en el proceso y acabado final.

#### **2.2.14.6 Proceso de Lavado en Frio**

En esta etapa, los materiales plásticos reciclados ingresan al tanque de lavado en frio, donde son removidos por medio de paletas giratorias accionados por motores eléctricos. Este sistema de lavado utiliza agua con una mezcla de soda caustica del 1.6% y detergentes con un 0.9%.

En este proceso se consigue desprender la suciedad y la grasa adherida en las hojuelas de los plásticos, logrando así una limpieza profunda lo que permitirá un producto final de mejor calidad.

#### **2.2.14.7 Proceso de Transportado de los Plásticos Lavados**

En esta etapa las hojuelas de los plásticos lavados son transportados por medio de una transportadora helicoidal sin fin, una maquina ideal para transportar hojuelas de plástico, evitando perdidas en el traslado como también una reducción considerable de la energía que se requiere en este proceso.

#### **2.2.14.8 Proceso de Enjuague y Secado de los Plásticos Lavados**

En esta etapa se elimina la humedad que trae las hojuelas de plásticos provenientes del tanque de lavado, además se consigue un enjuague profundo por medio de la fricción de las paletas de la maquina Centrifugadora.



Cabe mencionar que existen diferentes tipos de sistemas de enjuague y secado de los plásticos reciclados.

#### **2.2.14.9 Proceso de Transportado de los Plásticos Secos**

En este proceso las hojuelas de los plásticos secos son nuevamente transportadas por medio de una transportadora helicoidal sin fin, que son accionados por un motor eléctrico hasta llegar a la siguiente etapa

En este proceso se pueden utilizar diferentes tecnologías de transportadoras helicoidales como las de tipo U, continuas, con eje y sin eje.

#### **2.2.14.10 Proceso de Extrusión de los Plásticos Preparados**

En este proceso, las hojuelas de plásticos llegan por medio de una tolva a los husillos de la extrusora, donde pueden ser de diferentes tipos como los de husillo simple o husillo doble. Los plásticos son sometidos a esfuerzos mecánicos por el husillo de la extrusora. Seguidamente el plástico extruido pasa a la cámara de calentadores a una temperatura de 180°C. para realizar la mezcla uniforme de los plásticos, que servirán como base para el proceso de moldeo.

#### **2.2.14.11 Proceso de Moldeo y Enfriado del Plástico Extruido**

En este proceso final el material extruido pasa a un molde con un sistema de calibración, donde el plástico fundido y mezclado empieza a llenarse en el perfil del molde y seguidamente es llevado a la tina de enfriamiento a una temperatura de 10°C.

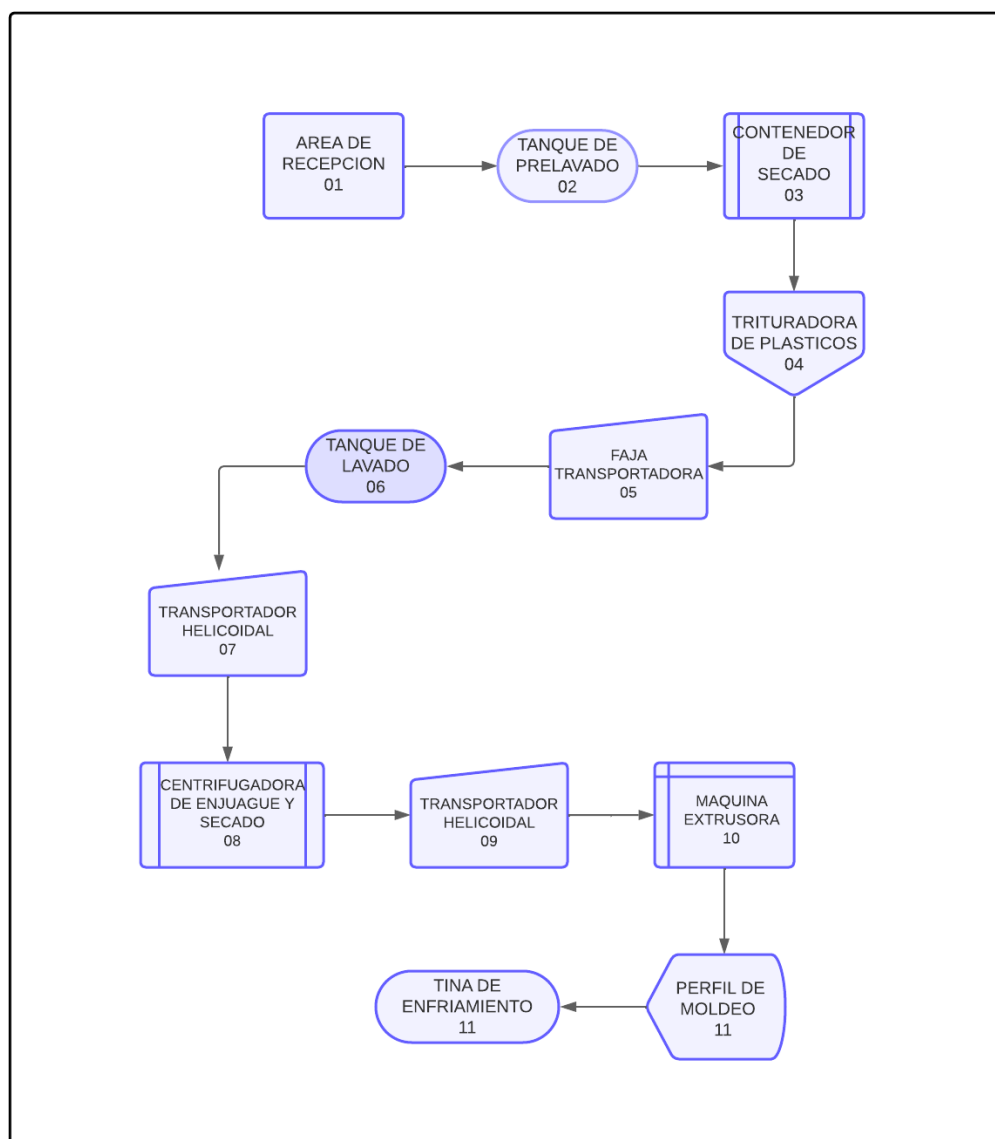
Una vez enfriado el perfil de madera plástica, es extraído del molde y verificado para su posterior control de calidad.



## 2.2.15 Propuesta Tecnológica Para la Planta de Recuperación de Materiales

### Plásticos Reciclados

Para la fabricación de tablas de madera plástica se ha propuesto la estructura siguiente donde se verán las máquinas que se utilizan para el correcto funcionamiento de la planta. Este plan es la primera propuesta en la región y también la primera en el sur del país. Por la innovadora forma de reutilizar el plástico en una materia transformada que permite que se reutilice nuevamente en el mercado.



**Figura 20:** Diagrama de operación del proceso de la planta para la elaboración de madera plástica.

Elaborado por el equipo de trabajo



### 2.2.15.1 Área de Recepción y Clasificación

La fabricación de las tablas de madera plástica se inicia con la recepción de los diferentes tipos de plásticos reciclados en un área de almacenaje

La segregación de los materiales plásticos reciclados se realiza manualmente por operarios que disgregan los materiales que no son plásticos o cualquier resto orgánicos que pueden estar adheridos en los plásticos, en esta área acondicionada se trabajara con un operario para la cantidad de toneladas de plástico que se producen al día en la ciudad de Puno

Al mismo tiempo se realiza la disgregación de los plásticos reciclados en dos grupos para facilitar el lavado y secado de las mismas, ya que cada tipo de plásticos contiene diferentes formas y características químicas y mecánicas.

Primer grupo:

- PET
- HDPE
- PP
- PS
- PVC
- OTROS

Segundo grupo:

- LDPE

Una vez separados estos dos grupos, se procede a realizar el lavado de los plásticos



### 2.2.15.2 Tanque de Prelavado

El Tanque de Prelavado es un elemento importante en el proceso de reciclaje de los plásticos, específicamente en una planta que produce tablas de madera plástica. En esta etapa se elimina impurezas superficiales, suciedad y contaminantes que puedan estar adheridos en los plásticos reciclados.

Según (Huaytalla, 2019) los aspectos importantes del Tanque de Prelavado son:

**Diseño del tanque:** El tanque de prelavado es generalmente un contenedor de gran tamaño hecho de materiales resistentes a los químicos y al desgaste, como acero inoxidable. Puede tener una forma rectangular o cilíndrica, dependiendo de las necesidades y capacidad de la planta de reciclaje.

**Entrada y salida del material:** El tanque tiene con sistemas de entrada y salida para el material plástico. Los plásticos se alimentan al tanque desde una cinta transportadora o equipo similar. Asimismo, hay una salida en la parte inferior del tanque para transportar los plásticos prelavados una vez que ha finalizado esta etapa.

**Agitación y movimiento del material:** Para maximizar la eficiencia del prelavado, el tanque puede estar equipado con agitadores o sistemas de movimiento que permitan remover mecánicamente las impurezas. Esto ayuda a desalojar la suciedad adherida a los plásticos y a mejorar la limpieza.

**Sistema de lavado:** El tanque se llena con agua para sumergir los plásticos recepcionados. Se pueden agregar detergentes o agentes limpiadores como la sosa caustica al agua para facilitar la eliminación de residuos y contaminantes.

**Tiempo de permanencia:** Es importante controlar el tiempo de permanencia del material en el tanque. El tiempo adecuado de prelavado puede variar según el tipo de plástico y la



cantidad de impurezas, pero generalmente suele oscilar entre unos pocos minutos hasta media hora.

**Separación de impurezas:** Durante el proceso de prelavado, pueden surgir impurezas flotantes o sedimentadas que deben ser eliminadas. Se pueden utilizar métodos de separación como tamices, espumas flotantes o sistemas de drenaje para eliminar estas impurezas.

**Control de temperatura y reciclaje del agua:** En algunas plantas, se puede controlar la temperatura del agua de prelavado para mejorar la eficiencia de limpieza. Además, es posible reciclar el agua utilizada en el proceso de prelavado para minimizar el consumo de agua fresca y reducir el impacto ambiental.

**Monitoreo y control:** Es esencial tener sistemas de monitoreo y control para supervisar el proceso de prelavado, asegurando que se cumplan los parámetros de tiempo, temperatura y calidad de lavado establecidos en la planta.

### 2.2.15.3 Contenedor de Secado

El contenedor de secado es elemento donde los plásticos reciclados, previamente prelavados, se someten a un proceso de eliminación de la humedad residual antes de ser procesados en las etapas siguientes del reciclaje.

Según (Huaytalla, 2019) los aspectos importantes del contenedor de secado son:

**Diseño del contenedor:** El contenedor de secado suele ser una estructura cerrada, similar a un silo o una tolva, que está construido con materiales resistentes y duraderos, como el acero inoxidable. La elección del material dependerá de la naturaleza del plástico reciclado y los requisitos de la planta de reciclaje.



**Entrada y salida del material:** Los plásticos prelavados se introducen en el contenedor de secado a través de una abertura en la parte superior. Una vez que los plásticos hayan sido secados adecuadamente, se los extrae del contenedor mediante una salida en la parte inferior para ser procesados en la siguiente etapa de la planta

**Método de secado:** Existen diferentes métodos de secado que pueden emplearse en el contenedor. Los métodos más comunes incluyen el uso de aire caliente o deshidratadores para eliminar la humedad residual de los plásticos. El aire caliente puede ser proporcionado por sistemas de calentamiento eléctricos o a través de sistemas de recirculación de aire caliente.

**Control de temperatura y tiempo:** El control de la temperatura y el tiempo de secado son esenciales para evitar daños o deformaciones en los plásticos y asegurar que se elimine la humedad de manera efectiva. Los plásticos pueden ser sensibles a altas temperaturas, por lo que es importante mantener un equilibrio entre la eficiencia del secado y la preservación de las propiedades del material.

**Monitoreo y control:** Al igual que en la etapa de prelavado, el contenedor de secado también debe estar equipado con sistemas de monitoreo y control para supervisar la temperatura y el tiempo de secado. Esto asegura que el proceso se lleve a cabo correctamente y se cumplan los estándares de calidad.

#### **2.2.15.4 Trituradora de Plásticos**

La trituradora de plásticos es una máquina diseñada para reducir el tamaño de los materiales plásticos, como botellas, envases, películas finas, entre otros, convirtiéndolos en fragmentos más pequeños y manejables. Esta máquina es una parte esencial del proceso de reciclaje de plásticos, ya que permite preparar los residuos plásticos para su posterior procesamiento y transformación en nuevos productos.



Según (Huaytalla, 2019) los aspectos importantes de la trituradora de plásticos son:

**Diseño y estructura:** Las trituradoras de plásticos pueden tener diferentes diseños y tamaños, dependiendo de la cantidad y el tipo de plástico que se va a procesar. La máquina generalmente cuenta con una tolva o boca de entrada donde llegan los plásticos a triturar, seguida de una cámara de trituración y un mecanismo de corte.

**Mecanismo de corte:** La trituradora de plásticos está equipada con cuchillas giratorias que son responsables de cortar y desgarrar los plásticos en trozos más pequeños. Estas cuchillas pueden ser de diferentes formas y tamaños, dependiendo del tipo de plástico y los requisitos de trituración.

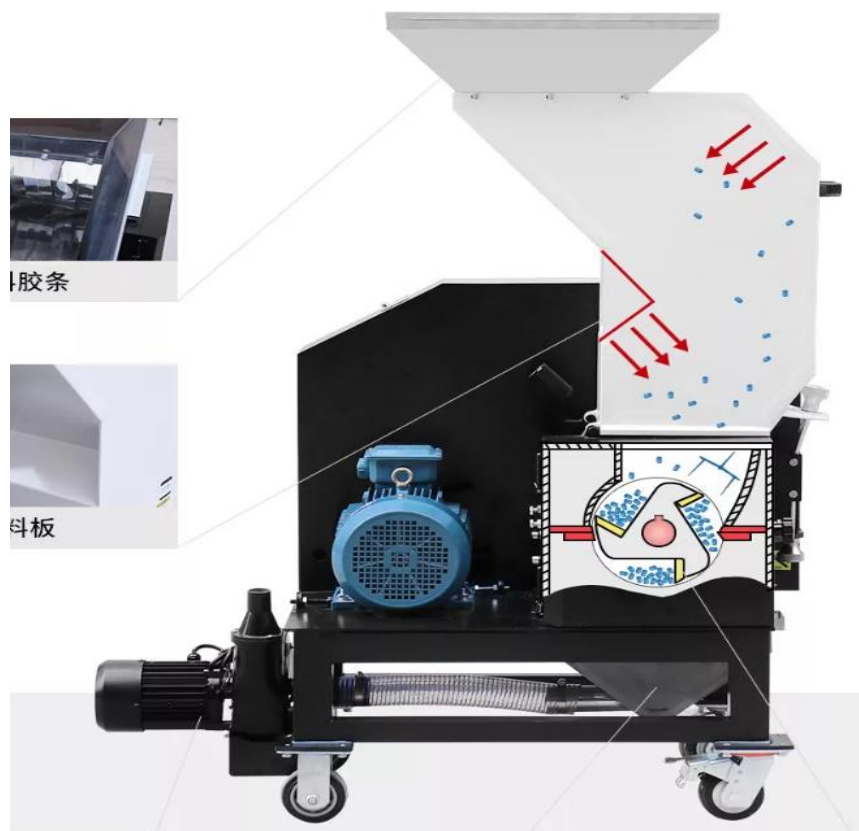
**Proceso de trituración:** Los plásticos se alimentan a través de la tolva y entran en la cámara de trituración, donde las cuchillas giratorias los cortan en fragmentos más pequeños. La velocidad y la fuerza de las cuchillas pueden ajustarse para lograr el tamaño de partícula deseado.

**Control de tamaño de partícula:** Para ciertas aplicaciones de reciclaje, es necesario controlar el tamaño de partícula resultante. Esto se puede lograr mediante la selección de cuchillas adecuadas, ajustando la velocidad de rotación de las cuchillas y utilizando tamices o mallas para controlar el tamaño de salida.

**Seguridad y protección:** Las trituradoras de plásticos están diseñadas con medidas de seguridad para evitar accidentes. Suelen tener dispositivos de apagado de emergencia y protecciones para evitar que los operadores entren en contacto con las cuchillas durante el proceso de trituración.

**Separación de impurezas:** En algunos casos, las trituradoras de plásticos pueden estar equipadas con sistemas de separación de impurezas, como tamices o imanes, para eliminar materiales no plásticos que puedan estar presentes en los residuos a triturar.

**Recuperación y recolección del material triturado:** Una vez que los plásticos han sido triturados, los fragmentos resultantes se recogen en una cinta transportadora para su posterior procesamiento en las siguientes etapas de reciclaje.



**Figura 21:** Trituradora de plásticos

Fuente: XIECHENG

#### 2.2.15.4.1 Tipos de Trituradoras

Existen diferentes tipos de trituradoras de plásticos comerciales, como son:

- Trituradoras de un solo Eje
- Trituradoras de doble eje



## **Ventajas de una Trituradora de un Solo Eje**

**Eficiencia de triturado:** Las trituradoras de plástico de un solo eje ofrecen una alta eficiencia de triturado, ya que utilizan un solo eje giratorio con cuchillas para cortar y triturar los plásticos de manera efectiva.

**Versatilidad en la aplicación:** Estas trituradoras son versátiles y pueden procesar diferentes tipos de plástico, como botellas, películas de plástico, tuberías y perfiles, lo que las hace adecuadas para diversas industrias, como el reciclaje de plásticos y la fabricación de productos plásticos.

**Compactas y de menor costo:** Las trituradoras de un solo eje suelen ser más compactas y ocupan menos espacio en comparación con otros tipos de trituradoras. Además, suelen tener un costo inicial más bajo en comparación con trituradoras más complejas, como las de doble eje o cuatro ejes.

**Fácil mantenimiento y limpieza:** Estas trituradoras suelen ser más fáciles de mantener y limpiar debido a su diseño simple y menos componentes. Esto permite un mantenimiento más rápido y menos tiempo de inactividad de la máquina.

**Mayor control sobre el tamaño del material triturado:** Las trituradoras de un solo eje permiten un mayor control sobre el tamaño del material triturado, lo que es beneficioso para aplicaciones específicas que requieren un tamaño de partícula determinado.

## **Ventajas de una Trituradora de un Doble Eje**

**Mayor capacidad de procesamiento:** Las trituradoras de plástico de doble eje suelen tener una mayor capacidad de procesamiento en comparación con las trituradoras de un solo eje. La combinación de dos ejes giratorios con cuchillas permite una mayor eficiencia y velocidad de triturado.





Trituración más eficiente y versátil: Gracias a los dos ejes y las cuchillas intercaladas, las trituradoras de doble eje pueden triturar y cortar los plásticos de manera más eficiente y efectiva. Esto las hace adecuadas para una amplia variedad de materiales plásticos, incluyendo plásticos duros y resistentes.

Mayor reducción de tamaño: Las trituradoras de doble eje ofrecen una mayor reducción de tamaño en comparación con las trituradoras de un solo eje. Las cuchillas en ambos ejes trabajan en conjunto para descomponer los plásticos en partículas más pequeñas y homogéneas.

Mayor resistencia al atasco: Gracias a la configuración de dos ejes y las cuchillas intercaladas, las trituradoras de doble eje tienen una mayor resistencia al atasco de materiales difíciles. Esto las hace adecuadas para el procesamiento de plásticos con alta resistencia o con presencia de materiales contaminantes.

Versatilidad en la aplicación: Las trituradoras de doble eje se utilizan en diferentes aplicaciones, como el reciclaje de plásticos, la destrucción de productos, la reducción de volumen y el procesamiento de desechos industriales. Su capacidad para manejar diferentes tipos de plásticos y materiales los convierte en una opción versátil para diversas industrias.

#### **2.2.15.5 Faja Transportadora**

Las fajas transportadoras, también conocidas como cintas transportadoras o correas transportadoras, son un tipo de sistema de transporte continuo que se utiliza para trasladar materiales a lo largo de una línea de producción, almacén, planta industrial o cualquier otro lugar donde se requiera trasladar productos o materiales de un punto a otro de forma eficiente.

Según (Salinero, 2013) los aspectos importantes de la faja transportadora son:

Estructura de la faja: La faja transportadora está compuesta por una banda continua y flexible que se extiende entre dos tambores o poleas, una en cada extremo. La banda está hecha generalmente de caucho, PVC, uretano u otros materiales resistentes, lo que la hace capaz de soportar cargas y resistir el desgaste.

**Tambores o poleas:** Los tambores o poleas son dispositivos giratorios ubicados en los extremos de la faja transportadora. Uno de los tambores es conocido como tambor de accionamiento y es impulsado por un motor o motorreductor, lo que hace que la faja se mueva. El otro tambor se llama tambor de retorno y su función es guiar la faja y mantenerla tensa.



**Figura 22:** Tambor motriz

Fuente: Dismet

**Rodillos de soporte:** A lo largo del recorrido de la faja, se utilizan rodillos de soporte para mantenerla elevada y proporcionar una superficie de apoyo continua. Los rodillos se encuentran debajo de la faja y evitan que esta se hunda o se deforme bajo el peso de los materiales transportados.



**Figura 23:** Rodillos de soporte

Fuente: Ingemecanica

**Mecanismo de tracción:** El mecanismo de tracción está compuesto por un motor o motorreductor conectado al tambor de accionamiento. El motor proporciona la fuerza necesaria para hacer girar la faja y transportar los materiales.

**Guías laterales:** Las fajas transportadoras pueden contar con guías laterales a lo largo de su recorrido para mantener los materiales dentro de la superficie de transporte y evitar que se salgan del camino.

**Velocidad y dirección:** La velocidad de la faja transportadora puede ajustarse mediante el control del motor. Además, la dirección del transporte puede ser bidireccional, lo que permite que los materiales se muevan en ambas direcciones a lo largo de la faja.

**Aplicaciones:** Las fajas transportadoras se utilizan en una amplia variedad de industrias, como la manufactura, minería, logística, agricultura, construcción, entre otras. Son ideales para el transporte de productos en grandes cantidades y distancias.



**Figura 24:** Faja transportadora

Fuente: 911 Metallurgist

#### 2.2.15.6 Tanque de Lavado

Un tanque de lavado para plásticos es un elemento utilizado para retirar impurezas y suciedad de los plásticos antes de su posterior extrusión. Estos tanques pueden utilizar agua o disolventes químicos y generalmente incluyen un sistema de rociado y recirculación del líquido para lograr una limpieza eficiente de la superficie del plástico.

Según (Mancilla et al., 2020) los aspectos importantes del tanque de lavado son:

**Diseño y estructura:** El tanque de lavado es generalmente una estructura cerrada, construida con materiales resistentes a los químicos y adecuados para el contacto con los plásticos. Puede tener una forma rectangular o cilíndrica.



**Entrada y salida del material:** Los plásticos triturados se cargan en el tanque de lavado a través de una cinta transportadora u otro sistema de alimentación. Una vez que los plásticos han sido lavados adecuadamente, se los extrae del tanque mediante una salida en la parte inferior.

**Sistema de lavado:** El tanque se llena con agua u otro líquido adecuado para el lavado de los plásticos. En algunos casos, también se pueden agregar detergentes o agentes limpiadores como la sosa caustica para facilitar la eliminación de las impurezas adheridas en la superficie de los plásticos.

**Agitación y movimiento del material:** Durante el proceso de lavado, es posible incorporar agitadores o sistemas de movimiento para remover mecánicamente las impurezas y mejorar la limpieza de los plásticos. Estos agitadores pueden ser mecánicos o se pueden generar mediante el flujo del líquido en el tanque.

**Tiempo de lavado:** El tiempo de lavado puede variar según el tipo de plástico y la cantidad de impurezas a eliminar, pero generalmente se extiende por varios minutos para asegurar una limpieza adecuada.

**Control y monitoreo:** El tanque de lavado está equipado con sistemas de control y monitoreo para supervisar el proceso de lavado, asegurando que se cumplan los parámetros de tiempo y calidad.

#### **2.2.15.6.1 Tipos de Tanques de Lavado**

Existen diferentes tipos de mecanismos para el proceso de lavado como son:

- Tanque de lavado en frio
- Tanque de lavado en caliente
- Tanque de lavado por fricción



## **Tanque de Lavado en Frío**

Un tanque de lavado en frío para plásticos es un dispositivo utilizado en el proceso de lavado de plásticos, que utiliza agua en temperatura ambiente para limpiar los plásticos. Este tipo de tanques es común en la industria del reciclaje de plásticos, donde se utilizan para retirar impurezas y restos de suciedad de los plásticos para su posterior extrusión. El tanque tiene un sistema de pulverización y recirculación de agua, lo que permite una limpieza eficiente de la superficie del plástico sin dañarlo ni deformarlo debido al calor.

El proceso de lavado en frío no suele requerir un tanque específico, ya que se basa en la inmersión de los plásticos en una solución de limpieza a temperatura ambiente.

### **Partes de un sistema de lavado en frío:**

**Tanque de inmersión:** Es un recipiente o contenedor en el que se sumergen los plásticos para el proceso de lavado. Puede estar hecho de acero inoxidable u otros materiales resistentes a la corrosión.

**Agente de limpieza:** Es la solución química utilizada para limpiar los plásticos. Puede ser un detergente especializado, una mezcla de productos químicos o una solución acuosa con aditivos específicos para el lavado de plásticos.

**Sistemas de eliminación:** Se utilizan paletas, rotores u otros dispositivos para agitar la solución de limpieza y promover la eliminación de contaminantes de la superficie de los plásticos. Estos sistemas pueden estar integrados en el tanque de inmersión o ser dispositivos separados.





**Figura 25:** Tanque de lavado en frío

Fuente: Hebei Fangtai Plastic Machinery Manufacture CO., LTD

### **Tanque De Lavado En Caliente**

Un tanque de lavado en caliente para plásticos es un dispositivo utilizado en el proceso de lavado de plásticos, que utiliza agua caliente o una solución química para retirar impurezas y restos de suciedad de los plásticos antes de la extrusión. Este tipo de tanques es común en la industria del reciclaje de plásticos, donde se utilizan para limpiar y purificar los plásticos recolectados para su posterior uso en la producción de nuevos productos plásticos. Los tanques de lavado en caliente tienen un sistema de rociado y recirculación de agua caliente, lo que permite una limpieza profunda y eficiente de la superficie del plástico.



**Figura 26:** Tanque de lavado en caliente

Fuente: CRSTA Machinery

#### **Partes de un tanque de lavado en caliente:**

**Tanque:** Es el recipiente principal donde se lleva a cabo el proceso de lavado en caliente. Suele estar fabricado con materiales resistentes a la corrosión y capaz de soportar altas temperaturas, como acero inoxidable.

**Sistema de calentamiento:** Consiste en una fuente de calor, como calentadores eléctricos, intercambiadores de calor o calderas, que elevan la temperatura del agua o la solución de limpieza dentro del tanque. Puede haber sensores o controladores de temperatura para mantenerla en niveles óptimos.

**Agitadores:** Son elementos diseñados para agitar la mezcla de plásticos, agua caliente y detergentes dentro del tanque. Pueden ser paletas, rotores u otros dispositivos que generen movimiento y promuevan la limpieza efectiva de los plásticos.

**Sistema de circulación:** Algunos tanques de lavado en caliente cuentan con un sistema de circulación que bombea la solución de limpieza caliente a través de los plásticos y luego





la devuelve al tanque para mantener una distribución uniforme de la temperatura y los productos químicos.

Sistema de filtración: Puede haber un sistema de filtración en el tanque de lavado en caliente para retener los residuos sólidos y evitar que vuelvan a entrar en contacto con los plásticos limpios. Esto ayuda a mantener la calidad del proceso y prolongar la vida útil de los detergentes.

### **Ventajas del lavado en caliente:**

Limpieza efectiva: El lavado en caliente proporciona una limpieza más profunda y eficiente al utilizar agua caliente y detergentes. La temperatura elevada ayuda a disolver y eliminar los contaminantes, residuos y sustancias no deseadas adheridas a los plásticos de manera más efectiva que el lavado en frío.

Eliminación de contaminantes difíciles: Al utilizar agua caliente, el lavado en caliente es especialmente eficaz para eliminar contaminantes difíciles de los plásticos, como grasas, aceites, tintas y adhesivos.

Desinfección: La alta temperatura del agua utilizada en el lavado en caliente también puede contribuir a la desinfección de los plásticos, ayudando a eliminar bacterias, virus y otros microorganismos presentes en la superficie de los materiales.

Mayor eficiencia de limpieza: La combinación de temperatura, compresión y productos químicos específicos en el lavado en caliente proporciona una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes, lo que resulta en una reducción del tiempo de limpieza necesario para obtener plásticos limpios y preparados para su posterior extrusión.



## **Tanque De Lavado Por Fricción**

Un tanque de lavado por fricción es un equipo utilizado para limpiar los materiales plásticos reciclados antes de su posterior extrusión. Se trata de un recipiente especialmente diseñado que contiene agua caliente y agentes químicos adecuados, donde se sumergen los plásticos triturados o molidos.

El principio fundamental de un tanque de lavado por rozamiento es generar rozamiento mecánico y presión en la mezcla de plásticos, agua y detergentes. Esto se logra mediante la utilización de paletas, cepillos, rotores u otros dispositivos que promueven el contacto directo y la acción de fricción entre los plásticos y el medio de lavado.

La fricción mecánica ayuda a eliminar la suciedad, los residuos y otros contaminantes de la superficie de los plásticos, mientras que el agua caliente y los agentes químicos actúan como desengrasantes y disolventes para eliminar sustancias adheridas. El resultado es una limpieza efectiva de los plásticos reciclados, preparándolos para su posterior transformación en el proceso de extrusión.

Tanques de lavado por fricción con paletas: Estos tanques cuentan con paletas que giran o se mueven dentro del tanque, fricción y depresión en la mezcla de plásticos y agua. Las paletas ayudan a eliminar los contaminantes de la superficie de los plásticos.

Tanques de lavado por fricción con cepillos: Estos tanques están equipados con cepillos que se mueven o rotan en el interior del tanque. Los cepillos tienen una acción de fricción adicional y ayudan a remover los contaminantes de los plásticos.



**Figura 27:** Tanque de lavado por fricción

Fuente: [maquinariaparaplastico.com](http://maquinariaparaplastico.com)

### **Partes Del Tanque De Lavado Por Fricción:**

**Tanque:** Es el recipiente principal donde se lleva a cabo el proceso de lavado. Suele estar fabricado con materiales resistentes a la corrosión ya altas temperaturas, como acero inoxidable.

**Agitadores:** Son elementos diseñados para generar fricción y agitar la mezcla de plásticos, agua y detergentes dentro del tanque. Pueden ser paletas, cepillos, rotores u otros dispositivos que promuevan la acción mecánica necesaria para despegar los contaminantes de los plásticos.

**Sistema de circulación de agua:** Se encarga de mantener el flujo constante de agua caliente y detergentes dentro del tanque, asegurando una distribución uniforme de la temperatura y los productos químicos. Esto contribuye a una limpieza eficiente.



Sistema de calentamiento: Consiste en una fuente de calor, como calentadores eléctricos o intercambiadores de calor, que elevan la temperatura del agua en el tanque. El agua caliente ayuda a disolver los contaminantes y facilita su remoción.

Sistema de filtración: Algunos tanques de lavado por fricción cuentan con un sistema de filtración que retiene los residuos sólidos y evita que vuelvan a entrar en contacto con los plásticos limpios. Esto ayuda a mantener la calidad del proceso y prolongar la vida útil de los detergentes.

### **Ventajas De Los Tanques De Lavado Por Fricción:**

Limpieza efectiva: La combinación de acción mecánica y química en los tanques de lavado por fricción garantiza una limpieza profunda de los plásticos, removiendo contaminantes, residuos y sustancias no deseadas adheridas a su superficie.

Ahorro de recursos: Al eliminar los contaminantes antes de la extrusión, se reduce la necesidad durante de utilizar mayores cantidades de aditivos, estabilizantes u otros compuestos el proceso de transformación de los plásticos reciclados.

Versatilidad: Los tanques de lavado por fricción son adecuados para una amplia gama de plásticos, incluyendo PET, PEAD, PP, PVC, entre otros. Pueden adaptarse a diferentes tipos y tamaños de materiales plásticos a ser reciclados.

Eficiencia energética: Al utilizar agua caliente en el proceso de lavado, se aprovecha el calor residual y se reduce el consumo energético.

#### **2.2.15.7 Transportador Helicoidal Sin Fin**

Este equipo tiene un diseño simple y resistente, lo que garantiza su confiabilidad. El eje del equipo está sostenido por soportes verticales separados en los extremos, y cuenta con juntas que evitan que entre polvo. Los soportes adicionales están hechos de



materiales como teflón u otros adecuados. La caja del equipo está hecha de chapas moldeadas y enrolladas con bridas en los extremos, donde también se colocan los cabezales del equipo. El cabezal del transportador tiene un dispositivo especial para evitar obstrucciones.

El sistema de motorización puede estar conectado directamente al eje del equipo con un acoplamiento flexible o mediante un reductor que se ensambla directamente al eje. La forma de la caja y del tornillo sinfín puede ser continua, con paletas o en forma de mezcladora, dependiendo de cómo se utilice el equipo. Cuando se usa como extractor, el tornillo sinfín puede tener una espiral continua con diferentes pasos y un diseño progresivo, una espiral mixta continua con paletas o puede tener uno o más ejes. Por lo general, este equipo se construye con acero al carbono o acero inoxidable.

Consiste en una estructura tubular con una hélice interna que transporta los plásticos reciclados desde un punto de carga hasta un punto de descarga.

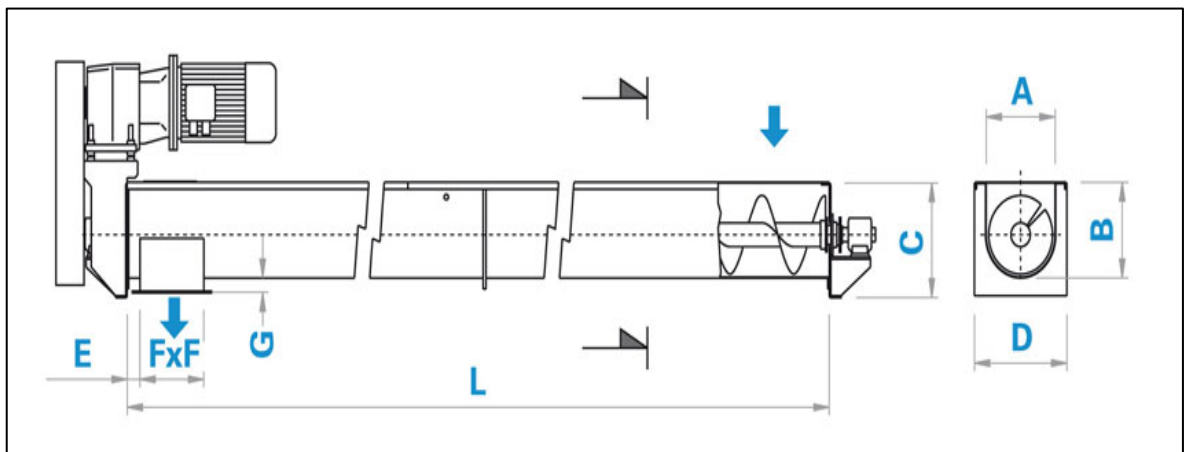
Diseño y estructura: El transportador helicoidal sin fin se compone de una estructura tubular, generalmente de acero inoxidable o acero al carbono, que aloja un tornillo helicoidal en su interior. La hélice es una estructura en forma de espiral que se extiende a lo largo de toda la longitud del transportador y está conectada a un eje central.

Punto de carga y descarga: En el punto de carga, los plásticos reciclados se introducen en el transportador helicoidal. Puede haber un dispositivo de alimentación adicional, como una tolva o una compuerta, para controlar el flujo de material hacia el transportador. En el extremo opuesto, se encuentra el punto de descarga donde los plásticos son liberados del transportador.

Movimiento y transporte: El transportador helicoidal sin fin se acciona mediante un motor y un sistema de transmisión. Al girar el motor, el eje central se mueve, lo que a su vez

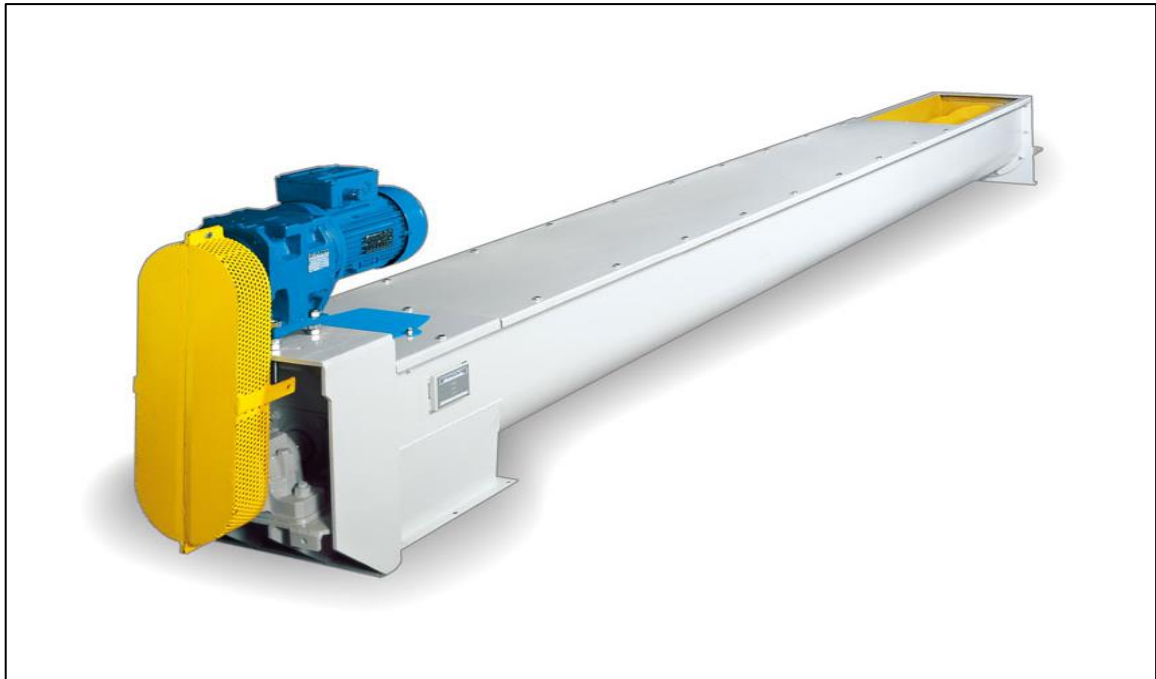
hace girar la hélice. La hélice transporta los plásticos a lo largo del tubo, desplazándolos desde el punto de carga hasta el punto de descarga. El ángulo de inclinación del transportador puede ajustarse según las necesidades del proceso.

Ventajas y aplicaciones: El transportador helicoidal sin fin es ampliamente utilizado en el reciclaje de plásticos debido a sus numerosas ventajas. Ofrece un transporte continuo y confiable, sin requerir una intervención manual constante. Además, puede adaptarse a diferentes longitudes y configuraciones según los requisitos de la planta de reciclaje. También se utiliza en otros sectores industriales para el transporte de materiales a granel, como granos, polvos, pellets y otros productos.



**Figura 28:** Detalle del Transportador Helicoidal

Fuente: Fragola S.p.A.



**Figura 29:** Transportador Helicoidal

Fuente: Fragola S.p.A.

### **Partes del Transportador Helicoidal Sin Fin**

**Tornillo helicoidal:** Es el componente principal del transportador helicoidal sin aleta. Consiste en una hélice continua y de forma helicoidal que se encuentra en el interior de la estructura tubular. El tornillo helicoidal es responsable de transportar los plásticos a lo largo del transportador, moviéndolos desde el punto de carga hasta el punto de descarga.

**Estructura tubular:** Es una carcasa cilíndrica que aloja el tornillo helicoidal. Por lo general, se fabrica con acero inoxidable o acero al carbono para garantizar la resistencia y durabilidad necesarias en entornos de reciclaje. La estructura tubular proporciona soporte y protección al tornillo helicoidal y ayuda a contener los materiales transportados.

**Cojinetes y rodamientos:** Los cojinetes y rodamientos están ubicados a lo largo del eje del tornillo helicoidal y sostenido soporte y estabilidad durante la rotación. Estos componentes reducen la fricción y el desgaste, permitiendo un movimiento suave y



eficiente del tornillo helicoidal. Se utilizan cojinetes y rodamientos de alta resistencia para soportar las cargas y condiciones de trabajo del transportador.

**Motor y sistema de transmisión:** El motor impulsa el movimiento del transportador helicoidal. Se selecciona un motor adecuado según la capacidad de carga y la velocidad requerida. El motor está conectado a un sistema de transmisión, que puede ser una cadena, una correa o un reductor de velocidad, para transferir el movimiento rotativo al eje del tornillo helicoidal.

**Punto de carga y punto de descarga:** El punto de carga es el lugar donde los plásticos reciclados se introducen en el transportador helicoidal. Puede haber una tolva o un dispositivo de alimentación adicional para controlar el flujo de material. En el punto de descarga, los plásticos son liberados del transportador para su posterior procesamiento o transporte hacia la siguiente etapa del proceso de reciclaje.

**Soportes y guías:** El transportador helicoidal puede contar con soportes y guías a lo largo de su longitud para mantener la alineación adecuada y evitar desviaciones del tornillo helicoidal. Estos componentes aseguran un movimiento estable y continuo del tornillo, impidiendo el contacto no deseado con la estructura tubular.

**Dispositivos de seguridad:** En algunos casos, se pueden incorporar dispositivos de seguridad adicionales, como interruptores de proximidad o sistemas de parada de emergencia, para garantizar la seguridad de los operadores y proteger el equipo en caso de situaciones anormales o emergencias.

**Cubiertas superiores:** Las cubiertas superiores son componentes que se encuentran en la parte superior del transportador helicoidal. Estas cubiertas tienen la función de proteger el material transportado de la exposición externa y también de evitar que el material se





derrame o se escape durante el transporte. Proporcionan una barrera física para mantener el material contenido dentro del transportador.

**Brida de alimentación de producto:** La brida de alimentación de producto es una estructura ubicada en la entrada del transportador helicoidal. Su propósito principal es permitir que el material a transportar ingrese al transportador de manera controlada y segura. La brida ayuda a dirigir y distribuir el material de manera uniforme a medida que entra en el transportador.

**Helicoidal montado en eje tubular:** El helicoidal montado en un eje tubular es el componente central del transportador helicoidal sin fin. Consiste en una hélice continua que está montada en el interior de un tubo o eje. La hélice tiene un diseño helicoidal que permite el movimiento del material a lo largo del transportador. A medida que el eje tubular gira, la hélice empuja el material hacia adelante a lo largo del transportador.

**Colgante intermedio con buje:** Los colgantes intermedios con bujes son soportes que se utilizan para mantener el eje tubular suspendido dentro del transportador helicoidal. Estos colgantes se encuentran a intervalos regulares a lo largo del transportador y proporcionan soporte adicional y estabilidad al eje tubular. Los bujes son elementos de rodamiento que se colocan en los colgantes intermedios para reducir la fricción entre el eje tubular y los soportes.

**Flecha motriz:** La flecha motriz es una parte del eje tubular que se conecta al sistema de accionamiento del transportador. Es la sección del eje donde se acopla el motorreductor que proporciona la potencia para hacer girar el eje. La flecha motriz transmite el movimiento rotatorio del motorreductor al eje tubular y, por lo tanto, a la hélice, lo que permite el transporte del material a lo largo del transportador.



**Flecha terminal:** La flecha terminal es la sección final del eje tubular en el extremo de descarga del transportador helicoidal. Proporciona estabilidad y soporte al eje en su punto final. Ayuda a mantener la integridad estructural del transportador y asegura una operación suave y continua.

**Flecha intermedia:** La flecha intermedia es una sección del eje tubular ubicada entre las flechas motriz y terminal. Proporciona estabilidad estructural adicional y asegura que el eje se mantenga recto y alineado durante el transporte del material.

**Artesa tipo "U" o camisa:** La artesa tipo "U" o camisa es una estructura en forma de U que envuelve el eje tubular del transportador helicoidal. Esta estructura proporciona soporte y rigidez al eje tubular, manteniéndolo alineado y protegido durante la operación.

**Pie soporte intermedio:** Los pies soporte intermedios son elementos de soporte que se utilizan para elevar y sostener el transportador helicoidal a lo largo de su longitud. Estos soportes se colocan en puntos intermedios y ayudan a mantener el transportador en posición vertical y estable. Además, proporcionan la altura adecuada para el transporte eficiente del material.

**Tapas laterales:** Las tapas laterales son componentes que cubren los laterales del transportador helicoidal. Estas tapas tienen la función de contener el material transportado dentro del transportador, evitando que se derrame o se escape lateralmente. Además, brindan protección adicional a los operadores al cubrir las partes móviles del transportador.

**Base de motorreductor:** La base de motorreductor es una estructura que sostiene y fija el motorreductor en su posición correcta. Proporciona una base sólida para el montaje del motorreductor y asegura su alineación adecuada con la flecha motriz del transportador.



**Motorreductor:** El motorreductor es el componente que suministra la potencia y el movimiento al transportador helicoidal. Consiste en un motor eléctrico que proporciona la potencia de accionamiento y una caja de cambios que reduce la velocidad y aumenta el torque. El motorreductor está acoplado a la flecha motriz y transmite la potencia rotativa necesaria para hacer girar la hélice y transportar el material.

**Descargas de producto:** Las descargas de producto son los puntos donde el material transportado se descarga del transportador helicoidal. Estas descargas pueden estar ubicadas en diferentes lugares según la aplicación y los requisitos específicos. Pueden ser aberturas en el extremo del transportador o en puntos intermedios donde se transfiera el material a otro equipo o contenedor.

**Portasello:** El portasello es una estructura que se coloca en la descarga del transportador helicoidal para proporcionar una transición suave y controlada del material hacia el punto de descarga final. Ayuda a dirigir y controlar el flujo del material, evitando obstrucciones y permitiendo una descarga eficiente.

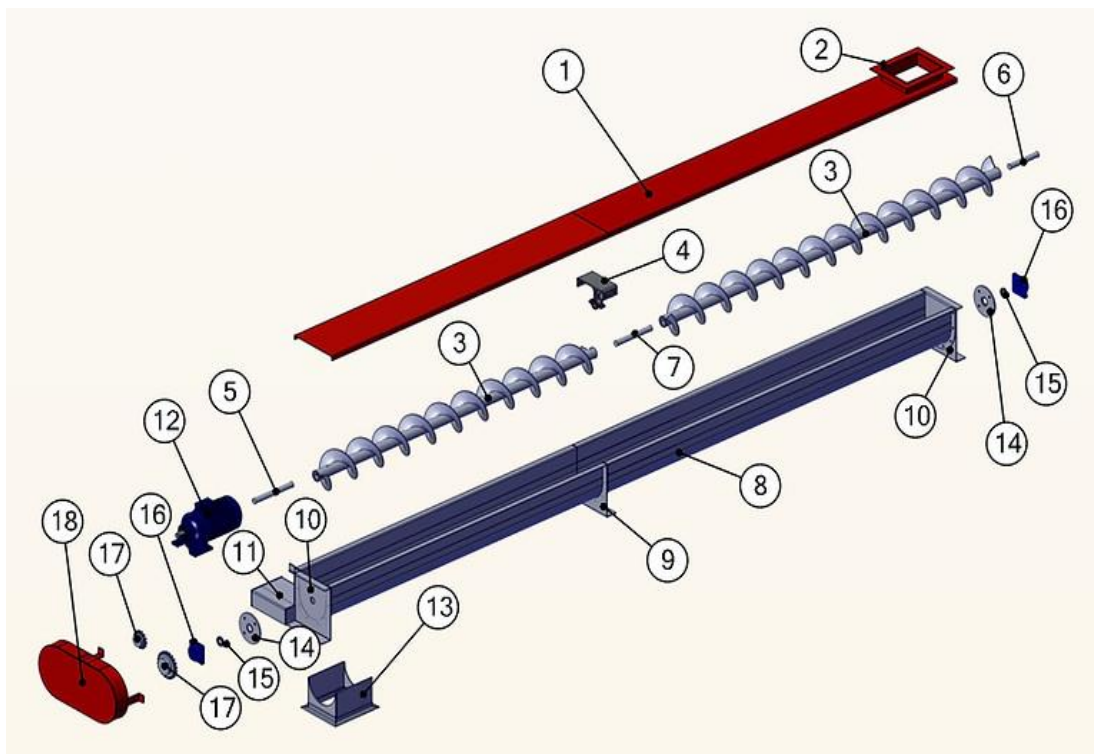
**Chumaceras:** Las chumaceras son rodamientos que se utilizan para soportar y guiar las flechas motriz, intermedia y terminal del transportador helicoidal. Estos rodamientos permiten un giro suave y sin problemas del eje tubular, reduciendo la fricción y el desgaste.

**Sello tipo labio:** Los sellos tipo labio son dispositivos de sellado que se colocan alrededor de las flechas motriz, intermedia y terminal. Estos sellos evitan la entrada de polvo, suciedad u otros contaminantes al interior del transportador helicoidal. Proporcionan un sello hermético y aseguran un funcionamiento limpio y eficiente del transportador.

**Sprockets de transmisión de potencia:** Los sprockets de transmisión de potencia son ruedas dentadas que se acoplan a la flecha motriz y al motorreductor. Estas ruedas

dentadas transmiten la potencia y el movimiento desde el motorreductor a la flecha motriz del transportador. Permiten la transmisión eficiente del torque y aseguran un funcionamiento suave y confiable del transportador.

Guarda de seguridad: La guarda de seguridad es una estructura diseñada para cubrir y proteger las partes móviles y peligrosas del transportador helicoidal. Está diseñada para evitar el acceso accidental de los operadores a las áreas peligrosas y protegerlos de lesiones. La guarda de seguridad es una medida importante para garantizar la seguridad de los operadores y cumplir con las regulaciones de seguridad laboral.



**Figura 30:** Partes del Transportador Helicoidal

Fuente: [begahelicoidales.com](http://begahelicoidales.com)

Diámetro del Helicoidal y Paso	Diámetro de Ejes	Designación de Tamaño	Tamaño de Tubo Cédula 40	Longitud, Pies y Pulgadas	A		B		C		D		F	G	H
					Tolerancia en Diámetro		Espesor		Tolerancia en Paso		Diámetro Interno del Buje				
					Más	Menos	Orilla Interior	Orilla Exterior	Más	Menos	Mínimo	Máximo			
4	1	4H206	1 1/4	9 – 10 1/2	1/16	1/8	3/16	3/32	1/2	1/4	1.005	1.016	1/2	2	13/32
6	1 1/2	6H304	2	9 – 10	1/16	3/16	1/8	1/16	1/2	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
6	1 1/2	6H308	2	9 – 10	1/16	3/16	1/4	1/8	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
6	1 1/2	6H312	2	9 – 10	1/16	3/16	3/8	3/16	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
9	1 1/2	9H306	2	9 – 10	1/16	3/16	3/16	3/32	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
9	1 1/2	9H312	2	9 – 10	1/16	3/16	3/8	3/16	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
9	2	9H406	2 1/2	9 – 10	1/16	3/16	3/16	3/32	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
9	2	9H412	2 1/2	9 – 10	1/16	1/4	3/8	3/16	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
9	2	9H414	2 1/2	9 – 10	1/16	1/4	7/16	7/32	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
10	1 1/2	10H306	2	9 – 10	1/16	3/16	3/16	3/32	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
10	2	10H412	2 1/2	9 – 10	1/16	1/4	3/8	3/16	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
12	2	12H408	2 1/2	11 – 10	1/8	5/16	1/4	1/8	1	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
12	2	12H412	2 1/2	11 – 10	1/8	5/16	3/8	3/16	1	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
12	2 7/16	12H508	3	11 – 9	1/8	5/16	1/4	1/8	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
12	2 7/16	12H512	3	11 – 9	1/8	5/16	3/8	3/16	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
12	3	12H614	3 1/2	11 – 9	1/8	3/8	7/16	7/32	1	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
14	2 7/16	14H508	3	11 – 9	1/8	5/16	1/4	1/8	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
14	3	14H614	3 1/2	11 – 9	1/8	3/8	7/16	7/32	1	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
16	3	16H610	3 1/2	11 – 9	1/8	3/8	5/16	5/32	1 1/2	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
16	3	16H614	4	11 – 9	1/8	3/8	7/16	7/32	1 1/2	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32

NOTA: Todas las dimensiones están en pulgadas.

**Figura 31:** Tabla de Tamaños Máximos de Partículas

Fuente: Manejo de materiales Martin

Factor del Diámetro del Transportador, $F_d$	
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor $F_d$
4	12.0
6	18.0
9	31.0
10	37.0
12	55.0
14	78.0
16	106.0
18	135.0
20	165.0
24	235.0
30	365.0
36	540.0

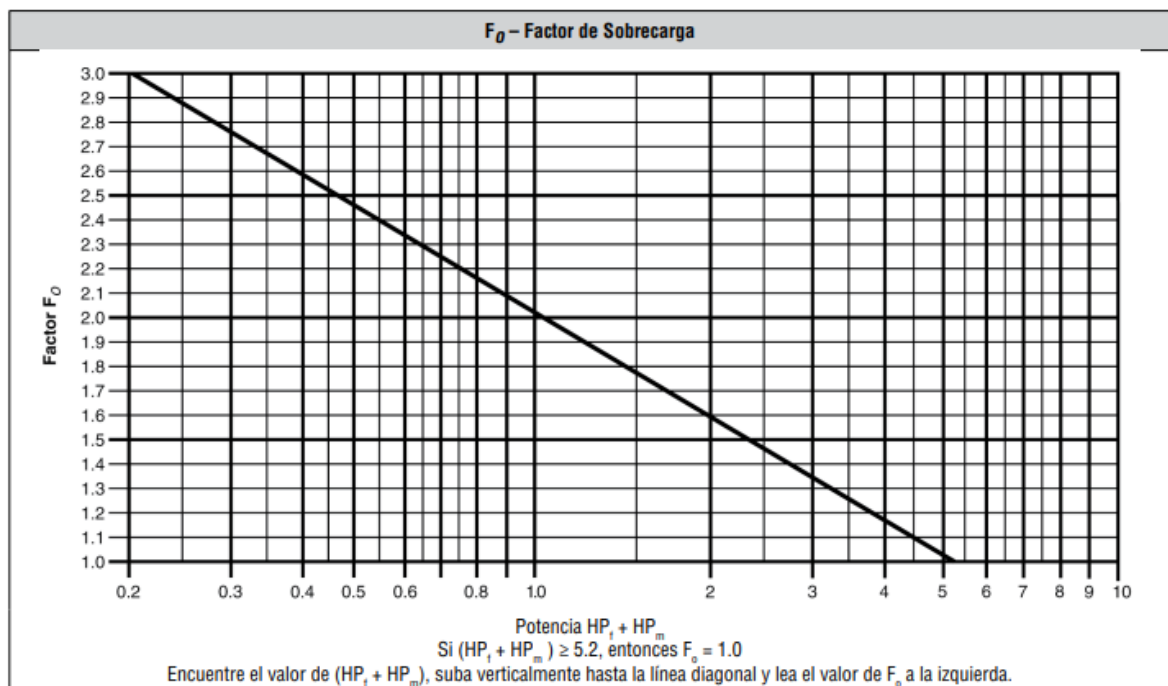
**Figura 32:** Tabla de Factor de diámetro del transportador ( $F_d$ )

Fuente: Manejo de materiales Martin

Factor del Buje para Colgante		
Tipo de Buje		Factor del Buje para Colgante $F_b$
B	Rodamiento de Bolas	1.0
L	<i>Martin</i> Bronce	
S	* Bronce Grafitado	2.0
	* Bronce, Impregnado en Aceite	
	* Madera, Impregnado en Aceite	
	* Nylatron	
	* Nylon	
	* Teflón	
	* UHMW	
	* Melamine (MCB)	
	* Ertalyte® Quadrent	
* Uretano		
H	* <i>Martin</i> Hierro Endurecido*	3.4
	* Superficie Endurecida	4.4
	* Stellite	
	* Cerámico	
	* Aleación de Hierro Blanco	

**Figura 33:** Tabla de Factor buje colgante

Fuente: Manejo de materiales Martin



**Figura 34:** Grafico de Factor de sobrecarga ( $F_0$ )

Fuente: Manejo de materiales Martin



### **2.2.15.7.1 Tipos de Transportadoras Helicoidales Sin Fin**

Existen diferentes tipos de transportadoras helicoidales como:

#### **Transportador de Tornillo Helicoidal Con Eje**

Un transportador de tornillo helicoidal con eje es un equipo que tiene un eje sólido o tubular que se extiende a lo largo por el centro de los helicoidales. Esto ayuda a mantener el helicoidal por encima de la artesa o camisa, evitando roces que podrían producir desgaste y desprendimiento de metal con el contacto y velocidad de giro.

#### **Ventajas de un Transportador de Tornillo Helicoidal Con Eje:**

Un transportador de tornillo helicoidal con eje puede ser de mayor longitud. En la mayoría de las aplicaciones, el transportador de tornillo con eje utiliza cojinetes o bujes de suspensión cada 3 metros.

Un transportador de tornillo helicoidal con eje no necesita un revestimiento en la parte interna del canal o artesa, lo que resulta en menos mantenimiento.

Un transportador de tornillo helicoidal con eje puede funcionar a mayores rpm porque no hay preocupación por el desgaste del revestimiento inferior de la artesa.

#### **Transportador de Tornillo Helicoidal Sin Eje**

Un transportador de tornillo helicoidal sin eje tiene solo una espiral o hélice sin un eje central. El tornillo helicoidal sin eje gira sobre un revestimiento que generalmente está hecho de plástico de ingeniería. El único punto de conexión en un transportador de tornillo sin eje es en el extremo de accionamiento del transportador de tornillo helicoidal.



### **Ventajas de un Transportador de Tornillo Helicoidal Sin Eje:**

Una de las razones principales para usar un transportador de tornillo sin eje es la capacidad de manejar diferentes tipos de material. Los transportadores de tornillo sin eje pueden transportar materiales viscosos, pegajosos, húmedos y grumosos.

Sin la necesidad de cojinetes de suspensión, un transportador helicoidal sin eje puede tener una tasa de llenado más alta, cerca de 35% -40%. Para aplicaciones como tolvas de fondo vivo y alimentación medida, es posible que un transportador de tornillo sin eje al 100%.

Los transportadores de tornillo helicoidal sin eje son ideales alimentar transportadores helicoidales verticales ya que no hay un eje o sello inferior.

#### **2.2.15.8 Máquina de Centrifugado de Enjuague**

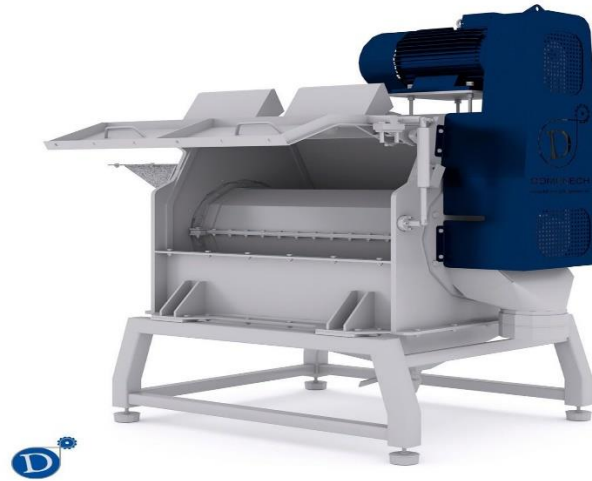
La centrifugadora de enjuague es una máquina orientada a la separación sólido-líquido simultánea de todo tipo de plásticos sólidos y visco-elásticos con humedades elevadas, como plásticos lavados, que llegan de la tina de lavado con una humedad hasta del 50%, o bien plásticos rígidos sin humedad.

El material se introduce por la boca de entrada superior y la rotación que ofrece el rotor a gran velocidad, genera una fuerza centrífuga por medio de la cual se lleva a cabo el secado del material, así como la expulsión de partículas de pequeñas dimensiones que se hubieran quedado adheridos al plástico.

La granulometría de los materiales óptimos con los que trabaja es de 0-30 mm, permitiendo dimensiones superiores. La calidad de secado será mejor cuanto menos soluble y viscosa sea la fracción sólida del producto.



La salida del material desechable tiene diferentes posibilidades o configuraciones, siendo la más común o bien la extracción por gravedad o con ventilador.



**Figura 35:** Centrifugadora de enjuague

Fuente: DOMENECH machinery & systems

#### **2.2.15.8.1 Tipos de Centrifugadoras de Enjuague**

Existen diferentes tipos de Centrifugadoras como:

##### **Centrifugadora de Filtración**

Una centrifugadora de filtración para plásticos es un equipo especializado que utiliza la fuerza centrífuga para separar las partículas sólidas presentes en una suspensión líquida de plásticos. El sistema se basa en el principio de que las partículas sólidas más pesadas se depositan en las paredes del tambor, mientras que el líquido clarificado es expulsado hacia afuera, permitiendo la recolección de los sólidos separados y el líquido filtrado.

##### **Partes de una Centrifugadora de Filtración para Plásticos:**

**Tambor:** Es el componente central de la centrifugadora y está diseñado para contener la suspensión líquida de plásticos. El tambor gira a alta velocidad, generando fuerza centrífuga que separa las partículas sólidas de los líquidos.



**Sistema de alimentación:** Es el mecanismo utilizado para introducir la suspensión líquida de plásticos en el tambor de la centrifugadora. Puede incluir bombas, válvulas y tuberías para controlar el flujo y la alimentación de la mezcla.

**Sistema de descarga:** Permite la separación de los sólidos filtrados del líquido clarificado. Puede incluir dispositivos como cuchillas, tornillos o raspadores para remover los sólidos depositados en las paredes del tambor y enviarlos a la salida correspondiente.

**Sistema de control:** Se encarga de controlar y regular los parámetros de operación de la centrifugadora, como la velocidad de rotación, el tiempo de filtración y la capacidad de carga. Puede estar compuesto por paneles de control, sensores y controladores de velocidad.

### **Ventajas de una Centrifugadora de Filtración para Plásticos:**

**Separación eficiente:** La centrifugadora de filtración para plásticos permite una separación eficiente de las partículas sólidas de los líquidos, lo que resulta en una mayor calidad del producto final y una reducción de los residuos.

**Recuperación de materiales:** Al separar las partículas sólidas de los líquidos, la centrifugadora de filtración facilita la recuperación de los materiales plásticos, permitiendo su reutilización o reciclaje.

**Purificación de líquidos:** La filtración mediante centrifugación ayuda a purificar los líquidos utilizados en el proceso de reciclaje de plásticos, eliminando partículas y contaminantes que puedan afectar la calidad del producto final.

**Mayor eficiencia de procesamiento:** La centrifugadora de filtración permite un procesamiento continuo de grandes volúmenes de suspensión líquida de plásticos, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad del proceso de reciclaje.



Reducción de costos.

### **Centrifugadora de Sedimentación**

Una centrifugadora de sedimentación para plásticos es un equipo diseñado para separar partículas sólidas de mayor densidad, presentes en una suspensión líquida de plásticos, utilizando la acción de la gravedad y la fuerza centrífuga. Mediante un proceso de sedimentación, las partículas sólidas se asientan en el fondo del equipo, permitiendo la separación del líquido clarificado.

#### **Partes de una Centrifugadora de Sedimentación para Plásticos:**

suspensión líquida de plásticos. El tambor gira a baja velocidad, permitiendo que las partículas sólidas se sedimenten en el fondo.

**Sistema de alimentación:** Es el mecanismo utilizado para introducir la suspensión líquida de plásticos en el tambor de la centrifugadora. Puede incluir bombas, válvulas y tuberías para controlar el flujo y la alimentación de la mezcla.

**Sistema de descarga:** Permite la separación de las partículas sólidas sedimentadas del líquido clarificado. Puede incluir dispositivos como cuchillas, tornillos o raspadores para remover los sólidos del fondo del tambor y enviarlos a la salida correspondiente.

**Sistema de control:** Se encarga de controlar y regular los parámetros de operación de la centrifugadora, como la velocidad de rotación, el tiempo de sedimentación y la capacidad de carga. Puede estar compuesto por paneles de control, sensores y controladores de velocidad.

#### **Ventajas de una centrifugadora de sedimentación para plásticos:**

**Separación eficiente:** La centrifugadora de sedimentación permite una separación eficiente de las partículas sólidas de mayor densidad de la suspensión líquida de plásticos,



lo que resulta en un líquido clarificado de alta calidad y sólidos sedimentados listos para su posterior tratamiento o eliminación.

Operación continua: Estas centrifugadoras son capaces de operar de manera continua, lo que permite un procesamiento continuo de grandes volúmenes de suspensión líquida de plásticos.

Recuperación de materiales: Al separar las partículas sólidas de mayor densidad, la centrifugadora de sedimentación facilita la recuperación de materiales valiosos presentes en la suspensión líquida de plásticos, permitiendo su reutilización o reciclaje.

Reducción de residuos: La centrifugadora de sedimentación ayuda a reducir la cantidad de residuos generados en un proceso industrial, al separar los sólidos sedimentados del líquido clarificado, facilitando su posterior tratamiento o eliminación.

Fácil operación y mantenimiento: Estas centrifugadoras suelen ser de operación y mantenimientos

#### **2.2.15.9 Máquina Extrusora de Plástico**

La máquina extrusora de plásticos es un equipo utilizado en la industria para convertir materiales plásticos en formas específicas mediante el proceso de extrusión. La extrusión es un proceso continuo donde los materiales plásticos se calientan, funden y empujan a través de una abertura en forma de matriz para obtener productos con perfiles uniformes y de longitud indefinida, como películas, tubos, perfiles, láminas, filamentos, entre otros.

Según (Giles et al., 2005) los aspectos importantes de la máquina extrusora son:



**Tolva de alimentación:** Es la entrada de la máquina, donde se carga el material plástico en forma de pellets, gránulos o polvo. La tolva lo alimenta de manera controlada en la siguiente etapa.

**Cilindro y tornillo de extrusión:** El material plástico se transporta hacia el cilindro, donde se encuentra un tornillo de extrusión que gira y avanza. El tornillo tiene tres funciones principales: mezclar y fundir el plástico, eliminar el aire atrapado y forzar el material hacia la abertura de la matriz.

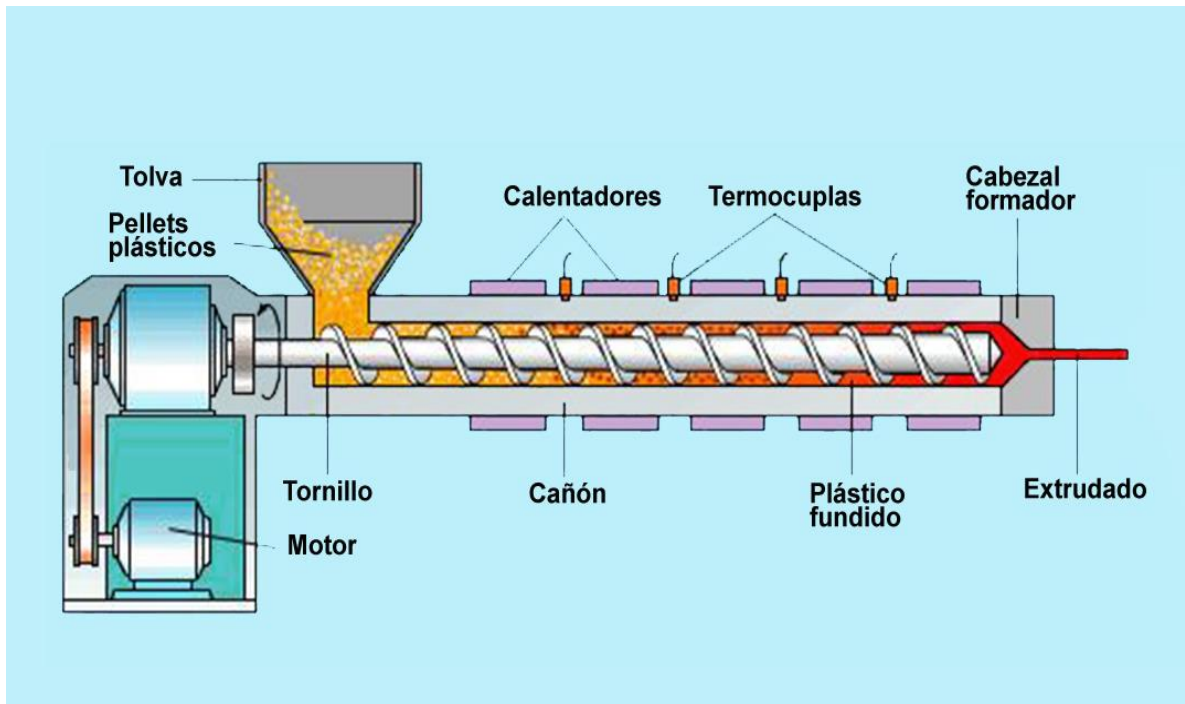
**Zona de calentamiento:** A lo largo del cilindro, hay varias zonas de calentamiento con resistencias eléctricas que derriten gradualmente el material plástico a medida que se mueve hacia adelante. Cada zona de calentamiento tiene una temperatura controlada para lograr la fusión adecuada del plástico.

**Filtro de malla:** Opcionalmente, antes de ingresar a la matriz, algunos procesos requieren un filtro de malla para eliminar impurezas y partículas indeseadas del material fundido.

**Cabeza de extrusión y matriz:** La cabeza de extrusión es la parte final del cilindro que sostiene la matriz. La matriz tiene la forma deseada para el producto final y está diseñada para dar forma al material fundido mientras lo empuja a través de la abertura.

**Enfriamiento y calibración:** Algunos productos pueden necesitar un sistema de enfriamiento y calibración para mantener la forma y dimensiones precisas. Esto puede incluir baños de agua o sistemas de aire frío.

**Corte y recogida:** El producto extruido se corta a la longitud deseada mediante un mecanismo de corte automático o manual. Luego, se recolecta y almacena para su posterior uso o procesamiento.



**Figura 36:** Detalle de una maquina extrusora

Fuente: Tecnología de plásticos

#### 2.2.15.9.1 Tipos de Extrusoras

Existen muchos tipos de máquinas extrusoras pero los más comerciales son.

- Extrusora De Tornillo Simple
- Extrusora De Tornillo doble

##### **Extrusora de tornillo simple**

La máquina extrusora de tornillo simple es una maquina utilizada en la industria para realizar el proceso de extrusión de materiales plásticos. Consiste en un cilindro con un solo tornillo en su interior, y su función principal es calentar, mezclar y forzar el material plástico fundido a través de una matriz para obtener productos con perfiles específicos y de longitud indefinida.



## **Ventajas de la extrusora de tornillo simple**

**Sencillez en el diseño:** La extrusora de tornillo simple tiene un diseño relativamente sencillo en comparación con otros tipos de extrusoras, lo que facilita su operación, mantenimiento y ajustes.

**Alta flexibilidad:** Esta máquina puede procesar una amplia gama de materiales plásticos, desde termoplásticos comunes hasta compuestos más especializados. Además, es posible cambiar el tipo de material y ajustar los parámetros de extrusión para producir diferentes productos.

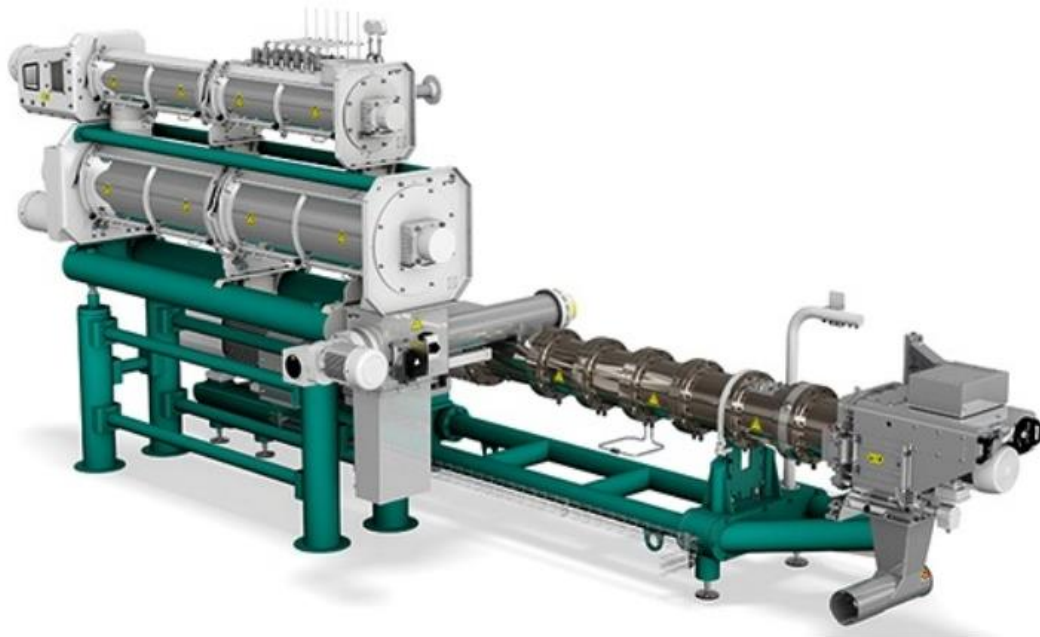
**Costos reducidos:** Debido a su diseño simple, la extrusora de tornillo simple tiende a ser más económica en términos de costos de fabricación y adquisición en comparación con otros tipos de extrusoras más complejas.

**Menor consumo energético:** En comparación con extrusoras de doble tornillo o co-rotativas, la extrusora de tornillo simple tiende a tener un menor consumo energético durante el proceso de extrusión.

**Facilidad de operación:** La operación de la extrusora de tornillo simple es más sencilla y más fácil de controlar, lo que permite una producción estable y consistente de productos plásticos.

**Menos desgaste del tornillo:** Al tener un solo tornillo, se reduce el desgaste mecánico, lo que puede prolongar la vida útil de la máquina y reducir los costos de mantenimiento.

**Ideal para aplicaciones específicas:** La extrusora de tornillo simple es particularmente útil para aplicaciones donde no se requiere una mezcla intensiva de materiales o donde se necesita un proceso de extrusión más suave.



**Figura 37:** Extrusora de tornillo simple

Fuente: ALL PETFOOD, 2019

### **Extrusora de tornillo doble**

La extrusora de tornillo doble es un tipo de máquina extrusora que utiliza dos tornillos en su interior para realizar el proceso de extrusión de materiales plásticos. Estos tornillos giran en sentido opuesto y trabajan en conjunto para calentar, mezclar y forzar el material plástico fundido a través de una matriz para obtener productos con perfiles específicos y de longitud indefinida.

### **Ventajas de la extrusora de tornillo doble**

Mezcla intensiva: La extrusora de tornillo doble ofrece una mezcla mucho más homogénea de los materiales plásticos, lo que resulta en productos de alta calidad con propiedades consistentes.





Mayor capacidad de procesamiento: Debido a la intensa mezcla proporcionada por los dos tornillos, esta máquina puede procesar volúmenes más grandes de material en un tiempo más corto.

Procesamiento de materiales especiales: La extrusora de tornillo doble es ideal para procesar materiales plásticos con cargas de refuerzo (como fibras) o materiales que requieren aditivos y mezclas complejas.

Control de temperatura y procesos: Los dos tornillos permiten un mayor control de la temperatura y los procesos de fusión, lo que es beneficioso para producir productos plásticos más sofisticados.

#### **2.2.15.10 Perfil de Moldeo y Enfriado**

El proceso de moldeo de la madera plástica es una técnica utilizada para fabricar productos con características similares a la madera, pero con las ventajas adicionales de ser un material plástico duradero, resistente a la humedad y de fácil mantenimiento. Este proceso implica la fundición y moldeo de plásticos, como el HDPE (Polietileno de Alta Densidad) y el PP (Polipropileno), para obtener piezas con formas y tamaños específicos que se asemejen a la madera.

#### **Preparación del material:**

El material utilizado en el proceso de extrusión de madera plástica generalmente es un plástico termoplástico, como el HDPE (Polietileno de Alta Densidad) o el PP (Polipropileno). Estos polímeros se mezclan con aditivos y pigmentos, si es necesario, para mejorar las propiedades y el aspecto de la madera plástica. La mezcla se realiza en una máquina mezcladora o extrusora de doble tornillo para obtener una composición homogénea.



### **Alimentación y fusión del material:**

La mezcla preparada se alimenta en la sección de alimentación de una máquina de extrusión, que está compuesta por un tornillo sin fin. El tornillo gira y empuja el material hacia adelante mientras lo calienta mediante calentadores eléctricos a lo largo del barril de la máquina. A medida que el material avanza, se derrite y se mezcla completamente para formar una masa plástica fundida.

### **Extrusión y conformado:**

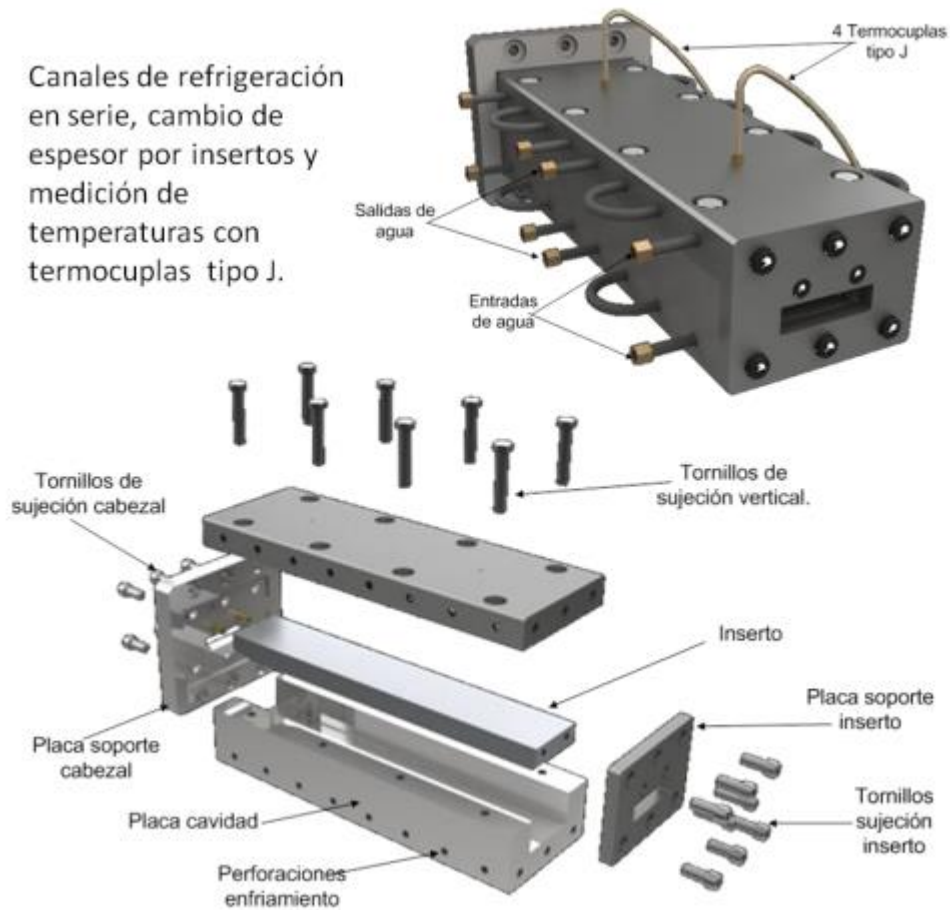
Una vez que el material se ha fundido y mezclado adecuadamente, pasa a través de una boquilla o matriz que define la forma de la sección transversal del producto. La boquilla tiene una abertura con la forma deseada de la madera plástica, como una tabla con ranuras o una viga con una forma específica. Al pasar por la boquilla, el material fundido se expande y adquiere la forma del perfil deseado.

### **Enfriamiento y calibración:**

Después de salir de la boquilla, el perfil de madera plástica se enfría utilizando un sistema de enfriamiento, como agua o aire frío. Esto permite que el plástico solidifique y mantenga su forma. También se utiliza un sistema de calibración para controlar las dimensiones finales del perfil y asegurar una geometría precisa. Esto puede implicar el uso de rodillos o calibradores para ajustar el tamaño y la forma del perfil.

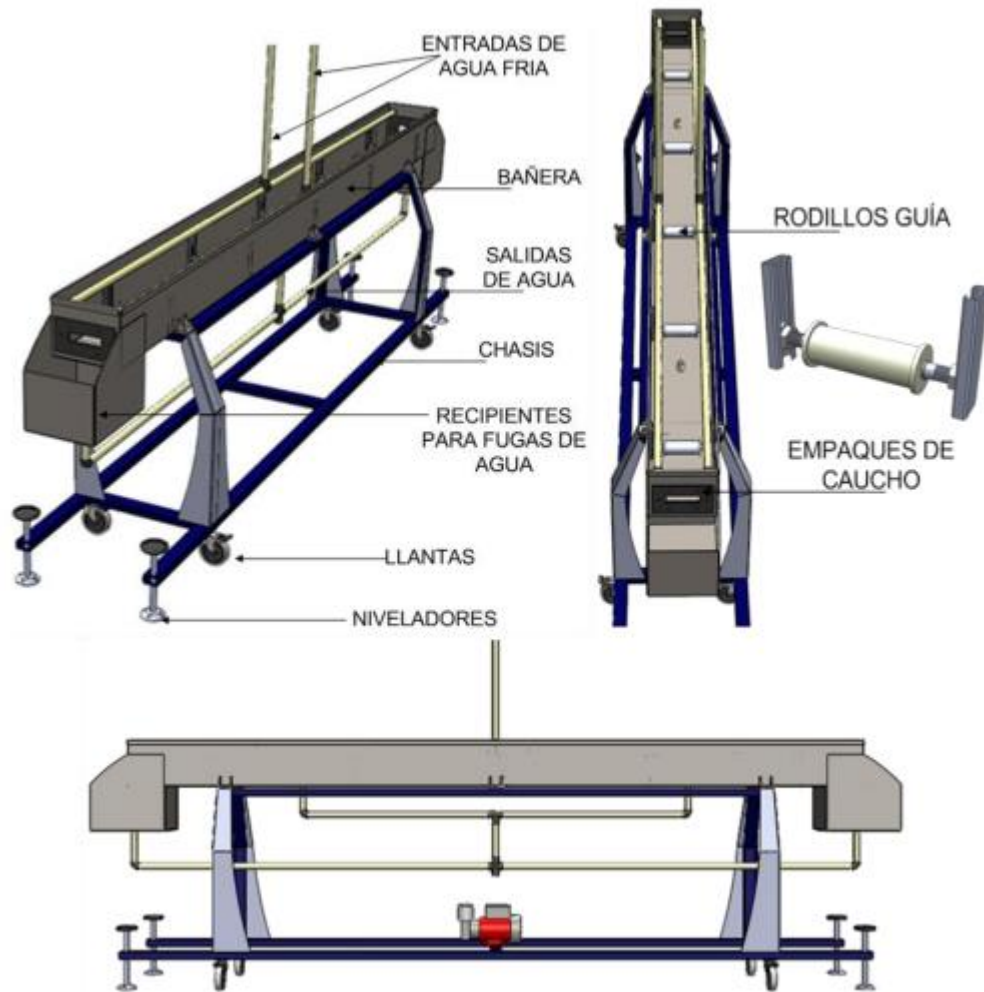
### **Corte y acabado:**

Una vez que el perfil de madera plástica ha sido enfriado y calibrado, se corta en longitudes deseadas utilizando una sierra u otra herramienta de corte. Luego, se pueden realizar operaciones adicionales de acabado, como el lijado o el pulido, para mejorar la apariencia y la calidad de la superficie del perfil.



**Figura 38:** Detalle del perfil de molde de plásticos extruidos

Fuente: Extraído de (Jorge Federico, 2010)



**Figura 39:** Detalle de la tina de enfriamiento

Fuente: Extraído de (Jorge Federico, 2010)

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La presente investigación se realizó en el relleno sanitario queda ubicada en la comunidad campesina de Itapalluni, a 20Km de la ciudad de puno.

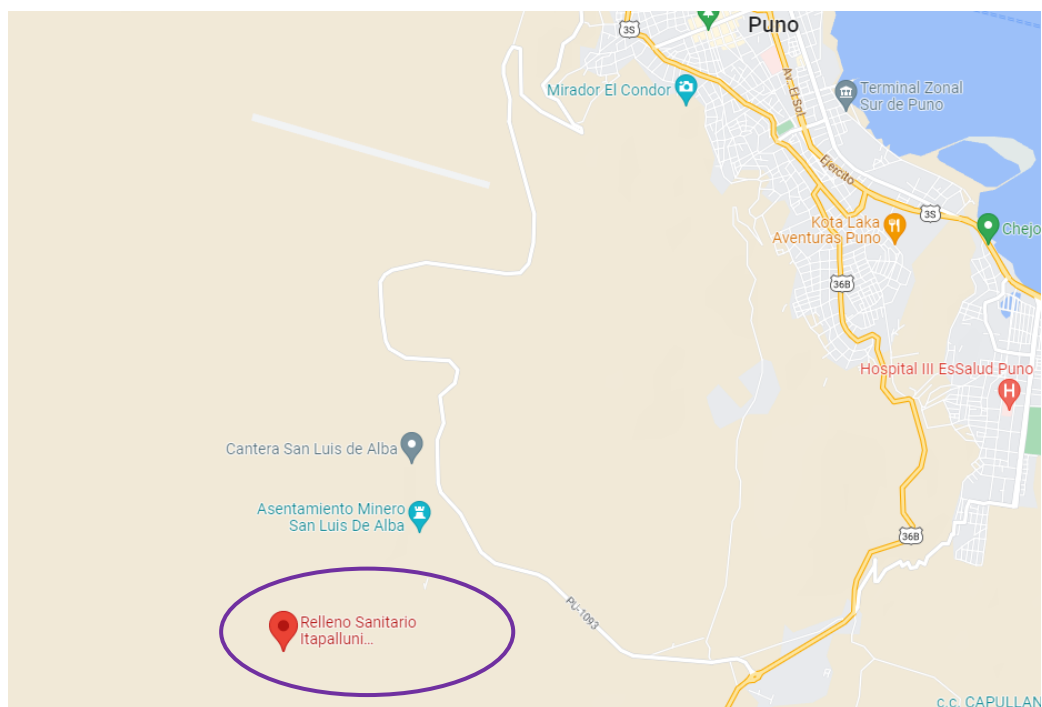
Coordenadas:

X: 385844.62 m E

Y: 8242341.00 m S

Altitud: 4090 m.s.n.m.

Zona: 19L



**Figura 40:** Ubicación del lugar de estudio

Fuente: Adaptado de Google Earth.



### 3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La toma de datos de la investigación fue de manera presencial, donde se realizó fotografías, apuntes y mediciones.

Para la realización de este proyecto de investigación se utilizó los siguientes instrumentos para la recolección de datos y las respectivas mediciones:

- Laptop DELL; Procesador Intel(R) Core (TM) i7 5005u CPU 4.00 GHz; Memoria RAM 8.00 GB; Sistema Operativo Windows 10, procesador 64x bits.
- Impresora Multifuncional marca Edson modelo L555.
- Memoria USB 24 Gb.
- Cuaderno de apuntes
- Internet red de alta velocidad Claro.
- Catálogos, manuales, especificaciones técnicas de fabricantes, informes mensuales generados por el Área de Gestión de residuos sólidos de la municipalidad de Puno.

Para la realización de este proyecto de investigación se utilizó las siguientes herramientas de trabajo para la recolección de datos y las respectivas mediciones:

- Chalecos reflectores
- Guantes de seguridad
- Lentes de Seguridad
- Zapatos de seguridad
- Cascos de seguridad
- Respiradores con filtro
- Pinzas metálicas
- Rastrillos



- Lamina de plástico
- Cámara fotográfica

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO**

#### **POBLACIÓN**

En esta investigación se ha tenido como población de estudio la cantidad y los tipos de plásticos generados en el relleno sanitario de la ciudad de Puno.

#### **MUESTRA**

En esta investigación se ha tenido como muestra de estudio la cantidad y los tipos de plásticos generados en el relleno sanitario de la ciudad de Puno.

### **3.4 PROCEDIMIENTO DE DATOS**

#### **3.4.1 Procedimiento Metodológico**

En este proyecto de investigación, se desarrollaron diferentes métodos para la obtención de la cantidad producida de plásticos en la ciudad de Puno, para lo cual esos datos se utilizaron para el cálculo y diseño de cada máquina de la planta para así lograr la fabricación de la madera plástica.

El presente trabajo de investigación está basado en el método cuantitativo, porque por medio de mediciones se cuantifico la cantidad de cada tipo de plásticos generados en el relleno sanitario de la ciudad de Puno.

#### **3.4.2 Procedimiento de Mediciones y Obtención de Datos**

En el procedimiento de mediciones y obtención de datos del trabajo de investigación, se realizó en tres etapas



### **3.4.2.1 Pesaje de las Compactadoras**

La técnica de investigación se realizó por medio de los carros recolectores donde la técnica de investigación se realizó por medio de los carros recolectores donde primero se realizó el pesaje de las compactadoras en la balanza municipal para determinar cuanta cantidad de residuos sólidos transportan en cada viaje y el total en el día.

### **3.4.2.2 Disgregación de Tipos de Plásticos**

El método que se utilizó para disgregar los tipos de plásticos existentes en el relleno sanitario es por medio de los usos y aplicaciones que presentan cada tipo de plástico, por lo una vez conforme los EPPS y el material de trabajo se procedió a separar los diferentes tipos de plásticos identificando por sus propiedades físicas y colores., donde se llegó a identificar los 6 tipos de plásticos como son:

- Polietileno Teraftalato (PET)
- Polietileno De Alta Densidad (HDPE)
- Policloruro De Vinilo (PVC)
- Polietileno De Baja Densidad (LDPE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)

### **3.4.2.3 Pesaje de los Tipos de Plásticos**

Una vez identificado los tipos de plásticos que se encuentran en el relleno sanitario, se procedió a realizar el pesaje aproximado de cada tipo de plástico resultando en kilogramos. En la tabla número N°. 1 muestra la cantidad de basura plástica generados a partir de los 6 tipos de plásticos como el PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS excluyendo el tipo de plástico numero 07 (PC, PA, ABS, PMMA) ya que es complejo identificarlo porque no poseen el sello de su código de identificación y a la vez nos son aptos para el

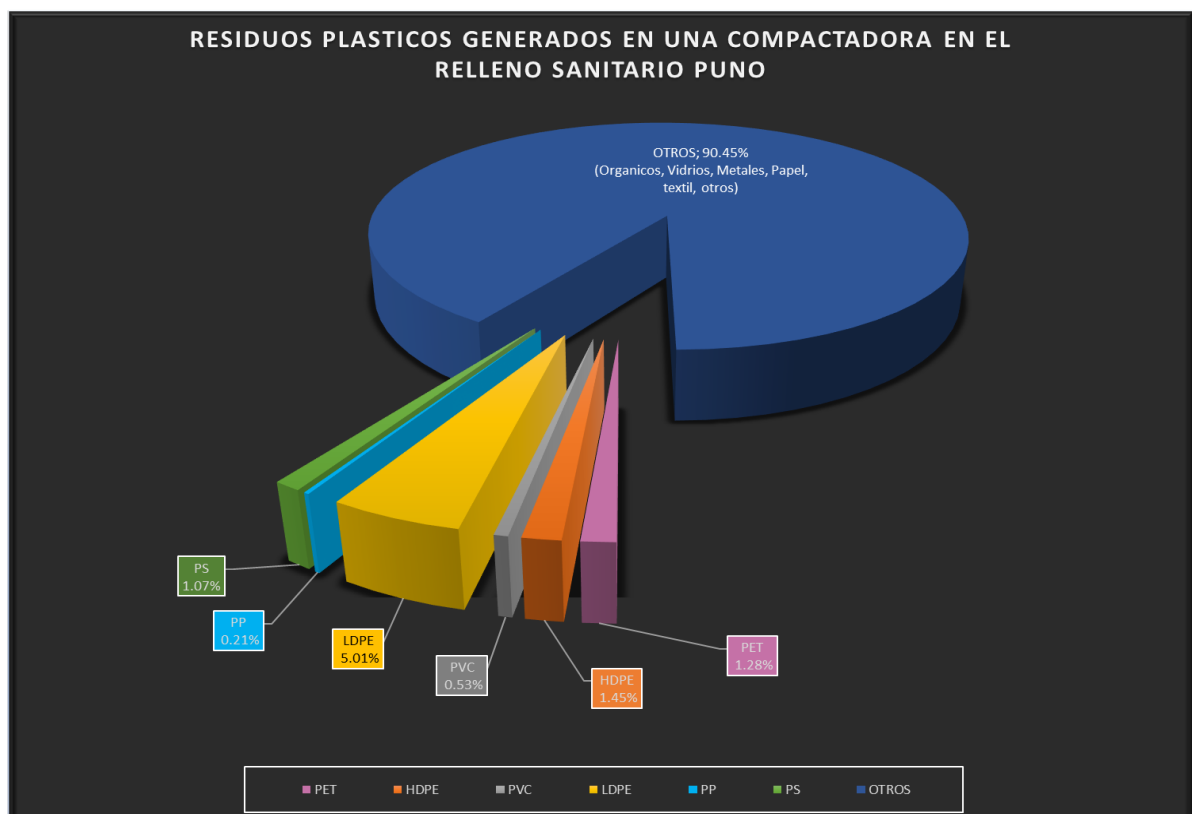


reciclaje, menos aún como materia prima para la fabricación de madera plástica, de manera que solo se utilizó como estudio los seis primeros tipos de plásticos. La tabla muestra los tipos y la cantidad de basura plástica en kilogramos de un contenedor al azar transportado por una compactadora desde la ciudad de puno.

**Tabla 1:** Residuos plásticos generados en una compactadora en el relleno sanitario de Puno

RESIDUOS PLASTICOS GENERADOS EN UNA COMPACTADORA EN EL RELLENO SANITARIO PUNO									
UNIDAD DE MEDIDA	PESO NETO DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA COMPACTADORA EGX-457	RESIDUOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PLASTICOS						PESO NETO DEL TOTAL DE PLASTICOS	OTROS RESIDUOS (Organicos, Vidrios, Metales, Papel, textil, otros)
		PET (01)	HDPE (02)	PVC (03)	LDPE (04)	PP (05)	PS (06)		
KILOGRAMO (KG)	5580	71.424	80.91	29.534	279.579	11.718	59.706	532.871	5047.129
PORCENTAJE (%)	100%	1.28%	1.45%	0.53%	5.01%	0.21%	1.07%	9.55%	90.45%

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 41:** Grafico porcentual de los Residuos plásticos generados en una compactadora en el relleno sanitario de Puno

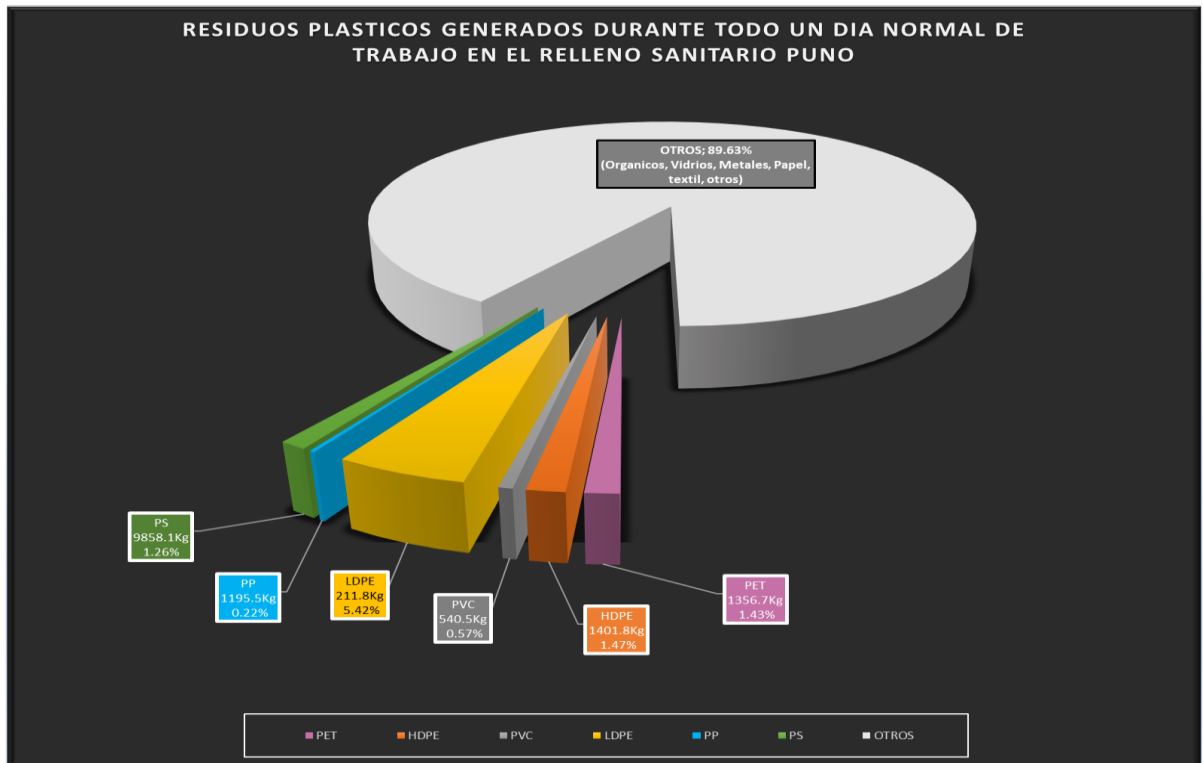
Elaborado por el equipo de trabajo

De la misma forma se procedió a realizar la disgregación y selección de los plásticos encontrados en los diecisiete (17) vehículos que trasladan los residuos sólidos al relleno sanitario durante todo un día normal. En la tabla se muestra la cantidad de vehículos que transportan los residuos sólidos, también se muestra la cantidad generada de plásticos y los diferentes tipos de la misma.

**Tabla 2:** Residuos plásticos generados durante todo un día en el relleno sanitario de Puno

RESIDUOS PLASTICOS GENERADOS DURANTE TODO UN DIA NORMAL DE TRABAJO EN EL RELLENO SANITARIO PUNO												
N°	PLACA DE VEHICULO	TIPO DE MAQUINARIA	PESO NETO DE RESIDUOS SOLIDOS EN GENERAL (KG)	TIPOS DE PLASTICOS ENCONTRADOS						PESO TOTAL DE LOS RESIDUOS PLASTICOS (KG)	POCENTAJE TOTAL DE LOS RESIDUOS PLASTICOS (%)	OTROS RESIDUOS (Organicos, Vidrios, Metales, Papel, textil, otros) (KG)
				01 PET (KG)	02 HDPE (KG)	03 PVC (KG)	04 LDPE (KG)	05 PP (KG)	06 PS (KG)			
1	EGX-457	COMPACTADORA	4690	57.647	66.538	24.388	233.053	8.442	46.431	436.499	9.31	4253.50
2	EGX-457	COMPACTADORA	4110	51.375	58.803	20.55	196.638	8.22	42.333	377.919	9.20	3732.08
3	EGX-457	COMPACTADORA	5580	71.424	80.91	29.534	279.579	11.718	59.706	532.871	9.55	5047.13
4	EGX-457	COMPACTADORA	4930	61.625	79.986	24.117	310.783	13.311	89.093	578.915	11.74	4351.09
5	EGX-455	COMPACTADORA	9330	171.612	129.747	56.853	540.54	17.727	104.496	1020.975	10.94	8309.03
6	EGX-455	COMPACTADORA	4480	54.656	69.44	27.328	264.32	8.064	45.248	469.056	10.47	4010.94
7	EGX-439	COMPACTADORA	5850	70.2	83.07	28.08	289.575	12.285	95.94	579.15	9.90	5270.85
8	EGX-644	COMPACTADORA	1220	14.924	16.958	5.49	62.402	3.172	16.714	119.66	9.81	1100.34
9	EGX-644	COMPACTADORA	3570	42.84	49.683	20.706	167.59	6.069	69.498	356.386	9.98	3213.61
10	C9G-751	COMPACTADORA	11620	153.024	176.384	70.762	655.728	26.716	178.888	1261.502	10.86	10358.50
11	EGJ-026	COMPACTADORA	8300	108.73	124.5	58.83	514.6	14.94	116.2	937.8	11.30	7362.20
12	EGX-484	COMPACTADORA	5110	71.029	71.54	23.917	250.39	12.775	67.432	497.083	9.73	4612.92
13	EGX-484	COMPACTADORA	4540	55.882	58.566	23.154	217.532	8.636	44.472	408.242	8.99	4131.76
14	EGX-499	COMPACTADORA	7310	97.123	116.329	57.078	487.277	19.737	72.279	849.823	11.63	6460.18
15	EGX-499	COMPACTADORA	4140	84.456	73.572	16.974	180.09	11.592	49.68	416.364	10.06	3723.64
16	EGX-499	COMPACTADORA	6360	112.572	88.944	31.164	305.28	20.988	62.964	621.912	9.78	5738.09
17	XV-2568	VOLQUETE	3920	77.616	56.84	21.56	196.392	7.448	34.104	393.96	10.05	3526.04
<b>TOTAL DE RESIDUOS GENERADOS AL DIA</b>			<b>95060</b>	<b>1356.735</b>	<b>1401.81</b>	<b>540.485</b>	<b>5151.769</b>	<b>211.84</b>	<b>1195.478</b>	<b>9858.117</b>	<b>10.37</b>	<b>85201.88</b>
<b>PORCENTAJE TOTAL (%)</b>			<b>100%</b>	<b>1.43%</b>	<b>1.47%</b>	<b>0.57%</b>	<b>5.42%</b>	<b>0.22%</b>	<b>1.26%</b>	<b>10.37%</b>	<b>10.37%</b>	<b>89.63%</b>

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 42:** Grafico porcentual de los Residuos plásticos generados durante todo un día en el relleno sanitario de Puno

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5 ANÁLISIS DE DATOS DE LA RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Una vez obtenido los tipos y la cantidad de los plásticos encontrados en el relleno sanitario, se procedió a seleccionar el tipo de plástico apto para la fabricación de las tablas de madera plástica. En la siguiente tabla número tal N°. 3. se muestra el tipo de plásticos apto y la cantidad de la misma para el dimensionamiento de las maquinas eléctricas de la planta.

**Tabla 3:** Plásticos aptos para la fabricación de las tablas de madera plástica

PLASTICOS APTOS COMO MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE LAS TABLAS DE MADERA PLASTICA			
NUMERO DE CODIFICACION	TIPO DE PLASTICO	CANTIDAD ENCONTRADA AL DIA (KG)	CANTIDAD ENCONTRADA AL DIA (%)
(02)	HDPE (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)	1401.81	1.47%
(05)	PP (POLIPROPILENO)	211.84	0.22%

Elaborado por el equipo de trabajo



Por lo tanto, de las 9,858.12 kilogramos de plásticos (9.9 toneladas aproximadamente) generadas en el relleno sanitario de puno, solo se utilizó un total de 1,613.65 kilogramos (16.30%) como materia prima (HDPE, PP) para la fabricación de las tablas de madera plástica.

Se determina que los tipos de plástico de polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP) son los más aptos y viables para la fabricación de tablas de madera plástica

Con esta recolección de datos ya se tiene la materia prima para realizar el dimensionamiento y los cálculos de las maquinas eléctricas y mecánicas de la planta mecánica de fabricación de madera plástica. Esto abarca los siguientes cálculos:



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 RESULTADOS DE LA SELECCIÓN Y CÁLCULOS DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTAS EN LOS PROCESOS DE FABRICACION DE LAS TABLAS DE MADERA PLASTICA DE LA PLANTA

##### 4.1.1 Diseño del Área de Recepción y Clasificación

Para realizar el diseño del área de recepción de los plásticos ya reciclados y seleccionados, en este caso el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP) se cuenta con un total de 1,613.65 kilogramos como materia prima de todo un día. Por lo tanto, se dispondrá un área de 10m<sup>2</sup> para el almacenamiento de los 2 tipos de plásticos ya reciclados.

$$A(rep) = 10m^2$$

Donde:

$$A(rep) = \text{Area de recepción}$$

En esta área determinada, se recepcionará todo el plástico ya reciclado, seleccionado y lavado que será traído por una empresa autónoma o por la municipalidad Provincial de Puno.

##### 4.1.2 Diseño del Tanque de Prelavado

Para el diseño del tanque de lavado se utilizó un material de acero inoxidable de 4.5m<sup>3</sup> donde el lavado se procede convencionalmente por una persona con un rastrillo metálico. Se utilizó el lavado químico en frío, empleando 2000 litros de agua, detergente industrial y sosa diluida en proporción de 50/50. Cabe resaltar que el material de diseño



del tanque evitara que se genere la oxidación y la corrosión por el uso permanente del agua y agentes de lavado.

El agua y los detergentes industriales se utilizan para eliminar la grasa y demás elementos físicos. La sosa diluida se usa para la desinfección y eliminación de los residuos orgánicos.

Para el desagüe del agua del tanque se diseñó dos sumideros tipo rosca de diámetro 3 pulgadas con sus respectivos sellos de goma para bloquear y extraer el agua utilizada.

Para la extracción de los plásticos prelavados se diseñó un cesto rectangular de malla de acero inoxidable con mangos de goma, que estará al interior del tanque de prelavado.

Al contar con una cantidad total de 1,613.65 kilogramos de plásticos como materia prima de todo un día se necesitará un área de lavado de  $4.5m^3$  diseñado de los siguientes materiales y medidas:

Material del tanque de lavado: Acero Inoxidable

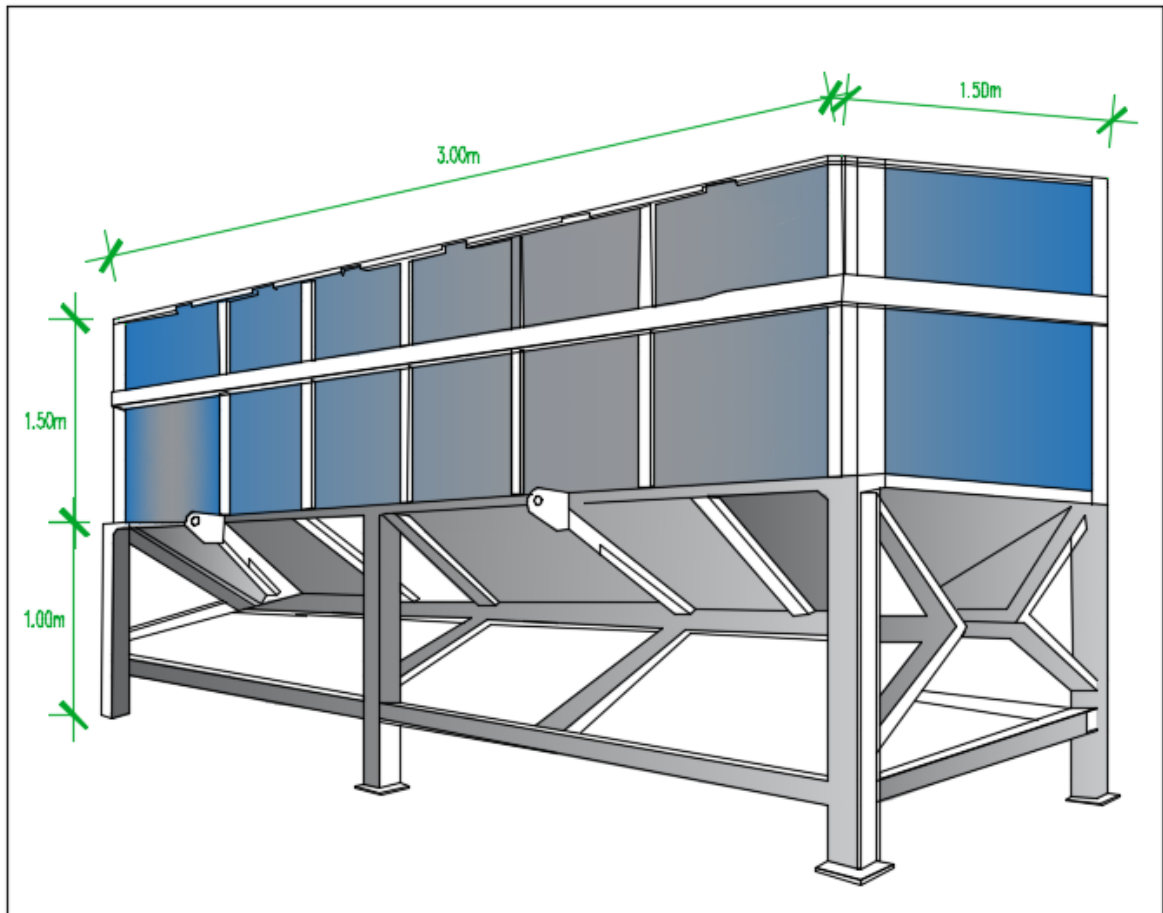
Material de los sellos de goma:

Largo: 2m

Ancho: 1.5m

Profundidad: 1.5m

Espesor: 1.5mm



**Figura 43:** Tanque de Prelavado de plásticos

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.3 Diseño del Contenedor de Secado

Una vez realizado el prelavado de los plásticos de polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP) se procede a extraer de manera manual el cesto rectangular de malla de acero inoxidable para trasladarlo a la zona de secado. El diseño del recipiente de secado este acoplado a la tolva de la trituradora de plásticos.

El contenedor de secado está diseñado del material de acero inoxidable para evitar la oxidación y la corrosión de la misma. En la parte base inferior del contenedor está diseñado con medio de una malla para que se descorra el agua residual de los plásticos.

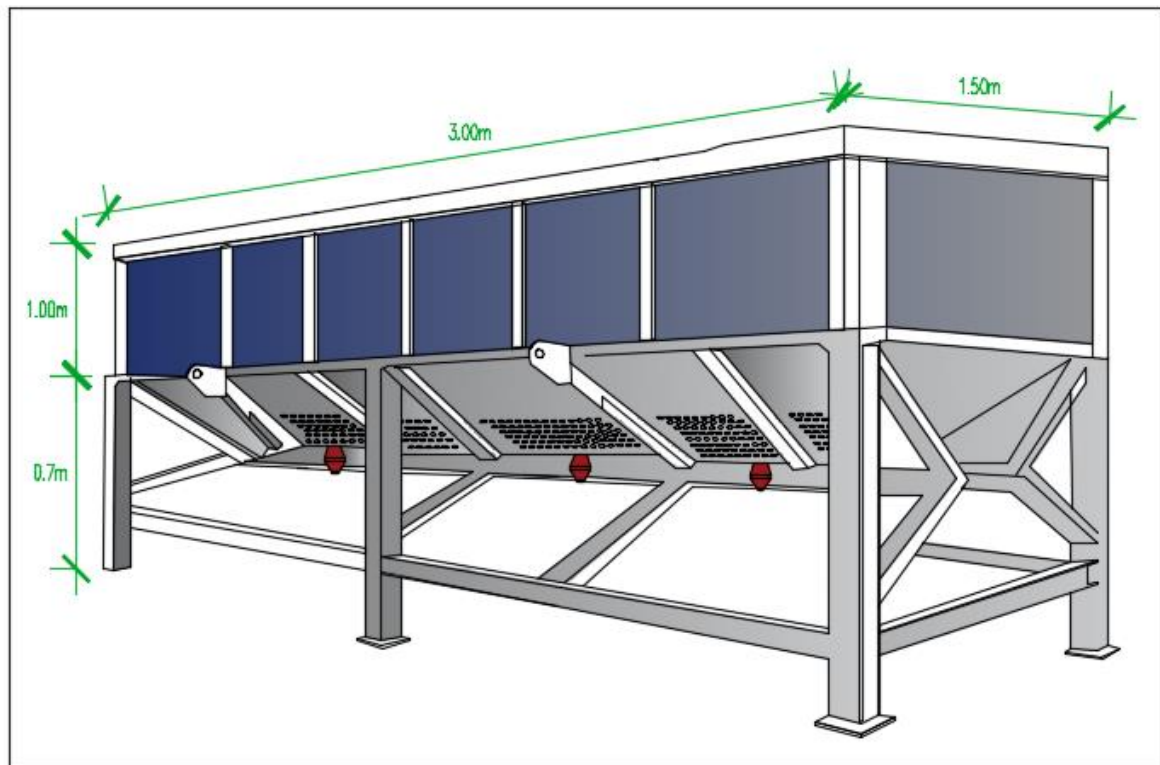
Las dimensiones de diseño del contenedor cuadrangular de secado son las siguientes:

Largo: 2.0m

Ancho: 1.5m

Profundidad: 1.0m

Espesor: 1.5mm



**Figura 44:** Contenedor de secado  
Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.4 Diseño de la Tolva de la Trituradora de Plásticos

Después de realizado el secado de los plásticos de polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP), se procede a trasladar el plástico secado a la tolva de la trituradora de plásticos por un medio manual mediante un rastrillo usada por un trabajador.

El diseño de la tolva será de tipo piramidal para que la alimentación sea gradual, uniforme y un flujo constante evitando los bloqueos de los plásticos.





El material de diseño de la tolva piramidal es de acero inoxidable con las siguientes dimensiones

Primero, Para realizar el diseño de la tolva de la trituradora se procede a obtener el flujo de material por cada unidad de hora en el cual se tiene el siguiente cálculo:

Capacidad total de materiales plásticos en un día = 1,613.65 kilogramos de plásticos

Cantidad de horas de trabajo = 6 horas diarias

Material plástico a procesar durante C/H =  $\frac{1,613.65}{6} = 269 \text{ kg C/H}$

Ahora calcularemos el volumen presente en una hora:

Para el cálculo del volumen se necesita la densidad de ambos plásticos a procesar

Densidad (HDPE): 0,95 g/cm<sup>3</sup>

Densidad (PP): 0.91 g/cm<sup>3</sup>

Realizando un promedio entre ambas densidades:

$$D(\text{prom}) = \frac{0.95+0.91}{2} = 0.93 \text{ g/cm}^3$$

Ahora la unidad de la densidad promedio se convertirá a Kg/m<sup>3</sup>

$$D(\text{prom}) = 930 \text{ Kg/m}^3$$

Una vez obtenido la densidad promedio se procede a calcular el volumen

$$V = \frac{m}{d} = \frac{269 \text{ Kg}}{930 \text{ Kg/m}^3} = 0.29 \text{ m}^3$$

Ahora se calculará por la Fracción de vacío en seco  $F_v = 1.12$

$$V(\text{total}) = 0.29 \times 1.12 = 0.32 \text{ m}^3$$



Según el cálculo obtenido se tiene un volumen de  $0.32 \text{ m}^3$  cada hora, en el cual la tolva piramidal se dimensionará en un rango mayor al volumen obtenido

$$V(\text{tolva}) > V(\text{plásticos})$$

Segundo, Una vez obtenido el material plástico a procesar durante cada hora diseñaremos a criterio propio las alturas de la tolva piramidal:

$$H_1 = 0.6\text{m}$$

$$L_1 = 0.7\text{m}$$

$$L_2 = 0.7\text{m}$$

Se calcula el primer volumen ( $V_1$ )

$$V_1 = H_1 \times L_1 \times L_2 = 0.6 \times 0.7 \times 0.7 = 0.29 \text{ m}^3$$

Se determina las dimensiones de la base de la tolva piramidal a una relación 2:1, obteniendo así lo siguiente:

$$H_2 = 0.3\text{m}$$

$$L_a = 0.35\text{m}$$

$$L_b = 0.35\text{m}$$

Se procede a calcular el volumen del tronco piramidal de la tolva

$$V_2 = \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) = \frac{0.3}{3}(0.49 + 0.12 + \sqrt{0.49 \times 0.12}) = 0.075 \text{ m}^3$$

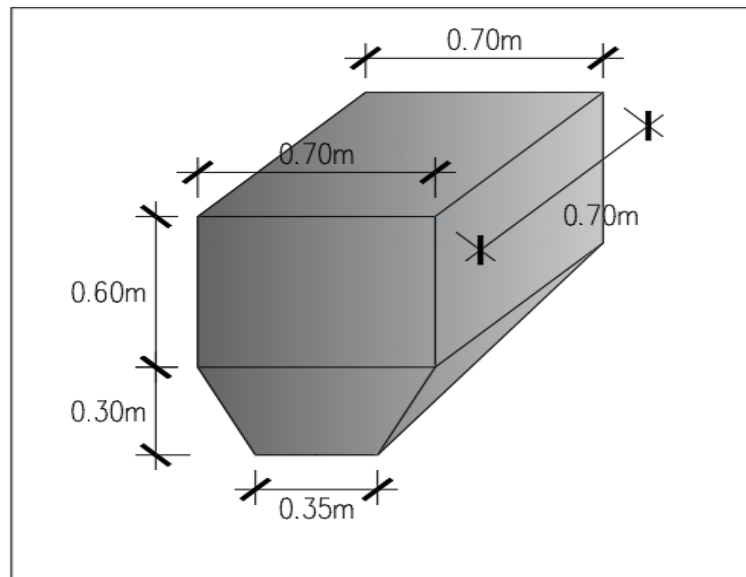
$$V(\text{total}) = 0.29 + 0.075 = 0.37 \text{ m}^3$$

Obteniendo este resultado se determina que el volumen total de la tolva es mayor al volumen del plástico a procesar:

$$V(\text{total}) > V(\text{plásticos})$$

$$0.37 \text{ m}^3 > 0.32 \text{ m}^3$$

Por consiguiente, los valores obtenidos son las dimensiones geométricas de diseño de la tolva piramidal.



**Figura 45:** Dimensiones de la tolva diseñada

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.5 Diseño y Calculo de la Trituradora de Plásticos

Una vez ya transportado los plásticos por medio de la tolva piramidal, el material llega a las cuchillas de la trituradora para así proceder a reducir el tamaño de los plásticos mediante la aplicación de una fuerza mecánica.

La trituradora de plásticos está diseñado para trabajar a una capacidad mayor a los 269 kilogramos de plásticos durante cada hora, en el cual se seleccionará una trituradora de plásticos de un solo eje, ya que es más económicos que los diferentes tipos de trituradoras, es altamente eficiente y versátil en su aplicación, ya que procesan diferentes tipos de plásticos como el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP).

La trituradora de un solo eje funcionara durante las 6 horas diarias procesando una cantidad de 1,613.65 kilogramos de plásticos.

Una vez seleccionado el tipo de trituradora, se procede a dimensionar las características técnicas de la trituradora en base a la cantidad y el tipo de plásticos a procesar por cada hora.

En el mercado se encontró varias marcas de trituradoras de plásticos de un solo eje con las siguientes características:

Modelo	XC-GY10HP	XC-GY15HP	XC-GY20HP	XC-GY30HP	XC-GY50HP	XC-GY75HP	XC-GY100HP
	XC-GY10HP-SP	XC-GY15HP-SP	XC-GY20HP-SP	XC-GY30HP-SP	XC-GY50HP-SP	XC-GY75HP-SP	XC-GY100HP-SP
Cámara de molienda (mm)	360x260	420x280	480x330	660x350	720x500	955x820	1050x820
Capacidad de molienda (KG/H)	200-400	300-500	350-550	500-800	800-1200	850-1300	1000-1500
Cortador estacionario	2	2	2	4	4	4	4
Cortador giratorio	18	21	24	27	27	30	33
Tamaño de malla (mm)	10	10	10	12	12	12	12
Fuerza	kilovatios	7.5	11	15	22	37	75
	HP	10	15	20	30	50	100
Dimensiones (LxAxA1 mm)	1000x830x1270x960	1200x995x1540x1215	1300x1075x1725x1350	1500x1330x1880x1480	2000x1535x2470x1914	2420x2050x3300x2460	2420x2065x3300x2460
Aprox. Peso neto / (kg)	540	835	1100	1810	2750	5400	6250
Dimensión para SP (mm)	1250x880x1500x1190	1420x1020x1760x1440	1500x1140x1920x1540	1750x1400x2140x1735	2150x1570x2770x2200	2630x1985x3560x2720	2630x2080x3560x2720
Soplador colectivo (KW)	2.2	2.2	2.2	3	4	5.5	7.5
Aprox. NO para SP (KG)	860	1180	1400	2280	3630	5900	6500

**Figura 46:** Características técnicas de las maquinas trituradoras

Fuente: XIECHENG



De acuerdo a las características comerciales de la trituradoras de un solo eje se determina que se utilizara la trituradora de la serie GY de 10 HP con una capacidad de procesamiento de 200-400 Kg/h, con el cual se estaría abasteciendo a la cantidad de 269 kg de plásticos por hora a procesar. Cabe resaltar que La trituradora funcionara con un margen de seguridad de 0.8 por lo que resultaría lo siguiente:

Capacidad de molienda máxima =  $400 \text{ Kg/h} \times 0.8 = 320 \text{ kg/h}$

Por lo que la Capacidad de molienda de la trituradora de plásticos de un solo eje de la serie GY de 10 Hp abastecería a la cantidad de plásticos a procesar.

### **Características Técnicas de la Trituradora Seleccionada**

Potencia del motor: 10 HP

Fuerza de corte específica: 2-4 kg/cm<sup>2</sup> (dependiendo del tipo de plástico)

Longitud efectiva de la cuchilla: 600-800 mm

Diámetro de la flecha: 200-300 mm

Velocidad de rotación de la flecha: 75-150 rpm

Capacidad de procesamiento: 200-400 kg/h

Tamaño de la abertura de alimentación: 500-800 mm

Tamaño de la cámara de corte: 600-800 mm

Tipo de cuchilla: Tipo GY

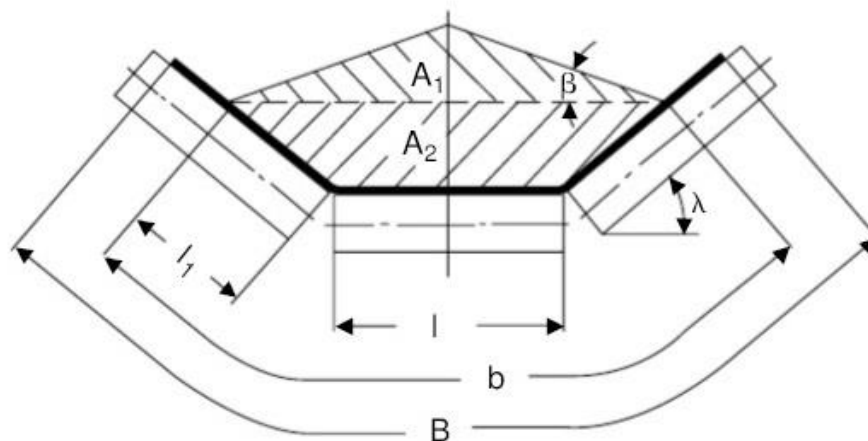
#### **4.1.6 Diseño de la Faja Transportadora**

Después de la trituración de los materiales plásticos reciclados, estos se desplazan directamente a la faja transportadora que los transporta a la zona de lavado, por lo que se

procede a realizar la selección y cálculos mecánicos de la faja transportadora. El cálculo se realiza en base a la cantidad de plásticos reciclados a procesar.

### Cálculo del Área Transversal de la Faja Transportadora

Primero se realiza el cálculo del área de la sección transversal del material transportado en donde se muestra las fórmulas y datos siguientes:



**Figura 47:** Área transversal de la Faja transportadora

Fuente: Ingemecanica

$$A1 = 0,25 \cdot \tan(\beta) \cdot [I + (b - I) \cdot \cos(\lambda)]^2$$

$$A2 = I1 \cdot \text{sen}(\lambda) \cdot [1 + I1 \cdot \cos(\lambda)]$$

$$A = A1 + A2$$

También,

$$b = 0,9 \cdot B - 0,05$$

$$I1 = 0,5 \cdot (b - I)$$

Datos existentes:

Material plástico a procesar durante C/H = 269 kg



Volumen total a procesar  $C/H = 0.32 \text{ m}^3 = 320000 \text{ cm}^3$

Para estimar el ancho de banda de la faja transportadora se calculará el flujo del volumen a procesar en cada segundo:

$$\text{Flujo de } V(t) = \frac{320000}{3600} = 88.89 \text{ cm}^3 \text{ durante cada segundo}$$

Seguidamente se asumirá un cálculo ideal de un rectángulo con un volumen de  $88.8 \text{ cm}^3$ , en el cual se distribuirá cada lado de rectángulo quedando de la siguiente manera:

$$\text{Largo } (l) = 7.4 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho } (a) = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Altura } (h) = 3 \text{ cm}$$

$$(l) \times (a) \times (h) = V$$

$$V = 7.4 \times 4 \times 3 = 88.8 \text{ cm}^3$$

Una vez obtenido las dimensiones que ocupara el plástico triturado, se procede a dimensionar la longitud de los rodillos de la faja transportadora.

Para una longitud de 7.4 cm de longitud de plásticos triturados se seleccionará una longitud del rodillo de 15cm

$$\text{Longitud del rodillo } (I) = 18 \text{ cm} = 0.18 \text{ m}$$

Se plantea un Angulo de artesa ( $\lambda$ ) de  $45^\circ$  en que se dispone los rodillos

$$(\lambda) = 45^\circ$$

Ahora se calculará el ancho de banda de la faja, para lo cual se realizará un cálculo preliminar con las funciones trigonométricas del teorema de Pitágoras:

$$a^2 + b^2 = c^2$$



$$\text{Cos}(\lambda) = \frac{a}{15}$$

Donde:

$$C = 18 \text{ cm}$$

$$(\lambda) = 45^\circ$$

$$a = 12.72 \text{ cm} = 13 \text{ cm}$$

Realizando la suma total para obtener el ancho de banda de la faja (B):

$$B = 13 + 18 + 13 = 44 \text{ cm} = 0.44 \text{ m}$$

Una vez obtenido el valor de ancho de banda de la faja transportadora se selecciona un valor comercial por lo que nos da lo siguiente:

$$B(\text{comercial}) = 0.5\text{m}$$

También se calcula el valor (b)

$$b = 0.9 \times B - 0.05 = 0.9 \times 0.50 - 0.05 = 0.40$$

Ahora respecto al ángulo de sobrecarga del material ( $\beta$ ) este caso del polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP) no se considera una propiedad relevante para estos tipos de plásticos, ya que estos materiales tienen diferentes propiedades como el comportamiento de las cargas y deformaciones, lo que significa que se deforman elásticamente bajo carga y recupera su forma original cuando se retira la carga, llegando a determinar que no se tiene una sobrecarga definida. Sin embargo, generalmente el ángulo de sobrecarga se encuentra en un rango de 10 a 30 grados. Por lo que se seleccionara a criterio un ángulo de  $25^\circ$ .

$$\beta = 25^\circ$$





Ahora que se tiene todos los valores necesarios se procede a calcular las áreas de la sección transversal del material transportado.

$$A1 = 0,25 \cdot \tan(\beta) \cdot [I + (b - I) \cdot \cos(\lambda)]^2$$

Reemplazando,

$$A1 = 0,25 \cdot \tan(25) \cdot [0.18 + (0.40 - 0.18) \cdot \cos(45)]^2$$

$$A1 = 0.013 \text{ m}^2$$

Ahora se calcula la siguiente área,

$$A2 = I1 \cdot \text{sen}(\lambda) \cdot [1 + I1 \cdot \cos(\lambda)]$$

Para ello se necesita el valor (I1)

$$I1 = 0.5 \text{ X } (b - I) = 0.5 \text{ X } (0.40 - 0.18)$$

$$I1 = 0.11$$

Reemplazando,

$$A2 = I1 \cdot \text{sen}(\lambda) \cdot [1 + I1 \cdot \cos(\lambda)]$$

$$A2 = 0.10 \text{ X } \text{sen}(45) \text{ X } (0.18 + 0.11 \text{ X } \cos(45))$$

$$A2 = 0.018 \text{ m}^2$$

Ahora se procede a calcular el área total:

$$A = A1 + A2$$

$$A = 0.013 + 0.018$$

$$A = 0.031 \text{ m}^2$$



Entonces se determina que el área de la sección transversal de la faja transportadora es  $0.031 \text{ m}^2$

### **Cálculo de la Capacidad de Transporte de La Faja Transportadora**

En esta etapa del cálculo se observa la capacidad que tiene la faja transportadora en trasladar el material plástico triturado.

En donde,

$$Q_v = 3600 \cdot v \cdot A \cdot k$$

$Q_v$ : es la capacidad de transporte volumétrica de la banda (m<sup>3</sup>/h)

$v$ : es la velocidad de avance de la banda (m/s)

$A$ : es el área de la sección transversal del material (m<sup>2</sup>)

$k$ : es un coeficiente de reducción de la capacidad de transporte por inclinación de la cinta. Este coeficiente se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$k = 1 - 1,64 \times \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180}\right)^2$$

A continuación, se presentan los siguientes datos iniciales propuestos:

$$V = 0.4 \text{ m/s}$$

$$A = 0.031 \text{ m}^2$$

Respecto al coeficiente de reducción de la faja transportadora, se procede a proponer el ángulo de inclinación de la cinta ( $\varphi$ ), esto de acuerdo a la distancia de la faja transportadora ( $D_f$ ) y a la carga que traslada la misma.

Donde,

$$D_f = 5\text{m}$$



$$\varphi = 20^\circ$$

$$k = 1 - 1,64 \times \left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right)^2 = 0.80$$

Reemplazando,

$$Q_v = 3600 \times 0.4 \times 0.031 \times 0.8$$

$$Q_v = 35.71 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se determina que la capacidad de transporte volumétrico de la faja transportadora es mayor al flujo volumétrico de plásticos en una hora, por lo que es óptimo el cálculo respectivo.

Finalmente se procede a calcular la capacidad de transporte en masa:

$$Q_m = Q_v \times \Upsilon$$

Donde,

$\Upsilon$ : es el peso específico del material transportado (t/m<sup>3</sup>)

Para este caso el peso específico promedio de los dos tipos de plásticos seleccionados es:

$$\Upsilon = 0.93 \text{ t/m}^3$$

Reemplazando,

$$Q_m = 35.71 \times 0.93$$

$$Q_m = 33.21 \text{ t/h}$$

### **Cálculo de Potencia de Accionamiento de la Faja Transportadora**

A continuación, se muestra las fórmulas para realizar el cálculo:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3$$



Para el cálculo de esta potencia se emplea la siguiente fórmula de cálculo:

Potencia de Accionamiento de la cinta sin peso del material triturado:

$$P_1 = \frac{C_b \times V \times Q_m}{C_l \times K_f}$$

Donde,

$C_b$ : es el factor de anchura de la banda (kg/s)

$V$ : es la velocidad de avance de la banda (m/s)

$Q_m$ : es la capacidad de transporte en masa de la banda (t/h)

$C_l$ : es el factor de longitud de la banda ( $m^{-1}$ )

$K_f$ : es el factor de servicio (-)

Para realizar el cálculo se necesita ( $C_b$ ) el factor de anchura de la banda, el ( $C_l$ ) el factor de longitud de la banda y el  $K_f$  factor de servicio, que se obtiene de los siguientes cuadros:

$$C_b = 67 \text{ kg/s}$$

**Tabla 4:** Factor de Ancho de banda de la Faja Transportadora

Factor de ancho de la banda ( $C_b$ )								
Ancho de banda (mm)								
Peso específico $\gamma$ ( $t/m^3$ )	300	400	500	650	800	1000	1200	1400
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414

Fuente: Adaptado de Ingemecanica

De acuerdo a la tabla mostrada, el ancho de banda propuesta es de 500mm por lo que el peso específico de los plásticos es  $0.93 \leq 1$ , por lo que se selecciona el valor de 67.

$$C_b = 67 \text{ kg/s}$$

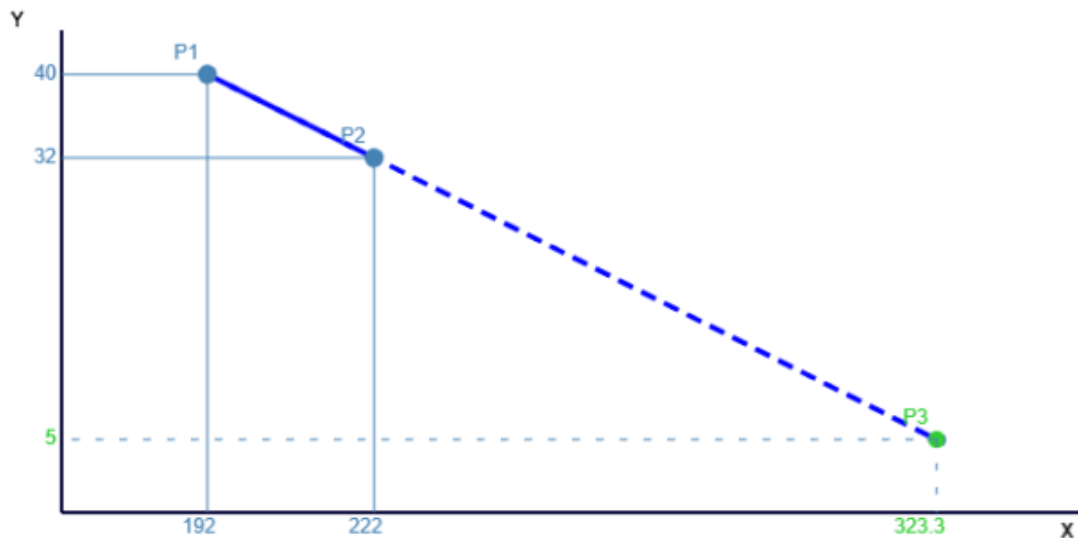
Prosiguiendo con los cálculos se muestra la siguiente tabla N° 5.

**Tabla 5:** Factor de longitud de la banda transportadora

Factor de longitud de la banda, $C_l$											
Longitud de	32	40	50	63	80	90	100	150	200	250	300
$C_l$	222	192	167	145	119	109	103	77	63	53	47

Fuente: Adaptado de Ingemecanica

Ahora de acuerdo a la siguiente tabla mostrada, se conoce que la longitud de la faja transportadora es de 5m, por lo que en la tabla no se encuentra con ese valor así que se procede a extrapolar el valor:



**Figura 48:** Extrapolación de datos

Elaborado por el equipo de trabajo

$$X_3 = X_1 + (Y_3 - Y_1) \cdot (X_2 - X_1) / (Y_2 - Y_1) = 192 + (5 - 40) \cdot (222 - 192) / (32 - 40) = 323.25$$

$$X_3 = 323.25$$

Entonces ya se tiene el valor de  $C_l = 323.25$

Ahora se muestra otra tabla en el cual se seleccionara el factor de servicio ( $K_f$ ):

**Tabla 6:** Factor de servicio  $K_f$

Factor de servicio, $K_f$	
Condiciones de trabajo	$K_f$
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad	0,74 - 0,87
Temperaturas extremadamente bajas	0,57

Fuente: Adaptado de Ingemecanica

Donde las condiciones de trabajo se seleccionara Normal, condiciones estándar que nos da el valor de 1.

$$K_f = 1$$

Una vez seleccionado los parametros, se procede a reemplazar y calcular la Potencia de Accionamiento de la cinta sin peso del material triturado:

$$P_1 = \frac{67 \times 0.4 + 33.21}{323.25 \times 1}$$

$$P_1 = 0.19 \text{ Kw}$$

Seguidamente, se procede a realizar el cálculo de la potencia necesaria para elevar la faja a la altura máxima del sistema.

$$P_2 = \frac{H \times Q_m}{367}$$

En donde,

H: es la altura que alcanza la banda transportadora.

La altura (H) que alcanza el extremo de la cinta se calcula a partir de la longitud (L) de la faja y su inclinación ( $\varphi$ ) mediante la expresión siguiente:



$$H = L \cdot \text{sen}(\varphi)$$

$$H = 5 \times \text{sen}(20)$$

$$H = 1.71\text{m}$$

Reemplazando,

$$P_2 = \frac{1.71 \times 33.21}{367}$$

$$P_2 = 0.15 \text{ Kw}$$

Ahora, se procede a realizar el cálculo de la potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares, dispositivos de limpieza y guías.

$$P_3 = P_a + P_b + P_c$$

Donde,

$P_a$ : es la potencia debida a los trippers (kW)

$P_b$ : es la potencia debida a los dispositivos de limpieza (kW)

$P_c$ : es la potencia debida a las guías y faldones instalados (kW)

A continuación, se muestra una tabla donde se estima la potencia consumida por cada una de los elementos auxiliares que se acople a la faja transportadora, en función de la velocidad y anchura de la faja transportadora:

**Tabla 7:** Potencias adicionales de equipos auxiliares de la faja transportadora

<b>Potencias adicionales de equipos auxiliares</b>		
	<b>Ancho de banda (m)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Trippers, Pa</b>	$\leq 500$	$0,8 \cdot v$
	$\leq 1000$	$1,5 \cdot v$
	$> 1000$	$2,3 \cdot v$
<b>Dispositivos de limpieza, Pb</b>	<b>Tipo de contacto / presión</b>	
	Contacto simple	$0,3 \cdot B \cdot v$
	Contacto elevado	$1,5 \cdot B \cdot v$
<b>Guías de carga, Pc</b>	<b>Longitud Lf (m)</b>	
	Desde punto de carga	$0,16 \cdot v \cdot Lf$

Fuente: Adaptado de Ingemecanica

Donde,

B: es el ancho de banda de la cinta (m)

V: es la velocidad de avance de la banda (m/s)

Lf: es la longitud de la guía o faldones (m)

Se procede a seleccionar las potencias adicionales de los equipos auxiliares.

En primer lugar, La faja transportadora no cuenta con trippers, por lo que (Pa) resulta 0.

$$Pa = 0$$

En segundo lugar, La faja cuenta con dispositivos de limpieza de contacto simple y la formula muestra lo siguiente:

$$Pb = 0.3 \times B \times V$$

Reemplazando,

$$Pb = 0.3 \times 0.44 \times 0.4$$

$$Pb = 0.05 \text{ Kw}$$





En tercer lugar, las guías son desde el punto de carga por lo que se procede a calcular la siguiente formula:

$$P_c = 0.16 \times V \times L_f$$

$$P_c = 0.16 \times 0.4 \times 3.75$$

$$P_c = 0.24 \text{ Kw}$$

Ahora se reemplaza para obtener el  $P_3$

$$P_3 = P_a + P_b + P_c$$

$$P_3 = 0 + 0.05 + 0.24$$

$$P_3 = 0.29 \text{ Kw}$$

Una vez calculado todos los parámetros, se procede a calcular la Potencia total de la Faja transportadora.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_t = 0.19 + 0.15 + 0.29$$

$$P_t = 0.63 \text{ Kw}$$

La potencia ( $P_t$ ) calculada es la que proporciona el accionamiento del tambor motriz a la cinta.

Continuando se procede a calcular la potencia requerida por el motor (PM) para el accionamiento del tambor motriz de la cinta, en donde se muestra la siguiente expresión:

$$P_M = \frac{P_t}{\eta}$$

donde,



$P_M$ : es la potencia consumida por el motor eléctrico (kW)

$\eta$ : es el rendimiento total que tiene en cuenta tanto el rendimiento del motor como de la caja reductora.

Para el cálculo del rendimiento total ( $\eta$ ), éste se realiza a partir de los rendimientos del motor eléctrico y de la caja reductora, mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \eta_m \times \eta_r$$

donde,

$\eta_m$  : es el rendimiento del motor eléctrico

$\eta_r$  : es el rendimiento de la caja reductora

Se dispone a proponer lo siguiente:

$$\eta_m = 0.90$$

$$\eta_r = 0.96$$

Reemplazando,

$$\eta = 0.90 \times 0.96$$

$$\eta = 0.86$$

Continuando, se calcula la potencia consumida por el motor eléctrico:

$$P_M = \frac{0.63}{0.86}$$

$$P_M = 0.73 \text{ Kw}$$

Una vez obtenido el valor de la potencia consumida del motor eléctrico, seleccionamos un valor comercial de motores eléctricos, por lo que se determinaría lo siguiente:



$$P_{M(\text{comercial})} = 0.75 \text{ Kw}$$

### Cálculo del Diámetro del Tambor Motriz

En este punto, se procede a calcular el diámetro mínimo del tambor motriz con la siguiente fórmula:

$$D_{Tmin} = \frac{36 \times Ft}{p \cdot \pi \cdot \alpha^\circ \cdot B}$$

Donde,

$F_t$ : es la fuerza tangencial en el régimen de giro estacionario (N)

$\alpha^\circ$ : es el ángulo de contacto entre banda y tambor (expresado en grados, °)

$B$ : es el ancho de banda de la cinta (m)

$p$ : es la capacidad de transmisión tambor/banda. Este parámetro suele estar comprendido entre 1600 - 2000 kg/m<sup>2</sup>

Ahora, se dispone a calcular los siguientes parámetros:

$$F_t = \frac{Pt \times 1000}{v}$$

Calculando,

$$F_t = \frac{061 \times 1000}{0.4}$$

$$F_t = 1525 \text{ N}$$

Seguidamente se selecciona los siguientes valores:

El ángulo de contacto entre banda y tambor  $\alpha^\circ = 180^\circ$

La capacidad de transmisión tambor/banda se seleccionará  $p = 1600 \text{ kg/m}^2$

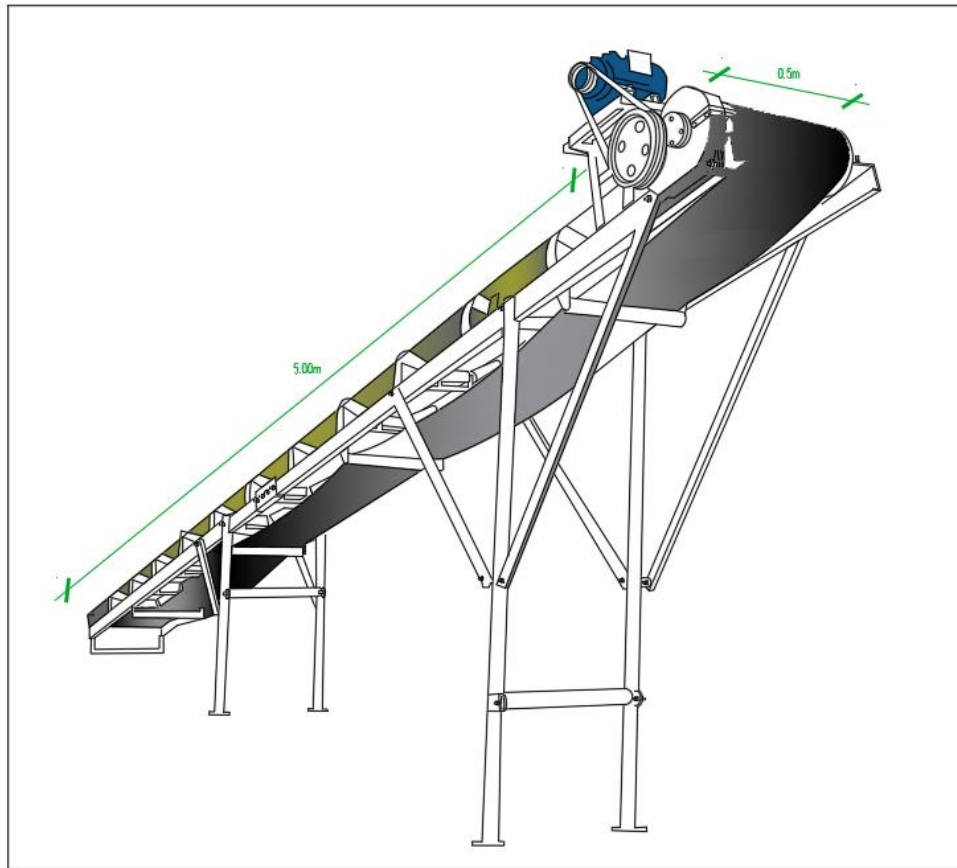
Reemplazando,

$$D_{Tmin} = \frac{36 \times 1525}{1600 \cdot \pi \cdot 180 \cdot 0.50}$$

$$D_{Tmin} = 0.121 \text{ m}$$

Por lo que se selecciona un diámetro de tambores normalizados según la norma DIN-22101, dando el siguiente resultado:

$$D_T = 0.200\text{m} = 200 \text{ mm}$$



**Figura 49:** Diseño de la Faja transportadora

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.7 Selección del Tanque de Lavado en Frio

Una vez transportado los plásticos triturados mediante la faja transportadora, se procede a lavar los plásticos por lo que se selecciona el tipo y el dimensionamiento del tanque.



De los diferentes tipos de tanques de lavado, se seleccionó el tanque de lavado en frío, ya que este elemento requiere menos energía y es acorde a la cantidad menor de plásticos reciclados que se procesa. Otro factor importante es que el tanque de lavado en frío permite trabajar con diferentes tipos de plásticos.

Para trabajar una cantidad total de 269 Kg/h de plásticos entre el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP) se propone las siguientes dimensiones y características del tanque de lavado:

Largo: 4.5m

Ancho: 1.2m

Profundidad: 1.2m

Espesor: 1.5mm

Material del tanque: Acero inoxidable

Material de tambores y material de extracción: Acero inoxidable

Ahora respecto al diseño de los elementos del tanque de lavado, como las paletas rotatorias, el motor eléctrico, se procedió a seleccionar de manera más práctica de acuerdo a la capacidad de lavado, al contar con flujo de 269 Kg/h de plásticos, se procedió a seleccionar un tanque de lavado y sus elementos de acuerdo al mercado.

En la siguiente imagen se muestra las características técnicas de diseño del tanque de lavado en frío y sus accesorios.



**Figura 50:** Tanque de lavado seleccionado

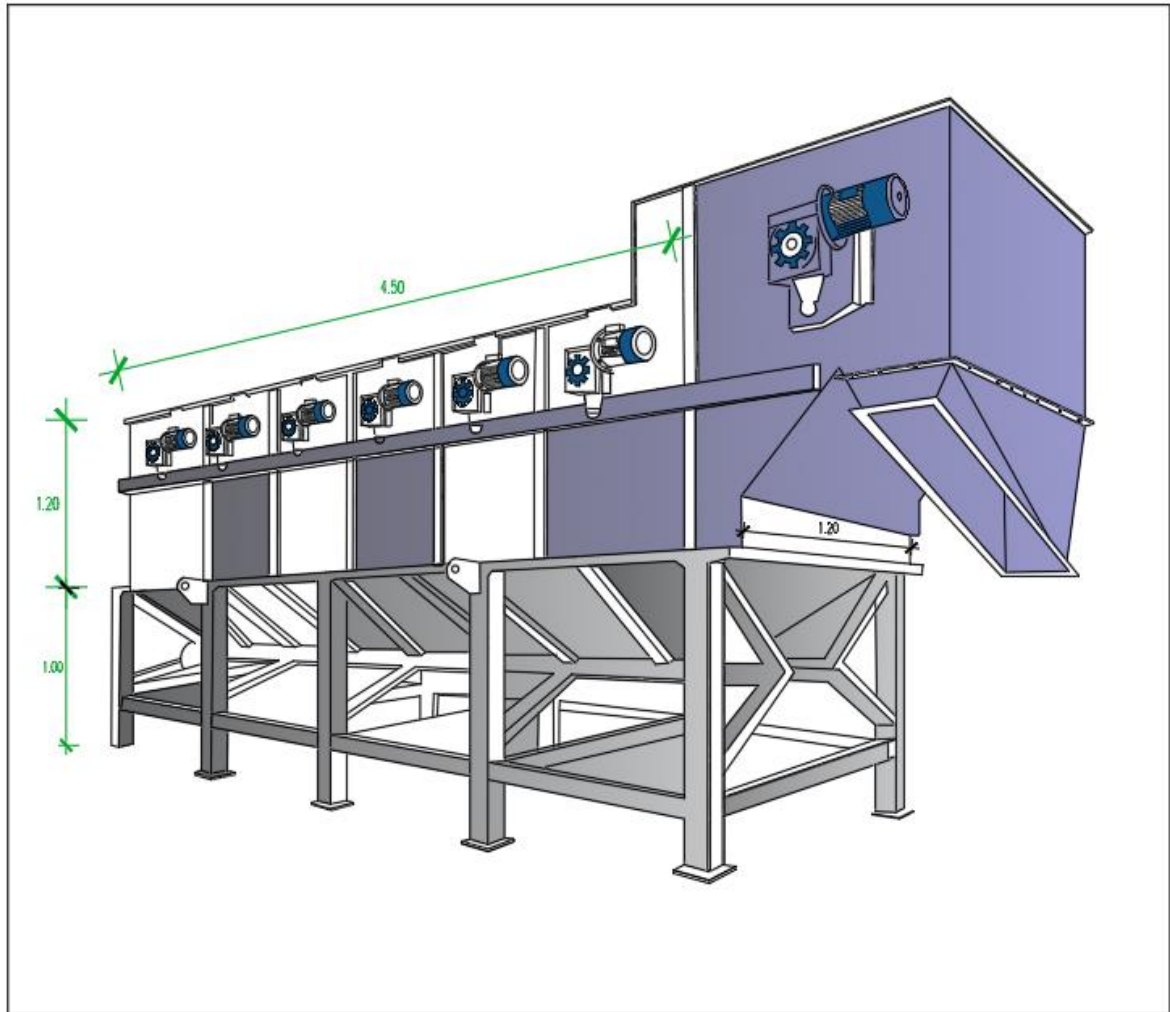
Fuente: Hebei Fangtai Plastic Machinery Manufacturing Co., Ltd.

Se eligió un tanque de lavado a una capacidad mayor de 269 Kg/h, por un factor de seguridad para el buen funcionamiento de la misma.

Capacidad de trabajo del tanque de lavado seleccionado = 300 Kg/h

Potencia requerida del tanque de lavado = 3.75 Kw

Para realizar el proceso de lavado se utiliza el lavado químico en frío, al contar un volumen de 6.48 m<sup>3</sup> se emplea de manera proporcional 6000 litros de agua, detergente industrial y sosa diluida en proporción de 50/50.



**Figura 51:** Diseño del Tanque de lavado en frio

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.8 Diseño y Calculo de la Máquina Transportadora Helicoidal Sin Fin

En esta etapa se procede a transportar los plasticos lavados por medio de una maquina transportadora helicoidal sin fin, hasta llegar a la siguiente etapa centrifugado de enjuague, por lo que se selecciona la maquina en base a los siguientes parametros:

- Material de plasticos lavados a transportar: 269 Kg/h
- Tipos de material a transportar: Polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP)
- Densidad de los materiales a transportar: 930 Kg/m<sup>3</sup>
- Longitud a transportar: 5m

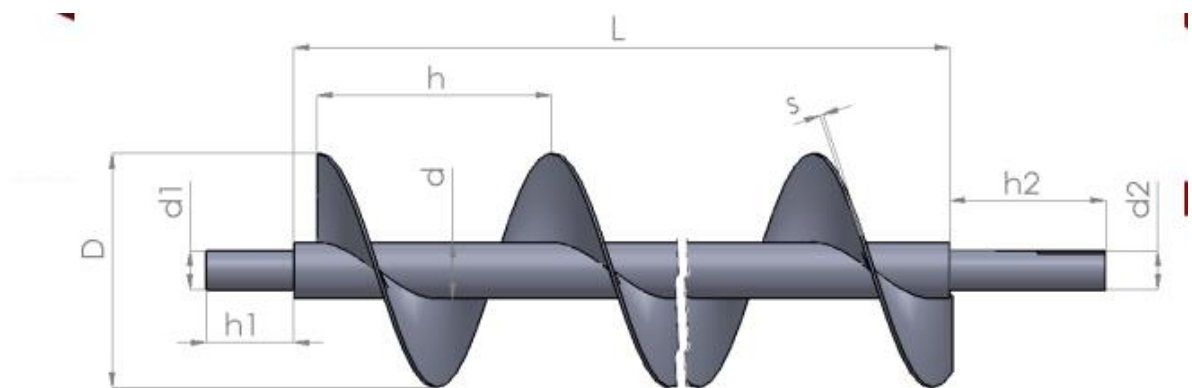
Una vez conocido con los valores a trabajar se procede a seleccionar el tipo de la maquinaria y sus características técnicas:

Se seleccionó la transportadora helicoidal Inclínada de un eje, ya que es dinámico a los materiales a procesar y pueden ser utilizados en diferentes ángulos de inclinación, son compactos y adaptables a espacios confinados.

Ahora se procede a realizar los cálculos para diseñar la maquina transportadora helicoidal sin fin:

Donde los valores a calcular son:

- Diámetro exterior del tornillo helicoidal
- Diámetro de la estructura tubular
- Diámetro interior del tornillo helicoidal
- Carga permisible
- Velocidad del tornillo helicoidal
- Potencia requerida del motor eléctrico



**Figura 52:** Partes del tornillo helicoidal sin fin

Elaborado por el equipo de trabajo





Donde:

D: diámetro exterior del tornillo helicoidal

d: diámetro interior del tornillo helicoidal

L: Longitud del tornillo helicoidal

P: Paso

### **Artesa tubular solida**

Primero se prosigue a calcular la capacidad Equivalente:

$$C(\text{equiv}) = C(\text{req}) \times (\text{CF1}) \times (\text{CF2}) \times (\text{CF3})$$

Donde:

CF1: es Paso equivalente estándar = 1

CF2: No se utilizó ningún tipo de transportador helicoidal especial por lo que resulta = 1

CF3: No se utilizará paletas mezcladoras por lo que resulta 1

$$C(\text{req}) = \frac{\text{Capacidad requerida masica}}{\text{Densidad aparente}}$$

$$C(\text{req}) = \frac{269 \text{ Kg/h}}{930 \text{ Kg/m}^3} = 0.29 \text{ m}^3/\text{h}$$

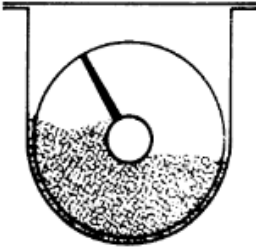
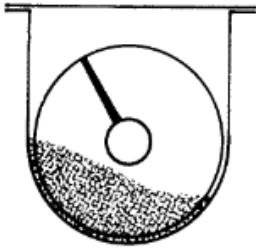
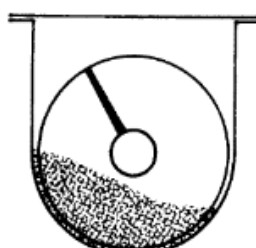
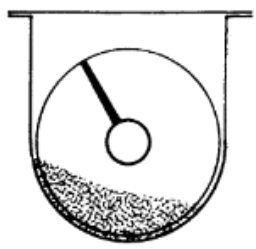
$$C(\text{req}) = 10.24 \text{ pie}^3/\text{h}$$

Reemplazando,

$$C(\text{equiv}) = 10.24 \text{ pie}^3/\text{h} \times 1 \times 1 \times 1$$

$$C(\text{equiv}) = 10.24 \text{ pie}^3/\text{h}$$

Con el valor obtenido de la capacidad equivalente se selecciona de acuerdo a la siguiente imagen No 53.

Carga de Artesa	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM	
		A 1 RPM	A Máx. RPM		
<b>45%</b>		4	0.62	114	184
	6	2.23	368	165	
	9	8.20	1270	155	
	10	11.40	1710	150	
	12	19.40	2820	145	
	14	31.20	4370	140	
	16	46.70	6060	130	
	18	67.60	8120	120	
	20	93.70	10300	110	
	24	164.00	16400	100	
	30	323.00	29070	90	
<b>30% A</b>		4	0.41	53	130
	6	1.49	180	120	
	9	5.45	545	100	
	10	7.57	720	95	
	12	12.90	1160	90	
	14	20.80	1770	85	
	16	31.20	2500	80	
	18	45.00	3380	75	
	20	62.80	4370	70	
	24	109.00	7100	65	
	30	216.00	12960	60	
36	368.80	18400	50		
<b>30% B</b>		4	0.41	29	72
	6	1.49	90	60	
	9	5.45	300	55	
	10	7.60	418	55	
	12	12.90	645	50	
	14	20.80	1040	50	
	16	31.20	1400	45	
	18	45.00	2025	45	
	20	62.80	2500	40	
	24	109.00	4360	40	
	30	216.00	7560	35	
36	368.80	11064	30		
<b>15%</b>		4	0.21	15	72
	6	0.75	45	60	
	9	2.72	150	55	
	10	3.80	210	55	
	12	6.40	325	50	
	14	10.40	520	50	
	16	15.60	700	45	
	18	22.50	1010	45	
	20	31.20	1250	40	
	24	54.60	2180	40	
	30	108.00	3780	35	
36	184.40	5537	30		

**Figura 53:** Tabla de diámetros helicoidales de acuerdo a la carga de artesa

Fuente: Manual de proceso de materiales

Según la siguiente tabla mostrada obtenemos los siguientes valores:

Carga de Artesa: 30%B

Capacidad  $pie^3/h$ , a 1rpm: 1.49

Capacidad  $pie^3/h$ , a un Max de rpm: 60

Diámetro exterior del tornillo helicoidal: 6 pulg.

Con estos valores obtenidos se procede a obtener el valor del diámetro interior del tornillo helicoidal y los siguientes valores de la siguiente tabla No 8.

**Tabla 8:** Diámetros de los tornillos helicoidales

Diámetro del Helicoidal y Paso	Diámetro de Ejes	Designación de Tamaño	Tamaño de Tubo Cédula 40	Longitud, Pies y Pulgadas	A		B		C		D		F	G	H
					Tolerancia en Diámetro		Espesor		Tolerancia en Paso		Diámetro Interno del Buje				
					Más	Menos	Orilla Interior	Orilla Exterior	Más	Menos	Mínimo	Máximo			
4	1	4H206	1 1/4	9 – 10 1/2	1/16	1/8	3/16	3/32	1/2	1/4	1.005	1.016	1/2	2	13/32
6	1 1/2	6H304	2	9 – 10	1/16	3/16	1/8	1/16	1/2	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
6	1 1/2	6H308	2	9 – 10	1/16	3/16	1/4	1/8	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
6	1 1/2	6H312	2	9 – 10	1/16	3/16	3/8	3/16	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
9	1 1/2	9H306	2	9 – 10	1/16	3/16	3/16	3/32	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
9	1 1/2	9H312	2	9 – 10	1/16	3/16	3/8	3/16	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
9	2	9H406	2 1/2	9 – 10	1/16	3/16	3/16	3/32	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
9	2	9H412	2 1/2	9 – 10	1/16	1/4	3/8	3/16	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
9	2	9H414	2 1/2	9 – 10	1/16	1/4	7/16	7/32	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
10	1 1/2	10H306	2	9 – 10	1/16	3/16	3/16	3/32	3/4	1/4	1.505	1.516	7/8	3	17/32
10	2	10H412	2 1/2	9 – 10	1/16	1/4	3/8	3/16	3/4	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
12	2	12H408	2 1/2	11 – 10	1/8	5/16	1/4	1/8	1	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
12	2	12H412	2 1/2	11 – 10	1/8	5/16	3/8	3/16	1	1/4	2.005	2.016	7/8	3	21/32
12	2 7/16	12H508	3	11 – 9	1/8	5/16	1/4	1/8	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
12	2 7/16	12H512	3	11 – 9	1/8	5/16	3/8	3/16	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
12	3	12H614	3 1/2	11 – 9	1/8	3/8	7/16	7/32	1	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
14	2 7/16	14H508	3	11 – 9	1/8	5/16	1/4	1/8	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
14	3	14H614	3 1/2	11 – 9	1/8	3/8	7/16	7/32	1	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
16	3	16H610	3 1/2	11 – 9	1/8	3/8	5/16	5/32	1 1/2	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
16	3	16H614	4	11 – 9	1/8	3/8	7/16	7/32	1 1/2	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32

NOTA: Todas las dimensiones están en pulgadas.

Fuente: Manual de proceso de materiales

De la tabla mostrada se obtiene el valor de:

Diámetro interior del tornillo helicoidal = 1 ½ pulg.

Ahora se procede a calcular la velocidad helicoidal:

$$N_a = \frac{C(equi)}{Rpm(min)} = \frac{10.24 pie^3/h}{1.43 pie^3/h} = 7.16 rpm$$

Ahora se procede a calcular la potencia requerida de transportador helicoidal sin fin

Primero se calcula la Potencia en vacío:

$$HPf = \frac{L \times N \times Fd \times Fb}{1\ 000\ 000} = HP$$



Donde:

Longitud = 5m  $\approx$  16.40 ft

Velocidad de giro  $N_a = 7.16$ rpm

Factor de diámetro  $F_d = 18$  según la tabla de la figura No 32.

Factor de buje  $F_b = 4.4$  según la tabla de la figura No 33.

Reemplazando,

$$HPf = \frac{16.40 \times 7.16 \times 18 \times 4.4}{1\,000\,000}$$

$$HPf = 0.0093 \text{ HP}$$

Segundo se Calcula la potencia de desplazamiento del transportador

$$HPm = \frac{C \times L \times W \times F_f \times F_m \times F_p}{1\,000\,000}$$

Donde:

Longitud = 5m  $\approx$  16.40 ft

Factor del Helicoidal  $F_f = 1$  estándar

Factor de Material del plástico  $F_m = 1.5$

Factor de Paleta  $F_p = 1$  estándar

Densidad aparente  $W = 58$  lb/pie<sup>3</sup>

Capacidad equivalente  $C = 10.24$  pie<sup>3</sup>/h

Reemplazando,

$$HPm = \frac{10.24 \times 16.40 \times 58 \times 1 \times 1.5 \times 1}{1\,000\,000}$$



$$HP_m = 0.014 \text{ HP}$$

Tercero se calcula la Potencia del transportador inclinado:

$$Hi = \frac{Q \times H}{367} = \text{kw}$$

Donde,

Q: Flujo del material transportado

H: Altura

$$Hi = \frac{0.93 \times 2}{367} = 0.005 \text{ Kw} = 0.0067 \text{ HP}$$

Ahora calculamos el factor de sobrecarga:

Según la tabla la figura No 34, se obtiene un valor de:

$$F_0 = 20$$

Finalmente se calcula la potencia total.

$$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m + Hi) \times F_0}{e}$$

Donde:

e: es el factor de la Eficiencia de la transmisión; en este caso se selecciona una transmisión de cadena.

$$e = 0.87$$

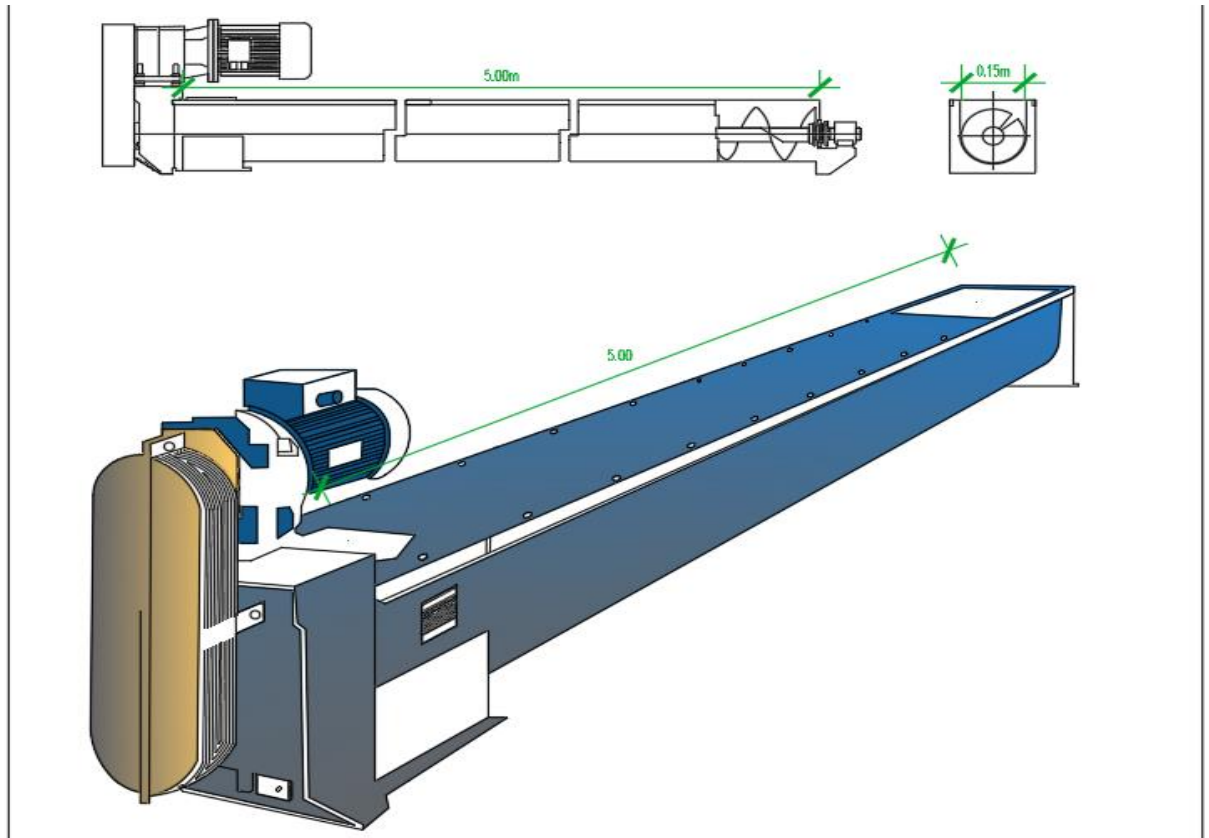
Reemplazando,

$$HP_{total} = \frac{(0.0093 + 0.014 + 0.0067) \times 20}{0.87}$$

$$HP_{total} = 0.68 \text{ HP}$$

Para este valor obtenido se Selecciona un motor comercial, dándonos a:

$$HP_{total} = 0.75 \text{ HP}$$



**Figura 54:** Diseño del transportador Helicoidal sin fin

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.9 Selección de la Máquina Centrifugadora de Enjuague

En esta etapa del proceso de fabricación de las tablas de madera plástica, los plásticos lavados llegan a la máquina de centrifugado para ser enjuagados, por lo que se selecciona la siguiente máquina de acuerdo a los valores obtenidos anteriormente.

Flujo de material a centrifugar: 269 Kg/h

Tipo de material a centrifugar: Polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP)

Densidad del material a centrifugar: 930 Kg/m<sup>3</sup>

Considerando estos valores se selecciona un maquina centrifugadora de enjuague con una capacidad similar o superior de acuerdo al mercado con las siguientes características técnicas:

Se selecciono una maquina Centrifugadora de enjuague y secado de los plasticos modelo SC de la empresa DOMENECH Machinery&System, con una capacidad de 300 Kg/h, ya que es el valor comercial que se utiliza, con una potencia requerida de 15Kw = 20HP, por lo que se afirma que trabajara con un factor de seguridad de 0.9.



**Figura 55:** Selección de la maquina Centrifugadora de enjuague y secado

Fuente: Hebei Fangtai Plastic Machinery Manufacturing Co., Ltd

Una vez realizado el proceso de centrifugado de enjuague y el secado de los plasticos, se transporta por medio de una maquina transportadora helicoidal sin fin hasta la extrusora de plasticos. Como anteriormente ya se realizo el calculo de la maquina transportadora y no se vario la cantidad de plasticos, se utiliza los mismos valores para el diseño y selección de esta maquinaria en esta etapa del proceso de la fabricacion de la madera plastica, por lo que secontinua con el siguiente proceso.

#### 4.1.10 Selección de la Máquina Extrusora de Doble Husillo

En esta etapa del proceso de fabricación de las tablas de madera plástica, los plásticos secados llegan a la máquina extrusora para el proceso de extrusión, por lo cual se selecciona la siguiente máquina de acuerdo a los valores obtenidos anteriormente.

Flujo de material a extruir: 269 Kg/h

Tipo de material a extruir: Polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP)

Densidad del material a extruir: 930 Kg/m<sup>3</sup>

Teniendo estos valores como base se selecciono a la máquina extrusora de husillo doble para que el proceso se desarrolle de manera más eficiente y óptima, ya que al contar con dos tipos de plásticos, se necesita que la extrusora trabaje con diferentes densidades, como también para una mezcla completa y uniforme con una fuerte capacidad de fusión entre ambos tipos de plásticos, lo que es ideal la máquina extrusora de husillo doble.

Una vez seleccionado el tipo de máquina extrusora, se procede a elegir la potencia requerida comercial en base a los 269 Kg/h de plásticos a procesar, por lo que nos da un máquina extrusora de doble husillo modelo TDY65 de 90 Kw con una capacidad de trabajo de 200-350 Kg/h, donde trabaja con un factor de seguridad de 0.8.



**Figura 56:** Máquina extrusora de husillo doble

Fuente: USEON



Modelo	Diámetro (mm)	máx. Velocidad (rpm)	Motor (kW)	Par específico (Nm/cm <sup>3</sup> )	Salida (kg/h)
TDY40	41	600	30	5.8	70-120
TDY52	51.4	600	55	5.5	130-220
TDY65	62.4	600	90	5.1	200-350
TDY75	71	600	132	4.9	400-600
TDY95	93	600	315	5.3	700-1000
TDY110	108	400	355	5.5	900-1200

**Figura 57:** Características técnicas de las maquinas extrusoras de husillo doble

Fuente: USEON

#### 4.1.11 Diseño del Perfil de Moldeo y Enfriado de Madera Plástica

En esta etapa final del proceso, después del proceso de extrusión los plásticos fundidos pasan a la etapa de moldeo por medio de un cabezal de extrusión, perfil rectangular termocupla y sistema de calibración, finalmente llega a la tina de enfriamiento para extraer el material acabado, listo para ser cortado o pulido para su posterior comercialización.

Para realizar el diseño del perfil de moldeo y enfriado se tiene los siguientes valores:

- Flujo de material plastico a moldear: 269 Kg/h
- Tipo de material a moldear: Polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP)
- Densidad del material a moldear: 930 Kg/m<sup>3</sup>

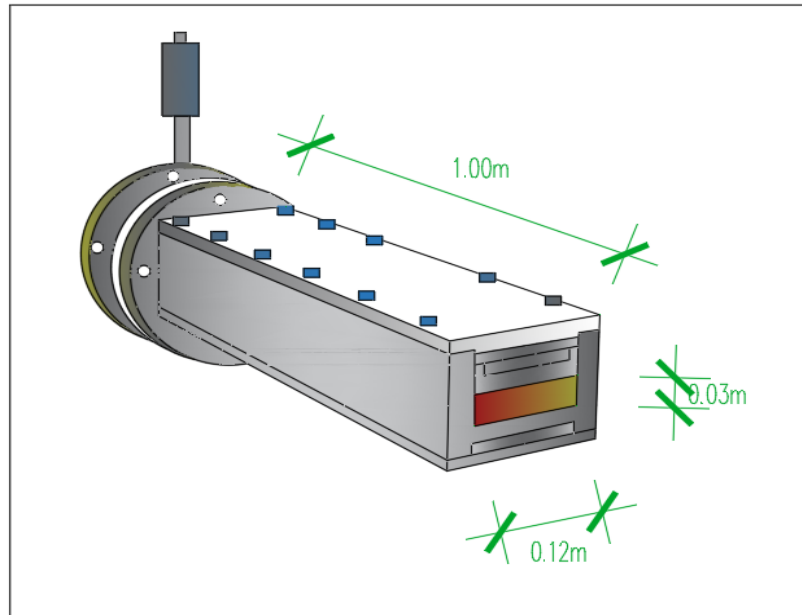
Teniendo estos valores se procede a seleccionar las dimensiones del perfil del moldeo:

Largo del perfil de moldeo: 1m

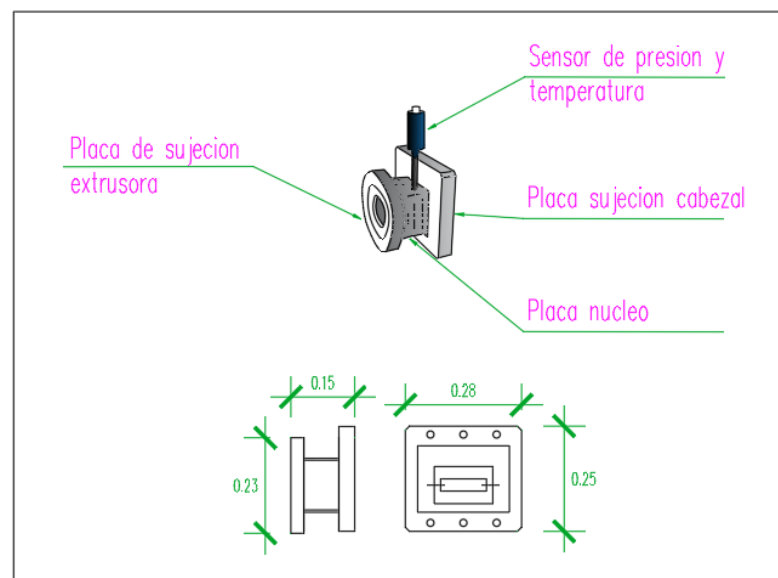
Ancho del perfil de moldeo: 0.28m

Altura del perfil de moldeo: 0.25m

Material del perfil de moldeo: Acero galvanizado



**Figura 58:** Diseño del Perfil de moldeo rectangular termocupla  
Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 59:** Cabezal del perfil de moldeo  
Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez diseñado las dimensiones del perfil de moldeo se diseña las dimensiones de la tina de enfriamiento:

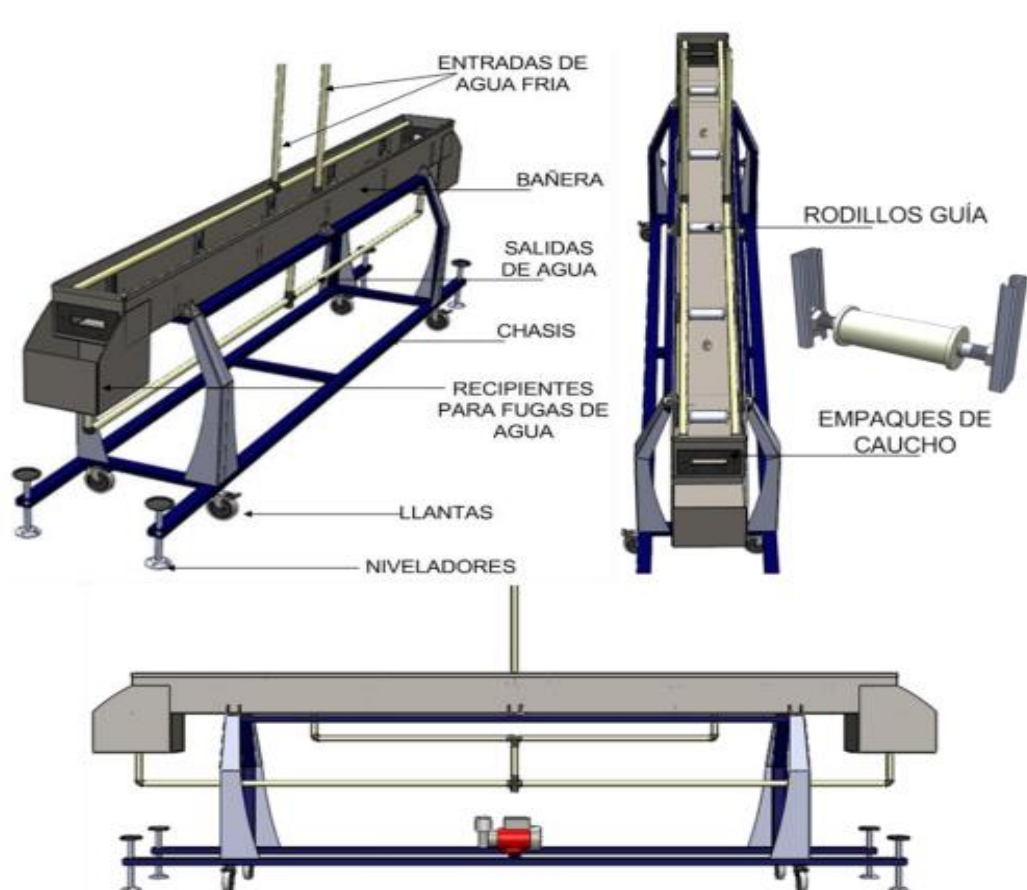
Longitud de la tina de enfriamiento: 3m

Ancho de la tina de enfriamiento: 0.30m

Profundidad de la tina de enfriamiento: 0.40m

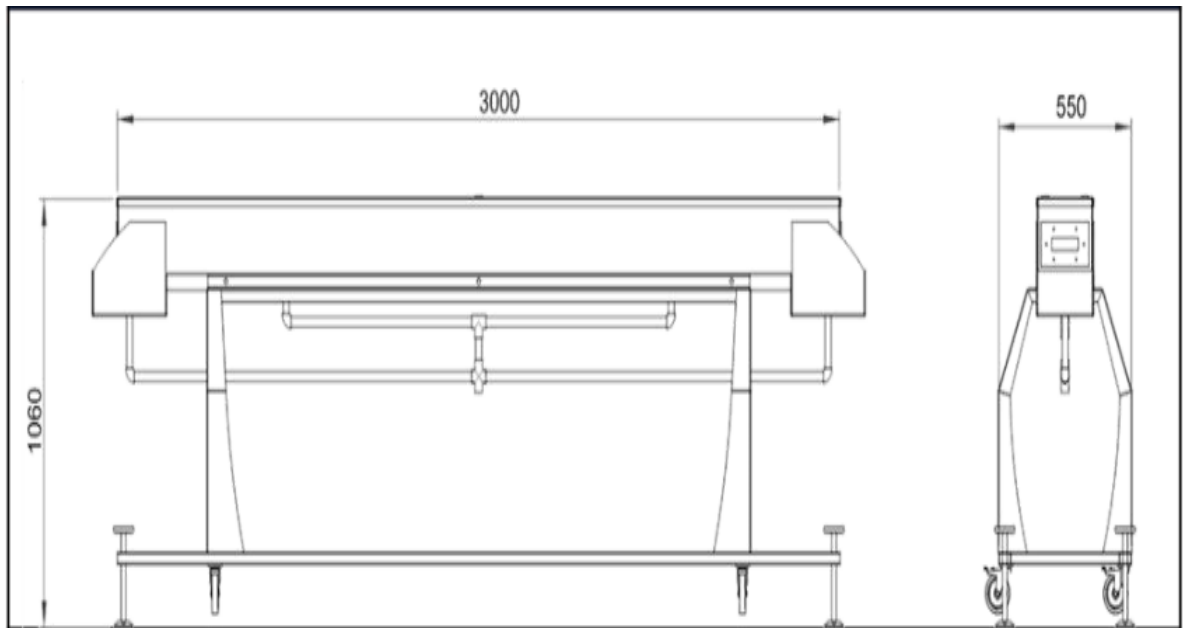
La tina de enfriamiento trabaja a una temperatura de ambiente con el agua como refrigerante y enfriamiento de los perfiles.

Figura N° Diseño de la tina de enfriado del perfil de plástico



**Figura 60:** Diseño de la Tina de enfriamiento

Fuente: Extraído de (Jorge Federico, 2010)



**Figura 61:** Dimensiones de la tina de enfriamiento

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.12 Proceso Final de los Plásticos

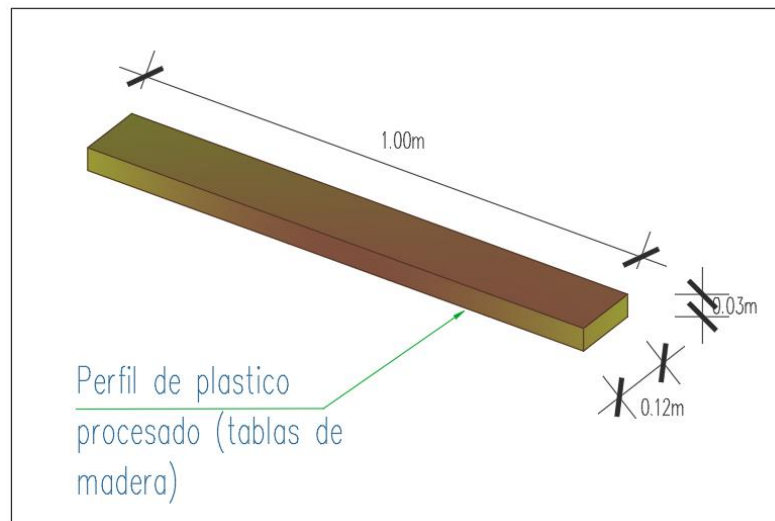
En esta etapa de acabado, se obtiene el plástico procesado a partir de la reutilización de la misma para reemplazar a las tablas de madera, por lo que se muestra el producto final después de haber pasado por todos los procesos.

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones y la cantidad de perfiles de madera plástica que se producen en la planta.

**Tabla 9:** Cantidad de tablas fabricadas en la planta

<b>Cantidad de Tablas de madera a partir de los plásticos reciclados (HDPE, PP)</b>	
Dimensiones (cm)	100 x 12 x 3
Peso total del perfil de plástico (Kg)	2.4
Desperdicio del perfil aprox (Kg)	0.7
Desperdicio del perfil aprox (%)	30%
<b>Cantidad total Producida c/d (und)</b>	<b>76</b>

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 62:** Tabla de madera final a partir del procesado de los plásticos reciclados

Elaborado por el equipo de trabajo

## 4.2 RESUMEN DE RESULTADOS

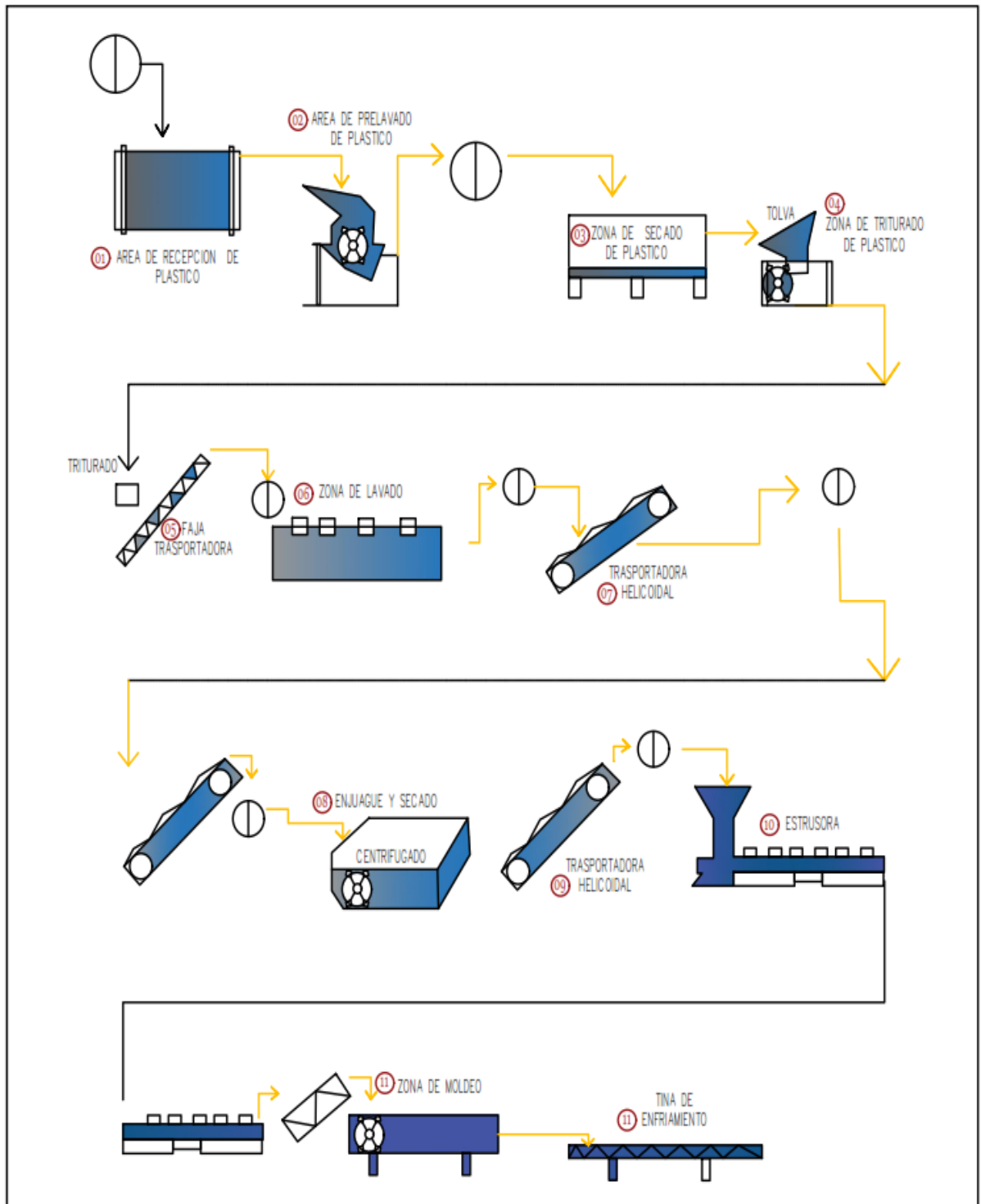
Al culminar este proyecto de investigación, se presenta un resumen sobre las máquinas y mecanismos que se utilizaron en este proceso de fabricación de tablas de madera a partir de la reutilización de los plásticos reciclados: También se presenta la potencia requerida de cada maquinaria y a la vez el costo de compra para obtener una inversión aproximada.



**Tabla 10:** Resumen de las máquinas y mecanismos utilizados en la planta

N°	TIPO DE MAQUINA	CANTIDAD	CAPACIDAD DE TRABAJO (KG/H)	POTENCIA REQUERIDA (KW)	POTENCIA REQUERIDA (HP)	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
01	Tanque de prelavado	1	300 Kg/h	-----	-----	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00
02	Contenedor de secado	1	300 Kg/h	-----	-----	S/ 1,800.00	S/ 1,800.00
03	Trituradora de plasticos de un solo eje	1	200-400 Kg/h	7.5	10	S/ 6,660.00	S/ 6,660.00
04	Faja transportadora en V	1	500 Kg/h	0.75	1	S/ 7,123.00	S/ 7,123.00
05	Tanque de lavado	1	300 Kg/h	3	4	S/ 7,836.00	S/ 7,836.00
06	Transportador Helicoidal sin fin	2	300 Kg/h	0.75	1	S/ 3,561.00	S/ 7,122.00
07	Centrifugadora de enjuague	1	300 Kg/h	15	1	S/ 10,329.00	S/ 10,329.00
08	Extrusora de husillo doble	1	350 Kg/h	90	120	S/ 106,858.00	S/ 106,858.00
09	Perfil de moldeo	1	-----	-----	-----	S/ 3,580.00	S/ 3,580.00
10	tina de enfriamiento	1	-----	-----	-----	S/ 2,700.00	S/ 2,700.00
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>		<b>117</b>	<b>137</b>	<b>S/ 152,447.00</b>	<b>S/ 156,008.00</b>

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 63:** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las tablas de madera a partir de los plásticos reciclados.

Elaborado por el equipo de trabajo



### 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de completar la presente investigación, los resultados revelan que la cantidad de materiales plásticos generados en la ciudad de Puno es mínima. De los siete tipos de plásticos analizados, únicamente el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP) se presentan como opciones viables para la fabricación de las tablas de madera plástica. Ambos tipos de plásticos en conjunto representan una cifra significativa de 1.613,65 kilogramos diarios, lo que equivale al 16,30% del total de plásticos generados en la ciudad.

Para la fabricación de las tablas de madera plástica, se requiere que los plásticos reciclados pasen por un total de 11 procesos especializados. Estos procesos son los siguientes:

1. Proceso De Recepción De Los Plásticos Reciclados.
2. Proceso De Prelavado De Los Plásticos Reciclados
3. Proceso De Secado De Los Plásticos Reciclados
4. Proceso De Triturado De Los Plásticos Reciclados
5. Proceso De Transportado De Los Plásticos Triturados
6. Proceso De Lavado En Frio
7. Proceso De Transportado De Los Plásticos Lavados
8. Proceso De Enjuague Y Secado De Los Plásticos Lavados
9. Proceso De Transportado De Los Plásticos Secos
10. Proceso De Extrusión De Los Plásticos Preparados
11. Proceso De Moldeo y Enfriado Del Plástico Extruido

Para llevar a cabo estos procesos, se utilizaron las siguientes máquinas y mecanismos:

- Tanque de Prelavado de 6.75 m<sup>3</sup>





- Tanque de Secado de 4.5 m<sup>3</sup>
- Trituradora de un solo eje de 7.5 Kw
- Faja transportadora tipo V de 5 m de longitud de 0.75 Kw
- Tanque de lavado en frio de 6.48 m<sup>3</sup> de 3.75 Kw
- Transportador helicoidal con eje de 5 m de longitud de 0.75 Kw
- Centrifugadora de enjuague y secado de 15 Kw
- Extrusora de husillo doble de 90 Kw
- Perfil de moldeo rectangular termocupla de 1.0x0.28x0.25 metros
- Tina de enfriamiento de 0.36 m<sup>3</sup>

Como resultado el conjunto de todas estas máquinas y mecanismos requirió una potencia instalada de 117 Kw, con un costo inicial de S/ 156,008.00 Soles únicamente en máquinas y mecanismos de la planta diseñada.

Después de estos procesos en la planta se logró obtener 76 unidades de tablas de madera diarias con dimensiones de: 100x12x3cm, con un peso aproximado de 2.4 kg cada una.

Los resultados obtenidos determinaron información relevante para la implementación de un sistema eficiente de reciclaje de plásticos en la ciudad de Puno, contribuyendo así a la reducción de residuos y la promoción de prácticas sostenibles en el manejo de materiales plásticos. Además, el desarrollo de la tecnología de tablas de madera plástica a partir de HDPE y PP muestra un camino prometedor hacia la reutilización creativa de plásticos reciclados en aplicaciones como mobiliarios de exterior, cercas, vallas, revestimiento de fachadas, materiales para construcción, juegos infantiles y parques, plataformas marinas, terrazas. Por lo que las tablas de madera son una opción duradera, resistente y respetuosa con el medio ambiente.



## V. CONCLUSIONES

Primero: Se diseña el modelo de una planta de fabricación de tablas de madera plástica en la ciudad de Puno, con una capacidad de recuperación mayor a 269 Kg/h de materiales plásticos reciclados logrando producir 76 unidades de perfiles de madera plástica, por medio de los siguientes procesos como la recepción de los plásticos reciclados, prelavado, secado, triturado, transportado de los plásticos triturados, lavado en frío, transportado de los plásticos lavados, centrifugado y secado, transportado de los plásticos secados, extrusión, moldeo y enfriado de la madera plástica.

Segundo: Se define once procesos fundamentales para la recuperación de los materiales plásticos reciclados, en el cual se utilizó las siguientes máquinas y mecanismos como un tanque de prelavado de 6.75 m<sup>3</sup>, un tanque de secado de 4.5 m<sup>3</sup>, una máquina trituradora de un solo eje con una potencia de 7.5 Kw, una faja transportadora tipo V de 5 metros de longitud con una potencia de 0.75 Kw, un tanque de lavado en frío de 6.48 m<sup>3</sup> con una potencia de 3.75 Kw, una máquina centrifugadora de enjuague y secado con una potencia de 15 Kw, un transportador helicoidal con eje de 5 metros de longitud y una potencia de 0.75 Kw, una máquina extrusora de husillo doble con una potencia de 90 Kw, un perfil de moldeo rectangular termocupla con dimensiones de 1.0x0.28x0.25 metros y una tina de enfriamiento de 0.36 m<sup>3</sup>. En conjunto, todas las máquinas seleccionadas han requerido una potencia instalada de 117 Kw.

Tercero: Se identifica al polietileno de alta densidad (HDPE) y al polipropileno (PP) como materiales viables para la fabricación de tablas de madera plástica, lo que en conjunto representan una cifra significativa y admisible de 1.613,65 kilogramos diarios, lo que equivale al 16,30% del total de plásticos generados en la ciudad de Puno.



## VI. RECOMENDACIONES

Primero: Según la investigación que se realizó, se necesita una mayor cantidad de plásticos reciclados del tipo polietileno de alta densidad (HDPE) y el propileno (PP) que pueden ser transportados desde el botadero municipal de la ciudad de Juliaca para obtener mayor flujo de material a procesar y mayor cantidad de tablas de madera plástica.

Segundo: Respecto al diseño y selección de las máquinas y herramientas de la planta, sería oportuno realizar otra investigación respecto al estudio de mercado para poder viabilizar y ejecutar este proyecto que permitirá un gran avance en el tema industrial en la ciudad de Puno como también en el tema ambiental y de la reutilización del plástico.

Tercero: Para que este proyecto de investigación sea viable y se ejecute en la ciudad de Puno, la Municipalidad tiene que plantear normativas e incentivos en el tema del reciclaje de los plásticos, ya que la planta está diseñada para recibir únicamente plástico tipo polietileno de alta densidad (HDPE) y el propileno (PP) ya reciclado, mas no plástico extraído del relleno sanitario.

Cuarto: Se puede continuar otra investigación complementaria en el diseño de la planta para implementar el proceso de materiales plásticos reciclados como el polietileno de baja densidad (LDPE), el polietileno tereftalato (PET), el policloruro de vinilo (PVC), ya que según la investigación que se realizó, existen una cantidad considerable de estos materiales en el relleno sanitario, lo que resulta muy factible realizar un proceso de reutilización y obtener diferentes productos transformados.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brydson, J. (1999). *Plastics Materials* (7ma Edición). Butterworth-Heinemann.

Capela, C. A. (2010). *Procesamiento de Plásticos y Materiales Compuestos: Comportamiento Mecánico de Componentes en servicio*. [Tesis de Grado, Instituto Politecnico de Leiria]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10400.8/2690>

Cordova, C. M. (2020). *Diseño de una planta de acopio y procesamiento de plástico PET desechado para la fabricación de preformas tipo alaska de 15 gr. en la ciudad de Piura*. Piura: Tesis de Grado, Universidad de Piura. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4622/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_PlantaDeReciclaje.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4622/PYT_Informe_Final_Proyecto_PlantaDeReciclaje.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cultura Científica. (28 de marzo de 2022). Obtenido de <https://culturacientifica.com/2022/03/28/desmitificando-los-plasticos/>

Ecología Verde. (14 de mayo de 2020). Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-plasticos-1732.html>

El Comercio. (29 de octubre de 2019). Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/puno/puno-cuenta-con-primer-relleno-sanitario-certificado-para-80-toneladas-de-basura-al-dia-noticia/?ref=ecr>

El Peruano. (7 de febrero de 2023). *La contaminación Plástica*. (E. Perú, Ed.) Obtenido de <https://www.elperuano.pe/noticia/185496-la-contaminacion-plastica>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (19 de julio de 2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. *Science Advances*. Obtenido de <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>



- Giles, H. F. (2005). *Extrusion The definitive Processing Guide an Handbook*. New york: Eldridge M. Mount, III EMMOUNT Technologies.
- Huaytalla, D. B. (2019). Implementación de un programa de producción más limpia en una planta de reciclaje mecánico de residuos de post-consumo: envase pet-poli(tereftalato de etileno). Lima: (Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11369>
- Inforegion. (22 de noviembre de 2009). Obtenido de <https://www.inforegion.pe/42310/minam-inaugurara-en-pisco-1ra-planta-de-produccion-de-madera-plastica-elaborada-con-material-reciclado/>
- Jara, M. V. (2015). Diseño de una plata piloto para la obtención de granza de madera plástica a partir de polietileno reciclado con partículas lignocelulosicas-aserrin[ Tesis de grado, Escuela Politecnica Nacional-Quito]. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12652>
- John, B. (1999). *Plastic materials (7ma Edicion)*. Butterworth-Heinemann.
- Klyosov, A. (2007). *Wood Plastic Composites*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Klyosov, A. A. (2007). *wood Plastic Composite*. John Wiley & Sons.
- Noticias de la Ciencia y Tecnología. (13 de enero de 2020). La Invención de la Baquelita. Obtenido de <https://noticiasdelaciencia.com/art/36138/la-invencion-de-la-baquelita>
- Pari, E. O. (2017). Planta Ecológica para la selección, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno[Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano ]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6537>



- Prensarte. (16 de agosto de 2014). Obtenido de <https://prensarte.com/2014/08/16/madera-plastica-en-peru-potencial-industria-amigable-con-el-ambiente/>
- Ramirez, D. L. (2020). Análisis de la Composición y propiedades mecánicas de la madera plástica reciclada (WPC). [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Rodriguez, D. F. (2018). Factores que Influencian las Propiedades Mecanicas, fisicas y termicas de materiales compuestos madero plasticos. *Entre Ciencia e Ingenieria*, 12(23).
- Salinero, M. G. (2013). Diseño de una Banda transportadora mediante guide de MATLAB. Madrid: (Tesis de grado, Universidad Carlos III de Madrid). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/29405026.pdf>
- Segerholm, K. (2007). Wood Plastic Composites made [Tesis de Licenciatura en KTH, Royal Institute of Technology Estocolmo, Suecia]. Obtenido de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:12979/FULLTEXT01.pdf>
- Seguros DKV. (29 de junio de 2021). Obtenido de <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>
- Webb, H., Arnott, J., Crawford, R., & Ivanova, E. (2013). Degradación de plásticos y sus implicaciones ambientales con especial referencia al polietileno (tereftalato de etileno). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 5(1).  
doi:<https://doi.org/10.3390/polym5010001>
- Zea, J. J. (2019). Reciclado de plástico PET. Arequipa

## ANEXOS

### ANEXO 1. FOTOGRAFIA DEL RELLENO SANITARIO - PUNO



### ANEXO 2. FOTOGRAFIA DEL RELLENO SANITARIO - PUNO

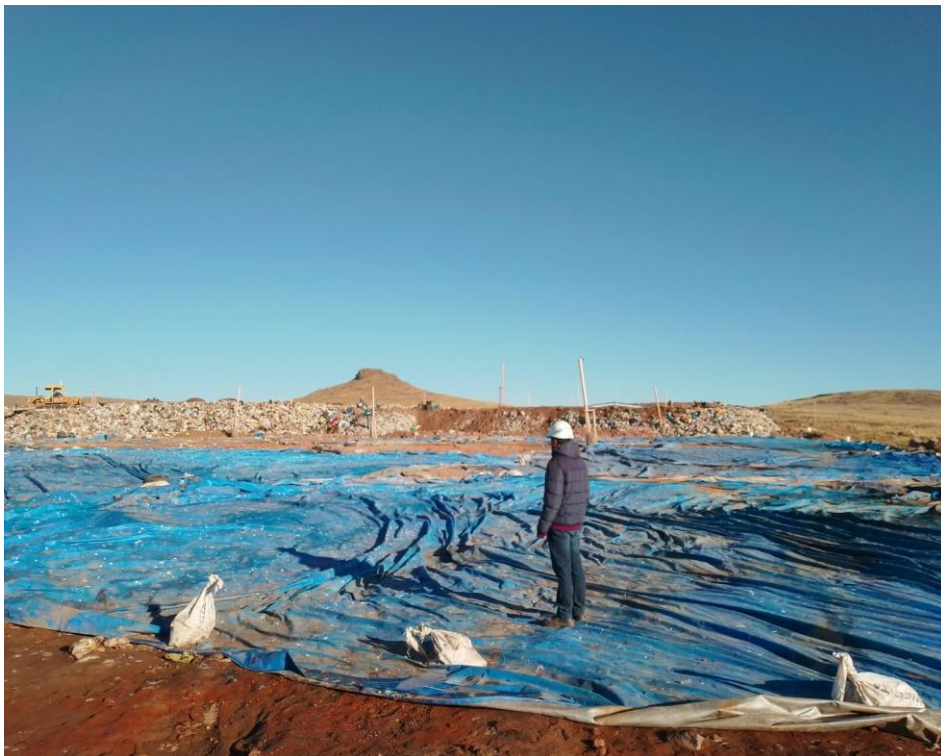




### ANEXO 3. FOTOGRAFIA DEL RELLENO SANITARIO - PUNO



### ANEXO 4. FOTOGRAFIA DEL RELLENO SANITARIO - PUNO





### ANEXO 5. FOTOGRAFIA DEL PESAJE DE LA COMPACTADORA



### ANEXO 6. FOTOGRAFIA DEL VALOR DEL PESAJE DE LA COMPACTADORA



### ANEXO 7. FOTOGRAFIA DE LA PREPARACION PARA LA DISGREGACION DE LOS RESIDUOS PLASTICOS



### ANEXO 8. FOTOGRAFIA DE LA PREPARACION PARA LA DISGREGACION DE LOS RESIDUOS PLASTICOS





### ANEXO 9. FOTOGRAFIA DE LA PREPARACION PARA LA BASE PARA LA DISGREGACION DE LOS RESIDUOS PLASTICOS



### ANEXO 10. FOTOGRAFIA DE LA DISGREGACION DEL PLASTICO TIPO PET



### ANEXO 11. FOTOGRAFIA DE LA DISGREGACION DEL PLASTICO TIPO HDPE



### ANEXO 12. FOTOGRAFIA DE LA DISGREGACION DEL PLASTICO TIPO LDPE





### ANEXO 13. FOTOGRAFIA DE LA DISGREGACION DEL PLASTICO TIPO PP



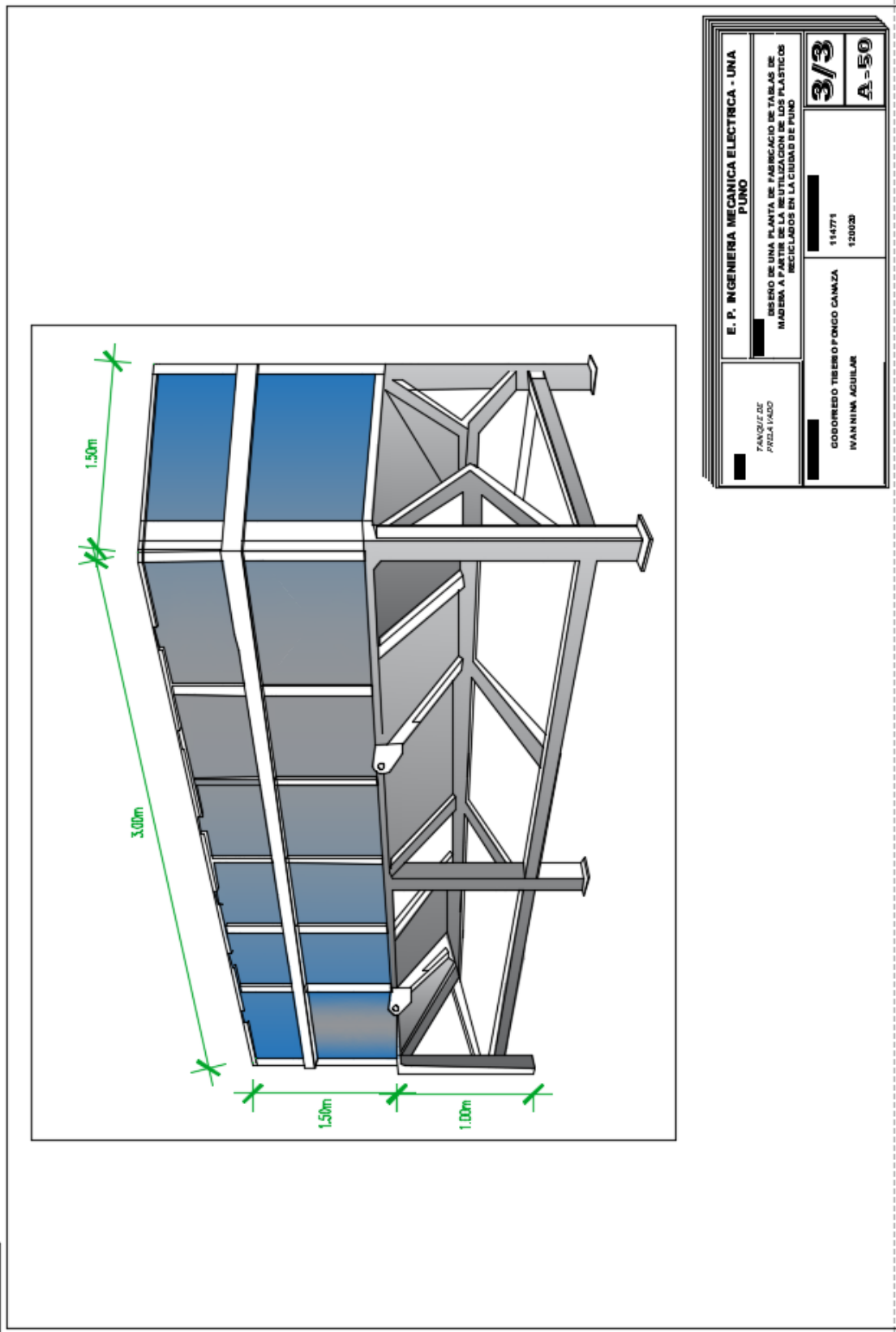
### ANEXO 14. FOTOGRAFIA DE LA DISGREGACION DEL PLASTICO TIPO PS



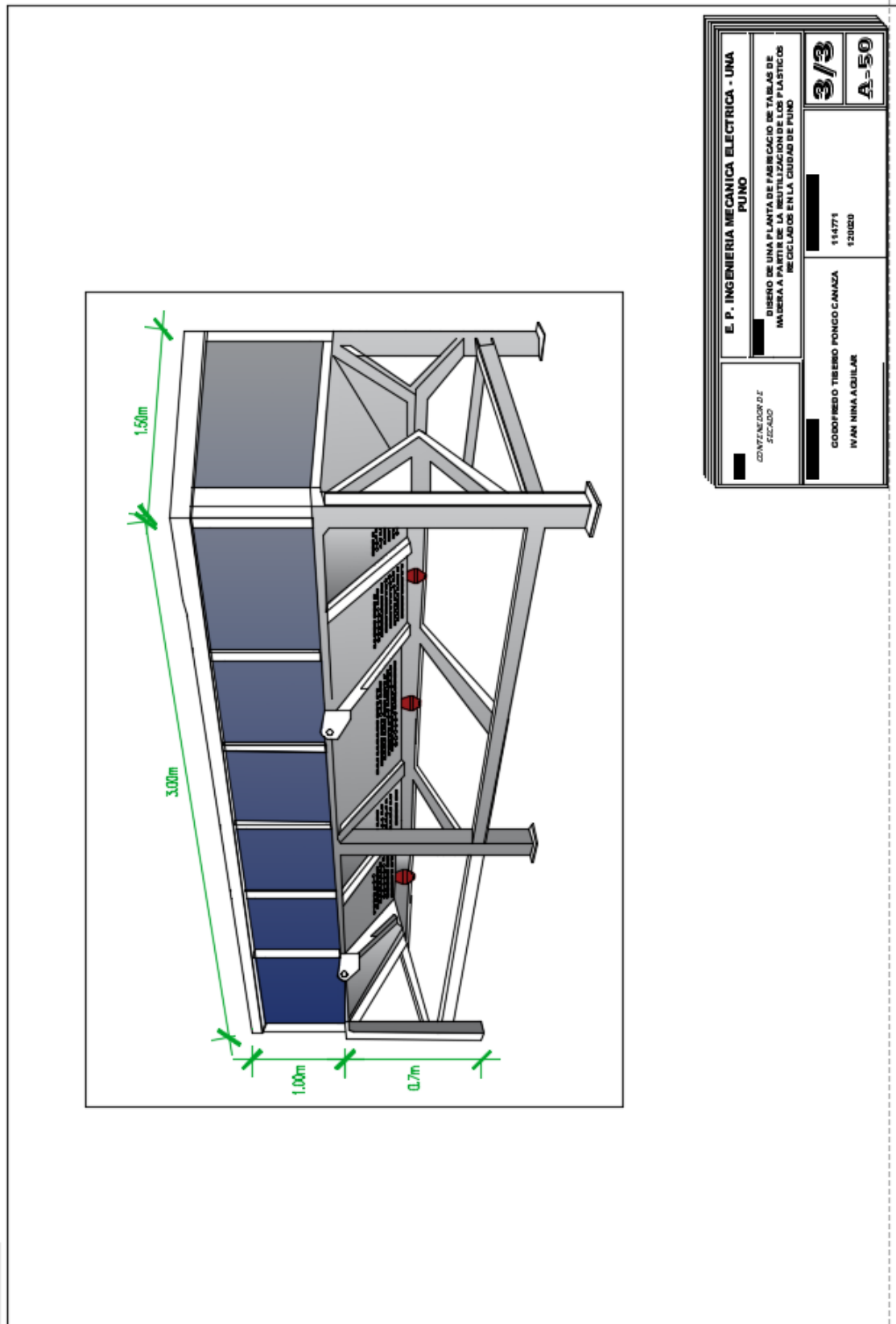
**ANEXO 15. FOTOGRAFIA DEL MUSTREO DE LA DISGREGACION Y PESAJE  
DE LOS RESIDUOS PLASTICOS EN EL RELLENO SANITARIO DE PUNO**



## ANEXO 16. DISEÑO EN CAD DEL TANQUE DE PRELAVADO

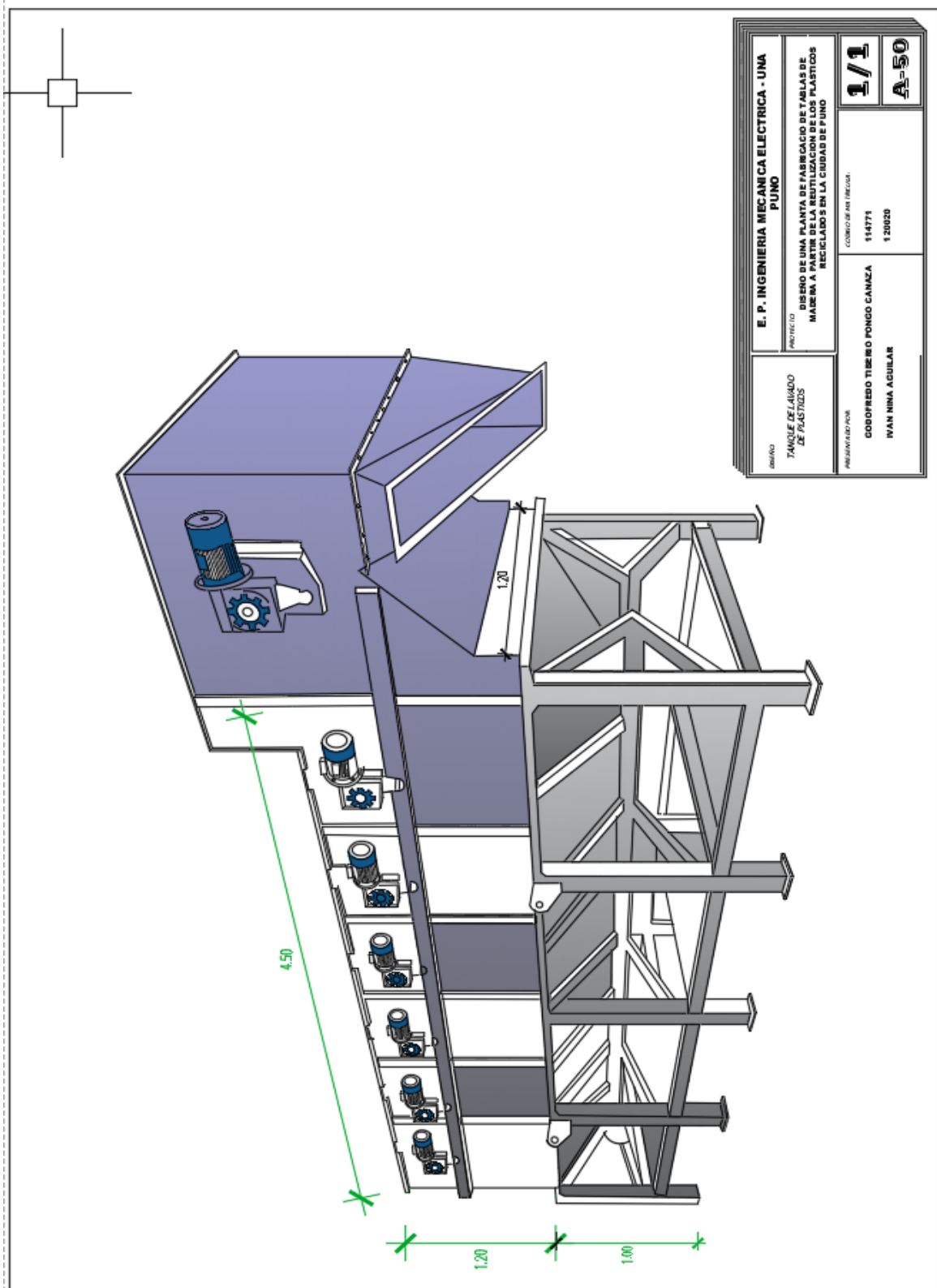


## ANEXO 17. DISEÑO EN CAD DEL CONTENEDOR DE SECADO



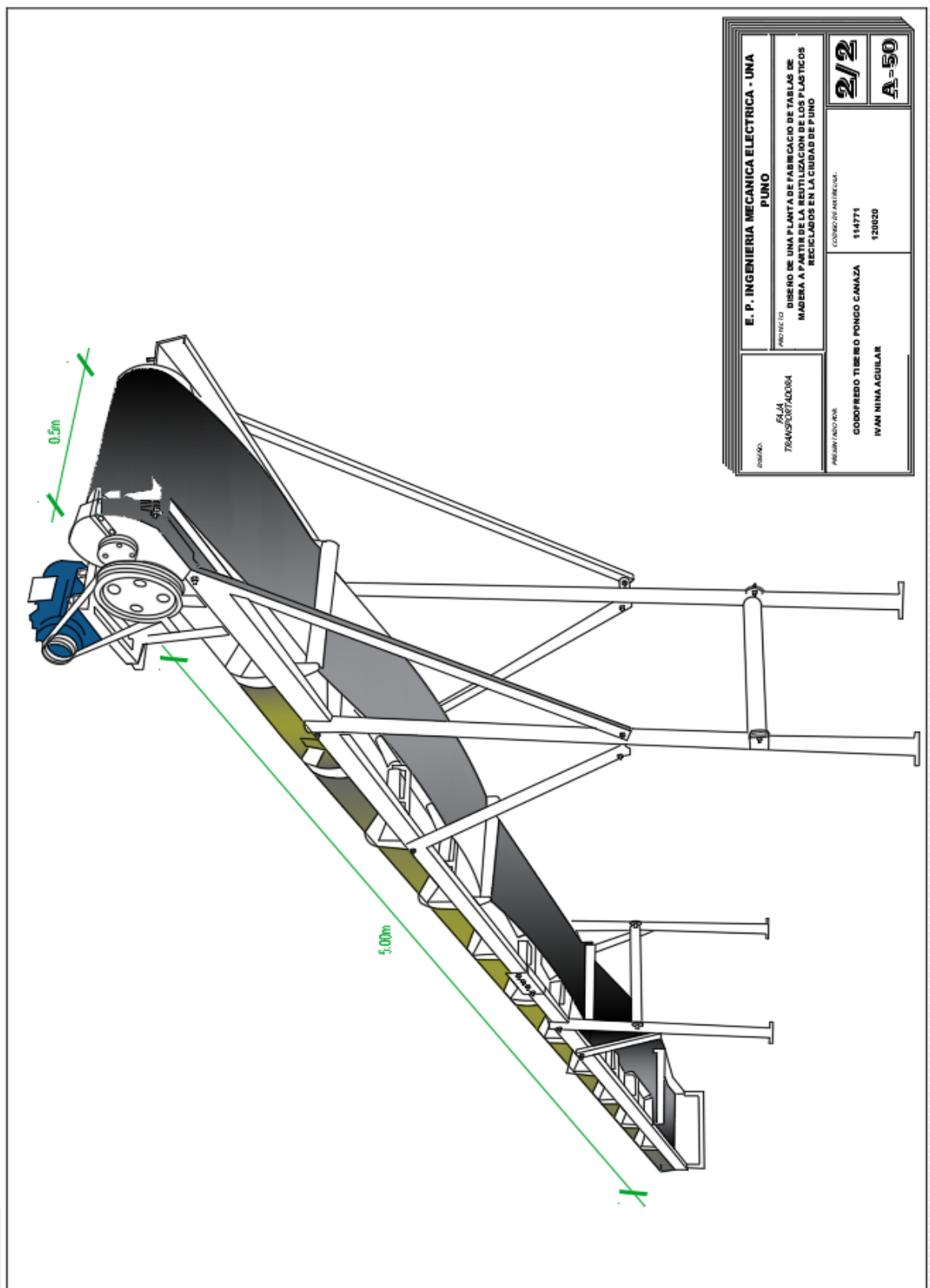


## ANEXO 18. DISEÑO EN CAD DEL TANQUE DE LAVADO

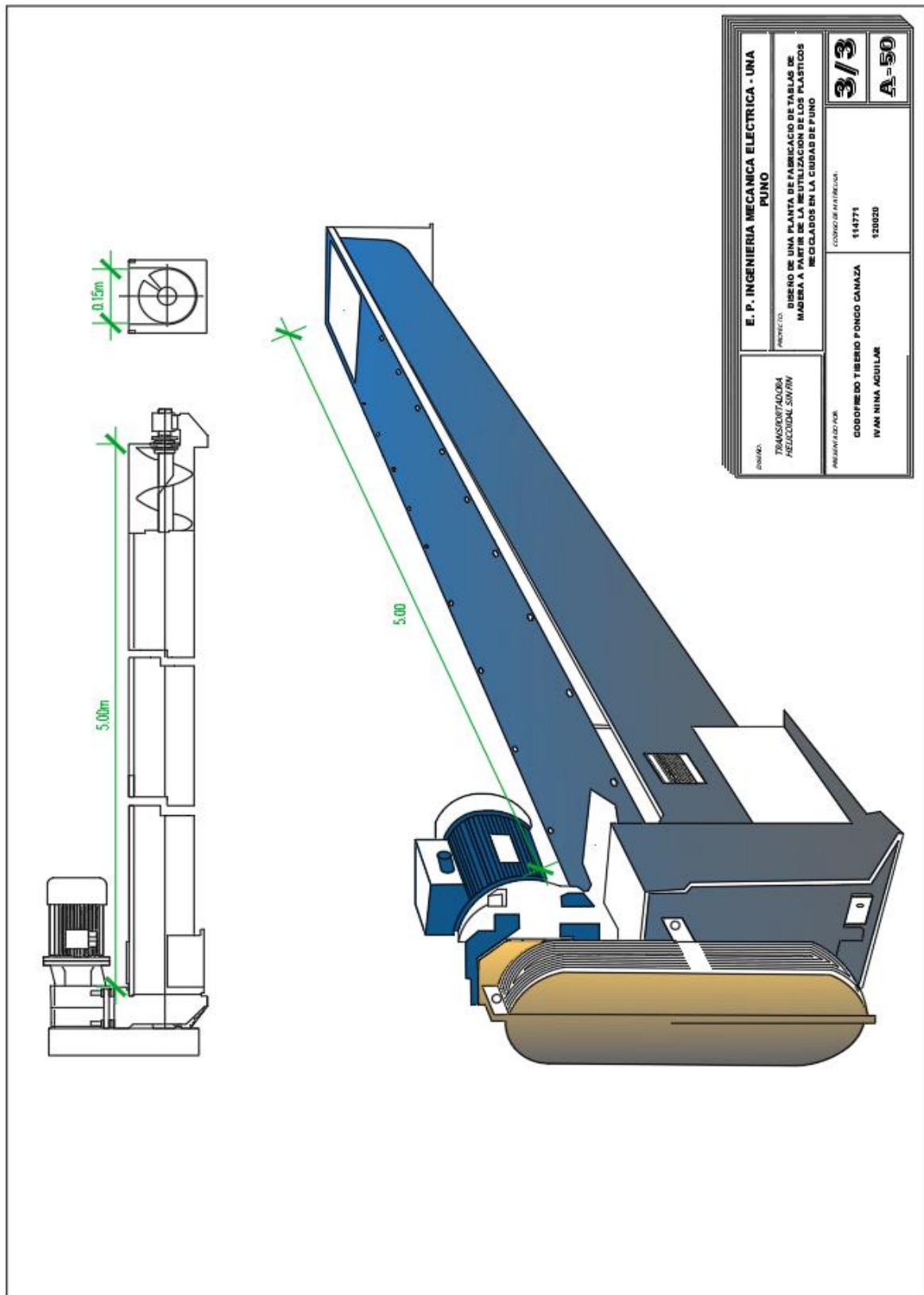




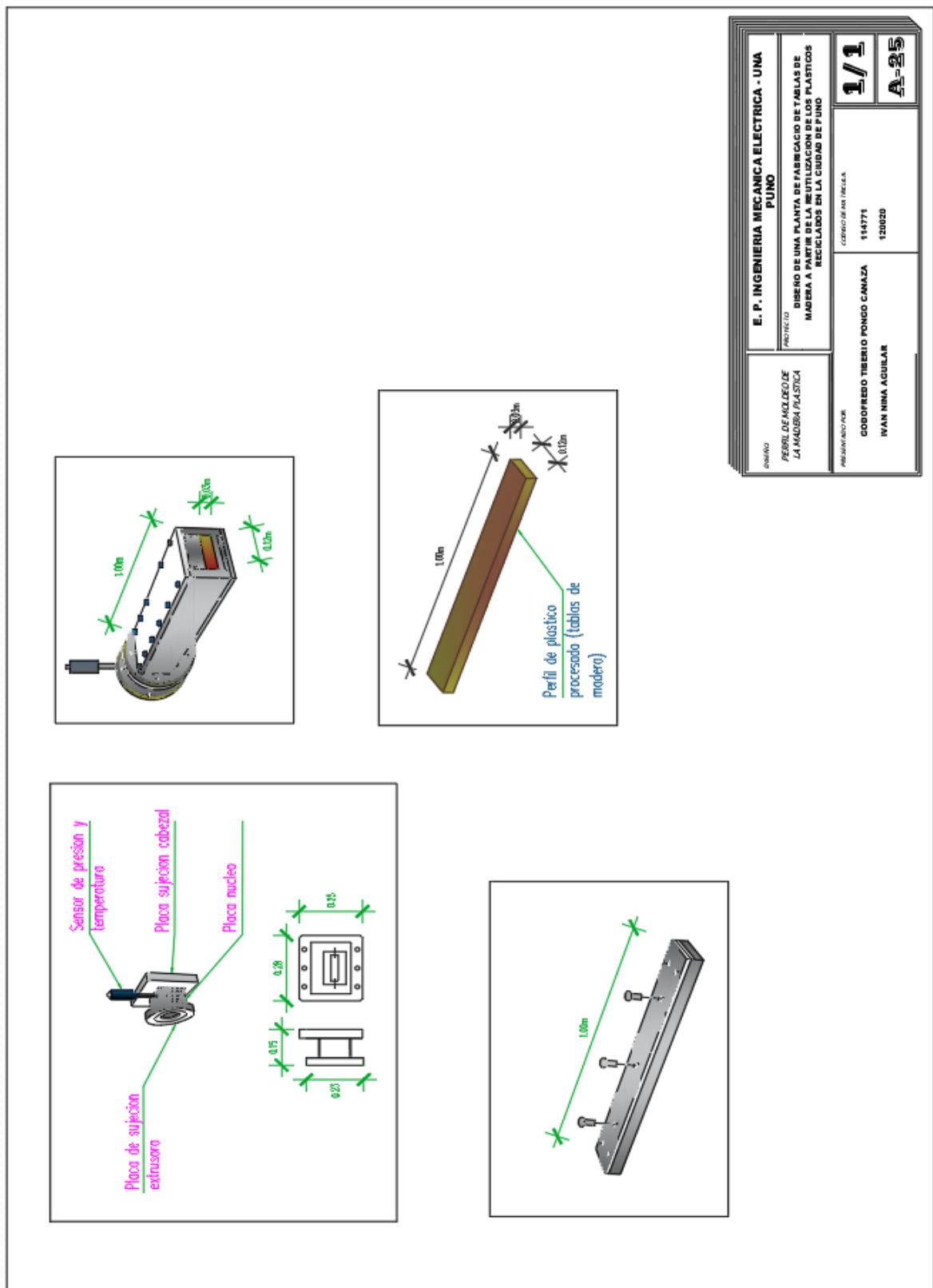
## ANEXO 19. DISEÑO EN CAD DE LA FAJA TRANSPORTADORA



## ANEXO 20. DISEÑO EN CAD DE LA TRANSPORTADORA HELICOIDAL

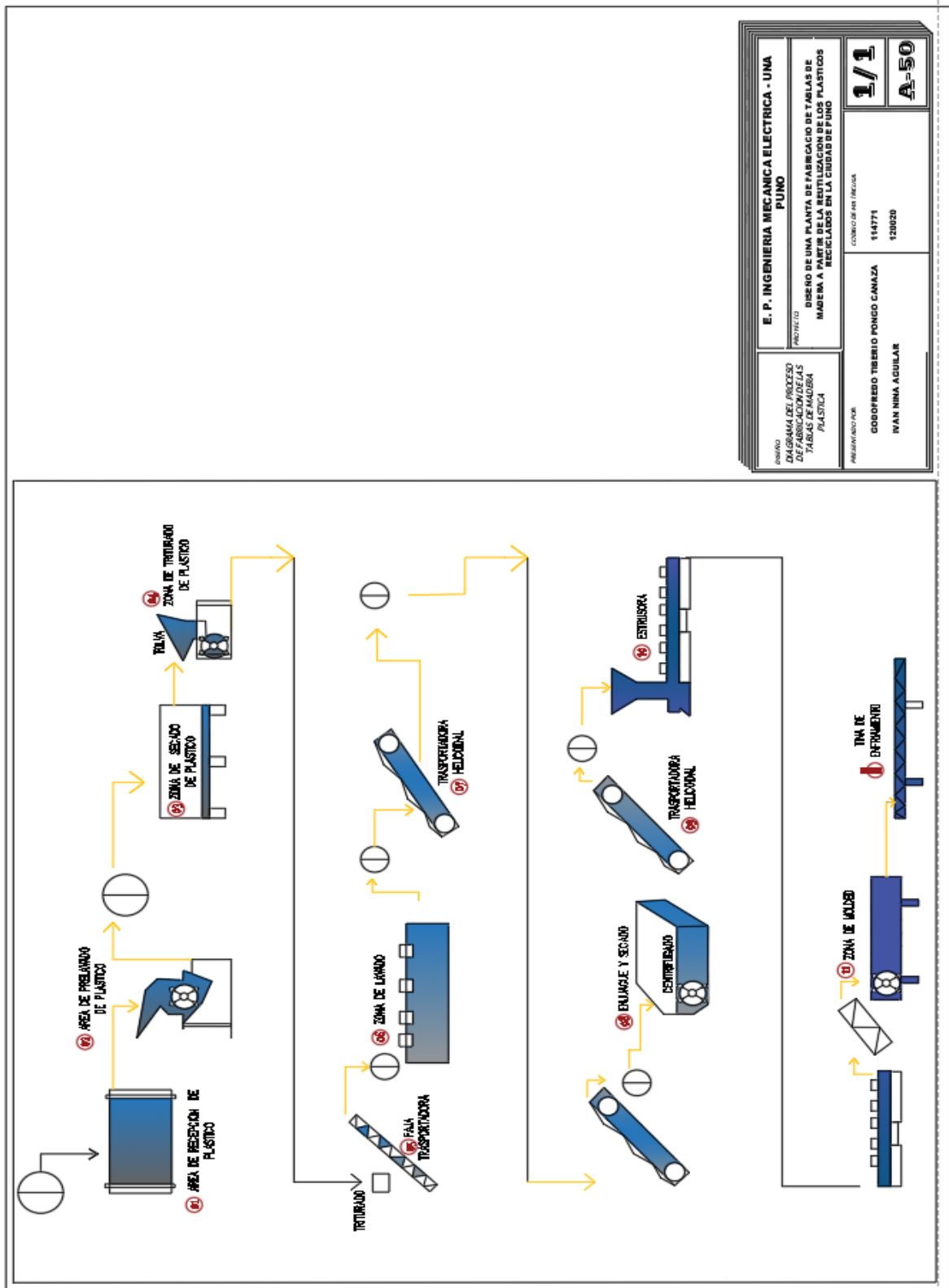


## ANEXO 21. DISEÑO EN CAD DEL PERFIL DE MOLDEO Y LA TABLA DE MADERA PLASTICA TERMINADA



<b>E. P. INGENIERIA MECANICA ELECTRICA - UNA</b> <b>PUNO</b>		<b>1/1</b> <b>A-25</b>
<b>PROYECTO</b> DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE TABLAS DE MADERA A PARTIR DE LA REUTILIZACION DE LOS PLASTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE PUNO		CENTRO DE INVESTIGACION 114771 120020
<b>INTEGRANTE</b> PERIL DE MOLDEO DE LA MADERA PLASTICA	<b>PROFESOR TUTOR</b> GODOFREDO TIBERIO FONGO CANAZA IVAN NINA AGUILAR	

## ANEXO 22. DISEÑO EN CAD DEL DIAGRAMA DEL PROCESO DE LA PLANTA DE FABRICACION DE TABLAS DE MADERA PLASTICA



<b>E. P. INGENIERIA MECANICA ELECTRICA - UNA PUNO</b>	
PROYECTO	
DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE TABLAS DE MADERA A PARTIR DE LA RESINA DE LOS PLASTICOS REUTILIZADOS EN LA CIUDAD DE PUNO	
1/1	
A-50	
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	
114771	
120020	
CODIGO DE TITULO PUNO CANAZA	
IVAN NINA AGUILAR	
PRELAVADO DE PLASTICO	
CODIGO DEL PROCESO DE FABRICACION DE LAS TABLAS DE MADERA PLASTICA	



## ANEXO 23. COTIZACION DE LAS MAQUINARIAS PARA LA PLANTA DE FABRICACION DE TABLAS DE MADERA PLASTICA



Hebei Fangtai Plastic Machinery Manufacturing Co., Ltd.

Fabricación de maquinaria plástica Hebei Fangtai CO., LTD

Agregar: distrito industrial de Baimiao, condado de Shunping, ciudad de Baoding, Hebei, China

[alice@fangtaiplasticmachine.com](mailto:alice@fangtaiplasticmachine.com) wechat:15533290845 whatsapp:+8615533290845

Vigencia del precio: 30 días

Línea de reciclaje de lavado de PP PE de 300 kg/h

R: lista de precios

No	Nombre del equipo	Cant. (juego)	Unidad
			Precio (dólares americanos)
1	Transportador de banda con rodillo magnético	uno	2000
2	Trituradora tipo 600	uno	4050
3	Máquina de fricción fuerte	uno	2200
4	Tanque de limpieza	uno	2450
5	Máquina de deshidratación de elevación automática	uno	1500
6	Tornillo transportador	uno	1000
7	Secadora	uno	2900
8	Gabinete eléctrico	uno	2000
<b>TOTAL FOB Tianjin</b>			<b>18100</b>

B: lista de equipos



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **GODOFREDO TIBERIO PONGO CANAZA**, identificado con DNI **70145508** e **IVAN NINA AGUILAR**, identificado con DNI **48228192**, en nuestra condición de egresados de:

**Escuela Profesional**,  **Programa de Segunda Especialidad**,  **Programa de Maestría o Doctorado**  
**INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**,

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación** denominada:

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE TABLAS DE MADERA A PARTIR DE LA REUTILIZACION DE MATERIALES PLASTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE PUNO”**

Es un tema original.

Declaramos que el presente trabajo de tesis es elaborado por nuestra persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratificamos que somos plenamente conscientes de todo el contenido de la tesis y asumimos la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 09 de agosto del 2023



GODOFREDO TIBERIO PONGO CANAZA



IVAN NINA AGUILAR





## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo **GODOFREDO TIBERIO PONGO CANAZA**, identificado con DNI **70145508** e **IVAN NINA AGUILAR**, identificado con DNI **48228192**, en nuestra condición de egresados de:

**Escuela Profesional**,  **Programa de Segunda Especialidad**,  **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, informamos que hemos elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación** denominada:

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE TABLAS DE MADERA A PARTIR DE LA REUTILIZACION DE MATERIALES PLASTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE PUNO”**

para la obtención de  **Grado**,  **Título Profesional** o  **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmamos y garantizamos ser los legítimos, únicos y exclusivos titulares de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizamos que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribimos el presente documento.

Puno 09 de agosto del 2023



GODOFREDO TIBERIO PONGO CANAZA



IVAN NINA AGUILAR