



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELECTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESFIBRADORA DE FIBRA  
DE VIDRIO CON CAPACIDAD DE 180 KG/H PARA EL  
DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ – CHICLAYO**

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

**Autores:**

Bach. Aquino Martínez, Franklin Ismael.

Bach. Celis Puicón, José Antonio.

**Asesor:**

Ph. D. Olortegui Yume, Jorge Antonio.

**Línea de Investigación:**

Ingeniería de Procesos Productivos

**Pimentel – Perú**

**Año 2019**

# **DISEÑO DE UNA MAQUINA DESFIBRADORA DE FIBRA DE VIDRIO CON CAPACIDAD DE 180 KG/H PARA EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ – CHICLAYO.**

Aquino Martínez, Franklin Ismael <sup>1</sup>

Celis Puicón, José Antonio <sup>2</sup>

## **Resumen**

Actualmente en región Lambayeque, el distrito de José Leonardo Ortiz presenta la mayor contaminación debido a la producción de residuos (13 415 ton/año). Dentro de la cantidad de residuos ya mencionada se pueden encontrar residuos orgánicos, plásticos, vidrios, madera, cartón y otros no degradables; en los sólidos no degradables esta la presencia del polímero conocido como fibra de vidrio el cual ocupa el 1.94% de los desechos; este material posee un índice de degradación aproximado de 500 años en el medio ambiente. Por tal motivo hemos tomado la iniciativa de proponer el diseño de una máquina capaz de desfibrar la fibra de vidrio, lo que vendría a hacer la materia prima para las empresas que elaboran productos a base de esta.

El diseño constará de un molino de martillos, que tendrá como objetivo el desfibrado de la fibra de vidrio para obtener materia prima que será capaz de reutilizarse. Para lograr tal diseño se realizó un estudio sobre la fabricación, composición y propiedades de la fibra de vidrio, también los conceptos mecánicos básicos de los molinos que se emplean. Con el afán de obtener datos importantes para iniciar la selección de elementos, el proceso de diseño de la máquina.

## **Palabras Claves:**

Contaminación, medio ambiente, reutilizar y diseñar.

**DESIGN OF A DEFIBRATING AND SPRAYING MACHINE OF GLASS FIBER  
WITH CAPACITY OF 180 KG / H FOR THE DISTRICT OF JOSÉ LEONARDO  
ORTIZ - CHICLAYO.**

Aquino Martínez, Franklin Ismael <sup>1</sup>

Celis Puicón, José Antonio <sup>2</sup>

**Abstract**

Currently in the Lambayeque region, the José Leonardo Ortiz district has the highest contamination due to the production of waste (13 415 ton / year). Within the amount of waste already mentioned can be found organic waste, plastics, glass, wood, cardboard and other non-degradable; in the non-degradable solids there is the presence of the polymer known as fiberglass, which occupies 1.94% of the waste; this material has an approximate degrade index of 500 years in the environment. For this reason we have taken the initiative to propose the design of a machine capable of defibrating fiberglass, which would be the raw material for companies that produce products based on it. The design will consist of a hammer mill, which will aim to defibrate the fiberglass to obtain raw material that will be able to be reused. To achieve such a design, a study was made on the manufacture, composition and properties of fiberglass, as well as the basic mechanical concepts of the mills that are used. With the desire to obtain important data to start the selection of elements, the design process of the machine

**Keywords:**

Pollution, environment, reuse and design.

# **Capítulo I**

# **INTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Realidad Problemática

Desde el principio de la humanidad el ser humano ha buscado innovar en nuevas materias primas para la elaboración de los productos que emplean, ya sea para su vida cotidiana o laboral; sin tomar consciencia de los residuos contaminantes que estos ocasionan al medio ambiente. Se afirma que, debido al desarrollo urbano, la industrialización y el crecimiento económico han hecho posible el aumento de manera alarmante de generación de desechos, es por lo que los gobiernos, en especial los países en desarrollo luchan por afrontar esta situación a través del manejo sostenible de los desechos, empleándolas como nueva materia prima para productos (ONU - 2013). Encontrar una solución óptima para reutilizar piezas de fibra de vidrio con resina era hasta el momento un desafío. Un grupo de investigadores españoles (Universidad de Alicante – 2017) han patentado un método que permite recuperar las fibras de vidrio para volver a ser utilizada (ver figura N°1). En estos últimos años, BEFESA, compañía internacional especializada en la gestión integral de residuos, ha instalado una planta de reciclaje en Murcia, la cual procesa hasta 21 000 toneladas al año de fibra de vidrio que se encuentran en los vertederos de Europa y piezas de vehículos fuera de uso. Una vez que la fibra de vidrio es reciclada se combina con otros elementos similares, dando como resultado un material apto para la elaboración de piezas de automóviles, embarcaciones o incluso aspas de generadores (Diario – La opinión de Murcia, 2010).



**Figura N° 01:** Residuos de Fibra de vidrio.

**Fuente:** Universidad de Alicante.

Actualmente en Perú el tema de gestión de residuos es incipiente, siendo solo el 15% de su población la que se preocupa por reutilizar materiales desechados, lo que ocasiona que en el país existan 20 rellenos sanitarios autorizados los cuales no se dan abasto para las 23 mil toneladas diarias de residuos sólidos (basura) que produce el país (Ministerio del Ambiente, 2012). Muchas empresas privadas están optando por construir plantas de reciclaje, ayudando así a reducir la contaminación en el país. El plástico es el material más reciclado, dejando de lado otros materiales como la fibra de vidrio, la cual es causante de daños al ser humano y al medio ambiente. En la ciudad de Lima existen pequeñas empresas que trabajan en el rubro de la fibra de vidrio, dedicadas para la elaboración de nuevos productos como para el reciclaje del mismo, siendo los sobrantes de sus mismas fabricas las que son reutilizadas. En vista que la producción de basura se elevó tres veces más que la economía peruana, y a pesar de que las empresas involucradas en actividades de reciclaje crecieron 119% en tres años, todavía no existen políticas sectoriales que exploten este potencial negocio (Diario Gestión, 2014).

La Región Lambayeque produce 208 toneladas diarias de residuos sólidos contaminantes, muchos de estos van a parar a botaderos o descampados que se encuentran en la zona. Desafortunadamente el distrito de José Leonardo Ortiz es el que más contaminación presenta debido su producción de residuos (13 415 ton/año) y por ser una ubicación preferida para botadero. Dentro de la cantidad de basura ya mencionada se pueden encontrar residuos orgánicos, plásticos, vidrios, madera, cartón y otros no degradables. (Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólido, 2012). Dentro de los residuos sólidos no degradables que se puede encontrar en el distrito de José Leonardo Ortiz, está la presencia del polímero conocido como fibra de vidrio el cual ocupa el 1.94% de los desechos; este material posee un índice de degrades aproximado de 500 años en el medio ambiente. Un material que a simple vista no se podría ser reutilizado sin los procesos adecuados que este necesita. (Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólido, 2012).

El municipio de José Leonardo Ortiz no cuenta con los recursos necesarios para poder manipular estos residuos por lo cual se está barajando diferentes alternativas para poder aprovechar los pocos ingresos que este municipio tiene.

Una de las opciones que se ha considerado es poseer una maquina desfibradora de fibra de vidrio con capacidad mínima de 180 kg/h la cual es un promedio de trabajo rentable y deseable para este tipo de equipos (Diseño y construcción de una máquina para el reciclaje de fibra de vidrio, 2012). Este tipo de equipos posee costos elevados si son obtenidos de modelos comerciales. El municipio ve con buenos ojos la posibilidad adquirir una maquina desfibradora con recursos propios con la intención de ahorrar en todo este proceso.

En este proyecto se plantea el diseño formal de una máquina que cumpla condiciones normalizadas para el reciclaje de la fibra de vidrio, pasando por procesos adecuados de los cuales se obtendrán elementos que servirá para el reforzamiento de nuevos productos.

## **I.2. Antecedentes de Estudio:**

Los trabajos que se analizan a continuación sirven como base teórica y científica al presente proyecto de diseño.

Fonseca, Abdala, Griñan, Sánchez (2005) diseño de un prototipo de destilador solar de fibra de vidrio en Cuba. Optaron por diseñar un armazón a base de fibra de vidrio, el cual contendrá una bandeja oscura también del mismo material, y esta estará expuesta a la radiación solar. Dicha bandeja absorberá los rayos solares, calentando y evaporando el agua; estando el agua este en fase de vapor atravesará un conjunto de tuberías para ser depositada en un recipiente y posterior consumo. El proceso separara las sales no aptas para el ser humano, dejándolas concentradas en el fondo. Observaron que la productividad del equipo elaborado de fibra de vidrio a comparación de otros materiales, en días de buena radiación alcanza valores de 350 mL, lo cual representa una productividad de 2,2 L/m<sup>2</sup> día. Llegando a la conclusión de que el prototipo de destilador solar elaborado en fibra de vidrio resulta económico y a la vez es más productivo que otras existentes en el mercado.

Hidalgo, M. (2012) análisis mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con fibras cortas de fique en disposición bidimensional en Colombia. Para observar el efecto producido por la incorporación de fibras en las propiedades físico-mecánicas, se fabricaron tableros por medio del proceso de moldeo en

prensa de platos calientes controlada por computadora, con porcentajes de 10%, 30% y 50% de fibra; y mediante el ensayo de Pull-Out, en una prensa automática (Automatically operated platen press, type LabPro400 of FONTIJNE PRESSES) controlada por computadora se obtendrán resultados. Observando que en el compuesto con 50% de refuerzo de fibras cortas de fique, se obtuvo una resistencia a la tensión de 24,86 MPa y un módulo de 3,65 GPa, representando una mejora en la resistencia de un 216%, un módulo de 515%, respecto a una matriz sin refuerzo y una disminución de 56,96% frente a la misma. Concluyó que el material reforzado con fibra corta de fique presenta propiedades mecánicas que superan las del material sin refuerzo, en medida en la que se incorpore mayor carga de fique al material.

Sánchez V. (1991) comportamiento a tracción de cementos reforzados con fibra de vidrio en España. Se realizó numerosos ensayos de tracción directa en una maquina universal de ensayos mecánicos “SUZPECAR” con 60 probetas de Glass Fibre Reinforced Cements (GFRC) de diversos tipos de fibras teniendo las dimensiones 250x50x10 mm aproximadamente y empleando un envejecimiento acelerado de 28 días. En un primer ensayo se comparó dos probetas, la primera exclusivamente con concreto y la segunda con reforzamiento de fibra de vidrio; observándose que la segunda posee mayor resistencia y ductilidad en relación a la primera, siendo 3% menos capaz de deformarse. Se concluye la importancia de la longitud de la fibra para obtener resistencias del GFRC superiores a la tensión de inicio del micro-figuración. Las longitudes inferiores a unos 25 mm son ineficaces en este aspecto.

Ocaña, C. (Promelsa – 2008) diseño de postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio para la distribución en comunicaciones, iluminaciones, energía eléctrica en redes de media y baja tensión en Perú. Se fabricó por métodos específicos empleando la norma ANSI C136.20-2008, donde se combinan filamentos de fibra de vidrio en angulaciones bajas para soportar las cargas axiales e hilos perpendiculares para soportar cargas de pandeo o colapso sobre el empotramiento. Disponibles en longitudes hasta 12 metros, en una sola pieza y hasta 24 metros en secciones embonables. Observando que los postes diseñado pueden soportar cargas mayores a 350 kg, 400 kg, 500 kg, 750 kg, 1000 kg, 1400 kg, 2400 kg, con

alturas de varían desde 7 m hasta 20 m. Concluyendo que postes reforzado con fibra de vidrio son anticorrosivos y resistentes a ambientes salinos (costas y playas) a comparación de los postes de concreto, dando como resultado una vida útil aproximada de 50 años.

Lucana, D. (2008) diseñar un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmicas, en la Pontificia Universidad Católica del Perú - Lima. Se diseñó un molde que, por medio de compresión térmica, se elaborara probetas de un material compuesto por plástico y madera, con diferentes cantidades en su composición y parámetros de fabricación. De esta manera, poder someterlas a distintos ensayos mecánicos, físico y químicos según la norma ASTM D1037-06a y así que pueda brindar información acerca de sus propiedades más resaltantes. Como resultado del ensayo realizado se puede saber que el molde puede soportar una presión de trabajo máximo de 1.72 MPa sobre la probeta, la cual es indispensable para minimizar la presencia de discontinuidades, bolsas de aire y cavidades en ésta. Luego de la investigación de la degradación térmica, se concluye que las probetas no se degradaran instantáneamente, si no que existen un periodo de tiempo que posibilita conservar, de forma parcial, las propiedades mecánicas y físicas de aquellos, durante el proceso de fabricación de la probeta.

Bennett, B. (1997) aparato y método de corte de fibra de vidrio, patente US5697560 A – Estados Unidos. La presente invención se refiere a un método y aparato para poder cortar filamentos de fibra de vidrio, y en particular a la conversión de filamentos de fibra de vidrio a través de una máquina. Cuando la fibra de vidrio este en la maquina se alinearán en segmentos la fibra de acuerdo a su dirección dada, y un picador para cortar dichos segmentos de fibra transversalmente a la dirección dada a intervalos espaciados que tienen una separación igual a la longitud predeterminada. Se halló que para un buen funcionamiento de la maquina el ancho de los espaciadores deben ser aproximadamente igual a la longitud de la fibra cortada, por ejemplo, para un ancho de 0.125 pulgadas aproximadamente debe tener una longitud de 2.0 pulgadas. Se concluye que la invención de la maquina proporcionara un método

para convertir haces de filamentos de fibra de vidrio continuos en fibras cortadas que no excedan una longitud determinada.

Ferguson, J. (1994) sistema de reciclaje de fibra de vidrio, patente US5343630 A – Estados Unidos. La invención de un sistema y método para reciclar de manera eficaz fibra de vidrio que se ha eliminado de las bobinas con chorros de agua. Consiste en un sistema transportador que tiene una pluralidad de transportadores interconectados utilizados para llevar la fibra de vidrio pelada a un centrifuga. La centrifuga incluye una pared interior cónica que dirige la fibra de vidrio hacia arriba para dispersar uniformemente la fibra. Se halló que el sistema de reciclaje de fibra de vidrio en el que la centrifuga puede funcionar en un modo de llenado en el que la centrifugadora gira a una velocidad relativamente lenta y en un modo de desagüe a una velocidad relativamente rápida. Se concluye que, aunque se conocen diversos aparatos para deshidratar fibras textiles, ninguno proporciona desecación de fibra de vidrio, ni lo hace con una operación automática conveniente.

### **I.3. Teorías relacionadas al tema.**

El diseño de una maquina desfibradora de fibra de vidrio se empleará para la elaboración de nuevos productos como reforzamiento; reduciendo la contaminación ambiental y beneficiando a la economía de la zona.

#### **I.3.1. Fibra de Vidrio.**

La fibra de vidrio (ver figura N° 2) es un material fibroso que se obtiene al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos en dirección vertical. Estando el vidrio solidificado presenta suficiente flexibilidad para ser usado como fibra. Las propiedades principales de la fibra de vidrio son las siguientes:

- Altamente resistente a la tracción.
- Bajo Peso.
- Dieléctrico.
- Buen aislante térmico.
- Soporta altas temperaturas.
- No combustible.



**Figura N° 02:** Fibra de vidrio.

**Fuente:** ABCpedia.

### **I.3.2. Clasificación.**

La fibra de vidrio es clasificada en base a la configuración química que estas presentan, a continuación, se mencionaran las más conocidas:

#### **a) Tipo E**

Comúnmente usado, porque se estira y tiene buenas propiedades de resistencia, rigidez, eléctricas y de desgaste. Tiene un peso específico de  $2.6 \text{ g/cm}^3$  (Tecnología de los Plásticos, 2011).

#### **Aplicaciones:**

Construcción: tejidos para decoración en locales públicos, aislante.

Automoción: Componentes de vehículos.

Deportes: Utensilios o aparejos para la practicas de deportes, como esquís, canoas (ver figura N°3), etc.

Usos industriales: piezas plásticas reforzadas con este tipo de fibra, componentes para ordenadores.



**Figura N° 03:** Canoas de fibra de vidrio.

**Fuente:** Adaptado de Youtube.

### **b) Tipo C**

Mayor resistencia a la corrosión química que el tipo E, pero más costoso y de propiedades de resistencia inferiores. Vidrio de alta resistencia química. Posee un peso específico de  $2.5 \text{ g/cm}^3$  (Tecnología de los Plásticos, 2011).

#### **Aplicaciones:**

Usos industriales: Se emplea para productos donde se necesita una alta resistencia química, como: torres de refrigeración (ver Figura N°4), material para techos, tranques de agua, tinas de baño, tubería, etc.



tranques de agua, tinas de baño, tubería, etc.

**Figura N° 04:** Torres de refrigeración.

**Fuente:** Empresa Solución

**c) Tipo A**

Posee buena resistencia al ataque de soluciones químicas y acidas, producto de los elevados porcentajes de álcalis que contiene. Sin embargo, esos elevados porcentajes repercuten negativamente en su resistencia al agua. Ha sido sustituido por el tipo E. Peso específico  $2.68 - 2.7 \text{ g/cm}^3$  (Tecnología de los Plásticos, 2011).

**Aplicaciones:**

Usos industriales: Se emplea como fibra de refuerzo en morteros a base de comento, paneles de fachadas (ver figura N°5), piezas de recubrimiento, de decoración.



**Figura N° 05:** Paneles de fachadas de viviendas.

**Fuente:** Casas Restauradas

**d) Tipo R**

Fibra de mayor resistencia, se emplea en campos militares y aeroespaciales. Posee buenas propiedades mecánicas y es resistente a la fatiga, temperatura y humedad. Peso específico  $2.53 \text{ g/cm}^3$  (Tecnología de los Plásticos, 2011).

### Aplicaciones:

Usos industriales: Se emplea como fibra de refuerzo en paletas de helicópteros, componentes en aeronáutica, cisternas de cohetes, misiles (ver figura N° 06), lanzamisiles, etc.

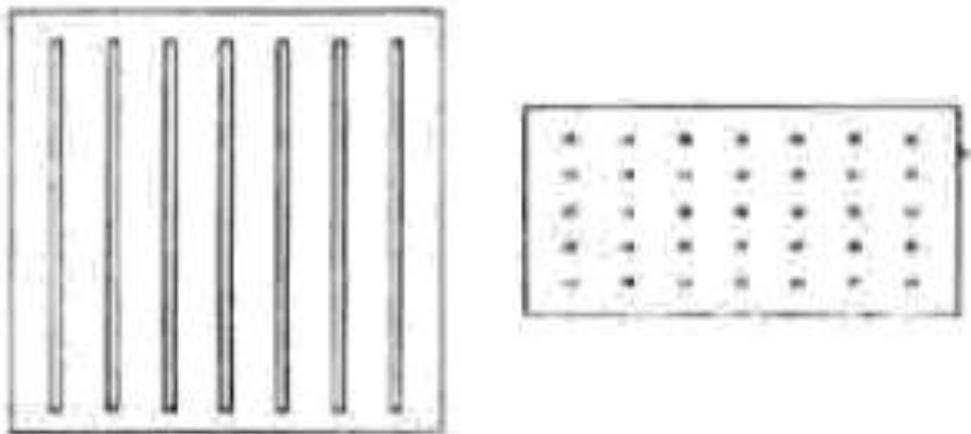


**Figura N° 06:** Misiles de fibra de vidrio.

**Fuente:** Fotolog

### I.3.3. Configuración.

Debido a la orientación de fibras compuestas se subdividen en lo siguiente (ciencia e ingeniería de los materiales, 2012):

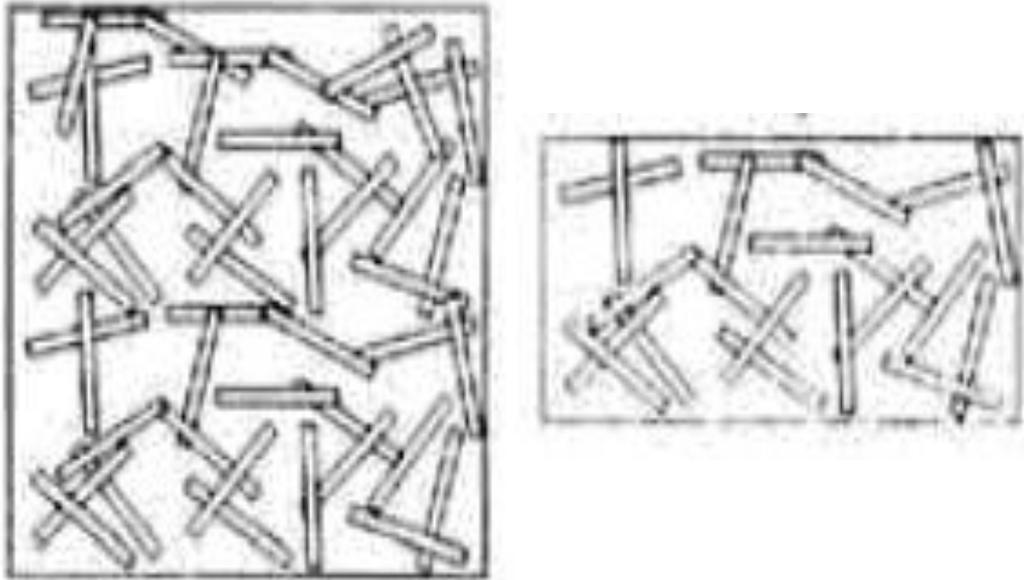


a) **Fibras continuas:** La disposición es a un solo sentido (ver figura N° 07).

**Figura N° 07:** Fibra de vidrio – Fibras continuas (vertical – horizontal).

**Fuente:** Morales, Sergio – 2008.

b) **Fibras discretas (o seccionadas):** No posee una disposición establecida

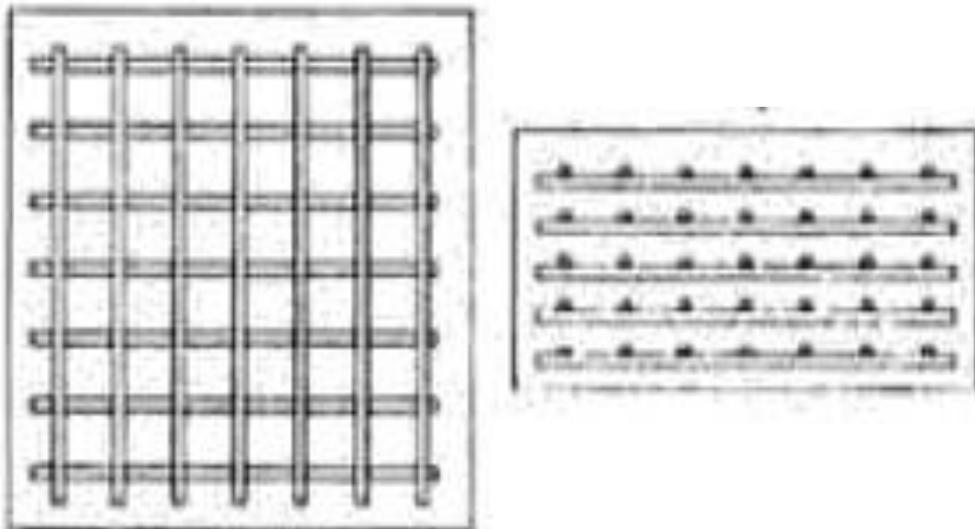


(ver figura N° 08).

**Figura N° 08:** Fibra de vidrio – Fibras discretas (vertical – horizontal).

**Fuente:** Morales, Sergio – 2008.

c) **Tela Tejida:** La disposición es a doble sentido, de tal manera que se entrelacen (ver figura N° 09).



**Figura N° 09:** Fibra de vidrio – Fibras tejida (vertical – horizontal).

**Fuente:** Morales, Sergio – 2008.

### I.3.4. Especificaciones técnicas.

En las siguientes tablas se hará mención de las normas y exigencias que se considerarán con respecto a los diferentes tipos de Fibra de Vidrio, las cuales serán útiles al momento de la realización de cálculo de la maquina a elaborar (Tecnología de los Plásticos, 2011).

#### a) Fibra de vidrio Tipo E

Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio – Tipo E (ver tabla N°1).

**Tabla N° 01**

Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio - Tipo E

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos – 2011.

Mecánica	
Tenacidad (N/tex)	1.30
Tensión a la rotura (MPa)	3445
Elongación hasta rotura (%)	4.5
Esfuerzo de compresión (MPa)	1080
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.58
Eléctricas	
Resistividad (ohm x cm)	1014 - 1015
Factor de disipación dieléctrica	0.0010 – 0.0018 a 106 Hz
Térmicas	
Conductividad Térmica (W/m.k)	1
Resistencia termo mecánica	100% después de 100 h a 200 °C

#### b) Fibra de vidrio Tipo C

Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio – Tipo C (ver tabla N°2).

**Tabla N° 02**

Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio - Tipo C.

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos – 2011.

Mecánica	
Tenacidad (N/tex)	1.24
Fuerza a la tracción (MPa)	3100
Elongación hasta rotura (%)	4
Eléctricas	
Factor de disipación dieléctrica	0.0005 a 106 Hz

### c) Fibra de vidrio Tipo A

Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio – Tipo A (ver tabla N°3).

**Tabla N° 03**

Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio - Tipo A.

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos - 2011.

Mecánica	
Fuerza a la tracción (MPa)	3 000 – 3 500
Elongación hasta rotura (%)	4.3
Químicas	
Resistencia a los disolventes	Alta
Resistencia a la intemperie	Alta
Resistencia a microorganismos	Alta

### d) Fibra de vidrio Tipo R

Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio – Tipo R (ver tabla N°4).

**Tabla N° 04**

Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio - Tipo R.

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos – 2011.

Mecánica	
Tenacidad (N/tex)	1.74
Fuerza a la tracción (MPa)	4 400

Elongación hasta rotura (%)	5.2
Eléctricas	
Resistividad (ohm x cm)	1014 - 1015
Factor de disipación dieléctrica	0.0019 a 105 Hz
Térmicas	
Conductividad Térmica (W/m.k)	1
Resistencia termo mecánica	50% después de 150 h a 750 °C

### I.3.5. Formas comerciales de fibra de vidrio.

#### a) Roving

Hebra de hilos continuos de filamentos de fibra de vidrio con cierta torsión mecánica, fabricado con un vidrio tipo E. Se utiliza para Pultrusión y bobinado fila mentado (ver figura N°10). El Roving sin torsión se emplea generalmente para el proceso de laminado por espray (Tecnología de los



Plásticos, 2011).

**Figura N° 1:** Fibra de vidrio Roving.

**Fuente:** Nauticexpo.

#### b) Hilo Cortado (fibra larga)

Conformado por hilos continuos de tipo E (ver figura N°11), cortadas a longitudes específicas, los cuales están diseñado para usarse en compuestos moldeables de resinas poliéster y epoxi, como para mezclado en seco en aplicaciones con resinas fenólicas (Tecnología de los Plásticos, 2011).



**Figura N° 2:** Fibra de vidrio Hilo cortado (fibra larga).

**Fuente:** Resinasygel

**c) Hilo cortado (fibra corta)**

Hilos continuos cortados a longitudes específicas. Fabricado de tipo E (ver figura N°12), se emplea como refuerzo de termoplásticos, como:



Polipropileno, Nylon, PVC, etc. (Tecnología de los Plásticos, 2011).

**Figura N° 3:** Fibra de vidrio Hilo cortado (fibra corta).

**Fuente:** Comercial San José

#### **d) Fibra molida**

Compuesta por filamentos de vidrio recubiertos apresto especial para hacerlos compatibles con resinas especiales y molidos para proporcionar una densidad específica a granel (ver figura N° 13). Está diseñado para usarse en una variedad de compuestos termoplásticos y termofijos. Fabricada con



tipo E (Tecnología de los Plásticos, 2011).

**Figura N° 4:** Fibra de vidrio molida.

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos – 2011.

#### **e) Mat de hilos cortados**

Fibras de vidrio cortadas unidas entre sí utilizando un aglutinante en emulsión o polvo de poliéster (ver figura N°14). Están diseñados para compatibilizar con poliéster insaturado, vinil ester y otras resinas. Se emplea como soporte del gel coat y refuerzo de laminado para el moldeo de contacto (hand lay-up) para construir embarcaciones, tablas de surf, tableros, tanques y otras variedades (Tecnología de los Plásticos, 2011).



**Figura N° 5:** Fibra de vidrio – mat de hilos cortados.

**Fuente:** Castro Composites shop

**f) Mat de filamento continuo**

Son fibras de vidrio continuas que forman una tela no tejida (ver figura N°15), se mantiene unida por el agregado de una resina de poliéster insaturado. Adecuado para moldeado de laminados por compresión (Tecnología de los



Plásticos, 2011).

**Figura N° 6:** Fibra de vidrio – mat de hilos continuos.

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos, 2011

**g) Tejidos**

Estas telas están conformadas por tejidos Roving (ver figura N° 16), se emplea para producir telas de alta resistencia, para aplicaciones estructuralmente sólidas, tales como contenedores, armaduras blindadas, alas de aeronaves y

p  
u  
e  
r  
t  
a  
s  
(  
T



ecnología de los Plásticos, 2011).

**Figura N° 7:** Fibra de vidrio – Tejidos.

**Fuente:** Tecnología de los Plásticos, 2011

**h) Velos**

Telas finas de fibra de vidrio (pueden ser tejidas o no tejidas) que presentan una superficie lisa y uniforme (ver figura N° 17). Se emplean generalmente como capa superficial en laminados para dar un acabado



suave (Tecnología de los Plásticos, 2011).

**Figura N° 8:** Fibra de vidrio – Velos.

**Fuente:** Blospot

### **I.3.6. Tipos de Máquinas Desfibradoras.**

#### **a) Molino de martillos**

Los molinos de martillos (ver figura N° 18), están referidos para los procesos de molienda de productos de dureza media, que no sean muy abrasivos, y en los que se necesite un tamaño de grano a la salida superior a 1 mm (Gruber Hermanos S.A., 2012).



**Figura N° 9:** Molino de Martillos MMB.

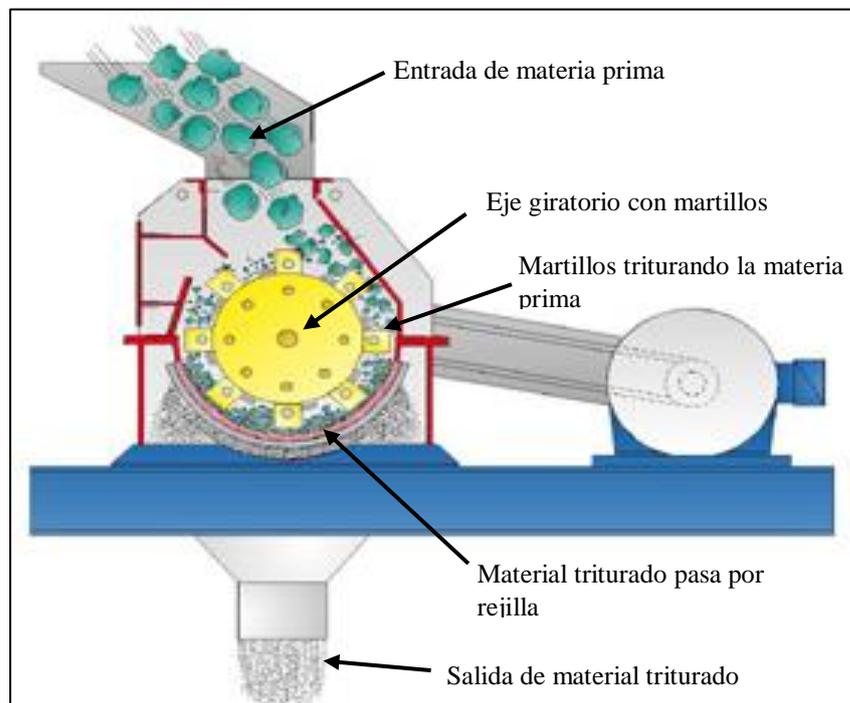
**Fuente:** Gruber Hermanos.

### **I.3.7. Principio de Funcionamiento:**

#### **a) Molino de martillos:**

El material por triturar se alimentará por la parte superior de la cámara del molino por acción de la gravedad. La cual será golpeada por martillos enganchados (piezas rectangulares de acero endurecido) que están unidas a un eje giratorio de gran velocidad que se encuentra dentro de la cámara (ver figura N° 19). El material es aplastado o destrozado por los repetidos impactos del martillo, los choques con las paredes de la cámara del molino. Una vez requerido el tamaño necesario podrá atravesar una pantalla metálica perforada la cual se encuentra en la parte inferior (Gruber Hermanos S.A.,

2012).



**Figura N° 19:**

Funcionamiento del molino de martillos.

**Fuente:** Adaptado del Manual tecnológico del cemento.

### **I.3.8. Diseño de máquinas Desfibradoras.**

#### **a) Molino de martillos**

Los molinos de martillo son máquinas que trabajan más por impacto que por presión, cuando el eje gira a alta velocidad la fuerza centrífuga hace que los

martillos salgan de los platos golpeando el material hasta romperlo, reduciéndolo hasta lograr el tamaño deseado. Los martillos al terminar su vida útil son reemplazados. Esta máquina trabaja con la fuerza de los golpes ejercida por los martillos, de acuerdo con la fórmula de impacto (P) o de energía cinética (Manual tecnológico del cemento, 1977).

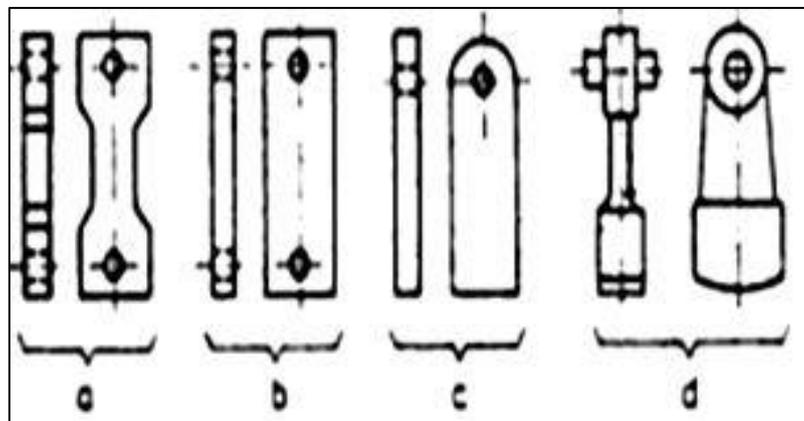
$$P = \frac{m \times v^2}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

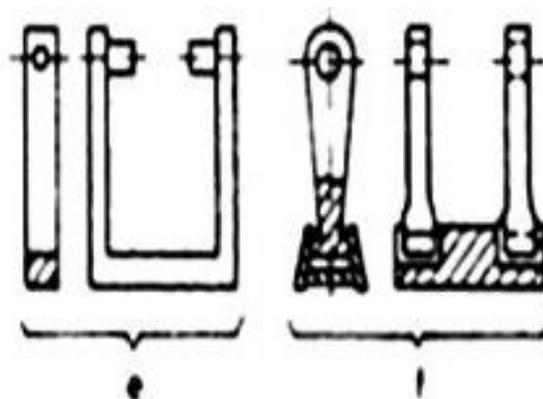
*m*: masa (kg).

*v*: velocidad ( $\frac{m}{s}$ ).

En este tipo de máquinas trituradoras de martillos se pueden encontrar



6 variedades de martillos (ver figura N° 20).



**Figura N° 20:** Martillos de Golpe para Trituradores.

**Fuente:** Duda, Manual Tecnológico del Cemento 1977.

La velocidad de giro cambia según el tamaño de los trituradores la cual va entre 250-400 ver/min. Estos tipos de trituradores requieren una energía que va aproximadamente de 1 hasta 2 kWh/t.

Para encontrar la potencia necesaria para el accionamiento de la máquina, se empleará la siguiente formula. (Manual tecnológico del cemento, 1977).

$$N = (0.1 \text{ a } 0.15) \times i \times Q \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

*N: Potencia del motor (kW)*

*i: Grado de desmenuzamiento, (adimensional)*

*Q: Caudal de ingreso al triturador (ton/hora)*

Otra manera de saber la potencia necesaria es:

$$N = \frac{G \times R^2 \times n^3 \times e \times f}{8 \times 100000 \times \eta} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

*N: Potencia del motor (CV)*

*G: Peso de un martillo (kg)*

*R: Diametro del circulo que realiza el martillo (m)*

*n: vueltas por minuto*

*N: Potencia del motor en (kW)*

*e: Numero de Martillos*

*f: Factor depen. de la velocidad de rotación de los martillos*

*η = Rendimiento mecanico de la transmicion*

En la siguiente tabla se muestra el factor f dependiendo de la velocidad (ver tabla N°5).

**Tabla N° 05**

Tabla para el Factor f

**Fuente:** Duda, Manual Tecnológico del Cemento 1977

Velocidad tangencial m/seg	Factor f
17	0.0220

20	0.0160
23	0.0100
26	0.0080
30	0.0030
40	0.0015

Para encontrar la velocidad de rotación y después usarla para el cálculo del factor f se usará la siguiente formula (Manual tecnológico del cemento, 1977).

$$v = \frac{2\pi \times R \times n}{60} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

*v*: Velocidad (m/s)

*R*: Diametro del circulo que realiza el martillo (m)

*n*: vueltas por minuto

### Diseño del Eje Principal

El siguiente calculo expresara la simulación de las fuerzas flexionan tés por la presencia del torque del motor, así como la polea del sistema de transmisión, las fueras del sistema de trasmisión, las reacciones de los apoyos (ver figura N° 21). Para este caso se asumirá el material del eje el cual será un acero AISI 1018. Para hallar su diámetro se utilizará la siguiente ecuación: (Criterio de Von Mises-Hencky)

$$D = \left[ \frac{32 \times n}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{K_f \times M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \times \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

$n$ : factor de seguridad

$K_f$ : factores concentradores de esfuerzos

$M$ : momento flexionante (lbf x pulg)

$S_n$ : resistencia a la fatiga real estimada (KPsi)

$T$ : par torsor sobre el eje (lbf x pulg)

$S_y$ : resistencia a la fluencia (KPsi)

Figura

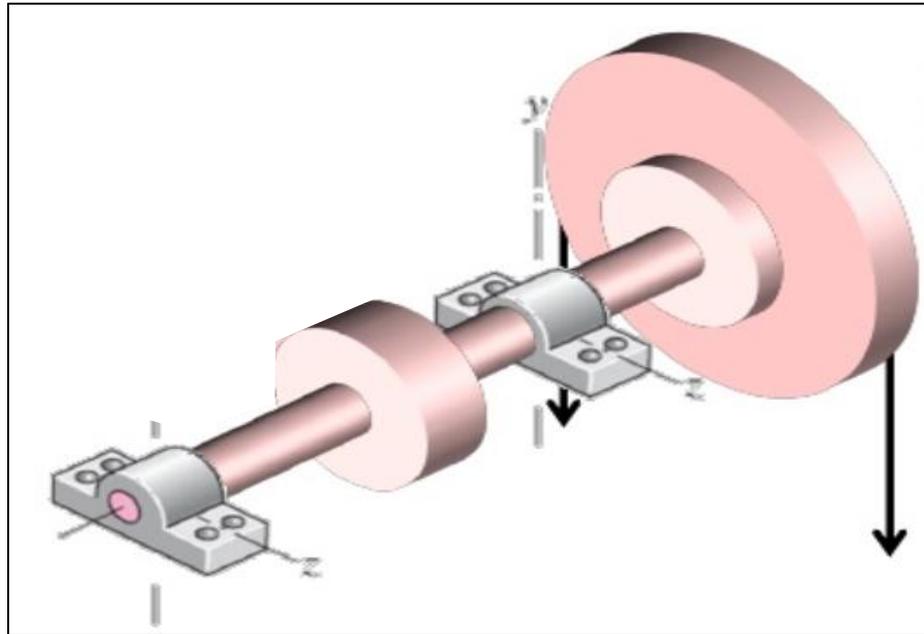


Ilustración de la Aplicación de las Fuerzas en el Eje Principal.

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley.

### I.3.9. Definición de Términos

**Choque:** Encuentro violento de dos o más cuerpos, de los cuales al menos uno está en movimiento.

**Desfibrar:** Quitar las fibras a una materia.

**Dieléctrico:** Material con una baja conductividad eléctrica ( $\sigma \ll 1$ ).

**Flexibilidad:** Capacidad de un cuerpo de doblarse fácilmente sin que exista peligro de que se rompa.

**Maleable:** Puede ser moldeado o trabajado con facilidad.

**Molienda:** Proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida, especialmente granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirlas a trozos muy pequeños.

**Molino:** Máquina que se emplea para triturar, moler, laminar o estrujar materias sólidas, generalmente está constituida por dos piezas, una móvil que gira sobre otra fija.

**Poliéster:** Resina plástica que es obtenida mediante reacciones químicas y es muy resistente a la humedad y a los productos químicos.

**Pultrusión:** Proceso de producción automatizado en continuo perfilaría de PRFV que permite obtener cualquier tipo de perfil longitudinal.

**Termoplástico:** Que se ablanda por la acción del calor y se endurece al enfriarse.

**Tenacidad:** Energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones.

**Torque:** Fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa.

#### **I.4. Formulación del Problema.**

¿Cuáles serán las características técnicas y geométricas de una máquina que será capaz de desfibrar 180 kg/h de fibra de vidrio en el distrito de José Leonardo Ortiz?

#### **I.5. Justificación e importancia del estudio.**

##### **I.5.1. Justificación Técnica.**

El actual proyecto constituye un primer esfuerzo de aportar cálculos de ingeniería de diseño que son muy escasos en el medio para el diseño formal de una maquina desfibadora de fibra de vidrio.

##### **I.5.2. Justificación Económica.**

El presente proyecto generara ganancias al distrito de José Leonardo Ortiz debido a que actualmente no cuentan con empresas formales dedicadas a este tipo de trabajos, por ende, se tendría un mercado libre de competencia.

##### **I.5.3. Justificación Ambiental.**

Dada la situación actual que se está atravesando, se vio la necesidad de diseñar una máquina que cumpla con normas de reciclado para los sobrantes de fibra de

vidrio con resina, para su posterior reutilización reemplazando productos tales como: madera, acero, aluminio, etc.

## **I.6. Hipótesis.**

No es aplicable a este tipo de investigación.

## **I.7. Objetivos.**

### **I.7.1. Objetivo General.**

Diseñar una máquina desfibadora de vidrio de 180 kg/h para su reutilización como materia prima en la elaboración de productos reforzados y obteniendo a su vez un beneficio económico para, José Leonardo Ortiz.

### **I.7.2. Objetivos Específicos.**

- i. Cuantificar los desechos de fibra de vidrio en el distrito de José Leonardo Ortiz.
- ii. Seleccionar la alternativa de solución de diseño optima en función a la matriz morfológica y matriz de criterios de ponderados.
- iii. Dimensionar la maquina desfibadora considerando las cargas externas de diseño de acuerdo con normativa, especificaciones ingenieriles o recomendaciones encontradas vigentes.
- iv. Realizar un diseño paramétrico de las distintas partes y sistemas críticos de la estructura de dicha máquina.
- v. Seleccionar los componentes estándar de la maquina desfibadora de fibra de vidrio.
- vi. Realizar un estudio económico de la maquina desfibadora de fibra de vidrio (PRI).

# **Capítulo II**

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

En el segundo capítulo se describirá las fases del proceso de investigación, tipo y diseño de investigación, precisando las variables de operacionalización. También se explicará las técnicas, instrumentos y procedimiento para la recolección de datos, las cuales tendrán criterios para garantizar la calidad y ética de la investigación.

### **II.1. Tipo y diseño de investigación.**

Aplicada y Cuasi – Experimental.

### **II.2. Población y muestra:**

No aplica

### **II.3. Variables**

El proyecto se hará uso de la metodología formal de diseño basado en las propuestas de Rudolf Eggert (Eggert, 2010), y George Dieter y Linda Schmidt (Dieter y Schmidt, 2012) donde se plantean: Variables de Solución, variables de Diseño, Variables Intervinientes y Parámetros de Definición de problema.

En el apartado “1.3.8. Partes de la maquina” se nombrará las partes que la maquina desfibadora empleará. Sabiendo esto se tomará las partes a diseñar de acuerdo con un diseño paramétrico.

#### **2.2.1. Operacionalización de variables**

##### **a) Eje principal del molino de martillos.**

En la siguiente (ver Tabla N°6) se mostrará las variables dependientes y variables independientes, así como su definición, escala, etc.

#### **Variable Independiente:**

Fibra de vidrio

#### **Variable Dependiente:**

Máquina desfibadora de fibra de vidrio

	VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE	Vidrio	Resistencia Mecánica	$\tau_{\text{cizallamiento}}$	Mpa
		Deformación	$\delta = \frac{\epsilon}{L}$	milímetros
		Dimensión	L	milímetros
		Densidad	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>
VARIABLE DEPENDIENTE	Molino desfibrador	Potencia Mecánica	$P = T \times \omega$	Kw
		Capacidad	$\frac{\text{masa}}{\text{tiempo}}$	T
		<i>Factor de Seguridad</i>	$\frac{\text{Resistencia}}{\text{Esfuerzo}}$	dimensional

**Tabla N° 06**

Operacionalización del eje principal del molino de martillo.

**Fuente:** Propia

### **2.3. Población y muestra.**

Por ser esta una tesis de tipo aplicada no se requiere.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

#### **2.4.1. Técnicas de recolección de datos.**

Para el resultado del presente trabajo, se emplearán técnicas de recolección de datos con el propósito de obtener la información indispensable para lograr los objetivos de la investigación.

Las técnicas que se emplearan son las siguientes:

##### **a) Observación**

Una de las técnicas muy importantes en recolección de datos sería la observación, la cual consiste en usar los sentidos para visualizar hechos, realidades sociales y a las personas en el quehacer de su día a día. La cual permitirá describir, conocer, comparar y reconocer datos para la investigación.

Se harán visitas periódicas al distrito de José Leonardo Ortiz, lo que nos permitirá determinar la problemática actual por la que está pasando. De las visitas se podrá comprobar la necesidad de la población de reducir la contaminación que aqueja al distrito.

##### **b) Encuestas**

Esta técnica permitirá la obtención de información que se requiere para la presente investigación, mediante una serie de preguntas realizadas por los alumnos que precede el proyecto y las cuales serán dirigidas a 47 personas que viven en el distrito de José Leonardo Ortiz.

El cuestionario contendrá preguntas sencillas e importantes, con la finalidad de buscar información y opiniones acerca de la situación que atraviesa el distrito sobre contaminación.

##### **c) Información bibliográfica**

Para lograr una óptima información y entendimiento sobre el tema. Las fuentes bibliográficas que se consultarán para la selección de información

serán obtenidas de internet, libros, tesis, publicaciones, etc., para el correcto diseño.

**d) Análisis de documentos**

Para lograr el análisis de documentos (libros, tesis, publicaciones, etc.) se empleará una técnica la cual nos ayudará a seleccionar la información adecuada que nos proporciona las fuentes para el desarrollo de nuestro proyecto.

**2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.**

Los instrumentos para una buena recolección de datos serán las siguientes:

**a) Guía de información**

Las guías de información será una alternativa más para documentar datos e información necesaria para el interés de la investigación en el distrito de José Leonardo Ortiz, tales como: geografía, puntos de contaminación, condiciones sociales y ambientales.

**b) Guía de revisión bibliográfica:**

La guía de revisión bibliográfica se utilizará para recolectar datos de bibliografía especializada a fin de obtener modelos matemáticos, criterios de selección de componentes electromecánicos y otros

**c) Cuestionarios**

Se realizará 47 encuestas a las personas las cuales abarcaran el tema de contaminación ambiental y preguntas sobre conocimiento de la fibra de vidrio.

**d) Guía de anexos**

Se realizará a la población para determinar el grado de conocimiento del tema.

**2.4.3. Procedimiento para la recolección de datos.**

A continuación, se describirá paso a paso el procedimiento de recolección de datos que se empleará en la presente investigación. Para mayor entendimiento observar el diagrama N° 1.

#### **Paso 1: Elaboración de la encuesta**

Se realizará preguntas para 47 pobladores del distrito de José Leonardo Ortiz sobre la contaminación ambiental de fibra de vidrio, la cual será necesaria para la elaboración de la máquina propuesta.

#### **Paso 2: Determinación del cronograma de encuestas**

Se acordará con los miembros del proyecto las fechas para la realización de las encuestas a los 47 pobladores del distrito de José Leonardo Ortiz, las cuales abarcaran siete días hábiles.

#### **Paso 3: Identificar la muestra, características y extensión**

Se considera que la muestra sea representada considerando el uso potencial del equipo. Las características se tendrán en cuenta la edad mínima – edad máxima, género y condición económica. Se mantendrá la aleatoriedad dándole la misma probabilidad a cada persona dentro de la población.

#### **Paso 4: Ejecución de la encuesta**

Se realizará las encuestas según los focos de mayor contaminación del distrito de José Leonardo Ortiz, determinando su grado contaminante y beneficios que se obtendría después del desarrollo del proyecto.

#### **Paso 5: Identificación de las necesidades de los pobladores**

Se identificará los datos con respecto a la contaminación de residuos sólidos para consideraciones del proyecto.

#### **Paso 6: Evaluación ambiental**

Se evaluará las condiciones ambientales que posee el distrito de José Leonardo Ortiz tomadas de las encuestas a la población y la observación.

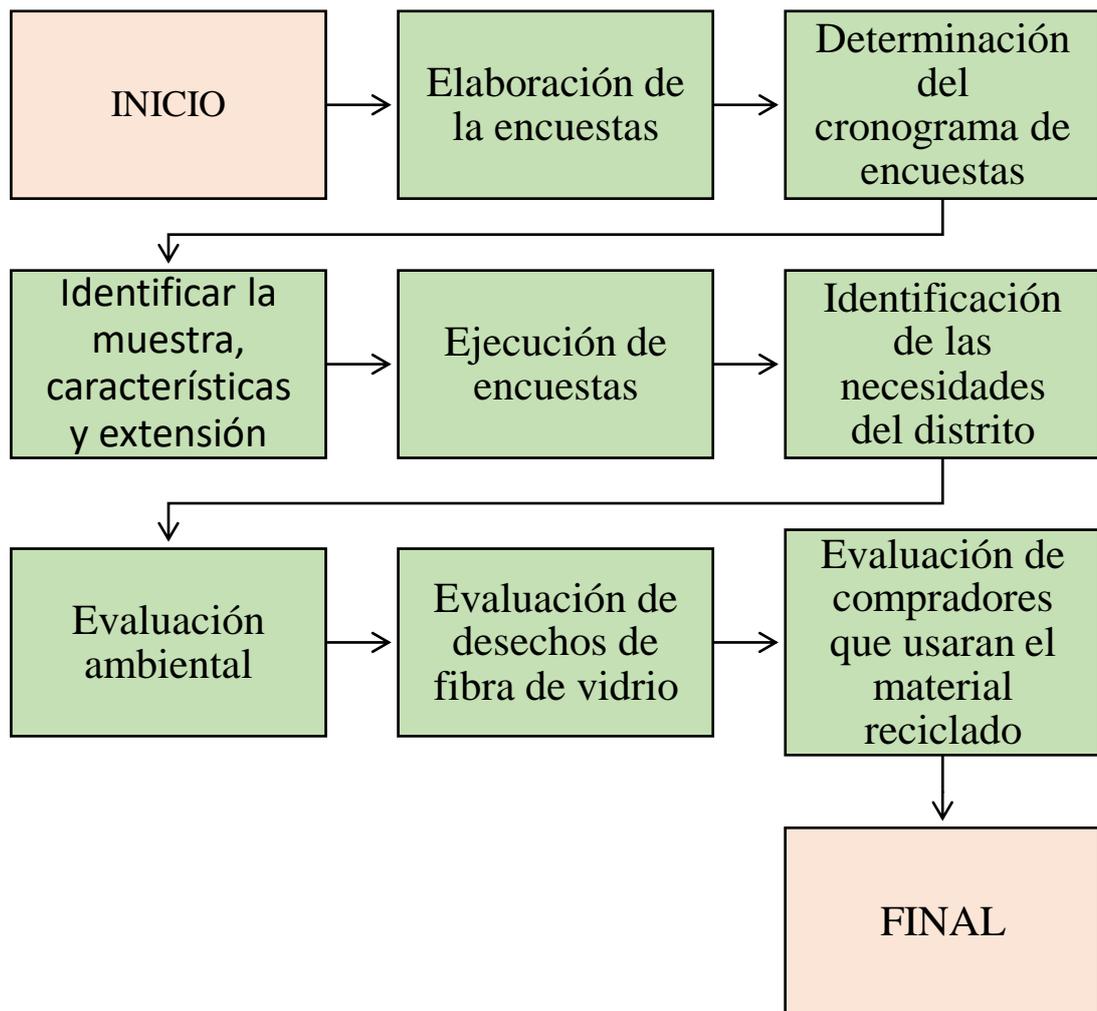
#### **Paso 7: Evaluación de desechos de fibra de vidrio**

De acuerdo con la recolección de datos donde habrá preguntas relacionadas a la fibra de vidrio se evaluará la cantidad de desechos de fibra de vidrio del distrito.

**Paso 8: Evaluación de compradores que usaran el material reciclado**

Se evaluará a los compradores que obtendrán el producto final, la cual consistirá en peles de fibra de vidrio con resina.

Diagrama de flujo del desarrollo de actividades:



**Diagrama N° 1:** Diagrama de flujo del desarrollo de actividades

**Fuente:** Propia.

## **2.5. Métodos de análisis de datos.**

Para efectos de análisis de datos se empleará los elementos básicos de estadística descriptiva, el cual incluye tablas de distribución de frecuencia, promedios aritméticos simples y elementos de la estadística general.

## **2.6. Criterios Éticos:**

Tendremos en cuenta los aspectos éticos de profesionalismo del colegio de ingenieros del Perú (CIP) y el código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán como se muestra en los anexos N° 2 y N° 3.

### **CODIGO DE ETICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ (CIP) APROBADO EN LA III SECCIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERIODO 1998 – 1999 EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 DE ABRIL 1999.**

**Art. 4** – Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.

**Art. 12** – Los ingenieros expresaran opiniones en temas de ingeniería solamente cuando ellas se basen en un adecuado análisis y conocimiento de los hechos, en competencia técnica suficiente y convicción sincera.

**Código de ética de la universidad señor de sipán elaborado por la dirección de investigación, revisado por el área de planificación y desarrollo institucional – asesoría legal. Ratificado por el acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851 – 2017/USS**

**Art. 7°:** Son deberes éticos de los investigadores:

- a) Autonomía.
- b) Responsabilidad.
- c) Profesionalismo.
- d) Compromiso con la sociedad.
- e) Supervisión.
- f) Desarrollo profesional.

**Art. 14°:** Respeto de los investigados y de lo investigado:

- a) Respetar las condiciones de salud, de integridad física, psicológica y moral de las personas o grupos que participan en el estudio.
- b) Solicitar y obtener el consentimiento expresado e informado de las personas sujetos investigación.
- c) Respetar la idiosincrasia y la cultura de los participantes en la investigación.
- d) Garantizar el bienestar de las personas, animales y plantas, como objeto de investigación.
- e) Garantizar el almacenamiento adecuado de la información obtenida para el estudio.
- f) Aplicar en todo momento los criterios de confidencialidad y anonimato.
- g) Presentar los resultados respetando las normas de Propiedad Intelectual.

### **2.7. Criterios de Rigor Científico:**

En esta investigación se tendrá en cuenta cuatro criterios de rigor científico los cuales se muestran a continuación.

#### **Credibilidad**

Se alcanzará cuando se logra la confianza de variable relevante a través de la averiguación, en la que se acompaña a la realidad ya que no fue alterada por ninguna causa externa.

#### **Generalización**

Se trata si la información rescatada de una entrevista o una encuesta este formalmente apropiada y realizada.

### **Fiabilidad**

Tiene como objetivo demostrar la trasparecía del investigador de las mediciones cuando se consiga y pertenezca a una metodología meticulosa y científica.

### **Replicabilidad**

Los registros y métodos estarán orientados a permitir la reanudación de la experiencia con la intención de adelantar la contratación de resultados en proyectos de investigación siguientes.

# **Capítulo III**

## **RESULTADOS**

### III. RESULTADOS

#### III.1. Cuantificar los desechos de fibra de vidrio en el distrito de José Leonardo Ortiz

Las necesidades se determinaron mediante un reconocimiento visual en el distrito de José Leonardo Ortiz y 47 encuestas anónimas (ver formato de la encuesta en Anexo N°1) en línea realizadas a pobladores del distrito.

Se realizó tablas, la cual muestra las preguntas con su porcentaje mayor de la respuesta seleccionada por los encuestados. A continuación, se explicará la conclusión de cada respuesta.

#### PREGUNTA N°1: Resultados en la tabla N° 07

##### Tabla N° 07

Tipos de materiales comunes de reciclado en el distrito de J.L.O.

Fuente: Propia

Ítem	Descripción	Recicladora
1	Plástico Papel /cartón Metal Vidrio Fibra de Vidrio	Recicladora A,B,C,D,E,F,G
2	Papel/cartón Metal	Recicladora H
3	Plástico Papel/cartón Vidrio	Recicladora I , J

**PREGUNTA N°2:** Resultados en la tabla N° 08

**Tabla N° 08**

Forma de obtención de los materiales comunes de reciclado en el distrito de J.L.O.

**Fuente:** Propia

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Recicladora</b>
<b>1</b>	Reciclador particular	Recicladora A,B,C,D,E.
	Poblador	
	Operador de camión recolector de desperdicios	
<b>2</b>	Reciclador particular	Recicladora F,G,H,I,J.
	Poblador	
	Operador de camión recolector de desperdicios	

**PREGUNTA N°3:** Resultados en la tabla N° 9

**Tabla N° 09**

Cantidad de materiales comunes de reciclado en el distrito de J.L.O.

**Fuente:** Propia

<b>Recicladora</b>	<b>Plástico (kg)</b>	<b>Papel/cartón (kg)</b>	<b>Metal (kg)</b>	<b>Vidrio (kg)</b>	<b>Fibra de vidrio (kg)</b>
<b>A</b>	178.00	145.87	112.00	71.12	10.88
<b>B</b>	174.00	141.13	106.13	103.43	100.84
<b>C</b>	162.00	126.70	124.26	121.96	119.76
<b>D</b>	155.00	118.11	115.49	113.01	110.64
<b>E</b>	176.30	143.86	143.84	143.79	143.75
<b>F</b>	207.80	206.08	204.58	203.18	201.86
<b>G</b>	171.00	168.91	167.0	165.3	163.7

			8	7	5
<b>H</b>	187.00	156.42	124.8 3	88.15	85.12
<b>I</b>	224.00	222.40	221.0 2	219.7 2	218.5 0
<b>J</b>	152.00	114.38	111.6 8	109.1 1	106.6 6
<b>PROMEDIO</b>	178.71	154.39	143.0 9	133.8 9	126.1 8

En el 2018 se puede notar que el total de vibra de vidrio acopiado en las empresas informales por hora es de 1261.78 kg/día que equivale a 157.72 kg/hr; para nuestro diseño consideraremos un 12% de incremento para los siguientes 3 años lo que equivale a 180 kg/hora.

**PREGUNTA N°4:** Resultados en la tabla N° 10

**Tabla N° 10**

Costo de materiales comunes de reciclado en el distrito de J.L.O. por kilogramo.

**Fuente:** Propia

<b>Reciclador a</b>	<b>Plástico (S/.)</b>	<b>Papel / Cartón (S/.)</b>	<b>Metal (S/.)</b>	<b>Vidrio (S/.)</b>	<b>Fibra de vidrio (S/.)</b>
<b>A</b>	1.45	0.82	1.94	1.57	0.64
<b>B</b>	1.65	1.02	2.14	1.77	0.84
<b>C</b>	1.55	0.92	2.04	1.67	0.74
<b>D</b>	1.48	0.85	1.97	1.60	0.67
<b>E</b>	1.50	0.87	1.99	1.62	0.69
<b>F</b>	1.62	0.99	2.11	1.74	0.81
<b>G</b>	1.38	0.75	1.87	1.50	0.57
<b>H</b>	1.49	0.86	1.98	1.61	0.68
<b>I</b>	1.47	0.84	1.96	1.59	0.66
<b>J</b>	1.59	0.96	2.08	1.71	0.78

<b>PROMEDIO</b>	1.52	0.89	2.01	1.64	0.71
-----------------	------	------	------	------	------

El precio total de compra para 1261.78 kg/día será de S/.895.86 soles día y S/. 26,875.92 soles mensuales.

**PREGUNTA N°5:** Resultados en la tabla N° 11

**Tabla N° 11**

Costo de materiales comunes de reciclado en el distrito de J.L.O. por kilogramo.

**Fuente:** Propia

<b>Reciclador a</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
<b>A</b>		x	
<b>B</b>	x		compactación
<b>C</b>	x		compactación
<b>D</b>	x		compactación
<b>E</b>	x		compactación/triturado
<b>F</b>		x	
<b>G</b>		x	
<b>H</b>	x		compactación
<b>I</b>		x	
<b>J</b>	x		compactación/triturado

Tabla N° 12

Resultados de las preguntas 6 al 10.

**Fuente:** Propia.

<b>PREGUNTAS</b>	<b>RESPUESTA</b>
Apoyaría la iniciativa de que el distrito adquiriera máquinas de reciclaje de desperdicios?	Sí
	No sabe / No opina
¿Cuánto pagaría por una maquina recicladora que le pueda producir ingresos familiares a partir del reciclaje de desperdicios?	S/ 2,500 Soles
	S/. 3,500 Soles
Según Usted ¿Cuáles serían las dimensiones ideales de una maquina recicladora de desperdicios (Ejemplo Fibra de Vidrio) para un negocio familiar?	Largo: menos de 1.50 metros
	Ancho: menos de 1.50 metros
	Altura: menos de 2.00 metros
Qué características debería poseer una maquina cladora de desperdicios (Ejemplo Fibra de Vidrio) para un negocio familiar?	Fibra de vidrio
	Fácil de Usar
	Poco ruidosa
	De buen material
<b>10.</b> Si el municipio decidiera adquirir una maquina recicladora ¿Cuánto dinero estima usted debería pagar por una maquina recicladora de desperdicios?	S/. 8,000 Soles
	S/ 15,000 Soles
	S/ 25,000 Soles

## **III.2. Seleccionar la alternativa de solución de diseño optima en función a la matriz morfológica y matriz de criterios de ponderados**

### **III.2.1. Normativa relacionada a maquinas Recicladoras de Fibra de Vidrio**

A continuación, se mencionará normativa que se tendrán en cuenta para el diseño de la maquina recicladora de fibra de vidrio.

#### **a. ISO 14001:2004 – Sistemas de gestión ambiental**

Esta norma internacional especifica los requisitos que se deben tener en cuenta para un sistema de gestión ambiental (ver Anexo N° 3). Establece una política ambiental apropiada, identificando los aspectos ambientales que se produzcan de las actividades y servicios de la máquina.

#### **b. NTC 1522 – Ensayo para determinar la Granulometría por Tamizado**

En esta norma (ver Anexo N° 4) establece el procedimiento a seguir para las operaciones de tamizado de Suelos, con la finalidad de determinar la composición granulométrica del material; expresado en porcentajes de los diversos tamaños de las partículas.

#### **c. NORMA 2600SEG243 – Manejo de Fibra de Vidrio**

En la presente norma (Ver Anexo N° 5) se da a conocer los procedimientos para proteger a los empleados en prevenir la contaminación, irritaciones cutáneas y respiratorias ocasionadas por la exposición al polvo de fibra de vidrio.

### **III.2.2. Recomendaciones de Diseño**

Luego de realizar una búsqueda a nivel nacional e internacional se concluyó que la información de los códigos, normas o estándares oficiales es limitada por no decir inexistentes, por lo cual se optó por recurrir a las recomendaciones de diseño de tesis, paper, etc. (ver tabla N° 13)

### **III.2.3. Especificaciones Ingenieriles**

Una vez obtenida las necesidades del distrito de José Leonardo Ortiz, esta se expresará de manera ingenieril con sus respectivas unidades y limitaciones, para cada sub-función definida por las conclusiones de las encuestas realizadas. A

continuación, se mostrará en la Tabla N° 12 las especificaciones ingenieriles de acuerdo con la necesidad y características sugeridas por los autores.

#### **III.2.4. Conceptos de solución a las necesidades del distrito**

Se dará solución a las necesidades que presenta el distrito a través de dos procesos desfibrado (Molino de Martillos), con la finalidad de disminuir la contaminación y emplear la materia prima que se obtiene para elaborar nuevos productos.

A continuación, se hablará de forma independiente de los conceptos de solución que se pueden emplear.

#### **III.2.5. Molino de Martillos**

Para el proceso de desfibrado el cual involucra el molino de martillos, se presentarán dos alternativas de solución. Las cuales estarán presentadas con la descripción, ventajas y desventajas de estas.

**Tabla N° 13**

Recomendaciones de Diseño

**Fuente:** Propia.

FACTORES CRITERIOS	RECOMENDACIÓN DE DISEÑO	REFERENCIA
Diseño	recomienda que el software SolidWorks puede ayudar a determinar que el diseño realizado es el óptimo para el trabajo requerido.	es, Eder: Cardona, Nairo Clavijo, Carlos. - 2011
	El espesor del martillo debe ser igual o mayor al espesor del grano.	drado, Ivan; Rueda, José 2009
	a el diseño de elementos del molino de martillo se estableció un factor de seguridad mínima de 3, para molinos de martillos a gran escala se recomienda que el factor se reduzca a 3.	Bermeo, Diana.- 2014
Operación y/o Mantenimiento	Potencia de trabajo debe ser de 3HP con una RPM de trabajo de 3000 RPM	esisch, Teodoro - 2018
	recomienda hacer mantenimiento preventivo principalmente con lo referente a las bandas y engrase de los rodamientos.	drado, Iván; Rueda, José Luis. - 2009
	a que la productividad y rendimiento del molino no disminuya, se recomienda estar alerta al desgaste de los componentes interno, principalmente de los martillos.	
	omendable que los productos antes de su ingreso a la tolva hayan sido sometidos a un proceso de secado, con el fin de evitar posibles problemas de atascamiento en los orificios de la criba.	, Jonathan; Lozano, Elío 2014
	na de operación del molino de martillos debe estar aislada o en un cuarto exclusivo de trabajo, debido al polvo que se producto durante el proceso que puede afectar la salud de las personas.	

Material	<p>se recomienda colocar un imán para la sustracción de los metales que no son detectados para una mayor seguridad.</p>	<p>SAF EQUIPMENT - 2018</p>
	<p>cuando se utiliza para consumo humano se deberá utilizar acero inoxidable como material primordial en su construcción.</p>	
	<p>para el eje principal del molino de martillos se recomienda emplear el acero AISI 1018.</p>	<p>Bermeo, Diana.- 2014</p>
	<p>para el resto de la máquina que no sea el eje principal se recomienda emplear el acero ASTM A36.</p>	

**Tabla N° 14**

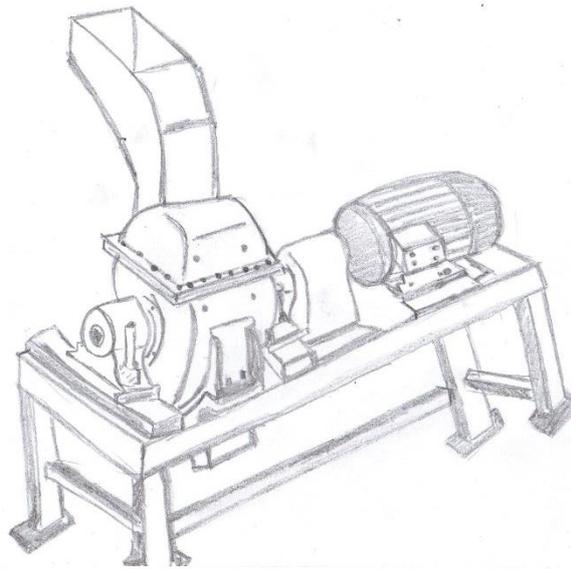
Especificaciones Ingenieriles

**Fuente:** Propia.

SUB FUNCION	RACTERISTICAS INGENIERILES	UNIDADES	LIMITES
Tamaño de la máquina	Dimensiones	Metros	Largo: $l \leq 1.50$ Altura: $h \leq 2.00$ Ancho: $a \leq 1.50$
Tiempo de carga	Tiempo de llenado	Minutos	$x \leq 10$
Arranque de Motor	Tiempo de arranque	Segundos	$x \leq 5$
Encendido del Motor	Tiempo de apagado	Segundos	$x \leq 5$
Material	Material de diseño de la maquina	-----	Acero
Materia Prima	Material para su funcionamiento	-----	Plásticos (Fibra de Vidrio)

### III.2.5.1. Concepto N° 01 para molino de martillos

Este concepto de solución para el molino de martillos se basa en el trabajo de Kresisch (Kresisch, 2017). En este concepto el motor se encuentra de manera directa con el eje del molino (ver Figura N° 22), un acople directo. Trabaja con una potencia de 10 HP y una velocidad de 1500 RPM, esto permite que la fuerza de impacto de los martillos sea de aproximadamente 24 kg. Con respecto a los martillos, presenta 4 filas, las cuales son 2 filas de 9 martillos y 2 filas de 8 martillos un total de 34 martillos.



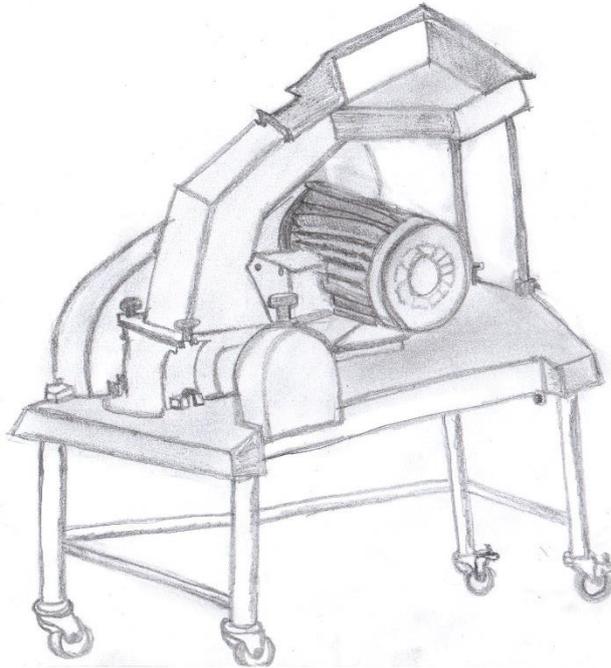
Al tener el eje del motor acoplado directamente con el eje del molino nos brinda un mejor funcionamiento. La entrada y salida de la cámara se encuentran a 180°, brindando así un recorrido mínimo del material. La separación entre martillos y las mordazas se puede ajustar dependiendo del producto a procesar.

La disposición del molino y el motor hace que estos ocupen demasiado espacio. Al encontrarse la entrada por la parte superior del molino dificulta el acceso de material pesado al molino.

### III.2.5.2. Concepto N° 02 para molino de martillos

En este segundo concepto de solución para el molino de martillos se tomará de los datos propuestos de Kresisch (Kresisch, 2018). En esta ocasión el molino

y el motor se encuentran en paralelo (ver Figura N° 23), comunicados por una faja de transmisión. El molino trabaja con 3000 RPM y una potencia de 3 HP; contando con 9 martillos los cuales 5 y 4 están cruzados. La capacidad se encuentra de entre 3 – 6 Tn/h.



**Figura N° 23:** Concepto de solución N° 02 de Molino de Martillos.

**Fuente:** Propia

Al tener sus martillos en una disposición cruzada permite que el material pueda ser golpeado. En este modelo de martillo, la bandeja de recepción se encuentra con una superficie más grande para la colocación del material, permitiendo un mejor acceso a materiales pesados.

Estando el eje del molino y el eje del motor separados por una faja de transmisión puede ocasionar una pérdida en el sistema y/o incluso presentar inconvenientes. La potencia de trabajo en comparación de la anterior alternativa de solución es menor, la que conlleva a que la máquina tenga más tiempo de funcionamiento.

### **III.3. Selección del concepto de Solución**

Antes de la selección del concepto de solución se elaborará una matriz morfológica (ver tabla N° 15) donde se combinarán los conceptos de solución del molino de

martillos, dando 2 soluciones posibles. Después se dará paso a la selección de la alternativa ideal mediante una matriz de selección de conceptos (ver tabla N° 16) teniendo en cuenta los criterios de evaluación:

- a) **Construcción:** Criterio tomado en cuenta por el tiempo que tomara la construcción de la máquina.
- b) **Mantenimiento:** Se considera este criterio debido a la necesidad de poder realizar un correcto mantenimiento a la máquina que se diseñara.
- c) **Diseño:** Dependerá de la complejidad del diseño de la máquina.
- d) **Ergonomía:** Este criterio se refiere a la comodidad que tendrá el operario para usar la máquina.
- e) **Costo:** Que tan costoso será construir la maquina con las condiciones establecidas.

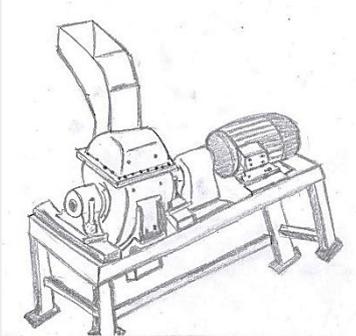
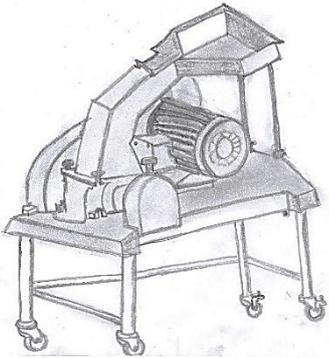
La puntuación que se le dará a cada alternativa de solución teniendo en cuenta los criterios serán de la siguiente manera (ver tabla N° 16): Insatisfecho (1), Satisfecho (3), Complacido (5) y la puntuación que obtengan será multiplicado por el porcentaje dado por los estudiantes (%).

**Tabla N° 15**

Matriz Morfológica de los Conceptos

Fuente: Propia.

**CONCEPTOS DE SOLUCION**

		CONCEPTO N° 01	CONCEPTO N° 02
MIBRAD ORA S			
	Estado de Satisfacción		
	Satisfecho	5	
	Muy satisfecho	4	
	Suficiente	3	
	Poco satisfecho	2	

isfecho	1
---------	---

**Tabla N° 16**

Puntuación del grado de Satisfacción

**Fuente:** Propia.

**Tabla N° 17**

Matriz de Selección Ponderada

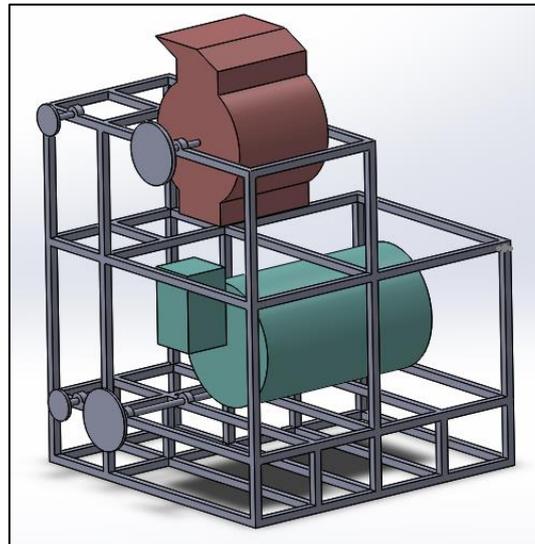
Fuente: Propia

CONCEPTOS DE SOLUCION		Concepto N° 01		Concepto N° 02	
CRITERIO	Importancia (%)	Situación	Situación Ponderada	Situación	Situación Ponderada
CONSTRUCCION	15	3	0.45	3	0.45
MANTENIMIENTO	20	3	0.60	2	0.40
DISEÑO	30	2	0.60	3	0.90
ERGONOMIA	20	4	0.80	2	0.40
COSTOS	15	3	0.45	3	0.45
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		2.90		2.60

El concepto de solución 01 es la configuración más adecuada según el resultado de la matriz de ponderados con los criterios de construcción, mantenimiento, diseño, ergonomía y costos.

### III.4. Diseño de configuración

De lo obtenido en la Tabla N° 15, se elabora la configuración para el diseño de la máquina trituradora. Considerándose la estructura, posición de ingreso y salida de materia prima, componentes de la transmisión mecánica y sistema desfibrador. (Ver figura N° 24)



**Figura N° 24:** Vistas isométricas de la configuración.

**Fuente:** Propia

### III.5. Dimensionamiento de la máquina desfibradora y pulverizadora

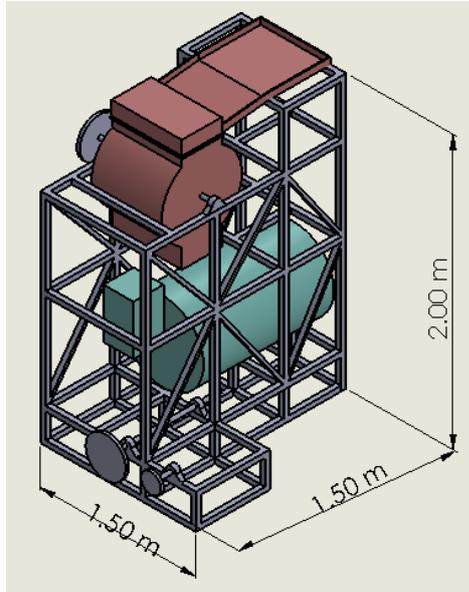
Después de obtener el diseño de configuración, se procedió a dimensionar las características geométricas generales de la máquina a diseñar. Esto se realizará teniendo en cuenta tesis relacionadas al tema, normas de diseño y los criterios ingenieriles ya mencionados (ver figura N° 25).

Se tomaron en cuenta las siguientes especificaciones:

La máquina que se diseñara no requerirá operar a una elevada temperatura debido a que se encontrará a temperatura ambiente (20 a 30 °C). La estructura se ubicará en una superficie plana y en forma estacionaria; con respecto al aspecto estético debe ser atractivo y contar con una excelente ergonomía para el trabajo del personal.

Según las especificaciones ingenieriles obtenidas de las encuestas la altura límite de la estructura de la máquina debe ser 2 metros, contando con la tolva de ingreso y salida del material a procesa, sin olvidar que debe contar con facilidad

de operación, mantenimiento, montaje y desmontaje de los molinos a emplear. Por otro lado, el ancho y el largo tendrán como límite de la estructura 1.50 metros.



**Figura N° 25:** Dimensionamiento general de la maquina desfibadora y pulverizadora de fibra de vidrio.

**Fuente:** Propia

### **III.6. Selección de materiales**

Se realizó la selección de los materiales de la estructura y del molino guiándose en las recomendaciones de diseño de la Tabla N° 14 y de acuerdo a los criterios ingenieriles Tabla N° 13.

#### **III.6.1. Selección de material para la estructura**

Según las recomendaciones de diseño, se debe emplear el acero ASTM A36 ver tabla N° 18, para la elaboración de la estructura que contendrá el molino. (Duverli, Angel; Tierra, José.- 2012)

**Tabla N° 18**

Propiedades ASTM A36

**Fuente:** Plomería de casa – 2016

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7.85	g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	400 - 552	MPa
Límite de Fluencia	250	MPa
Módulo de Young	200 000	MPa
Módulo de Cortante	79 300	MPa
Coefficiente de Poisson	0.26	---
Elongación	18	%
Dureza Rockwell B	67 - 83	---
Dureza Brinell	119 - 159	---

### III.6.2. Selección de material para el eje del molino

El material a emplear para el eje principal (molino de martillos), debe ser un material que tenga como principales características una alta resistencia a la ruptura. Por lo que se siguió la recomendación de diseño (Bermeo, Diana - 2014), la cual propone emplear el acero estructural AISI 1018. De los aceros al

carbono, este acero es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo. Ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación; aunque es propenso al óxido. Las propiedades se pueden apreciar en la tabla N° 19.

**Tabla N° 19**

Propiedades AISI 1018

**Fuente:** Alibaba.com – 2010.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7.87	g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	370	MPa
Límite Elástico	350	MPa
Módulo de Elasticidad	205	GPa
Módulo de Cortante	80	GPa
Coefficiente de Poisson	0.29	---
Elongación (en 50 mm)	15	%
Dureza Rockwell B	68	---
Dureza Vickers	126	---
Dureza Brinell	121	---
Resistencia última	440	MPa

### III.7. Cálculo de cargas de diseño

Como se indicó en la Sección 2.2. (Variables) se diseñará el eje principal de la máquina desfibradora, siguiendo la sección 3.9. (Selección de material) el material elegido para los ejes de los molinos serán el AISI 1018.

Para realizar la simulación en el software CAE, se muestra la ubicación del eje en la estructura (ver Figura N° 26) donde se calculará las cargas de diseño en los ejes: cargas gravitacionales, reacciones, fuerzas, momentos, etc; realizando el DCL en los ejes (ver Figura N° 27).

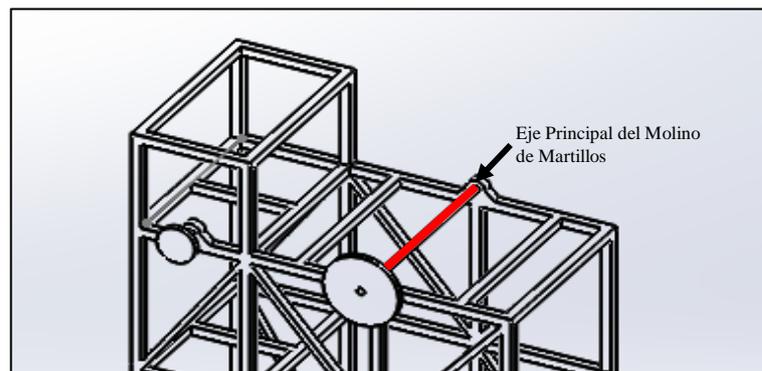


Figura N° 26: Diagrama de los ejes en la estructura.

Fuente: Propia

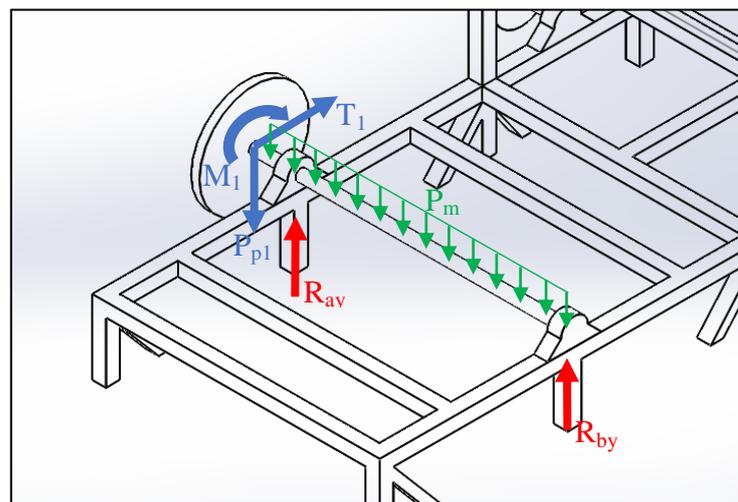
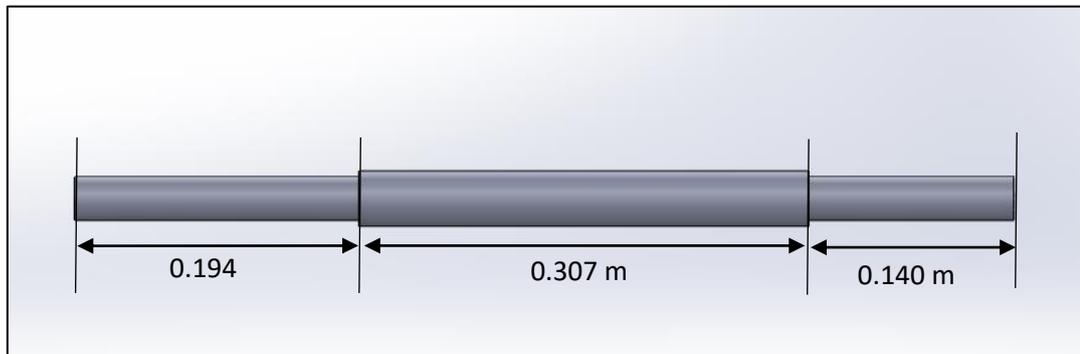


Figura N° 27: Diagrama de Cuerpo Libre del eje principal del molino de martillos.

Fuente: Propia

### III.7.1. Cálculo de cargas en el Eje Principal de la máquina desfibradora.

Teniendo el Eje Principal (ver Figura N° 28) con 0.641 metros de largo, medida obtenida del dimensionamiento realizado. Luego se procedió a realizar los diagramas: Diagrama de Fuerza Cortante (ver Figura N° 29) y Diagrama del Momento Flector (ver Figura N° 30). La secuencia de cálculo detallado se



mostrará en el Anexo N° 6.

**Figura N° 28:** Diagrama de los ejes en la estructura.

**Fuente:** Propia

- Número de martillos:

$$L_e = n(e_1 + e_2) + e_1 \dots (6)$$

$$307 \text{ mm} = n(10 \text{ mm} + 6.35 \text{ mm}) + 10 \text{ mm}$$

$$n = 18.16 \approx 18 \text{ martillos}$$

Donde:

$L_e$ : Longitud total del eje (mm)

$e_1$ : Espesor del separador (mm) - (referencia de tesis)

$e_2$ : Espesor de la placa del martillo =  $\frac{1}{4}$ " = 6.35 mm

- Potencia:

Se calculará la potencia con la suma de potencia en vacío P y la potencia de carga.

Potencia del motor

$$P = \frac{W * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * \eta * \eta_m} \dots (7)$$

Donde:

P: Potencia del motor (HP)

W: Peso de un martillo (kg)

R: Diámetro del disco (m)

e: Número de martillos

n: Vueltas por minuto del rotor

f: Factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos.

$\eta$ : Rendimiento mecánico por transmisión.

$\eta_m$ : Rendimiento del motor.

**Tabla N° 20**

Factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos.

**Fuente:** Duda. H.W

Velocidad tangencial m/seg.	Factor f
<b>17</b>	0,02200
<b>20</b>	0,01600
<b>23</b>	0,01000
<b>26</b>	0,00800
<b>30</b>	0,00300
<b>40</b>	0,00150

- Velocidad tangencial m/seg

$$v_t = r * \omega \dots (8)$$

$$\omega = \frac{\pi}{30} (3000) = 314.16 \frac{rad}{s}$$

$$v_t = (0.066 \text{ m} + 0.0204 \text{ m}) * 314.16 \frac{rad}{s} v_t = 27.14 \text{ m/s}$$

- Interpolando con la tabla anterior:

26	0.00800
27.14	f
30	0.00300

Donde  $f = 0.006575$

$$P = \frac{0.015 \text{ kg} * 0.120^2 * 3000^3 * 144 * 0.006575}{8 * 100000 * 0.85 * 0.80} P = 9.69 \text{ HP}$$

Potencia en vacío (Ley de Von Rittinger)

$$E = k * f * \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) \dots (9)$$

Donde:

k: Constante de Rittinger (HP\*h\*cm/ton)

f: Factor que depende del tipo de molienda, seca o húmeda. Para molienda seca es: 1.3

d1, d2: Diámetro del producto de entrada y de salida respectivamente.

$$E = 1.00 * 1.3 * \left( \frac{1}{0.776} - \frac{1}{9.848} \right) E = 1.54 \frac{\text{HP} * h}{\text{ton}}$$

Potencia de carga necesaria:

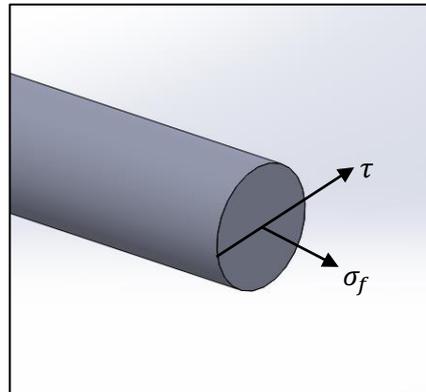
$$P_{\text{carga}} = \text{capacidad} * E \dots (10) P_{\text{carga}} = \frac{0.003 \left[ \frac{\text{ton}}{h} \right]}{0.0166} * 1.54 \left[ \frac{\text{HP} * h}{\text{ton}} \right] P_{\text{carga}} = 0.2789 \text{ HP}$$

$$P_{\text{motor}} = (9.69 + 0.2789) \text{HP} = 9.97 \text{ HP}$$

### ANÁLISIS ESTÁTICO

$$\sigma_f = \frac{M_{\text{máx}} \left( \frac{d}{2} \right)}{I} = \frac{32 M_{\text{máx}}}{\pi d^3}$$

$$\tau = \frac{T_{\text{máx}} \left( \frac{d}{2} \right)}{I} = \frac{16 T_{\text{máx}}}{\pi d^3}$$



Esfuerzo de Von Mises,  $\sigma'$ :

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2}$$

Factor de Seguridad, F.S:

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Reemplazando las dos anteriores ecuaciones:

$$\left( \frac{S_y}{F.S} \right)^2 = \sigma_f^2 + 3\tau^2 \dots (11)$$

$$\left( \frac{S_y}{F.S} \right)^2 = \left( \frac{32 M_{\text{máx}}}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 T_{\text{máx}}}{\pi d^3} \right)^2$$

Se despejará el diámetro

$$d = \sqrt[6]{\left(\frac{F.S}{S_y}\right)^2 \left( \left(\frac{32 M_{m\acute{a}x}}{\pi}\right)^2 + 3 \left(\frac{16 T_{m\acute{a}x}}{\pi}\right)^2 \right)} \dots (12)$$

Donde:

F.S: Factor de Seguridad.

$S_y$  : Resistencia a la fluencia de AISI 1018 (MPa)

$M_{m\acute{a}x}$  : Momento máximo (N.m)

$T_{m\acute{a}x}$  : Torque máximo (N.m)

d: diámetro (m)

$$d = \sqrt[6]{\left(\frac{2.5}{370}\right)^2 \left( \left(\frac{32 (17.35)}{\pi}\right)^2 + 3 \left(\frac{16 (24.76)}{\pi}\right)^2 \right)}$$

$$d = 0.0140 \text{ m}$$

$$I = \left(\frac{\pi * d^4}{32}\right) I = 3.8 * 10^{-9}$$

Reemplazando

$$\sigma_f = \frac{M_{m\acute{a}x} \left(\frac{d}{2}\right)}{I} = \frac{32 M_{m\acute{a}x}}{\pi d^3} = 6.54 * 10^{-6}$$

$$\tau = \frac{T_{m\acute{a}x} \left(\frac{d}{2}\right)}{I} = \frac{16 T_{m\acute{a}x}}{\pi d^3} = 7.88 * 10^{-6}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} = 1.51 * 10^{-7}$$

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma'} = 24.42$$

### ANÁLISIS EN FATIGA

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \dots (13)$$

Donde:

$k_a$ : Factor de modificación de la condición superficial.

$k_b$ : Factor de modificación del tamaño.

$k_c$ : Factor de modificación de la carga.

$k_d$ : Factor de modificación de la temperatura.

$k_e$ : Factor de confiabilidad

$k_f$ : Factor de modificación de efectos varios.

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

- Factor de modificación de la condición superficial.

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \dots (14)$$

Donde:

Sut: Resistencia mínima a la tensión.

a y b: se encuentran en la tabla (6-2). - Maquinado (4.51 y -0.265)

$$k_a = 2.70 \cdot (380)^{-0.265} = 0.5594$$

- Factor de modificación del tamaño.

$$k_b = 1.24 * d^{-0.107} \dots (15)$$

$$k_b = 1.24 * 38 \text{ mm}^{-0.107} = 0.84$$

- Factor de modificación de la carga.

$$k_c = 1 \text{ (Flexión)} \dots (16)$$

- Factor de modificación de la temperatura.

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} = 1 \dots (17)$$

-

- Factor de confiabilidad

$$k_e = 1 \dots (18)$$

- Factor de modificación de efectos varios.

$$k_f = 1 \dots (19)$$

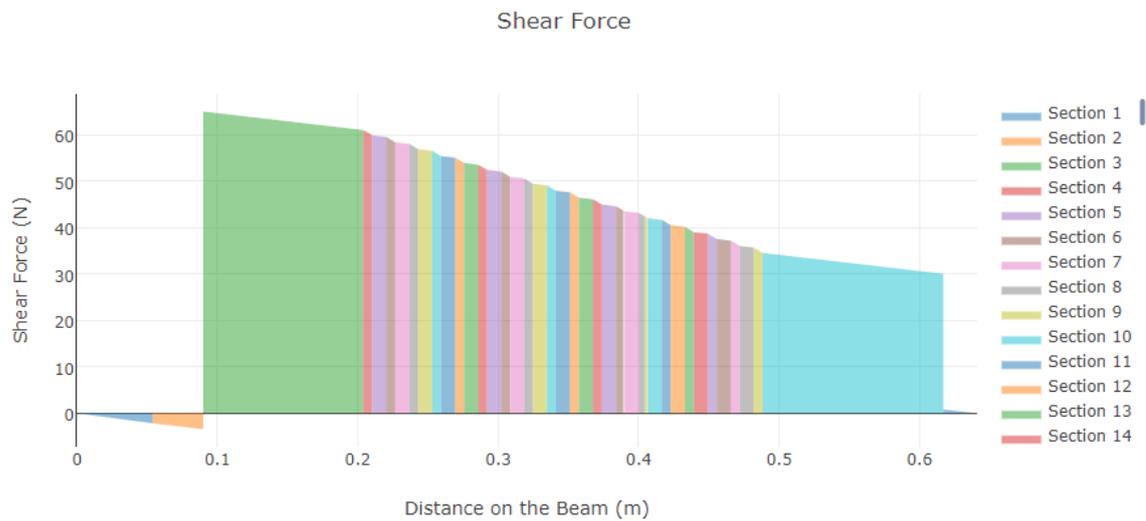
- Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

$$S'_e = 0.5 * Sut \dots (20) S'_e = 0.5 * 440 = 220 \text{ MPa}$$

- Se despeja el diámetro

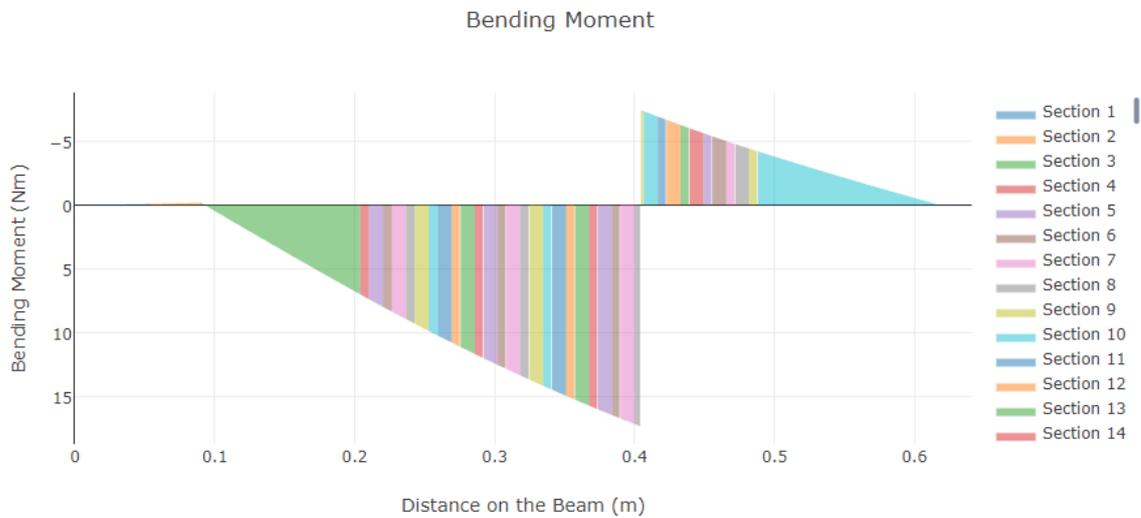
$$d2 = \left\{ \frac{16}{\pi d^3} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right] \frac{1}{2} \right\}^{\frac{1}{3}} \dots (21)$$

$$d2 = 0.0151 \text{ mm}$$



**Figura N° 29:** Diagrama del Fuerza Cortante – Eje Principal del Molino de Martillos

**Fuente:** Propia



**Figura N° 30:** Diagrama del Momento Flector – Eje Principal del Molino de Martillos.

**Fuente:** Propia

### **III.7.2. Diseño paramétrico del Eje Principal del Molino de Martillos**

#### **Análisis estáticos**

En este apartado del diseño se empleó la caja negra del Diagrama N° 2 y los datos que se mostraran en la Tabla N° 21 es la parametrización de las variables: Longitud total del eje (m), Resistencia mecánica del eje (1010, 1018, 1020, 1045) (MPa), Torque (N.m), Momento máximo (N.m), carga perpendicular al eje (kg) y tiempo de carga (min). La cual nos facilitara la parametrización y sirvieron para el desarrollo de la GUI.

Los rangos que se establecieron para parametrización se explicaran a continuación.

#### **Longitud total del eje (Lt)**

De acuerdo al dimensionamiento en el apartado 3.8, se decidió no superar el largo obtenido a través de las encuestas a la población del distrito de José Leonardo Ortiz.

$$Lt = 0.641 \text{ m}$$

#### **Resistencia Mecánica del eje (Sy)**

Los siguientes datos se obtuvieron de la búsqueda en internet de los aceros AISI 1010, AISI 1018, AISI 1020 y AISI 1045. Aunque por recomendaciones de diseño del apartado 3.3, se empleara el AISI 1018 como material para la construcción del eje principal del molino de martillos. Para estudios se observará el comportamiento con otros 3 aceros.

$$Sy \text{ AISI } 1010 = 305 \text{ MPa} \quad Sy \text{ AISI } 1018 = 370 \text{ MPa}$$

$$S_y \text{ AISI } 1020 = 330 \text{ MPa}$$

$$S_y \text{ AISI } 1045 = 530 \text{ MPa}$$

### Torque (T)

El torque para el molino de martillos se obtendrá de los cálculos de escritorios (ANEXO N°6), donde se obtiene una potencia de 9.1 HP y llevado a torque será de:

$$T = 241.81 \text{ N.m}$$

### Momento Máximo (M)

Del apartado 3.10 se obtendrá de las gráficas del momento flector el valor que se usará como momento máximo en la máquina de Molino de Martillos.

$$M = 17.3517 \text{ N.m}$$

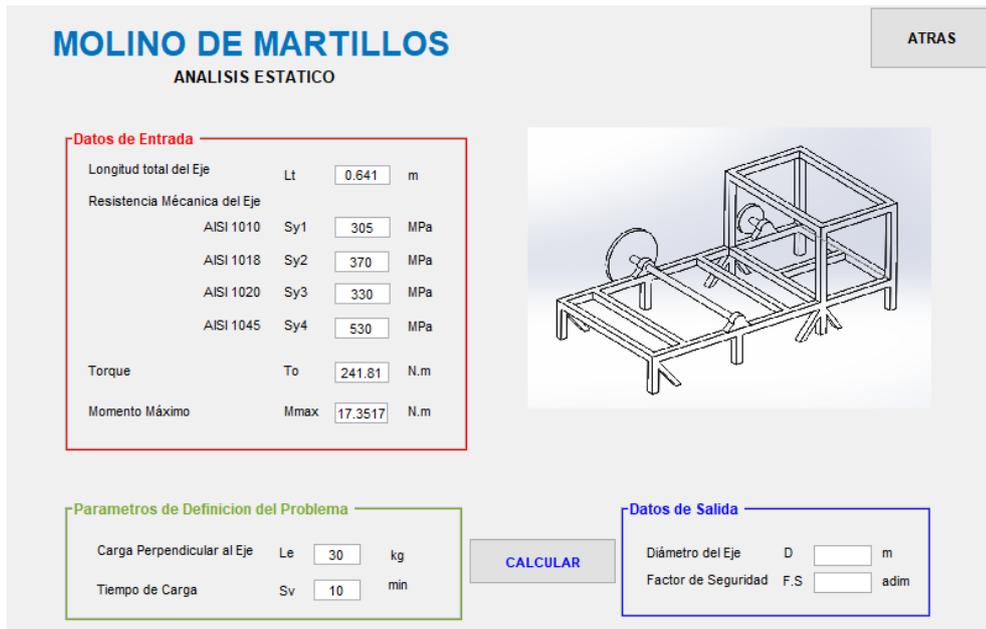
**Tabla N° 21**

Diseño Paramétrico del Eje Principal del Molino de Martillo

**Fuente:** Propia

	NOMBRE (SIMBOLO)	UNIDADES	VALOR/RANGO
<b>DATOS DE ENTRADA</b>	Longitud total del Eje	m	0.641
	Resistencia Mecánica del Eje (AISI 1010)	MPa	305
	Resistencia Mecánica del Eje (AISI 1018)	MPa	370
	Resistencia Mecánica del Eje (AISI 1020)	MPa	330
	Resistencia Mecánica del Eje (AISI 1045)	MPa	530
	Torque	N.m	24.75
	Momento Máximo	N.m	17.3517
<b>PARAMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA</b>	Carga Perpendicular al Eje	kg	30
	Tiempo de Carga	min	10
<b>DATOS DE SALIDA</b>	Diámetro del Eje	m	A determinar
	Factor de Seguridad	adim	A determinar

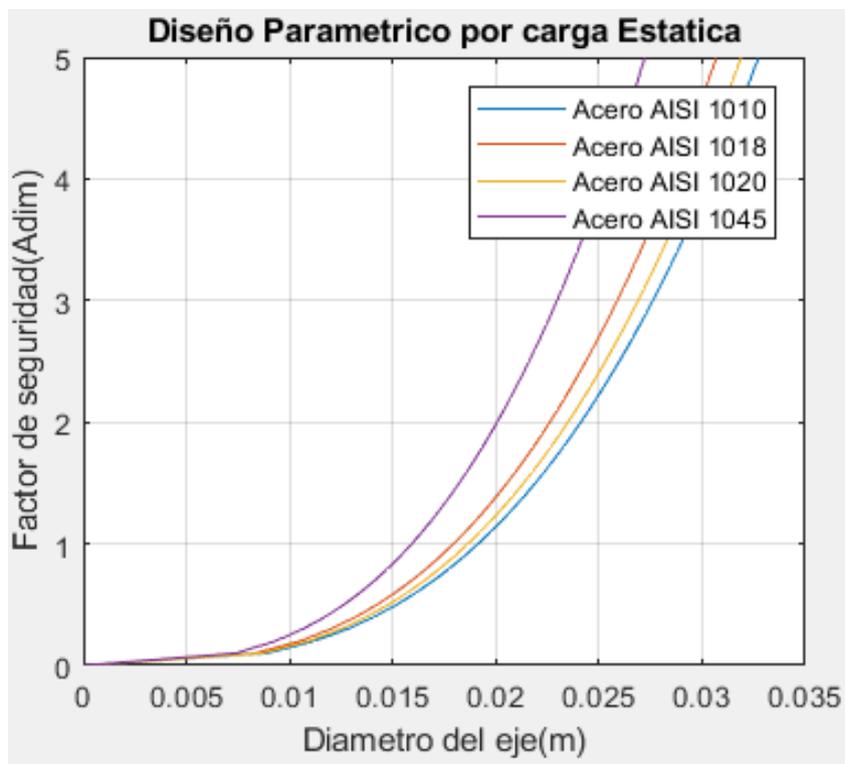
Se desarrolló una Interface Gráfica de Usuario (GUI) en el software comercial



Matlab Academic R18.2, la que nos permite ingresar iterativamente los datos iniciales y al mismo tiempo mostrarnos las gráficas paramétricas para la selección optima de los valores. En la Figura N° 31, se observa la captura de pantalla de la interface en Matlab y en la Figura N° 32 se apreciará las gráficas paramétricas que relacionan a los Datos de Entrada y los Datos de Salida.

**Figura N°31:** GUI para el Análisis Estático del Molino de Martillos.

**Fuente:** Propia



**Figura N°32:** Gráfica paramétrica.

**Fuente:** Propia

### Análisis a fatiga

En este apartado del diseño se empleó la caja negra y los datos que se mostraran en la Tabla N° 22 es la parametrización de las variables: Momento Máximo (N.m), Torque (N.m), F. Superficial (adim), F. Tamaño (adim), F. Carga (adim), F. Temperatura (adim), F. Confiabilidad (adim), F. de Efectos (adim), Concentración del Esfuerzo (adim). La cual nos facilitara la parametrización y sirvieron para el desarrollo de la GUI.

Los rangos que se establecieron para parametrización se explicaran a continuación.

**Tabla N° 22**

Diseño Paramétrico del Eje Principal del Molino de Martillos

**Fuente:** Propia

	NOMBRE (SIMBOLO)	UNIDADES	VALOR/RANGO
<b>DATOS DE ENTRADA</b>	F. Superficial (ka)	adim	0.5594
	F. de Tamaño (kb)	adim	0.84
	F. de Carga (kc)	adim	1
	F. de Temperatura (kd)	adim	1
	F. de Confiabilidad (ke)	adim	1
	F. de Efectos (kf)	adim	1
	Kf	adim	1
	Kfs	adim	1
	Torque	N.m	24.75
	Momento Máximo	N.m	17.3517
<b>PARAMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA</b>	Sy	MPa	AISI 1010: 305 AISI 1018: 370 AISI 1020: 330 AISI 1045: 530
	Su	MPa	AISI 1010: 365 AISI 1018: 440 AISI 1020: 450 AISI 1045: 625
<b>DATOS DE SALIDA</b>	Diámetro del Eje	m	A determinar
	Factor de Seguridad	adim	A determinar

Se desarrolló una Interface Gráfica de Usuario (GUI) en el software comercial Matlab Academic R18.2, la que nos permite ingresar iterativamente los datos iniciales y al mismo tiempo mostrarnos las gráficas paramétricas para la selección optima de los valores. En la Figura N° 33, se observa la captura de pantalla de la interface en Matlab y en la Figura N° 34 se apreciará las gráficas paramétricas que relacionan a los Datos de Entrada y los Datos de Salida.

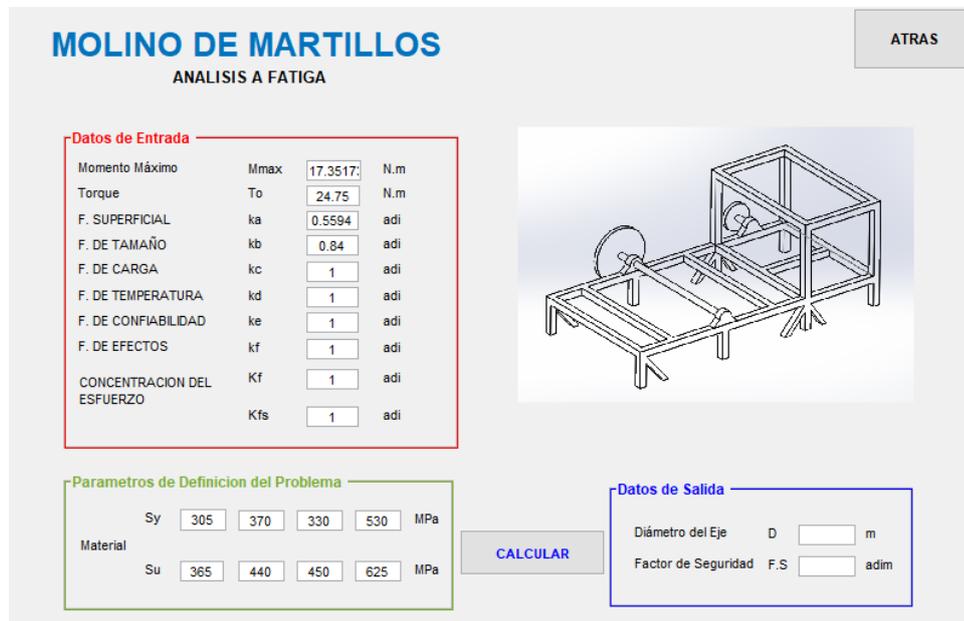


Figura N°33: GUI para el Análisis a Fatiga del Molino de Martillos.

Fuente: Propia

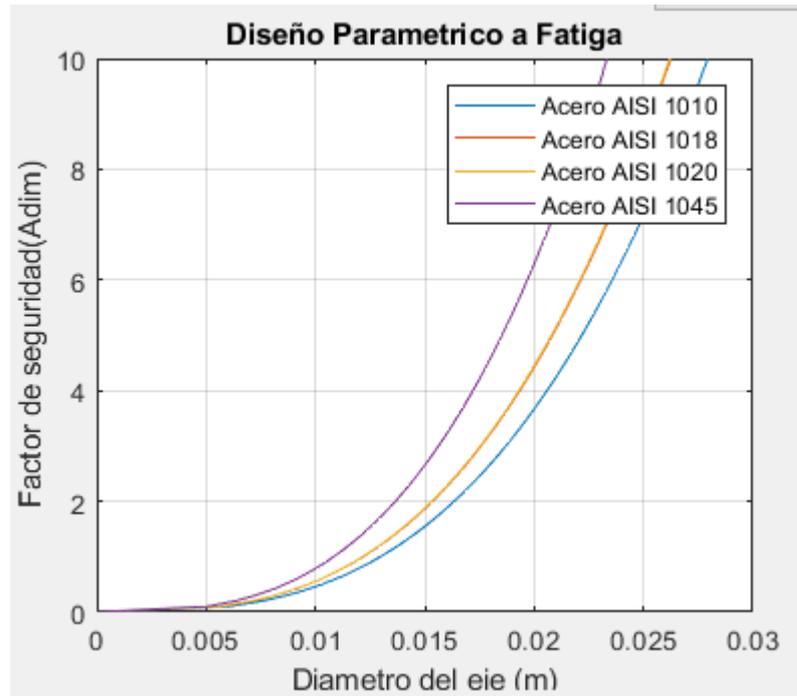


Figura N°34: Gráfica paramétrica.

Fuente: Propia

### III.7.3. Diseño paramétrico del Eje de Trasmisión del Molino de Martillos

#### Análisis estáticos

En este apartado del diseño se empleó la caja negra del Diagrama N° 3 y los datos que se mostraran en la Tabla N° 22 es la parametrización de las variables: Longitud total del eje (m), Resistencia mecánica del eje (1010, 1018, 1020, 1045) (MPa), Torque (N.m), Momento máximo (N.m), carga perpendicular al eje (kg) y tiempo de carga (min). La cual nos facilitara la parametrización y sirvieron para el desarrollo de la GUI.

Los rangos que se establecieron para parametrización se explicaran a continuación.

#### Longitud total del eje (Lt)

De acuerdo al dimensionamiento en el apartado 3.8, se decidió no superar el largo obtenido a través de los criterios de diseño.

$$Lt = m$$

#### Resistencia Mecánica del eje (Sy)

Los siguientes datos se obtuvieron de la búsqueda en internet de los aceros AISI 1010, AISI 1018, AISI 1020 y AISI 1045. Aunque por recomendaciones de diseño del apartado 3.3, se empleara el AISI 1018 como material para la construcción del eje principal del molino de martillos. Para estudios se observará el comportamiento con otros 3 aceros.

$$S_y \text{ AISI 1010} = 305 \text{ MPa} \quad S_y \text{ AISI 1018} = 370 \text{ MPa}$$

$$S_y \text{ AISI 1020} = 330 \text{ MPa}$$

$$S_y \text{ AISI 1045} = 530 \text{ MPa}$$

### **Torque (T)**

El torque para el molino de martillos se obtendrá de los cálculos de escritorios (ANEXO N°6), donde se obtiene una potencia de 9.1 HP y llevado a torque será de:

$$T = N.m$$

### **Momento Máximo (M)**

Del apartado 3.10 se obtendrá de las gráficas del momento flector el valor que se usará como momento máximo en la máquina de Molino de Martillos

$$M = N.m$$

## **III.8. Análisis de componentes con software CAE.**

Se analizará los elementos críticos de cada molino a través del software CAE, el cual nos permitirá observar el esfuerzo de Von Mises, deformación total y el Factor de seguridad, en el eje principal del molino de martillos.

### **III.8.1. Eje Principal del Molino de Martillos**

Con los esfuerzos obtenidos en el apartado 3.10, se procederá a la simulación en 3 condiciones.

### **Esfuerzo de Von Mises**

En la Figura N° 35 se puede observar el resultado del análisis del esfuerzo de Von Mises en el software ANSYS; en el que se puede resaltar que el esfuerzo máximo de 80.626 MPa no supera a la resistencia del material con el que se fabricará el eje.

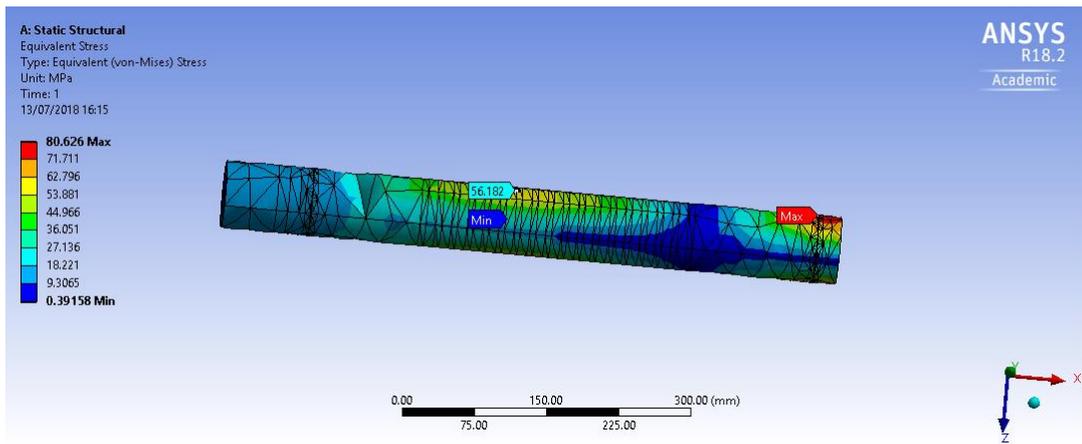


Figura N° 35: Esfuerzo de Von Mises del Eje Principal del Molino de Martillos.

Fuente: Propia

### Factor de Seguridad

En la Figura N° 36 se puede observar el Facto de Seguridad en el software ANSYS; donde el factor mínimo es de 4,58, valor que se encuentra dentro del rango permitido y que indica que no falla el elemento debido a cargas externas.

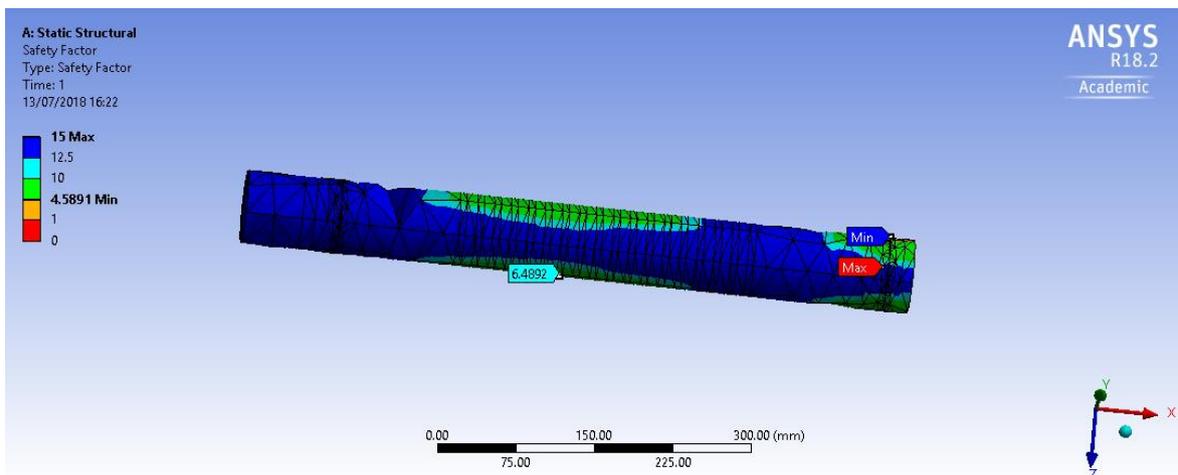


Figura N° 36: Factor de Seguridad del Eje Principal del Molino de Martillos.

Fuente: Propia

### III.9. Selección de correas:

#### III.9.1. Transmisión de potencia

$H$  = Potencia nominal

$n$  = Velocidad polea

$N$  = Velocidad polea

Hora de trabajo  $8 \frac{h}{día}$

Seleccionamos una banda en V de sección B para transmitir una potencia requerida de 10 Hp ya que en la tabla se muestra de rangos de 1 Hp hasta 25 Hp:

**Tabla N° 23**

Selección de bandas.

**Fuente:** Shigley 9na edición.2012

n de la banda	Ancho a, Pulg	Espesor b, Pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Rango de potencias (HP) uno o más bandas
A	1/2	11/32	3.0	1/4-10
B	21/32	7/16	5.4	1-25
C	7/8	17/32	9.0	15-100
D	1.1/4	2/4	13.0	50-250
E	1.1/2	1	21.6	100 y mayores

De la tabla tenemos que:

La sección de la banda B

Ancho es de  $\frac{21}{32}$  (pulg)

Espesor  $b = \frac{7}{16}$  (pulg)

Diámetro mínimo de la polea es de  $d_{min} = 5.4$  (pulg)

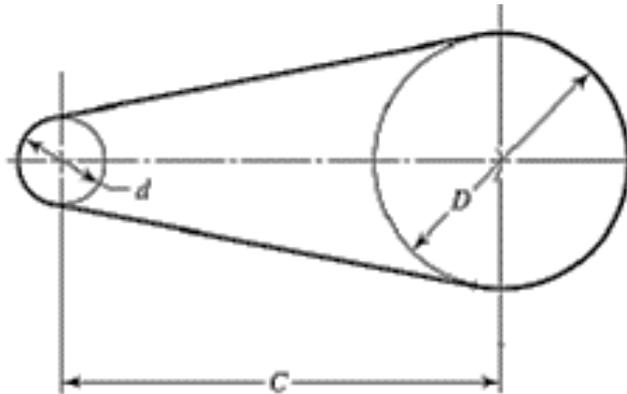
Se asume un diámetro  $d = 6.2$  pulg = 157.48 mm

$D$  = Diámetro polea

$$D = \frac{n}{N} = \frac{(1800 \text{ rpm})(6.2 \text{ pulg})}{1600} = 6.975" = 177.165 \text{ mm}$$

### III.9.2. Distancia entre centros

La distancia de los centros de las poleas no debe ser menor que el diámetro de la polea mayor, y no debe superar tres veces la suma de los diámetros (ver Figura N° 37).



**Figura N° 37:** Distancia entre centros.

**Fuente:** Shigley 9na edición.2012

$$D \leq C \leq 3(D + d)$$

$$177.165 \text{ mm} \leq C \leq 3(177.165\text{mm} + 157.48\text{mm})$$

$$177.165 \text{ mm} \leq C \leq 1003.935 \text{ mm}$$

Se toma una distancia entre centros  $C = 415 \text{ mm}$

### III.9.3. Velocidad óptima para un buen funcionamiento

$$V_{opt} = \frac{\pi d_n}{12} \dots (22)$$

$$V_{opt} = \frac{\pi(6.2\text{pulg})(1800 \text{ rpm})}{12}$$

$$V_{opt} = 2921.6811 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

### III.9.4. Longitud de paso de banda

$$L_p = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \dots (23)$$

$$L_p = 2(415\text{mm}) + 1.57(177.165\text{mm} + 157.48\text{mm}) + \frac{(177.165 \text{ mm} - 157.48\text{mm})^2}{4(415 \text{ mm})}$$

$$L_p = 1355.626 \text{ mm} = 53.37 \text{ pulg}$$

Para una sección B se selecciona una longitud estándar inferior:

$$L_i = 53 \text{ pulg}$$

**Tabla N° 24**

Conversión de longitud.

**Fuente:** Shigley 9na edición.2012

Sección de la Banda	A	B	C	D	E
Longitud a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Longitud de paso es:

$$L_p = L_i + B_{cant\ suma} \dots (24)$$

$$L_p = 53 \text{ pulg} + 1.8 \text{ pulg}$$

$$L_p = 54.8 \text{ pulg} \cong 55 \text{ pulg} \cong 1397 \text{ mm}$$

$$L_p = 55 \text{ pulg}$$

Entonces seleccionamos la Banda (B 55)

### III.9.5. Distancia real entre los centros de poleas

$$C' = 0.25 \left[ \left( L_p - \frac{\pi}{2} (D + d) \right) + \sqrt{\left( L_p - \frac{\pi}{2} (D + d) \right)^2 - 2(D - d)^2} \right] \dots (25)$$

$$C' = 415.1523 \text{ mm} = 16.345 \text{ pulg}$$

### III.9.6. Potencia de diseño

$$H_d = H_i * K_s \dots (26)$$

Donde:

$$H_i = \text{Potencia indicada}$$

$H_d$  =Potencia de diseño

$K_s$  = Factor de seguridad

CLASE DE TRABAJO	EJEMPLOS DE MÁQUINAS ACCIONADAS	TIPOS DE MÁQUINAS MOTRICES					
		Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Normal			Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Elevado		
		Horas de Servicio Diarias			Horas de Servicio Diarias		
		Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16	Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16
Ligero	Agitadores para líquidos. Aspiradores. Bombas y compresores centrífugos. Transportadores de cinta para carga ligera. Ventiladores y bombas hasta 7,5 Kw.	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Mediano	Amasadoras. Cizallas y prensas. Cribas rotativas y vibrantes. Generadores y excitatrices. Máquinas herramientas. Maquinaria para artes gráficas. Maquinaria para lavanderías. Transportadores de cinta para carga pesada. Ventiladores y bombas a partir de 7,5 Kw.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Pesado	Ascensores. Bombas de desplazamiento positivo. Centrifugadores. Compresores de pistón. Maquinaria para labrar madera. Maquinaria para cerámicas. Maquinaria para papeleras. Maquinaria Textil. Molinos de martillos. Sierras alternativas. Elevadores de cangilones. Transportadores de Tornillo.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Extra Pesado	Grúas Montacargas. Machacadoras y molinos (mandíbulas, conos, bolas, barras, etc). Maquinaria para caucho y plásticos.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Figura N° 38: Clase de trabajo.

Fuente: REXON. 2013

- El  $K_s$  para maquinaria para molinos de martillos es de 1.3.

$$H_d = 10Hp * 1.3$$

$$H_d = 16 Hp$$

$$H_d = 19.38 kw$$

- Potencia corregida

$$H_{a'} = k1 * k2 * H_a \dots (27)$$

Donde:

$H_{a'}$  = Potencia permitida, por la banda.

$H_a$  = Potencia de arranque.

$k1$  = Factor de corrección de ángulo de cobertura.

$k_2$  = Factor de corrección de longitud de la banda.

Desarrollando la Ecuación 37 obtenemos:

$$H_{a'} = (0.7591)(0.9)(15.27)$$

$$H_{a'} = 10.43 \text{ Hp} = 7.77 \text{ kw}$$

### III.9.7. Número de correas

$$N_c = \frac{H_d}{H_{a'}} \dots (28)$$

$$N_c = \frac{26 \text{ Hp}}{10.43 \text{ Hp}} = 2.49 \cong 3 \text{ bandas}$$

### III.9.8. Angulo de contacto

$$\phi = \theta_d = \pi - 2 \frac{D-d}{2C'} \dots (29)$$

$$\phi = \theta_d = \pi - 2 \frac{6.975 - 6.2}{2(415.1523)}$$

$$\phi = \theta_d = 3.1397 \text{ rad}$$

La fricción efectiva según la Gates Rubber Company es:

$$f = 0.5123$$

$$e^{f\phi} = e^{[(0.5123)(3.1397)]} = 4.995$$

### III.10. Variación de la fuerza – Faja.

$$\Delta F = F_1 - F_2$$

$$\Delta F = \frac{63025 \frac{H_d}{N_c}}{n \left( \frac{d}{2} \right)} \dots (30)$$

$$\Delta F = \frac{63025 \frac{26 \text{ Hp}}{3 \text{ bandas}}}{1800 \left( \frac{6.2}{2} \right)}$$

$$\Delta F = 97.888 \text{ lbf}$$

$$\Delta F = 97.888 \text{ lbf} * \left( \frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lbf}} \right) = 435.407 \text{ N}$$

- Calculamos la  $F_1$ :

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F * e^{f\phi}}{e^{(f\phi)} - 1} \dots (31)$$

- Hallamos la fuerza de corte:

$$F_c = K_c \left( \frac{v}{1000} \right)^2 \dots (32)$$

Mediante la tabla elaborada por Gates Rubber, tomamos como parámetros de banda  $K_c = 0.965$  (ver anexo 5).

$$F_c = 0.965 \left( \frac{2921.6811 \frac{f_t}{min}}{1000} \right)^2 = 8.237 lbf$$

- Desarrollando la Ec. 40.2 obtenemos:

$$F_1 = 8.237 lbf + \frac{97.888 lbf * 4.9951}{4.9951 - 1} = 130.627 lbf$$

$$F_1 = 130.627 lbf \left( \frac{4.448 N}{1 lbf} \right) = 581.02 N$$

- Despejando la Ec. 40 obtenemos la  $F_2$ :

$$F_2 = F_1 - \Delta F \dots (33)$$

$$F_2 = (581.02 N) - (435.407 N)$$

$$F_2 = 145.621 N$$

### III.11. Selección de componentes de la maquina desfibradora

#### Rodamiento

Para el caso de los rodamientos en ambos casos (molino de martillos) se empleará el rodamiento UCP 206 (Ver Figura N° 39), el cual está dado por las recomendaciones de diseño del apartado 3.3. y tiene un diámetro de 30 mm. Para mayor información acerca del rodamiento y sus características en el Anexo N° 7.



**Figura N° 39:** Rodamiento UCP 206

**Fuente:** Catalogo de Rodamientos

### **Motor**

Como resultado del cálculo se encontró con la potencia de 9.1 HP en el Molino de Martillos, pero como en el mercado actual no existe una potencia así se optó por escoger la que sigue de 10 HP (Ver Figura N° 40). Se seleccionó del catálogo con un RPM de más de 1800 para el buen funcionamiento de la máquina.



**Figura N° 40:** Motor de 10 HP.

**Fuente:** Motores del Perú

### III.12. Desarrollo de planos de las piezas

Se elaboraron los planos correspondientes a cada Molino, donde se mostrarán las dimensiones.

#### III.12.1. Molino de Martillos

A continuación, se mostrará la isometría del Molino de Martillos que se diseñó y los demás planos detallados de cada elemento se podrá mostrar en el Anexo N° 9.

### III.13. Estudio Económico de la Inserción del Sistema de desfibrado para Fibra de Vidrio.

Tabla N° 25

Cuadro de costo del proyecto.

Fuente: Propia

ESTRUCTURA	CANTIDAD	COSTO UNIT.	SUB TOTAL S/.
PLCH 4.5 MM ASTM A36 1200 X 2400	2	317	634
TUBO CUADRADO 4"x4" X 1/4" X 6 M	1	2700	2700
TUBO CUADRADO 1.5"x1.5" X 1/8" X 6 M	1	1400	1400
PERNOS M12 X 20 C10	10	30	300
TUERCA M12 C10	10	15	150
<b>TOTAL</b>			5184
ACCESORIOS:	CANTIDA D	COSTO UNIT.	SUB TOTAL S/.
BARRA DE ACERO ESTRUCTURAL LISA ASTM A36 1000x25.4mm	1	350	350
BARRA DE ACERO ESTRUCTURAL LISA ASTM A36 1000x20mm	1	320	320
MARTILLOS 110x50x15.87mm	33	80	2640
DISCO PORTA EJES 560x19.5mm	11	100	1100
MOTOR DE 10 HP	1	3655	3655
RODAMIENTOS	2	150	300
POLEA "V"	2	180	360
CORREA TIPO "V"	3	100	300
TAMIZ	1	100	100
INTERRRUPTOR TERMOMAGNETICO	2	35.34	70.68
INTERRRUPTOR DIFERENCIAL	2	60	120
CABLEADO	2	103	206

<b>TOTAL</b>			9125
<b>CONSUMIBLE:</b>			
	<b>CANTIDA D</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
<b>SOLDADURA CELLOCORD</b>	10	50	500
<b>DISCO DE CORTE 4"</b>	1	8	8
<b>DISCO DE DESBASTE 4"</b>	1	8	8
<b>FORMULA EPOXICA</b>	1	250	250
<b>PINTURA EPOXICA</b>	1	450	450
<b>TINER</b>	3	25	75
<b>LIJA</b>	10	5	50
<b>MASILLA</b>	3	15	45
<b>TOTAL</b>			1386
<b>MANO DE OBRA</b>			
	<b>CANTIDA D</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL S/.</b>
<b>DISEÑO INGENIERIL</b>	1	5000	5000
<b>MANO DE OBRA SOLDADURA</b>	1	3000	3000
<b>MANO DE OBRA PINTURA</b>	1	1500	1500
<b>MANO DE OBRA ARMADO</b>	1	6000	6000
<b>ROLADO Y DOBLADO DE PLANCHAS</b>	1	500	500
<b>CORTE PLASMA</b>	1	500	500
<b>TOTAL</b>			16500
<b>RESUMEN:</b>			<b>COSTO (S/.)</b>
ESTRUCTURA			5184
ACCESORIOS:			9125
CONSUMIBLE:			1386
MANO DE OBRA			16500
OTROS			400
SUBTOTAL			<b>32595</b>
IGV			<b>5867.1</b>
TOTAL			<b>38462.1</b>

Luego de la selección de materiales a emplear para el proyecto en mención, se obtuvo un análisis económico donde se plantea el periodo en años para la recuperación de la inversión. Este método se conoce como el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) y se calcula según (Eggert, 2005):

$$P = \sum_1^j CF_j \left( \frac{P}{F}, i\%, j \right) \dots (34)$$

$$P = \sum_1^j CF_j ((1 + i)^{-j})$$

$P$ : Valor Monetario Presente de la Inversión Inicial (soles).

$CF_j$ : Flujo de Caja Positivo al Final del año  $j$  (soles).

$i$ : Tasa de Interés Anual Decimal (adimensional).

$j$ : Número de periodos hasta que se iguale el Valor Monetario Actual (años).

**Tabla N° 26**

Cuadro del análisis económico - TIR

Fuente: Propia

PERÍODO DE RETORNO DE INVERSIÓN DESCONTADO					
Inversión Inicial (\$)		<b>38462.1</b>		<b>Interés Mensual</b>	<b>2.00%</b>
Ganancia Mensual (\$)		<b>50600</b>			
N° Mes	Flujo de Caja (\$)	CFj (\$)	(P/F, 2%, n)	CFj(P/F, 2%, n) (\$)	Sum (\$)
0	-38462.1	-38462.1	1	-38462.1	-38462.1
1	34020	34020	0.98039	33352.87	-5109.23
2	34020	34020	0.96117	32699.00	27589.77
3	34020	34020	0.94232	32057.73	59647.50
4	34020	34020	0.92385	31429.38	91076.87
5	34020	34020	0.90573	30812.93	121889.81
6	34020	34020	0.88797	30208.74	152098.55
7	34020	34020	0.87056	29616.45	181715.00
8	34020	34020	0.85349	29035.73	210750.73
9	34020	34020	0.83676	28466.58	239217.30
10	34020	34020	0.82035	27908.31	267125.61
11	34020	34020	0.80426	27360.93	294486.54
12	34020	34020	0.78849	26824.43	321310.97
13	34020	34020	0.77303	26298.48	347609.45
14	34020	34020	0.75788	25783.08	373392.53
15	34020	34020	0.74301	25277.20	398669.73
16	34020	34020	0.72845	24781.87	423451.59
17	34020	34020	0.71416	24295.72	447747.32
18	34020	34020	0.70016	23819.44	471566.76
19	34020	34020	0.68643	23352.35	494919.11
20	34020	34020	0.67297	22894.44	517813.55
21	34020	34020	0.65978	22445.72	540259.26
22	34020	34020	0.64684	22005.50	562264.76
23	34020	34020	0.63416	21574.12	583838.88
24	34020	34020	0.62172	21150.91	604989.80
25	34020	34020	0.60953	20736.21	625726.01
26	34020	34020	0.59758	20329.67	646055.68

<b>27</b>	34020	34020	0.58586	19930.96	665986.64
<b>28</b>	34020	34020	0.57437	19540.07	685526.71
<b>29</b>	34020	34020	0.56311	19157.00	704683.71
<b>30</b>	34020	34020	0.55207	18781.42	723465.13
<b>31</b>	34020	34020	0.54125	18413.33	741878.45
<b>32</b>	34020	34020	0.53063	18052.03	759930.49
<b>33</b>	34020	34020	0.52023	17698.22	777628.71
<b>34</b>	34020	34020	0.51003	17351.22	794979.93
<b>35</b>	34020	34020	0.50003	17011.02	811990.95
<b>36</b>	34020	34020	0.49022	16677.28	828668.24

	Momento de Cambio		PRI (meses)	0.7753
<b>0</b>	-38462.10		<b>Meses</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	-5109.23		<b>Días</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	27589.77			

En cuanto a los resultados mencionados en la tabla 12, podemos apreciar que la tasa interna de retorno, del proyecto en mención será de 1 mes. Luego del tiempo transcurrido el equipo empezará a generar ganancias, mediante un periodo de 5 años.

# **Capítulo IV**

# **DISCUSIÓN**

#### **IV. DISCUSIÓN**

La encuesta fue realizada a 10 empresas de reciclado informales del distrito de José Leonardo Ortiz para determinar las necesidades que atraviesa con respecto a los residuos de fibra de vidrio. Teniendo como resultado que el 95.7 % de las respuestas afirmaron que el distrito mencionado es el más contaminado de la región, y donde uno de los materiales con más predominancia (39.1%) es el plástico y la fibra de vidrio (11.3%); esto se debe a la poca o escasa recolección de los residuos. En los trabajos revisados no se observó la realización de esta etapa del proceso de diseño, lo que representa un aporte del presente trabajo.

Como no se obtuvo códigos, normas y estándares de diseño de una máquina que desfibre y pulverice la fibra de vidrio, se procedió a recopilación de normativa relacionada al reciclaje, tales como ISO 14001:2004 – Sistemas de gestión ambiental, NTC 1522 – Ensayo para determinar la Granulometría por tamizado y Norma 2600SEG243 – Manejo de Fibra de Vidrio, los cuales orientaron la forma final de la máquina y los rangos de parámetros importantes en el diseño.

En la búsqueda de información para el diseño de la máquina, la cual es escasa o inexistente, se optó por recurrir a las recomendaciones de diseño de tesis, paper, etc.; tales como las realizadas por Bermeo, Diana (2014), Uribe, Jonathan (2014), Cuadrado, Ivan (2009), Flores, Eder (2014), entre otros. También de las encuestas a las 10 empresas recolectoras de materiales para reciclado del distrito de José Leonardo Ortiz se obtuvieron resultados y se seleccionó los rangos de acuerdo a las especificaciones ingenieriles para el diseño de una maquina desfibadora y pulverizadora de fibra de vidrio. Donde se propuso que las dimensiones de la maquina serian de 1.50 m de ancho x 1.50 m de largo x 2.00 m de alto. Este proceso resulto ser importante dado que nos brindó datos iniciales para los siguientes pasos de diseño conceptual, configuración y paramétrico.

Después de analizar las recomendaciones de diseño de diferentes artículos de investigación, paper, etc., sobre molinos de martillos, se extrajo 2 conceptos de molino de martillos, para su posterioridad realizar una matriz morfológica donde se unirá ambas máquinas para aplicar la matriz de selección de ponderados. Considerando los criterios: construcción, mantenimiento, diseño, ergonomía y costos, y una puntuación

ponderada se realizó una matriz de selección de concepto (Matriz de Eggert) donde se obtuvo como resultado el diseño más óptimo. Cabe mencionar que de los trabajos revisados no se emplean una matriz de selección como en la presente investigación.

Siguiendo las recomendaciones dadas a través de las encuestas realizadas a las empresas de acopio de materiales de reciclado en José Leonardo Ortiz, se dimensionó la maquina con las siguientes características: de ancho  $\leq 1.50$  m, de largo  $\leq 1.50$  m y de alto  $\leq 2.00$  m; la cual estará de forma estacionaria para un mejor funcionamiento.

El material del cual será diseñado el eje principal del molino de martillos, será el mencionado en recomendaciones de diseño (AISI 1018) y la estructura será el ASTM 36. Para fines de estudios se adicionará el AISI 1010 y el AISI 1020.

Para el estudio de las cargas que afectan a cada eje, se realizaron Diagramas de Cuerpo Libre (DCL) donde se podrán observar las cargas gravitacionales, las reacciones, momentos entre otros que afectan directamente al eje.

Se diseñará una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) utilizando el software Matlab donde se podrá seleccionar el material adecuado (AISI 1010, AISI 1018 y AISI 1020), considerando un rango de Factor de Seguridad (F.S) adecuado para el diámetro indicado del eje a diseñar.

Teniendo definido los diámetros de los ejes, se procederán a simularlo en el software ANSYS academic R18.2 con las cargas ya mencionadas en el apartado de cálculo de cargas. Donde se evaluó el esfuerzo de Von Mises y el Factor de seguridad.

Entre los componentes que solo se seleccionarán estarán los rodamientos y el motor. El rodamiento que se usará será el modelo UCP 206 de 30 mm de diámetro, el diámetro es dado por recomendaciones, pero buscando en catálogos para escoger el modelo. Con respecto al motor, se seleccionará del catálogo uno de 10 HP con 1800 rpm.

# **Capítulo V**

# **CONCLUSIONES**

## V. CONCLUSIONES

Para comenzar el diseño de la maquina desfibadora vidrio fue indispensable cuantificar el desecho de fibra de vidrio que acopian las empresas informales dedicadas al reciclado; para ello se aplicó una encuesta (anexo 1). El promedio de desecho de fibra fue de 1260 kg/día; con ello se obtuvo una capacidad de máquina requerida de 180kg/h.

La matriz morfológica del molino de martillos con la selección de diseño conceptual a través de la matriz de selección ponderada de conceptos y una matriz de selección de configuración (Matriz de Eggert), nos permitió conocer y evaluar las ventajas y desventajas de los 2 conceptos generales que se obtuvieron. Donde se concluye que el empleo de estas matrices dio como resultado el concepto general N°02, la cual es la más adecuada para este trabajo de investigación.

Mediante la búsqueda de normas o estándares de diseño se pudo realizar el dimensionamiento de la máquina con las especificaciones de límites deseados para las funciones de la máquina. El dimensionamiento de la máquina además se realizó utilizando el criterio de diseño por resistencia obteniendo para ello un factor de seguridad de 4.58 para el eje, componente principal de la transmisión de potencia mecánica.

Una interfaz GUI, diseñada con software Matlab, permitió realizar una simulación del comportamiento del factor de seguridad y espesor para los materiales recomendados por la Norma ASME B106-1- 1985; concluyendo que el Acero AISI 1045 es el más adecuado para este diseño.

Los componentes estandarizados como los rodamientos fueron seleccionados en función a las cargas externas del sistema completo de la máquina.

