



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE MECÁNICA ELÉCTRICA

“Diseño de un Sistema Integrado para la producción de filamento para impresora 3D de calidad comercial a partir de plástico reciclado”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

AUTORES:

Moncada Padilla, Julio André (0000-0002-8087-241X)

Velasquez Avalos, Miki Mijail (0000-0002-6412-5529)

ASESOR:

Dr. Olortegui Yume, Jorge Antonio. Ph.D. (0000-0001-5734-040X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre, por ser mi mayor apoyo en todo momento, por enseñarme el sentido de la responsabilidad, la perseverancia y guiarme con cautela siempre. Así mismo a mi tío, primos y abuela por el apoyo brindado en todo momento y sus palabras de aliento.

Por último, a todas las personas cercanas por el apoyo respectivo a lo largo de mi formación profesional.

Esta tesis está dedicada a mi padre, por darme el ejemplo de trabajo, responsabilidad y honradez. A mi madre por ser mi mayor inspiración y motivo, que desde el cielo sé que se siente orgullosa de mí por haber cumplido uno de sus tantos deseos que anhelo conmigo. También a mí hermano, por brindarme su apoyo y quien me animo en este campo de estudio.

AGRADECIMIENTO

En primero agradecer a Dios, por darme la sabiduría y guiarme en el desarrollo de este trabajo de investigación. Agradecer también a mis padres por ser mi fuente de apoyo en todo momento. Así mismo a mis tíos, primos, abuela, enamorada, por estar conmigo en el trayecto final de mi carrera profesional y aconsejarme en todo momento. Finalmente, a mis docentes y asesor de tesis, por la paciencia y por todos los conocimientos brindados, así como sus consejos a lo largo de mi formación profesional.

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por darme la fuerza para poder culminar con esta tesis tan anhelado. En segundo lugar, a mis padres y en especial a mi madre por ser la persona que me inspira a seguir luchando día a día y además a mis familiares por su ayuda incondicional y constante cooperación. Y en tercer lugar a mis docentes, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. METODO	16
2.1 Tipo y diseño de investigación:	16
2.2 Operacionalización de Variables	16
2.3 Población, muestra y muestreo	17
2.3.1 Población	17
2.3.2. Muestra.....	17
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	17
2.4.1 Guías de observación	17
2.4.2. Cuestionarios	17
2.5 Procedimiento	17
2.5.1 Determinación de necesidades de cliente	17
2.5.2. Definición del problema en términos ingenieriles	17
2.5.3. Configuración general de las partes de la máquina	17
2.5.4. Dimensionamiento general del equipo	18
2.5.5. Determinación de material de la estructura y accesorios de la máquina	18
2.5.6. Diseño paramétrico	18
2.5.7 Esquema de control de la máquina	18
2.5.8. Selección de componentes estándar	18
2.5.9. Planos generales.....	18
2.5.10 Análisis económico	18
2.6 Método de análisis de datos:.....	18
2.7 Aspectos éticos:	18
III. RESULTADOS	19
3.1. Necesidades del mercado.	19
3.2. Normatividad.....	20
3.4. Tabla de especificaciones de ingeniería.....	24
3.5. Diseño conceptual.....	24
3.6. Diseño de configuración.....	25
3.6. Dimensionamiento general	27
3.8. Selección de materiales	28
3.8.1. Selección de Material para las cuchillas	28
3.8.2. Selección de material para el eje	28

3.8.3. Selección de material para la tolva.....	28
3.8.4. Selección de material para el husillo	28
3.8.5. Selección de material para la estructura de la maquina.....	28
3.9 Diseño Paramétrico	29
3.9.1 Diseño de la Trituradora.....	29
3.9.1.1 Diseño paramétrico del Eje de la Trituradora	29
3.9.1.2 Simulación del eje	32
3.9.1.3 Simulación de los Elementos Cortantes de la Trituradora.....	34
3.9.2 Diseño paramétrico del Extrusor	35
3.11 Análisis de Reciclabilidad de polímeros PET, PP y HDPE.....	37
3.11 Diseño de selección de componentes estándar	45
3.7.8. Análisis económico	50
3.14 Diseño de Detalle.....	50
IV. DISCUSIÓN	52
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS.....	58
Anexo N° 1:.....	58
Anexo N° 2:.....	60
Anexo N° 3:.....	68
Anexo N° 4:	69
Anexo N° 5	70
Anexo N° 7:.....	72
Anexo N° 8:.....	73
Anexo N° 9:.....	77
Anexo N° 10.....	80
Anexo N° 11.....	80
Anexo N° 12.....	81
Anexo N° 13.....	81
Anexo N° 14.....	82
Anexo N° 15.....	82
Anexo N° 16.....	83
Anexo N° 17.....	85
Anexo N° 18.....	91
Anexo N° 19.....	95
Anexo N° 20.....	99

Anexo N° 21.....	100
Anexo N° 22.....	101
Anexo N° 23.....	102
Anexo N° 24.....	103

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se realizó el diseño y simulación de un sistema integrado, comprendido por una trituradora y extrusora para obtener filamento que pueda alimentar a una impresora 3D. Para la obtención de datos de diseño, realizamos cuatro entrevistas dirigidas a dos empresas que trabajan con impresión 3D con la finalidad de conocer los requerimientos del mercado para el filamento. Luego se investigó en distintas bibliografías y normativas referente a ambas máquinas y como sistema integrado, de las cuales, se tomaron algunas recomendaciones de diseño como punto de partida. Posteriormente se elaboró 3 diseños conceptuales que seguidamente de 3 diseños de configuración para dar una posible solución a la investigación planteada, las cuales se evaluaron en una matriz de selección. Posteriormente se realizaron el juego de planos del sistema integrado para poder desarrollar a continuación la simulación. Finalmente se realizó un pequeño análisis económico (Ver tabla N°14)

Palabras claves: Sistema integrado, impresora 3D, filamento, trituradora, extrusora.

ABSTRACT

In this work, the design and simulation of an integrated system, comprised of a crusher and extruder to obtain filament that can feed a 3D printer, was carried out. To obtain design data, we conducted four interviews aimed at two companies that work with 3D printing in order to know the market requirements for the filament. Then, research different bibliographies and standards related to machines and the integrated system, from which, take some design recommendations as a starting point. Subsequently, 3 conceptual designs were developed, followed by 3 configuration designs to give a possible solution to the proposed research, which are evaluated in a selection matrix. Subsequently, the set of drawings of the integrated system will be carried out in order to develop the continuation of the simulation. Finally, a small economic analysis of table 14

Keywords: Integrated system, 3D printer, filament, crusher, extruder

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los índices de contaminación ambiental cada vez son mayores. Una de las fuentes de contaminación más importante son los plásticos que provienen de botellas de agua mineral, aceites, lubricantes y productos parecidos. Según la Organización de Naciones Unidas, se estima que para el año 2050 habrá más plásticos que peces en el océano si es que no se hace nada al respecto (ONU, 2017). Se estima que más de 8 millones de toneladas de plásticos llegan a los océanos cada año, según estudios realizados por la UNEP (2016). Los Estados Unidos, con 236 millones de toneladas al año (EFE, 2017), es el país que más desechos genera. A pesar de ser un país desarrollado los índices de bajo reciclaje y conciencia medioambiental indican un gran problema. Alemania por otro lado, ha tomado una actitud diferente manteniendo un promedio de 65% de reciclaje de todo su desperdicio (OCDE, 2006).

En Latinoamérica, salvo excepciones, no existe una buena gestión y tampoco una cultura de reciclaje de residuos sólidos, lo poco que se recicla proviene de grupos de personas que intentan ganar un modesto sustento. Esta falta de cultura de reciclaje tuvo su pico mediático en un accidente en Guatemala, cuando un alud de basura sepultó a más de 100 personas en un vertedero a cielo abierto. A pesar de la desgracia después de un corto tiempo nuevos trabajadores realizaban las mismas labores en el lugar (EFE, 2008).

En el mundo existen varios tipos de máquinas trituradoras de plástico para reciclaje, como por ejemplo la Filabot Industrial Reclaime (Porras, 2018), la cual es capaz de procesar plásticos con una buena calidad comercial y con posibilidad de reutilizar sus mismos desechos. Otro ejemplo es la Precious Plastic Shredder, China (Jean Porrás, 2018), capaz de triturar distintos tipos de plástico en trozos pequeñas. Este equipo posee un tipo de trituración mediante cuchillas de eje simple y una malla metálica mediante que selecciona el tamaño de salida del material reducido.

Anualmente, en nuestro país los plásticos ocupan el segundo lugar en cantidad de residuos desechados luego de los restos orgánicos. La mayor parte del plástico no es reciclado. El Ministerio del Ambiente (2018) del Perú indica que solo se recicla el 0.3% de las 950 mil toneladas de plástico desechadas. Como país no tenemos una política que ataque frontalmente el problema de la basura y su reciclaje. Uno de los pocos reportes de máquinas recicladoras de plástico de gestión, sería el de una máquina compactadora de la empresa Ecoven, que es similar a una expendedora de bebidas que premia, es decir,

al donar plástico, se está regalando vales de consumo y descuentos en diferentes compras que se realice en los supermercados (Diario El Correo, 2019). En resumen, la tecnología de reciclaje no está masificada para poder cubrir la situación. A pesar de todo este panorama sombrío, contamos con industrias que estarían dispuestas a reusar el plástico reciclado.

Al igual que en el mundo la manufactura aditiva en el Perú es un fenómeno que poco a poco se va consolidando. La impresión 3D con polímeros en especial ha tomado auge debido a los diferentes tipos de piezas que pueden fabricarse con este método. Dentro de los tipos de polímero que se usan en la impresión 3D se encuentran el Tereftalato de polietileno (PET), el Polietileno de alta densidad (HDPE), y el Polipropileno (PP) los cuales pueden ser obtenidos de las botellas usadas de bebidas gaseosas. El procesamiento de estos polímeros provenientes de estas botellas mediante desfibrado y posterior extrusión para convertirlos en filamento, es una buena opción para reducir los costos de fabricación y proteger el medio ambiente. Este procedimiento de reciclaje implica dos etapas: una para desfibrado de los plásticos y otra para extrusión de los mismos. El producto final debería presentar características mínimas para obtener piezas impresas de calidad aceptable. Una idea de integración en un solo equipo se viene proponiendo a nivel técnico en algunos países extranjeros. En el Perú, solo se tiene un solo reporte de un equipo que integra una máquina trituradora, un extrusor y un enrollador de filamento 3D reciclado usando los desechos del propio insumo.

El presente proyecto plantea el diseño y simulación de un sistema integrado de un equipo desfibrador de desechos de plásticos y un equipo extrusor de filamento de impresora 3D que aprovecha estos desechos. Se estima que este proyecto aportara en promover tecnología y la cultura de reciclaje de plásticos en el Perú al mismo tiempo que genera una fuente de ingresos para la empresa recicladora y una reducción de costos en la producción de filamento.

El punto neurálgico de este trabajo está en obtener filamento de impresora 3D de calidad aceptable a partir de elementos plásticos de desecho comunes (PET, HDPE, PP) haciendo uso de un sistema integrado de producción de filamento. El sistema que se plantea consta de un desfibrador y un extrusor en caliente. Se entiende por buena calidad un filamento cuya resistencia este cercana a los valores comerciales de los mismos. Entonces, ¿es factible obtener filamento para impresora 3D con calidad comercial a partir de plástico reciclado?

Algunos autores internacionales y uno nacional han trabajado en temas cercanos al presente proyecto pues han hecho hincapié en la trituración de plástico o la extrusión del mismo y en escasas excepciones de ambos. Porras, (2018) diseñó un sistema mecatrónico reciclador secuencial de tres estaciones interconectadas para trituración, extrusión y enrollamiento de filamento de impresora 3D. Se realizaron cálculos mecánicos de esfuerzo y torque en el equipo además de la resistencia de los diferentes materiales. Porras asegura que era posible obtener 0.5 kg filamento ABS con variedad de diámetros. García (2015) diseñó un prototipo de trituradora-extrusora para materiales termoplásticos. Se estudió el proceso de trabajo de una extrusora, sus partes, para luego definir la geometría general y definir las variables de diseño. La herramienta propuesta podría servir para filamentos estándar y filamentos de materiales compuestos. Arteaga. (2015) por su parte utilizó materiales comunes para botellas de polímero, esto es, PET, PLA reciclado y fibra natural de platanera. Esto, con la intención de generar piezas las cuales pudiesen ser ensayarlas mecánicamente y así caracterizar el filamento reciclado obtenido. Arteaga reportó buenas propiedades mecánicas del producto reciclado en su llamado “Filabot Original”. Jassin et al. (2016), intentaron optimizar la limitación del consumo de materias primas y la disminución de la cantidad de residuos durante el triturado y extrusión. Se concluyó que la máquina extrusora permite que el producto aumente siempre y cuando la geometría de la matriz sea grande y la densidad de los polímeros sea baja. Bijaya (2015) se enfocó en diseñar y fabricar una extrusora de filamento casera portátil y de bajo costo (menos de 200 euros). Luego de realizar pruebas, los filamentos resultaron tener propiedades mecánicas aceptables y de apariencia uniforme.

Con la intención de verificar el problema planteado, es factible diseñar un sistema integrado de trituración y extrusión debido a las propiedades termo-mecánicas de los materiales plásticos para obtener filamento para impresión 3D con calidad comercial a partir de plástico reciclado.

Se entiende por calidad al conjunto de propiedades que posee un objeto y que cumple con todos los requisitos establecidos, asimismo, es el que satisface las necesidades del cliente. En este caso el filamento por plástico deberá cumplir con las características de los filamentos comerciales como el PLA y el ABS, es por ello que vamos a determinar la resistencia como prioridad. Normalmente la resistencia del filamento es la característica más importante para la fortaleza estructural de las piezas fabricadas. Al

mismo tiempo, es una propiedad que puede ser simulada mediante software.

El primer objetivo de este trabajo se centró en averiguar las necesidades del mercado nacional mediante entrevistas a una muestra reducida de usuarios en nuestra ciudad. Simultáneamente, se realizará una búsqueda de normativa asociada a las propiedades de los filamentos de impresión 3D en cuestión (PET, HDPE, PP), maquinas recicladoras de plásticos y extrusores de filamento. A continuación, se establecerá una tabla de especificaciones de ingeniería deseadas para el filamento, la recicladora y el extrusor. El siguiente objetivo consistirá en el proceso de diseño para la obtención del equipo integrado recicladora-extrusor. Dentro del proceso de diseño específicamente en la fase de diseño paramétrico se incluyó el modelado y simulación del proceso de extrusión para observar el comportamiento de la resistencia del filamento obtenida en función del tipo de plástico reciclado (PET, HDPE, PP). Del mismo modo se definió como objetivo la obtención el juego de planos de rigor, el listado de piezas, el presupuesto y análisis económico simple.

El reciclaje de plásticos es la recuperación y reprocesamiento de los mismos luego de finalizada su vida útil para reusarlos en nuevas aplicaciones. Debido a su amplio uso en el embalaje y el envasado, la mayor parte de los desperdicios plásticos son de origen doméstico. Puede considerarse que los plásticos empleados en el embalaje, envasado y en agricultura tienen una vida inferior a un año, mientras que los que son utilizados en artículos domésticos o eléctricos presentan una duración de entre uno y diez años.

La siguiente etapa del reciclaje luego de la recuperación es el triturado. Este proceso se realiza generalmente por desgarramiento del material plástico mediante elementos cortantes dispuestos en un eje energizado por un motor. El desgarrado de los desechos plásticos se realiza de diversas maneras, siendo la más popular el desgarramiento mediante grupos de cuchillo en configuración “tipo peine” insertadas en ejes paralelos, los cuales fuerzan a los trozos plásticos a ingresar a la zona de desgarramiento para ser procesados.

En relación a la extrusión de plástico, es un proceso termo-mecánico en el cual se moldea el material a través de fuerzas de empuje y presión, pasando por un molde hasta llegar a la forma deseada en presencia de calor.

Los tipos de extrusora de plástico generalmente dependen del número de husillos que tengan, pueden ser mono husillo o de doble husillo, los cuales varían en diámetro y longitud para dar diferentes formas y diseños.

Por otro lado, la impresión en 3D es un proceso en el cual se pueden crear objetos a través de superposición de diversas capas, unas sobre otras, de un material adecuado, que diseñado en un software previo podemos generar una figura real.

La impresión 3D requiere de ciertos tipos de materiales que ayudaran a crear diferentes objetos, entre ellos tenemos: Poliácido Láctico (PLA), Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), el Tereftalato de Polietileno (PET), el Polietileno de alta densidad (HDPE), y el Polipropileno (PP).

El PLA es un material biodegradable y el más usado en la actualidad para la impresión en 3D, ya que es un material fácil de moldear para la impresora, su velocidad de impresión es rápida, y es un material reciclable, sin embargo, tiene poca resistencia térmica, ya que se vuelve endeble a partir de los 50 o 60°C, además tiene poca resistencia mecánica ya que es el más frágil que los demás materiales.

Con respecto al ABS, es un tipo material derivado del petróleo, sin embargo, es muy utilizado en la industria, ya que es muy estable a altas temperaturas (80 – 90°C), tiene alta capacidad de mecanizado, ya que se puede perforar o lijar, así mismo es muy resistente a impactos, sin embargo, la dificultad para imprimir en este tipo de material es más elevada si la comparamos con el PLA, ya que depende de la pieza a crear.

El Tereftalato de Polietileno (PET) es una variedad de plástico muy reutilizado para este proceso ya que lo podemos sacar de envases de alimentos, botellas, etc. Su principal característica es que tiene buena resistencia al desgaste y corrosión, también buena resistencia química y térmica, es muy resistente a los impactos o golpes que puedan tener, y tiene alta capacidad de mecanizado, sin embargo, no es un material biodegradable y se envuelve endeble a partir de temperaturas de 80°C.

En el caso del HDPE, este material se utiliza, para la elaboración de envases plásticos desechables. Dicho material es químicamente el polímero más simple. Se trata de un plástico barato que puede modelarse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas.

Finalmente, El Polipropileno (PP) es ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados debido a la excelente combinación de propiedades que presenta como peso ligero y resistencia al impacto (Harutun, 2003). Es un polímero termoplástico formado de enlaces simples carbono-carbono y carbono-hidrógeno, perteneciente a la familia de las poliolefinas, teniendo una densidad 0,90 gr/cc.

A continuación, se realizó una tabla de los tres tipos de plásticos a estudiar, en la cual se detalló las características que presentan cada una de ellas.

Tabla 1

Características de los plásticos

SIMBOLO	USOS	POSIBILIDAD DE SER RECICLADO	SALUD	NOTAS
PLASTICO #1 POLIETILENO TEREFTALATO (PET)				
	<ul style="list-style-type: none"> *Botella de agua, refrescos y otras bebidas. *Recipientes de detergente y otros productos para la limpieza. *Botes de crema de aguacate y otros alimentos. 	<p>El PET se puede reciclar para hacer poliester para las telas y alfombras, relleno para parachoques de autos y fibra para rellenar bolsas de dormir y chaquetas</p>	<p>No se conocen problemas de salud asociados con este plástico</p>	<p>El PET es uno de los plásticos más fáciles de reciclar</p>
PLASTICO #2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)				
	<ul style="list-style-type: none"> *Garrafones para agua y leche. *Recipientes para detergente para ropa, champú, y aceite para motor. *Botellas de champú. *Algunas bolsas plasticas. 	<p>Los recipientes de PEAD claros se reciclan fácilmente para crear nuevos recipientes. El PEAD de color se convierte en "madera" de plástico, bordes para césped y jardines, tubos de sogas y juguetes</p>	<p>No se conocen problemas de salud asociados con este plástico</p>	<p>El PEAD se recicla fácilmente</p>
PLASTICO #3 POLIPROPILENO (PP)				
	<ul style="list-style-type: none"> * Recipientes para sopas, jarabes, yogurt y margarina. * Pañales desechables. * Alfombras para exteriores. * Cubiertas para casas. * Recipientes de plástico opacos como biberones y sorbetes 	<p>El PP no se recicla con facilidad. Los diferentes tipos y grados hacen que sea difícil lograr una calidad consistente al reciclarlo</p>	<p>No se conocen problemas de salud asociados con este plástico</p>	<p>Tiene muy buena resistencia al impacto</p>

Fuente: Vásconez (2013)

II. METODO

2.1 Tipo y diseño de investigación:

La investigación aplicada tiene como fin principal resolver un problema en un periodo de tiempo corto mediante acciones concretas para enfrentar el problema según el autor (Chavez,2007). Por el cual la presente investigación será aplicada, puesto que la finalidad trataremos de resolver el problema de producir filamento para alimentar una impresora 3D a través de plástico reciclado.

Asimismo, la investigación cuantitativa utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis y confía en la medición numérica, el conteo y el uso de estadística según el autor (Tamayo, 2007). Es por eso que estaremos realizando una investigación cuantitativa, ya que nuestro enfoque de investigación recopilaremos diferentes datos de dos empresas que trabajan con dicho producto, a través de una entrevista, sabremos los parámetros que necesitan las impresoras 3D para un adecuado filamento que sea de buena calidad.

Al buscar obtener filamento con propiedades mínimas aceptables respecto del mercado, estaremos frente a investigación descriptiva. La investigación descriptiva busca medir las variables que intervienen en el estudio, de acuerdo a sus características, actitudes y del comportamiento de las unidades investigadas. Respondiendo a cuenta, a qué medida, cómo y en donde se produce el problema de estudio según (Risquez y Col, 2002).

El diseño no experimental transversal es aquel que recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado a través de una medición única según los autores (Hernández y col, 2006). Es por ello que la investigación propuesta será una Investigación no experimental transversal ya que analizaremos los datos recopilados de las entrevistas a realizar en base a nuestra muestra.

2.2 Operacionalización de Variables

En el Anexo 7, se observa la matriz de Operacionalización de variables, donde se tiene la variable dependiente “Calidad de Filamento” y nuestra variable independiente es el tipo de plástico desechado a triturar y extruir. Los tipos de plásticos consideramos en nuestro proceso, serán: PET, HDPE, PP, los cuales serán simulados y se analizara su resistencia para reconocer la calidad de filamento de cada una de ellas.

2.3 Población, muestra y muestreo

2.3.1 Población

Filamentos para impresora 3D a partir de plásticos reciclados

2.3.2. Muestra

Filamentos para impresora 3D a partir de plásticos reciclados PET, HDPE Y PP.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Los instrumentos empleados para obtener la información necesaria fue los siguientes:

- Celulares
- Laptop
- Encuestas

2.4.1 Guías de observación

Para la obtención de los datos de la maquina integradora se tomaron como guías de observación los siguientes puntos:

- Ambiente de trabajo.
- Herramientas de trabajo.
- Tipos de filamento comercial.

2.4.2. Cuestionarios

Se elaborarán cuestionarios para poder entrevistar a las personas más allegadas a las empresas que tengan experiencia sobre el tema del sistema integrado de una trituradora y extrusora.

2.5 Procedimiento

El procedimiento de diseño a realizar consiste de la siguiente manera:

2.5.1 Determinación de necesidades de cliente

Se realizará a través de una entrevista a los dueños de las empresas dedicadas a la impresión 3D para poder identificar las necesidades existentes, requerimientos y algunos datos.

2.5.2. Definición del problema en términos ingenieriles

Se expresará en términos ingenieriles las necesidades de la empresa, luego de recolectar los datos con el cuestionario.

2.5.3. Configuración general de las partes de la máquina

Se diseñará la configuración de las partes del sistema integrado para la fabricación de filamento mediante plástico reciclado.

2.5.4. Dimensionamiento general del equipo

Se diseñará los planos respectivos del sistema integrado en el software CAD.

2.5.5. Determinación de material de la estructura y accesorios de la máquina

Se seleccionará los tipos de plásticos para poder hallar la resistencia.

2.5.6. Diseño paramétrico

Se diseñará a través de una herramienta computarizada CAD y se optimizará los componentes a través de la computarización.

En esta parte se considerará en forma especial la simulación donde se va analizar las variables como es el plástico reciclado y la resistencia del filamento obtenida mediante el proceso de extrusión para observar la relación entre ellos.

2.5.7 Esquema de control de la máquina

Se diseñará a través de una matriz el esquema de control de la máquina, especificando su funcionamiento.

2.5.8. Selección de componentes estándar

Se realizará a través de una matriz ponderada para seleccionar las mejores opciones.

2.5.9. Planos generales

Se elaborará el diseño de los planos de fabricación y de montaje a través de software de ingeniería.

2.5.10 Análisis económico

Se realizará el estudio a través de identificadores económicos

2.6 Método de análisis de datos:

Método Analítico: La información relevante se obtendrá mediante entrevistas, donde se determinará las necesidades del mercado a través de una muestra limitada a dos empresas locales debido a limitaciones de tiempo y recursos económicos de los autores.

Se elaborará una tabla de especificaciones de ingeniería deseadas para el filamento, la recicladora y el extrusor, para así tener una guía para el desarrollo del proyecto. Se generará una selección del material que pueda cumplir con todos los requerimientos para poder obtener un filamento de buena resistencia y poder diseñarla en software CAD.

2.7 Aspectos éticos:

Los investigadores se comprometen a respetar la veracidad de los resultados y confiabilidad del diseño para nuestra investigación que se presenta.

III. RESULTADOS

3.1. Necesidades del mercado.

Las necesidades existentes en la ciudad de Trujillo se determinaron con el apoyo de entrevistas realizadas al personal de las empresas Startech Robotics & Electronics SAC y Naylamp Mechatronics SAC. El formato vacío de la entrevista se aprecia en el Anexo N°1 mientras que las entrevistas realizadas se pueden apreciar en el Anexo N° 2. La Tabla 3 muestra el consolidado de las respuestas obtenidas y a continuación se indica las conclusiones que se obtuvieron del análisis de esta tabla.

Pregunta No. 1: ¿Cuál es el precio promedio del filamento?

El precio del filamento PLA en Startech Robotics & Electronics SAC cuesta S./70 con respecto a Naylamp Mechatronics SAC que cuesta S./ 80 mientras que el ABS cuesta S./80 y S./120 respectivamente.

Pregunta No. 2: ¿Ha escuchado hablar de los filamentos de impresora 3D producidos a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.

Los entrevistados han escuchado de la producción de filamento a partir de plástico reciclado y piensan que es una buena alternativa para disminuir la contaminación ambiental y los costos y saben que no se comercializa mucho en Perú.

Pregunta No. 3: ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?

El 95% de entrevistados dice que el precio del filamento sería de S./50 el rollo por Kg y el 5% dice que el precio debería ser de S./60 por Kg.

Pregunta No. 4: ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?

No existe consenso entre los entrevistados respecto de los criterios para definir la calidad del filamento.

Pregunta No. 5: ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?

Los entrevistados estarían dispuesto a pagar en un precio entre S./1000 a S./5000.

Pregunta No. 6: ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?

El 100% de los entrevistados dijeron que los colores preferidos por los clientes son el blanco y negro.

Pregunta No. 7: ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una maquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?

Las características que debería tener una maquina recicladora de plástico es: Ser fácil de utilizar y manipular, así como también, conseguir repuestos fácilmente.

3.2. Normatividad

Norma ISO 21873-1:2019: Esta norma se basa en que cada triturador móvil, debe contar con todos sus datos detallados (Medidas, peso, datos de sus componentes) y que deben estar correctamente señaladas en el marcaje de la máquina. La norma se indica en el Anexo N° 3.

ISO 21873-2:2009: Se basa en los dispositivos de seguridad que deben contar todos los componentes de la trituradora. Así mismo brinda indicaciones de diseño para darle un mejor mantenimiento al sistema, el cual debe apreciarse en el marcado de la máquina. En el Anexo N°4 se puede apreciar esta norma.

NMX-E-232-CNCP-2011: Esta norma describe una manera sencilla de identificar los productos fabricados de plástico para tener una mejor facilidad de selección, recolección, procesamiento y reutilización. En el Anexo N° 5 se puede apreciar esta norma.

3.3. Recomendaciones de diseño

Debido a la falta de normativa específica para el diseño que se planteó desarrollar, se realizó una búsqueda de trabajos relacionados a lo que es recomendaciones de diseño que se aprecia en la Tabla 2 el resumen de las recomendaciones de diseño más destacadas.

Tabla 2*Recomendaciones de diseño*

CARACTERÍSTICAS	RECOMENDACIONES DE DISEÑO	FUENTE
MATERIAL	El material que se recomienda para las cuchillas es el ACERO SISA A2 debido a sus características, las cuales son tenacidad y resistencia al desgaste	García (2014)
	El material para ejes principales y secundarios será de ACERO AISI 1045 pues es de acero al carbono al presentar buenas propiedades mecánicas	Mayorga (2016)
	Se escogió un como material para el husillo el acero ASTM A-276	Porras (2018)
OPERACIÓN Y/O MANTENIMIENTO	El sistema se requiere que sea hermético para evitar contaminación y comprometa la trituración con distintos objetos	Giraldo (2010)
TÉCNICA	Se debe tomar un factor de servicio igual a 1.2 en la fuerza de corte para garantizar el éxito en la operación debido a que los espesores de los plásticos a reciclar pueden variar.	Portalanza y Rodríguez (2013)
	Se extruye en promedio con una velocidad de 0.5 kg de plástico por hora de trabajo	Porras (2018)
GEOMETRÍA	El ángulo de corte de las cuchillas debe ser los siguientes Angulo de corte: $\beta=70^\circ$ a 80° Angulo de ataque: $\alpha=4^\circ$ a 6° Angulo de abertura: $\gamma=8^\circ$ a 10°	Portalanza y Rodríguez (2013)
	Se recomienda tener un espesor de cuchilla entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ de pulgada para una mejor trituración	Hernández (2015)

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3

Resultado de entrevista a las empresas Startech Robotics & Electronics SAC y Naylamp Mechatronics SAC.

	García Pérez Herlis Galdamis	Gavidia Ulloa José Andrés	Soto Castañeda David	Ernesto Choquehuanca
1. ¿Cuál es el precio promedio del filamento?	PLA: 70 soles por Kg ABS: 80 Soles por Kg	110 soles- Trujillo 70 soles - Lima	PLA- 80 soles ABS/ PETG/ NYLON - 120 soles	PLA- 80 soles ABS/ PETG - 120 soles
2. ¿Ha escuchado de los filamentos de impresora 3D producido a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.	Sí, es una buena alternativa que podría disminuir el costo de los materiales de impresión 3D, además de contribuir con el cuidado del medio ambiente.	Sí, es una buena alternativa para combatir la contaminación	Sí, hay de diversas calidades. En el mercado peruano casi no se comercializan filamento reciclador.	son una opción más amigable con el ambiente
3. ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?	50 soles por Kg	Para dar una buena competencia 60 soles.	50 soles el rollo de 1Kg	Solo si la diferencia de precios es mayor al 50%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4

Resultado de entrevista a las empresas Startech Robotics & Electronics SAC y Naylamp Mechatronics SAC. (Continuación)

4. ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?	1. Buena resistencia térmica y mecánica. 2. Bajo nivel de toxicidad	1. No tener burbujas en alguna parte del filamento 2. No tener el filamento enrollado 3. Ser de 1.75mm de diámetro que es el más comercial	Uniformidad en el diámetro del filamento, tener superficie lisa.	Buenas tolerancias de diámetro en todo el filamento, material uniforme
5. ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?	5000 soles.	En un promedio de 1000 soles a 2000 soles.	Entre 2 a 4 mil soles.	1000
6. ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?	Negro, blanco, azul, rojo y plata.	Blanco, negro, azul, rojo.	Blanco y negro	Blanco, negro y gris
7. ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una máquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?	Debe ser de fácil uso para el usuario final. Además, tener en cuenta el costo final de la máquina y el costo de todo el proceso para obtener el filamento, ya que dependerá de eso el precio del nuevo filamento para que pueda ser competitivo con los ya existentes.	1. La primera parte que es la máquina trituradora debe tener unas cuchillas finas para agilizar el proceso de calentamiento. 2. Escoger un buen material para la fase de calentamiento y enfriamiento. Lo usual sería usar inoxidable.	Ser modular, fácil de utilizar/mantener. Con repuestos que se puedan conseguir fácilmente. Con conexión a internet para	Facilidad de uso, confiabilidad y buena calidad de filamento

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Tabla de especificaciones de ingeniería

Luego de obtener los requerimientos por parte de los entrevistados, visitar las instalaciones de la empresa del rubro y familiarizarse con la normativa, se elaboró una tabla de especificaciones de ingeniería en la cual se especifican las unidades y limitaciones de cada sub función mencionada. En la Tabla 5 se muestran las especificaciones ingenieriles basadas en las posibles necesidades de las empresas del mercado.

Tabla 5

Especificaciones Ingenieriles

	CARACTERÍSTICA DE INGENIERÍA	UNIDADES	RANGOS
Costo Filamento	Costo por kilo	S/.	80 - 120
Tamaño del equipo	Dimensiones	Metros	Largo: 1.5 Ancho: 1.0 Alto: 1.5
Costo del Equipo	Precio del sistema	S/.	1000 - 5000

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Diseño conceptual

Se generaron tres conceptos de diseño capaces de responder a los requerimientos de la tabla de especificaciones de ingeniería los cuales están detallados en el Anexo N° 5. Estos conceptos fueron filtrados mediante los criterios de evaluación de la Tabla 6, se les brindo puntuación mediante los niveles de puntuación de la Tabla 7 y fueron comparados en la matriz de selección de la Tabla 8. Se obtuvo como ganador al Concepto 2. Así, este concepto fue la base para los subsiguientes pasos de diseño.

Tabla 6

Criterios de evaluación para los tres conceptos alternativos

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITERIO	PESO
ERGONOMIA	10%
SEGURIDAD	15%
CONFIABILIDAD	15%
MANTENIMIENTO	25%
RUIDO	10%
COSTO	20%
ESTETICA	5%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Puntajes de evaluación para los tres conceptos alternativos.

PUNTAJES DE EVALUACIÓN	
PUNTUACIÓN	EXPLICACIÓN
1	MUY MALO
2	MALO
3	REGULAR
4	BUENO
5	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Conceptos alternativos de un sistema integrado de una máquina trituradora de plástico con una extrusora

CRITERIO	PESO	CONCEPTO ALTERNATIVOS					
		CONCEPTO 1		CONCEPTO 2		CONCEPTO 3	
		VAL	CAL	VAL	CAL	VAL	VAL
ERGONOMIA	10%	2	0.2	3	0.3	4	0.4
SEGURIDAD	15%	3	0.45	4	0.6	5	0.75
CONFIABILIDAD	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
MANTENIMIENTO	25%	4	1	4	1	2	0.5
RUIDO	10%	2	0.2	3	0.3	3	0.3
COSTO	20%	4	0.8	5	1	4	0.8
ESTETICA	5%	2	0.1	3	0.15	2	0.1
TOTAL	100%	3.2		3.8		3.3	
RANKING		3°		1°		2°	

Fuente: Elaboración propia

3.6. Diseño de configuración

Luego de haber realizado el diseño conceptual y haber obtenido el diseño óptimo, se realiza la configuración en el programa CAD para poder analizar los detalles en base a los requerimientos que se tuvo en cuenta por criterio ingenieril. La Tabla 9 muestra los criterios que se definió para la evaluación de las tres configuraciones realizadas, asimismo, la Tabla 10 se evalúa mediante un rango de puntuación las configuraciones de diseño. Se desarrolló 3 configuraciones los cuales están detallados en el Anexo 6. Estos conceptos al igual que en el diseño conceptual se realizó una selección ponderada que se encuentra en la Tabla 11.

Tabla 9*Criterios de evaluación para las tres configuraciones.*

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITERIO	PESO
ERGONOMIA	20%
CANTIDAD DE MATERIAL	30%
NUMERO DE PIEZAS	35%
ESTETICA	25%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10*Puntajes de evaluación para las tres configuraciones.*

PUNTAJES DE EVALUACIÓN	
PUNTUACIÓN	EXPLICACIÓN
1	MUY MALO
2	MALO
3	REGULAR
4	BUENO
5	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

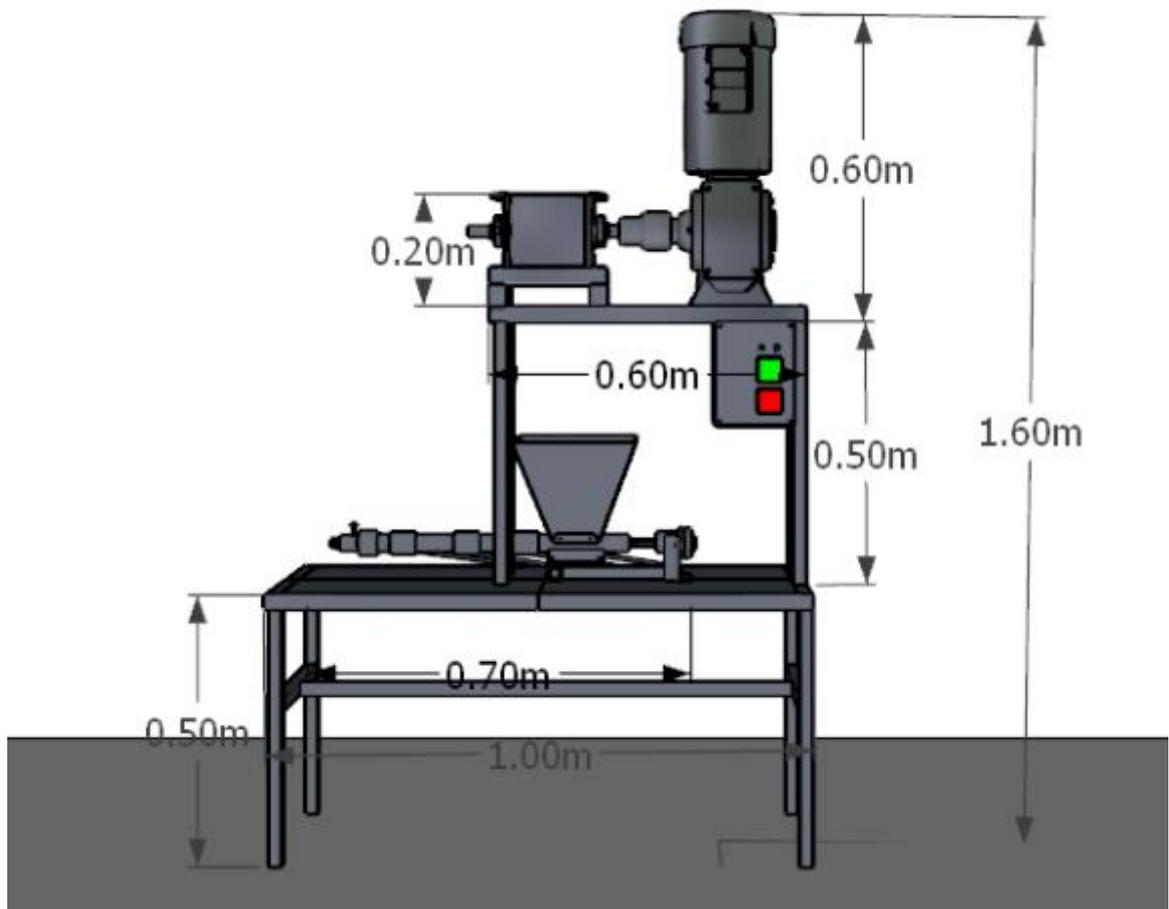
Tabla 11*Se seleccionó la alternativa más conveniente mediante una matriz de selección ponderada de la siguiente tabla*

CRITERIOS	PESO	CONCEPTO ALTERNATIVOS					
		CONFIGURACION 1		CONFIGURACION 2		CONFIGURACION 3	
		VAL	CAL	VAL	CAL	VAL	CAL
ERGONOMIA	25%	3	0.75	3	0.75	4	1
CANTIDAD DE MATERIAL	20%	4	0.80	2	0.40	2	0.40
NUMERO DE PIEZAS	35%	5	1.75	2	0.70	3	1.05
ESTETICA	15%	2	0.30	1	0.15	2	0.30
TOTAL	100%		3.6		2		2.75
RANKING			1°		3°		2°

Fuente: Elaboración propia

3.7. Dimensionamiento general

De acuerdo a las entrevistas realizadas (Ver Tablas 3 y 4) en las empresas Startech Robotics & Electronics SAC y Naylamp Mechatronics SAC. Se determinó el espacio de trabajo debido a la estructura que tiene el sistema integrado ya que puede tener dimensiones tentativas es por eso que se establece que el motor reductor vertical es de 0.6m, la tolva de la trituradora de 0.20m, es por ello que la altura total del sistema integrado debería ser aproximadamente de 1.6m, debido a la manipulación del operador y por criterio de ingeniería el largo debería ser de 1m para poder tener una apropiada sostenibilidad en la máquina.



*Figura 1. Dimensionamiento del sistema integrado
Fuente: Elaboración propia*

3.8. Selección de materiales

La selección de materiales se realiza de acuerdo a las entrevistas realizadas (Ver Tabla 3 y 4) y por criterio ingenieril.

3.8.1. Selección de Material para las cuchillas

El material que se va a utilizar en las cuchillas de acuerdo al criterio ingenieril es el acero inoxidable ASTM A240 (Grado 302) debido a sus propiedades mecánicas que presenta, a la dureza y tenacidad (Porrás, 2018), este acero es útil para trabajar con plásticos y otros tipos de funciones. Las propiedades mecánicas el acero ASTM A240 con grado 302 se detallan en el Anexo 7.

3.8.2. Selección de material para el eje

Los materiales que se escogieron para diseñar el eje son: acero inoxidable ASTM A240 (Grado 302), AISI 6150, AISI 4140 debido a la resistencia que presentan y al diámetro que va ser requerido y los esfuerzos intervinientes en el eje (Porrás, 2018). Las características se detallan en los Anexo 11

3.8.3. Selección de material para la tolva

De acuerdo a las recomendaciones dadas, el material que se va a emplear es un ASTM A36, debido a sus propiedades mecánicas que presenta y a los diversos usos que se puede emplear (W. Miranda 2014)

3.8.4. Selección de material para el husillo

Se elige como material de acuerdo a las recomendaciones acero ASTM A-276 (Grado 304). Debido a la presión necesaria para extruir el material y el flujo másico determinado.

3.8.5. Selección de material para la estructura de la maquina

Para la estructura de la máquina, por criterio ingenieril se va a emplear perfil de aluminio estructural de 40x40. Ya que estos perfiles tienen múltiples usos como estantes, repisas, entre otros. Son modulares y fácil de ensamblar, asimismo, son fuertes y ligeros. Sus características se detallan en el Anexo 9.

3.9 Diseño Paramétrico

La secuencia de cálculos se encuentra en el Anexo 17, el cual nos indica el procedimiento a seguir.

Primero se calculó el ángulo de corte de las cuchillas, el cual es 46.775° , posteriormente se determinó la fuerza de corte por cada cuchilla lo cual es de 889.25 N. Teniendo la fuerza de corte, se realiza el diagrama de cuerpo libre, en el cual solo se analiza el eje, sin contar con las cuchillas aplicando la fuerza de corte de estas directamente sobre el eje hexagonal. En total habrá 14 cuchillas de las cuales solo dos cuchillas hacen el corte a la vez mientras el eje gira. El diagrama de cuerpo libre se puede ver en el Anexo 17. Prosiguiendo con el análisis se determinaron las fuerzas de reacción en los dos rodamientos del eje, la cual es de 1094.1 N (Rodamiento A) y de 684.4 N (Rodamiento B).

3.9.1 Diseño de la Trituradora

3.9.1.1 Diseño paramétrico del Eje de la Trituradora

En el diseño de la maquina integrada se identificó que uno de los componentes críticos es el eje de la trituradora pues en ella se encuentra los elementos cortantes que reducen los residuos de plástico a un tamaño adecuado para el proceso de extrusión posterior. Para realizar el diseño paramétrico a este componente se empieza definiendo las variables en una caja negra donde se puede apreciar la relación entre las variables de diseño y las variables de solución. En la Figura 2 se encuentra la caja negra basada en el esquema de variables de Dieter (2013) y Eggert (2010).

Las variables y parámetros expresados en la caja negra se definen junto a los rangos y/o valores correspondientes en la Tabla 12. Estos valores se toman de las fichas técnicas y del dimensionamiento general del equipo y delimitan el diseño del eje.

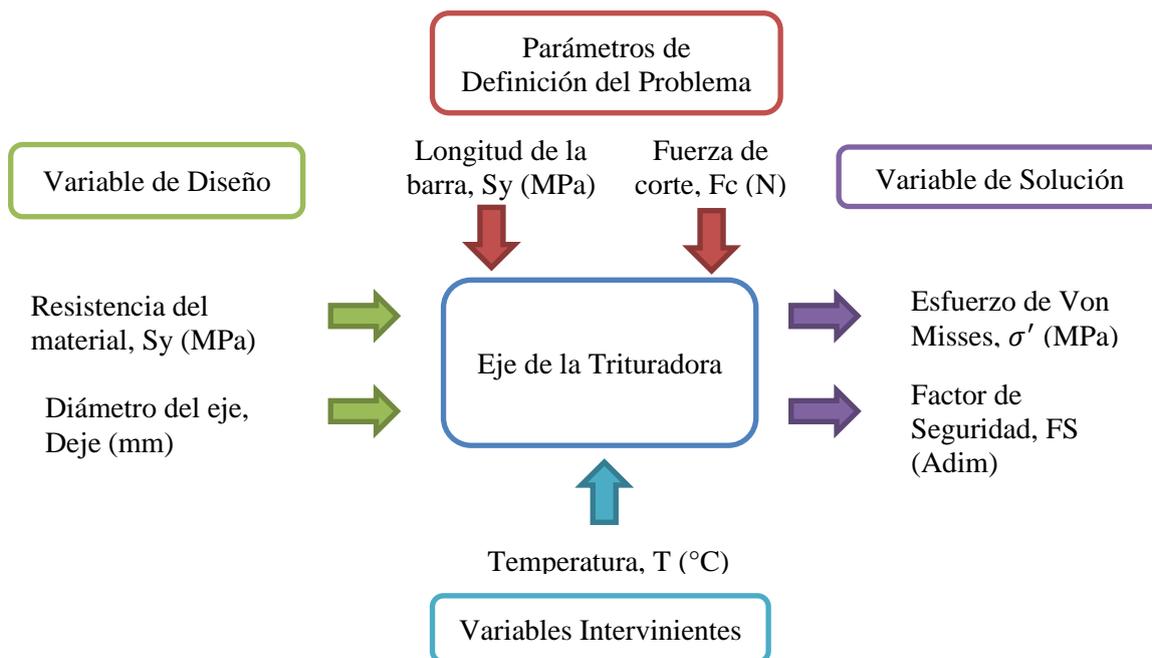


Figura 2. Caja negra para el eje de la trituradora para el análisis paramétrico
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12

Variables para Diseño Paramétrico para el eje

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE/ PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	RANGO O VALORES
PARÁMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA	Longitud de la Barra	L	mm	318 mm
	Fuerza de Corte	Fc	N	889.2 N
VARIABLES DE DISEÑO	Límite de Fluencia de Material	Sy	MPa	240 MPa 515 MPa 635 MPa
	Diámetro de Barra	d	mm	0.5 – 1.5 pulg.
VARIABLES DE SOLUCION	Esfuerzo de Von Misses	σ'	MPa	A determinar
	Factor de Seguridad	FS	Adim.	A determinar
VARIABLES INTERVINIENTES	Temperatura Ambiente	T _{amb}	°C	25 °C

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar un diámetro adecuado para el eje de la trituradora se analizó el eje tanto estáticamente como en fatiga, para lo cual se elaboró una GUI (Interface Gráfica de Usuario) en Matlab para el análisis estático y de igual manera se hizo otra GUI para el análisis en fatiga. En la GUI en carga estática se toma como datos de entrada los valores calculados en la secuencia de cálculo del Anexo 17, donde el momento máximo es 46.53 N.m, el torque máximo es de 106.71 N.m y el esfuerzo de fluencia para el PET es de 72 MPa (N/mm²). Se realizaron tres curvas paramétricas tomando como parámetros la resistencia de los materiales que se desean evaluar (AISI 320, AISI 6150, AISI 4140) para valores de diámetro de eje desde 1/2" hasta 1.5". La base para seleccionar el diámetro adecuado toma en consideración que para un diseño conservador se mantendrá un factor de seguridad mayor a 5, de esta manera se obtuvo un diámetro de 1" con un factor de seguridad de 6.47 en carga estática mientras que en fatiga el factor de seguridad es 5.19 empleando el acero AISI 6150. El resultado de la GUI en carga estática y en fatiga se muestran en las Figuras 3 y 4 respectivamente.

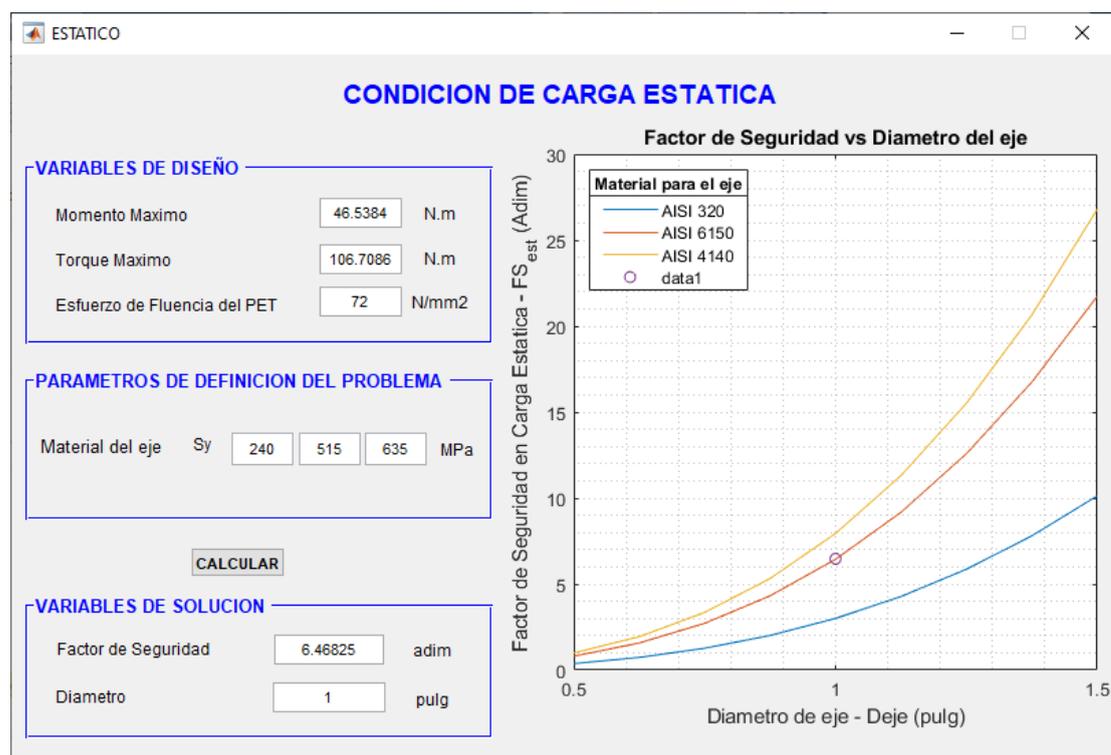


Figura 3. GUI para análisis paramétrico del eje en carga estática.
Fuente: Elaboración Propia

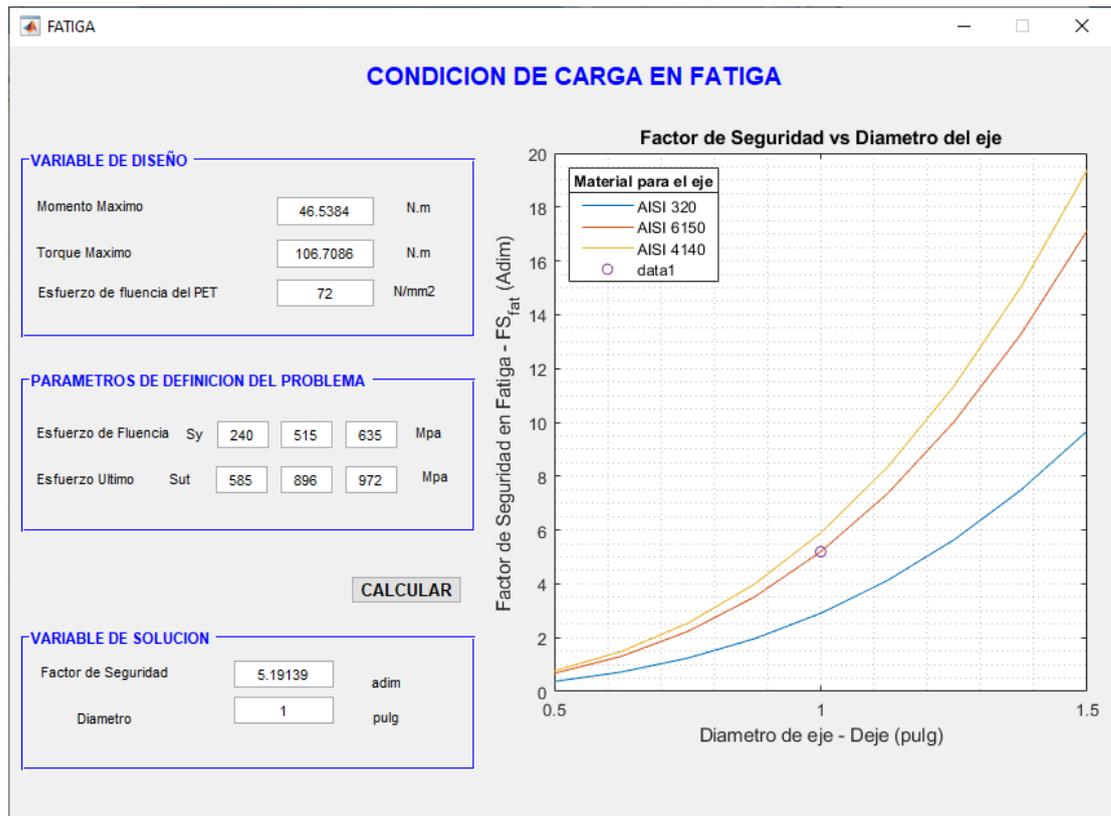


Figura 4. GUI para análisis paramétrico del eje en fatiga.
Fuente: Elaboración Propia

3.9.1.2 Simulación del eje

Con la finalidad de corroborar los resultados analíticos se elaboró la simulación del eje tomando como datos los valores de momento y torque obtenidos del cálculo analítico. El eje fue diseñado con un diámetro de 1" y una longitud de 318 mm, mientras la sección hexagonal tiene una diagonal máxima de 1" $\frac{1}{4}$.

Habiendo ya definido las dimensiones para el eje con los cálculos anteriores se elaboró el dibujo CAD del eje figura 5. En el programa de simulación al eje se le asignó dos cargas que representan la fuerza actuante sobre la punta de las cuchillas, cada una con valor de 889.2 N mientras el eje es fijado en los extremos donde van montados los rodamientos. En la figura 6 se muestra el resultado de la simulación en fatiga del eje y los resultados completos se encuentran en el Anexo N° 18.

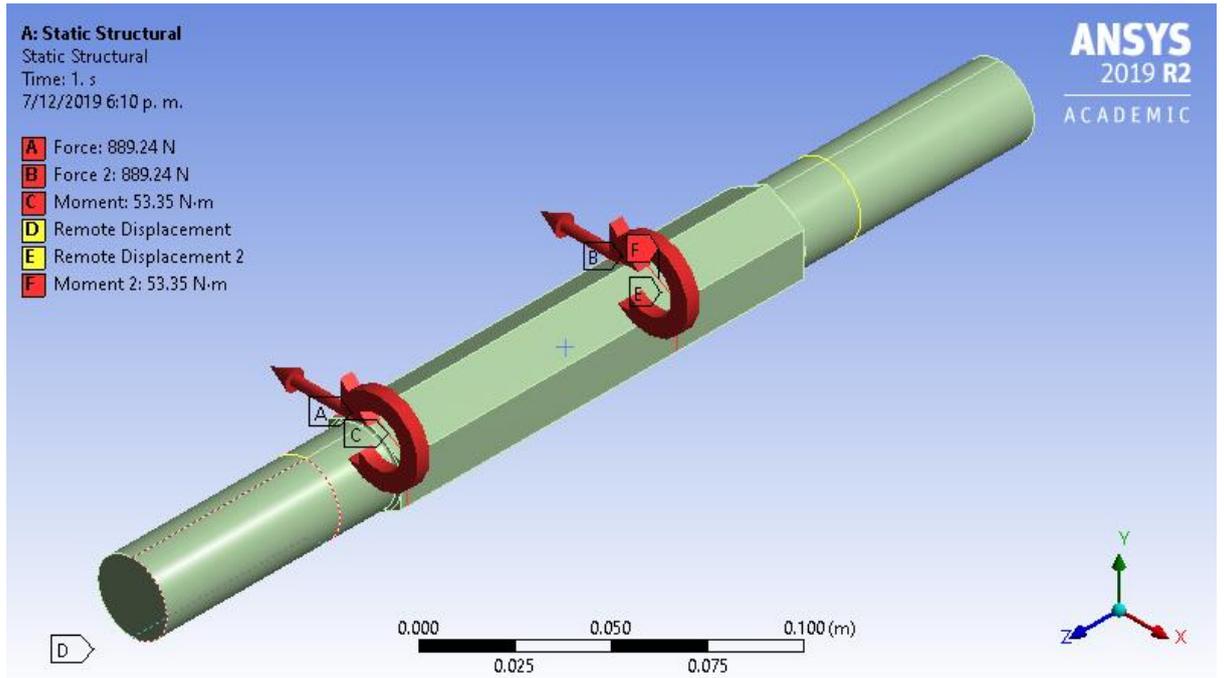


Figura 5. Modelo CAD del eje con cargas y restricciones asignadas.
 Fuente: Elaboración Propia

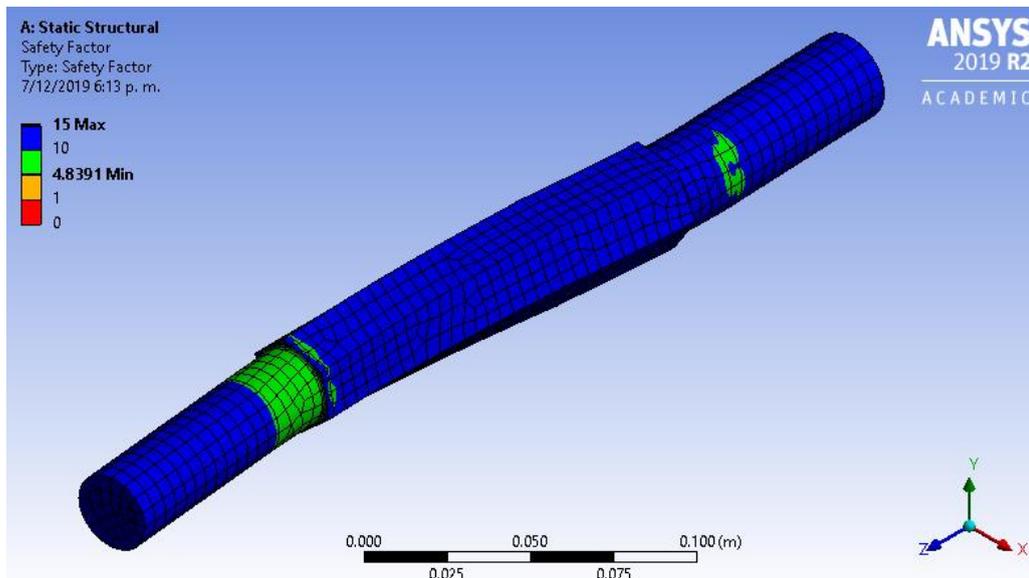


Figura 6. Resultado de factor de seguridad en fatiga para la simulación del eje.
 Fuente: Elaboración Propia

3.9.1.3 Simulación de los Elementos Cortantes de la Trituradora

De manera similar a la simulación del eje se elaboró el dibujo CAD de la cuchilla para determinar su factor de seguridad, en la figura 7 se aprecia el modelo de una sola cuchilla, la misma que tiene un espesor de 5 mm un chaflán en la punta de 1 milímetro. Sobre la punta de la cuchilla se aplica la fuerza de corte de 889.2 N y se fija las caras internas que están en contacto con el eje hexagonal. Los resultados de la simulación en fatiga se puede ver en la figura 8 y los demás resultados se encuentran en el Anexo 19.

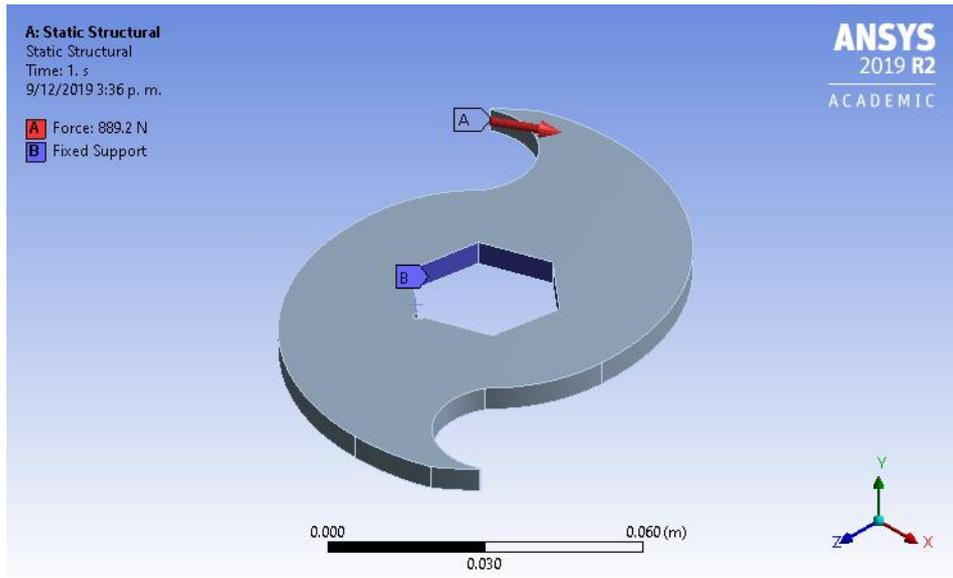


Figura 7. Modelo CAD de cuchilla y asignación de cargas para simulación.
Fuente: Elaboración Propia

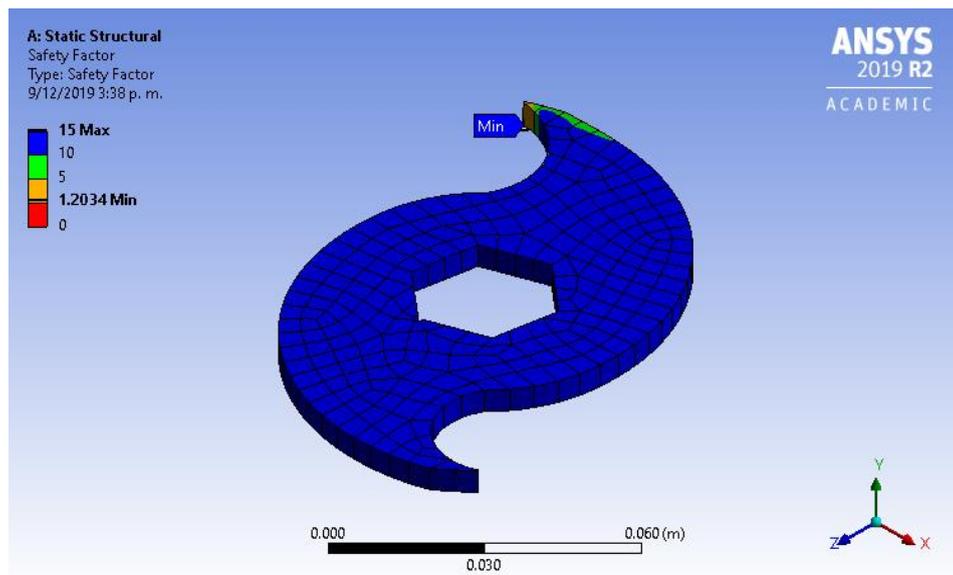


Figura 8. Resultado de factor de seguridad en fatiga para la simulación de las cuchillas.
Fuente: Elaboración Propia

3.9.2 Diseño paramétrico del Extrusor

Como parte del proceso de diseño de la maquina integrada se analizó paramétricamente el sistema de extrusión de plástico, específicamente al eje de extrusión el cual para su análisis se toma como variables de diseño la velocidad de extrusión y el diámetro del eje y como variables de solución la potencia del motor y el diámetro del tornillo. Todas las variables se encuentran representadas en la Figura 9 donde se encuentra la caja negra basada en el esquema de variables de Dieter (2013) y Eggert (2010).

Las variables y parámetros expresados en la caja negra se definen junto a los rangos y/o valores correspondientes en la Tabla 13. Estos valores se toman de las fichas técnicas y del dimensionamiento general del equipo y delimitan el diseño del eje.

En las gráficas paramétricas de la Figura 10 se puede observar la relación entre el flujo másico (Q) y la potencia requerida por la extrusión (Pot) en función del diámetro del eje (D_c) para diferentes velocidades de rotación (w). En la graficas de flujo másico versus diámetro del eje (D_c) es notorio que existe un punto máximo donde se obtiene el mayor flujo, mientras que para las gráficas de potencia de potencia los valores van disminuyendo mientras aumenta el diámetro del eje y que a su vez se refleja en una disminución del flujo másico. Por otra parte, se observa que con mayores velocidades el flujo másico y la potencia aumentan.

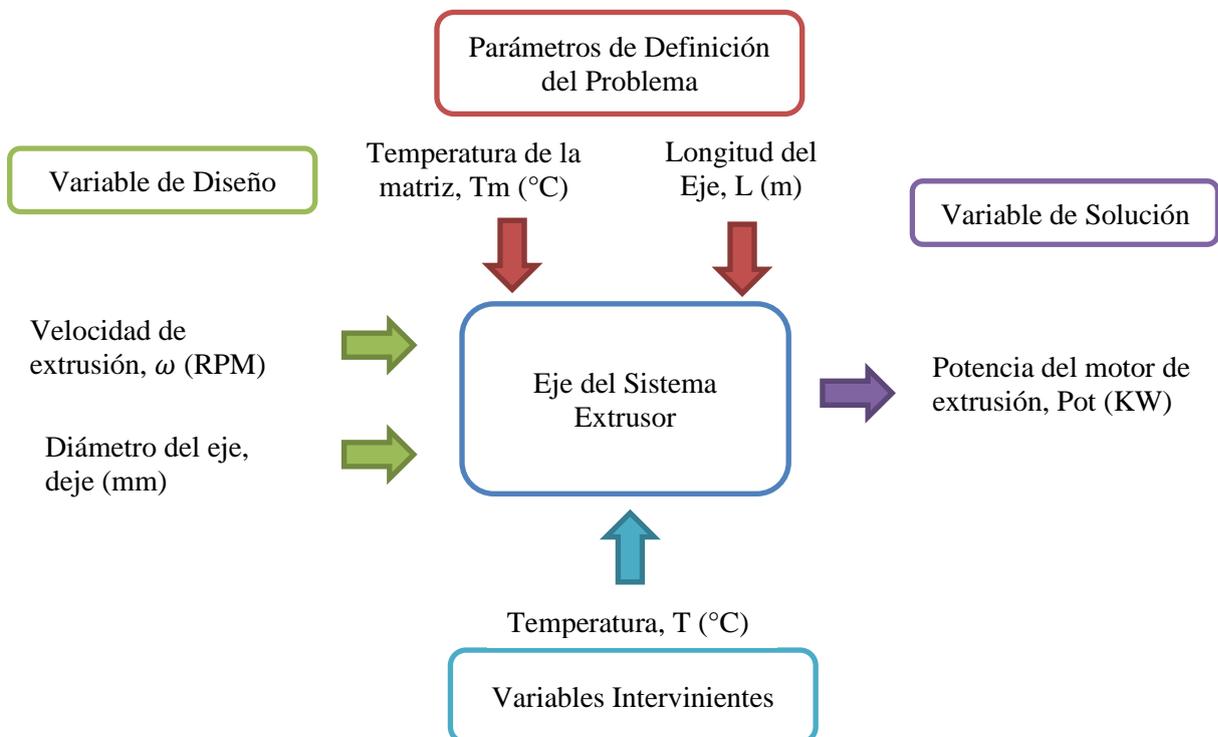


Figura 9. Caja negra para el eje de la extrusora para el análisis paramétrico
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13: Variables para Diseño Paramétrico para el eje

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE/ PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	RANGO O VALORES
PARÁMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA	Temperatura de la matriz	T_m	°C	254
	Longitud de la Barra	L	mm	900
VARIABLES DE DISEÑO	Velocidad de extrusión	ω	RPM	40 – 80
	Diámetro del eje	d_{eje}	mm	4 – 15
VARIABLES DE SOLUCION	Potencia del motor de extrusión	Pot	KW	A determinar
VARIABLES INTERVIENTES	Temperatura Ambiente	T_{amb}	°C	25 °C

Fuente: Elaboración Propia

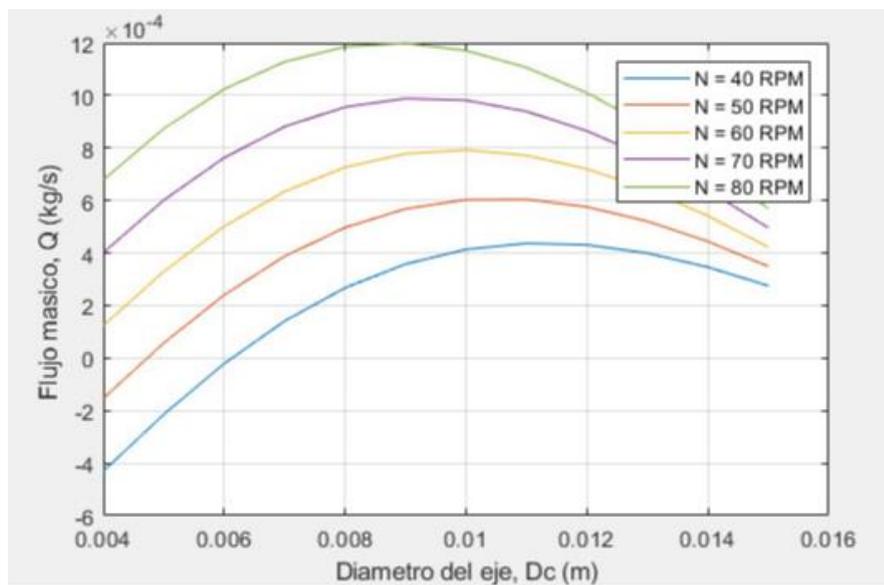


Figura 10. Grafica paramétrica de Flujo másico vs Diámetro del eje con parámetro N (RPM) para el eje del extrusor.

Fuente: Elaboración Propia

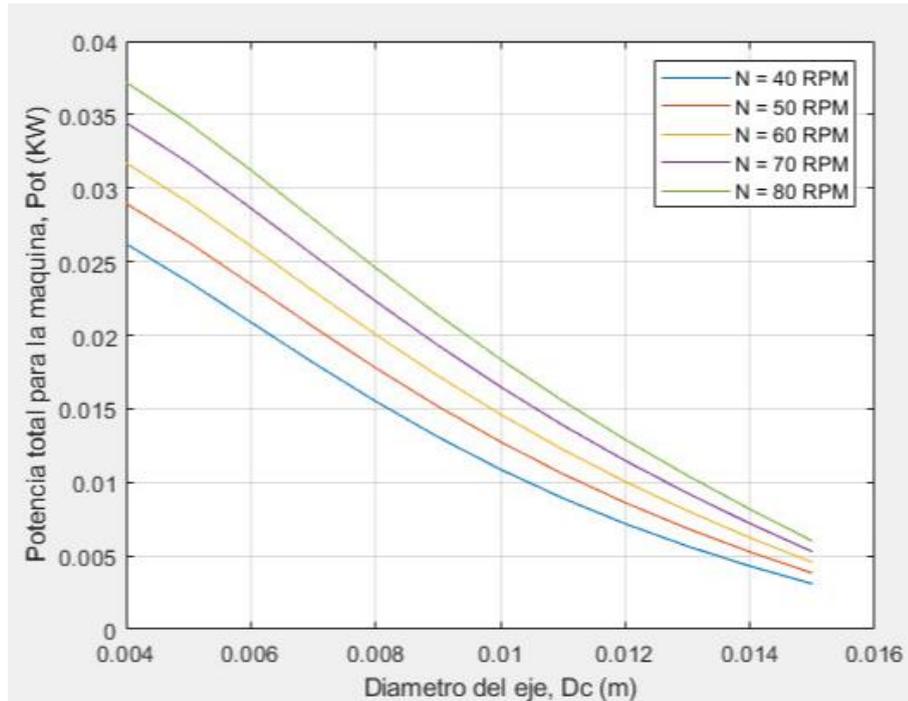


Figura 11. Grafica paramétrica de Potencia vs Diámetro del eje con parámetro N (RPM) para el eje del extrusor.
Fuente: Elaboración Propia

3.11 Análisis de Reciclabilidad de polímeros PET, PP y HDPE

Dado que la intención del presente trabajo es obtener filamento de calidad comercial se estudió la caja negra de variables que se muestra en la Figura No. 12. En ella se presenta las condiciones de reciclaje realizados y variable de salida la calidad del filamento reciclado. La calidad del filamento reciclado en este trabajo se evalúa únicamente mediante las propiedades mecánicas del mismo.

En este trabajo se evalúan las propiedades mecánicas (Resistencia de Fluencia, SY; Modulo de Rigidez, E; Tenacidad, IS) de los polímeros PET (Polyethylene terephthalate), PP (Polypropylene) y HDPE (High-density polyethylene) luego del reciclaje.

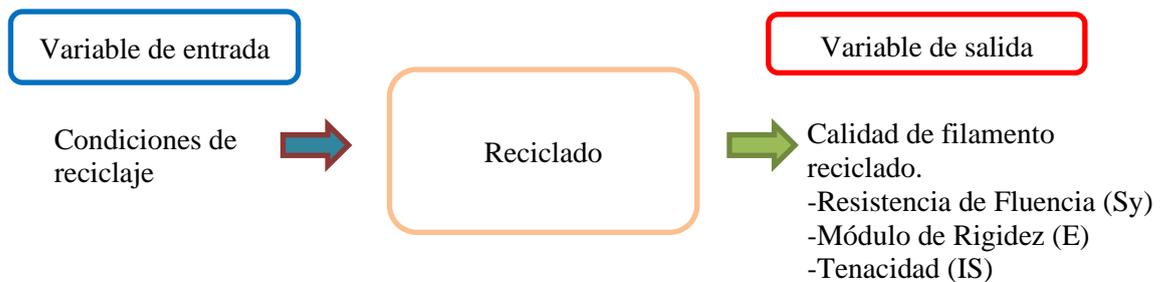


Figura No. 12 Caja de Negra de Variables de Investigación

En la Tabla No. 14 se puede apreciar un condensado de las propiedades mecánicas de los tres polímeros indicados en su estado virgen. Considerando que el presente trabajo no involucra implementación, asumiremos estos valores como los valores de entrada de la variable. Es decir, asumimos estos valores de las propiedades como los que poseen los polímeros de desecho antes de entrar a la maquina recicladora en cuestión.

Todos los reportes de reciclaje de desperdicios plásticos incluidos los de PET, PP y HDPE usando una trituradora y un extrusor de hélice única indican que el reciclaje puede realizarse sin deterioro en las propiedades mecánicas en los primeros ciclos de reciclaje (da Costa et. al., 2007).

Propiedades Mecánicas de los Polímeros antes de su primer reciclaje

PROPIEDADES MECANICAS			
	RESISTENCIA DE FLUENCIA SY (MPa)	MODULO DE RIGIDEZ E (MPa)	TENACIDAD IS (kJ/m2)
PET	90 ^(a)	3700 ^(a)	3700 ^(a)
	81 ^(b)	2800 ^(b)	53453 ^(b)
	81 ^(c)	2800 ^(c)	
	81 ^(d)	2420 ^(d)	
PP	26 ^(h)	1100 ^(h)	30 ^(h)
	25-40 ⁽ⁱ⁾	900-1500 ⁽ⁱ⁾	20-100 ⁽ⁱ⁾
HDPE	28 ^(e)	1000 ^(e)	50 ^(e)
	21 ^(f)	1000 ^(f)	
	30 ^(g)	1350 ^(g)	150 ^(g)

Fuente: Elaboración Propia

El tema de predicción de las propiedades mecánicas después del reciclaje termo-mecánico (Trituradora y Extrusora de hélice simple) es materia de investigación activa en la actualidad. Una de las últimas investigaciones (da Costa et. al., 2007) se tomó como base para predecir las propiedades mecánicas del PP (Polypropylene) luego de varios ciclos de reciclaje en un extrusor de hélice simple. De este trabajo se desprende que establecidas la condiciones de triturado y el tipo de extrusor (extrusor de hélice simple) las propiedades mecánicas del PP extruido dependen fuertemente de la Temperatura de extrusión de la matriz (T) y el número de ciclos de reciclaje (n).

Conociendo que el PP puede reciclarse hasta 05 veces sin deterioro apreciable en sus propiedades mecánicas (da Costa et. al., 2007) el modelo de da Costa solo predice entre n = 5 ciclos y n = 19 ciclos. En la Tabla No. 15 se puede apreciar los datos experimentales del trabajo de da Costa et. al. (da Costa et. al., 2007) bajo los cuales se obtuvieron las ecuaciones No. 1 a la 5.

En base a estas ecuaciones y mediante un mapeo lineal simple (Ec. No. 1 a la 5) se obtuvieron las ecuaciones predictivas para este trabajo (Ec. N. 6 a la 8).

Ecuación 1

$$YS = 20.5769 - 0.7242 * X_1 - 0.5413 * X_2 + 0.1495 (X_1 * X_2) - 0.2527 * X_1^2 - 0.2092X_2^2$$

... (1)

$$E = 471.5306 - 27.7730 * X_1 - 16.8915 * X_2 - 1.4601 * (X_1 * X_2) - 4.9582 * X_1^2 - 1.0410X_2^2$$

... (2)

$$S = 4.5084 - 0.2964 * X_1 - 0.0512 * X_2 - 0,1717 * (X_1 * X_2) + 0.0668 * X_1^2 - 0.0533 * X_2^2$$

... (3)

Donde:

YS : Resistencia de Fluencia - “Yield Strength” (MPa)

E : Modulo de Elasticidad - “Elasticity Modulus” (MPa)

IS : Tenacidad - “Impact Strength” (J/m)

X₁ : Variable mapeada de efecto de Temperatura (adim) – Variación entre -1 y +1

X₂ : Variable mapeada de efecto de numero de ciclos (adim) – Variacion entre -1 y +1

$$X_1 = \frac{(T-240)}{15} - 1 \quad \dots (4)$$

$$X_2 = \frac{(n-5)}{7} - 1 \quad \dots (5)$$

Donde:

T : Temperatura de extrusión de la matriz (°C)

n : Número de ciclos de reciclaje (adim.)

$$YS = 20.5769 - 0.7242 * ((T - 240)/15 - 1) - 0.5413 * ((n - 5)/7 - 1) + 0.1495((T - 240)/15 - 1) * (((n - 5)/7 - 1) - 0.2527 * ((T - 240)/15 - 1)^2 - 0.2092((n - 5)/7 - 1)^2$$

... (6)

$$E = 471.5306 - 27.7730 * ((T - 240)/15 - 1) - 16.8915 * ((n - 5)/7 - 1) - 1.4601 * (((T - 240)/15 - 1) * ((n - 5)/7 - 1)) - 4.9582 * ((T - 240)/15 - 1)^2 - 1.0410((n - 5)/7 - 1)^2$$

... (7)

$$S = 4.5084 - 0.2964 * ((T - 240)/15 - 1) - 0.0512 * ((n - 5)/7 - 1) - 0,1717 * (((T - 240)/15 - 1) * ((n - 5)/7 - 1)) + 0.0668 * ((T - 240)/15 - 1)^2 - 0.0533 * ((n - 5)/7 - 1)^2$$

... (8)

Se programaron las ecuaciones en software comercial de ingeniería. La captura de pantalla para la predicción de Resistencia de Fluencia (YS), Modulo de Elasticidad (E) y Tenacidad (IS) el caso de $T = 250$ °C y $n = 12$ ciclos se pueden apreciar en la Figura No. 13 y el cálculo de escritorio que corrobora la validez del programa se detalla en el Anexo No. 20. Los resultados son $YS = 20.7692$ MPa, $E = 480.2376$ MPa e $IS = 4.6072$ J/m. La Tabla No. 15 contiene todos los valores estimados para las mismas condiciones de la Tabla No 16. En ella se puede apreciar la excelente correlación del modelo de regresión con los datos experimentales. Las Figuras No. 14 a la 19 presentan los mismos resultados de la Tabla No 16 pero mediante un modelo de superficie de respuesta.

Tabla No. 15: Valores de Experimentales de Propiedades Mecánicas luego de reciclaje en función de la temperatura de la matriz y el número de ciclos de reciclaje. Extrusor de hélice simple

CONDICIONES DE RECICLAJE		PROPIEDADES MECÁNICAS EXPERIMENTALES		
Temperatura de Matriz de Extrusor T (°C)	Numero de Ciclos de Reciclaje n	Resistencia de Fluencia YS (MPa)	Módulo de Rigidez E (MPa)	Tenacidad IS (J/m)
240	5	21.3 ± 0.6	507.6 ± 17.9	4.6 ± 0.2
240	12	21.0 ± 0.2	495.9± 17.8	5.0 ± 0.8
240	19	20.3 ± 0.2	476.3 ± 23.0	5.1 ± 0.6
250	5	21.5 ± 0.2	499.7± 9.9	4.7 ± 0.4
250	12	20.8 ± 0.2	490.5 ± 10.8	4.6 ± 0.5
250	19	20.1 ± 0.2	468.0± 14.3	4.4 ± 0.5
260	5	20.5 ± 0.2	475.9 ± 16.1	4.4 ± 0.3
260	12	20.1 ± 0.2	452.6 ± 16.2	4.6 ± 0.3
260	19	19.4 ± 0.2	433.3 ± 10.9	4.1 ± 0.4
270	5	19.8 ± 0.2	456.7± 22.4	4.2 ± 0.3
270	12	19.9 ± 0.2	438.6± 18.6	4.3 ± 0.2
270	19	19.0 ± 0.2	423.0± 9.9	4.2 ± 0.6

Fuente: da Costa et. al. (2007) , p.680, Tabla 5.

%%%%%%%% PREDICCIÓN DE PROPIEDADES MECANICAS - PP %%%%%%%%%

Ingrese las CONDICIONES DE RECICLAJE

Ingrese la temperatura a la salida de la matriz del extrusor , T en °C (Ejemplo: 240) : 250
 Ingrese el numero de ciclos de reciclaje del polimero, n (Ejemplo: 5) : 12

Valores esperados de PROPIEDADES MECANICAS

Yield Strength - Limite de Fluencia
 YS =
 20.7962

Elastic Modulus - Modulo Elastico
 E =
 480.2374

Impact Strength - Tenacidad
 IS =
 4.6072

Figura No. 13: Propiedades mecánicas estimadas por software para T = 250 °C y n = 12 ciclos
 Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 16: Valores Esperados de Propiedades Mecánicas luego de reciclaje en función de la temperatura de la matriz y el número de ciclos de reciclaje. Extrusor de hélice simple

CONDICIONES DE RECICLAJE		PROPIEDADES MECÁNICAS EXPERIMENTALES		
Temperatura de Matriz de Extrusor T (°C)	Numero de Ciclos de Reciclaje n	Resistencia de Fluencia YS (MPa)	Módulo de Rigidez E (MPa)	Tenacidad IS (J/m)
240	5	21.5478	508.7358	4.7511
240	12	21.0662	494.3454	4.8048
240	19	20.1662	477.8730	4.9921
250	5	21.1781	495.6012	4.6680
250	12	20.7962	480.2374	4.6072
250	19	19.9958	462.7916	4.6800
260	5	20.5838	478.0592	4.5848
260	12	20.3015	461.7220	4.4096
260	19	19.6008	443.3028	4.3680
270	5	19.7648	456.1100	4.5017
270	12	19.5822	438.7994	4.2120
270	19	18.9812	419.4068	4.0559

Fuente: Elaboración propia basado en el modelo de da Costa et. al. (2007).

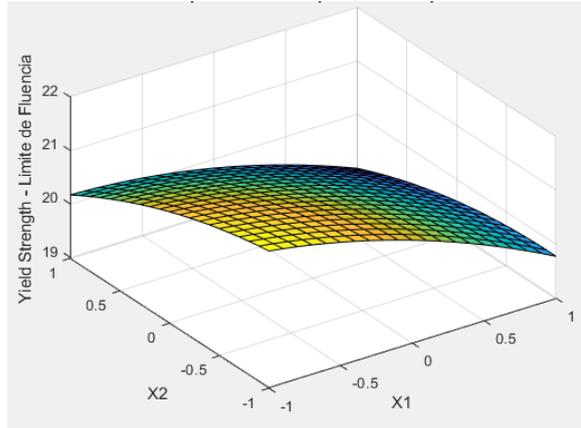


Figura No. 14: Limite de Fluencia, YS estimado para $-1 \leq X_1 \leq +1$ y $-1 \leq X_2 \leq +1$

Fuente: Elaboración propia

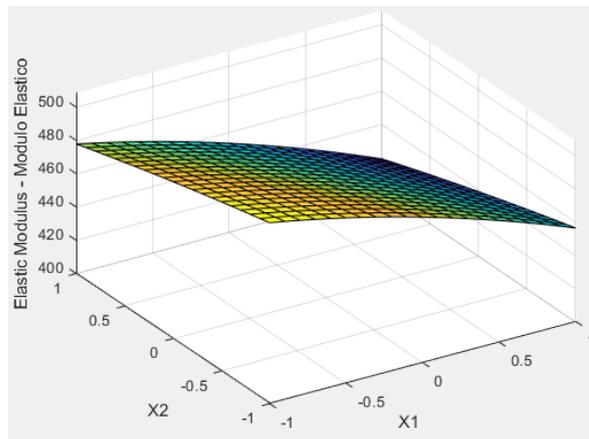


Figura No. 15: Módulo Elástico, E estimado para $-1 \leq X_1 \leq +1$ y $-1 \leq X_2 \leq +1$

Fuente: Elaboración propia

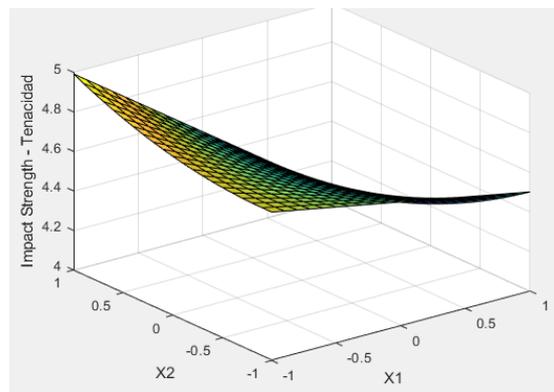


Figura No. 16: Tenacidad, IS estimada para $-1 \leq X_1 \leq +1$ y $-1 \leq X_2 \leq +1$

Fuente: Elaboración propia

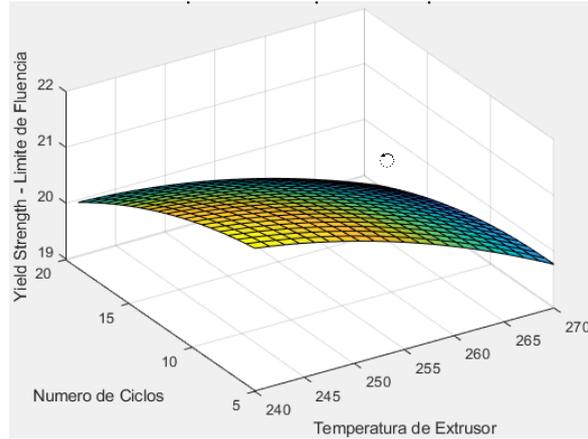


Figura No. 17: Limite de Fluencia, YS estimado para $240^{\circ}C \leq T \leq 270^{\circ}C$ y $5 \leq n \leq 19$

Fuente: Elaboración propia

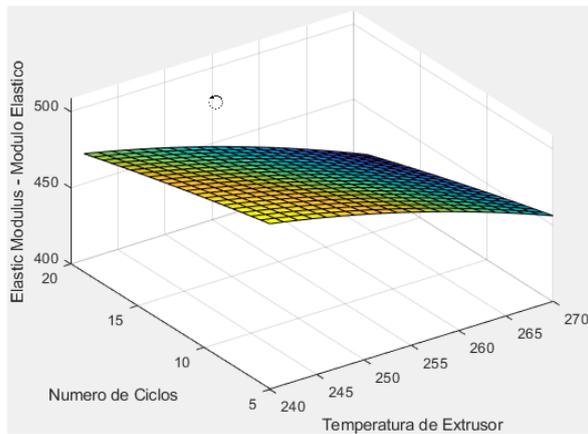


Figura No. 18: Módulo Elástico, E estimado para $240^{\circ}C \leq T \leq 270^{\circ}C$ y $5 \leq n \leq 19$

Fuente: Elaboración propia

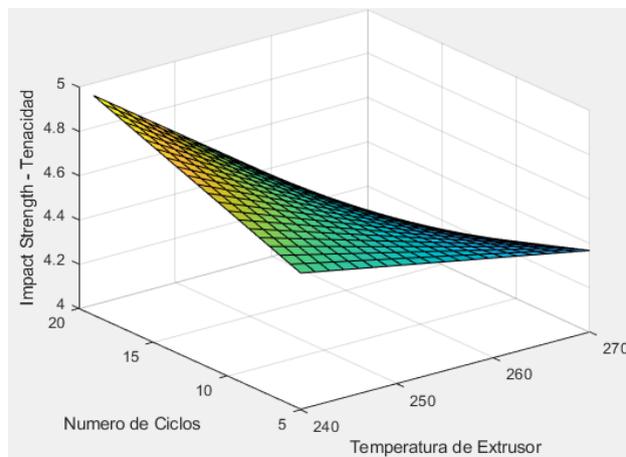


Figura No. 19: Tenacidad, IS estimada para $240^{\circ}C \leq T \leq 270^{\circ}C$ y $5 \leq n \leq 19$

Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 17: Análisis de indicadores asociados a Variable de Entrada y Variable de Salida

POLIMERO RECICLADO	CONDICION DE RECICLAJE								
	PROPIEDADES MECANICAS								
	VIRGEN (n = 0)			DESPUES DE n ciclos			PARA n ciclos		
				(1≤n≤N)			(n>N)		
	YS	E	IS	YS	E	I	YS	E	I
	MPa	MPa	KJ/m2	MPa	MPa	KJ/m2	MPa	MPa	KJ/m2
PP	21	500	4.6	Sin cambio notorio hasta N = 5 ^(a)			20.7692	480.2376	4.6072
							Para N = 5 usar Modelo de da Costa ^(a) . para T = 250°C y n =12 ciclos		
HDPE	81	2800	3.7	Sin cambio notorio para hasta N = 10 ^(b)			No existen ecuaciones predictivas		
PET	28	1350	5	Sin cambio notorio para hasta N = 3 ^(c)			No existen ecuaciones predictivas		

Fuente: Elaboración Propia

3.11 Diseño de selección de componentes estándar

3.11.1 Motor eléctrico

Según el criterio ingenieril, se estableció que la potencia requerida para el motor debe ser de 2HP debido a que se realizara diversos tipos de ensayos en amplio rango de velocidades por lo que se seleccionó un motor trifásico de 3600RPM por ser un valor de velocidad usual en el mercado para motores de baja potencia. Las especificaciones se pueden ver en la Tabla 18



Figura 20. Motor eléctrico de 2HP
Fuente: Edipesa (2019)

Tabla 18

Especificaciones del motor eléctrico

ITEM	DESCRIPCION	VALOR
1	Marca	Rexon
2	Modelo	Y90S-2
3	Potencia	2HP
4	Fase	3
5	Voltaje	220/380V
6	Frecuencia	60Hz
7	Velocidad	3600 RPM

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.11.2 Caja reductora de velocidad

Para la selección de la caja reductora se empleó la aplicación de la web de la empresa CIDEPA, donde se ingresó los parámetros básicos de potencia y la relación de reducción. Las características de la caja reductora se pueden ver en la Tabla 19.

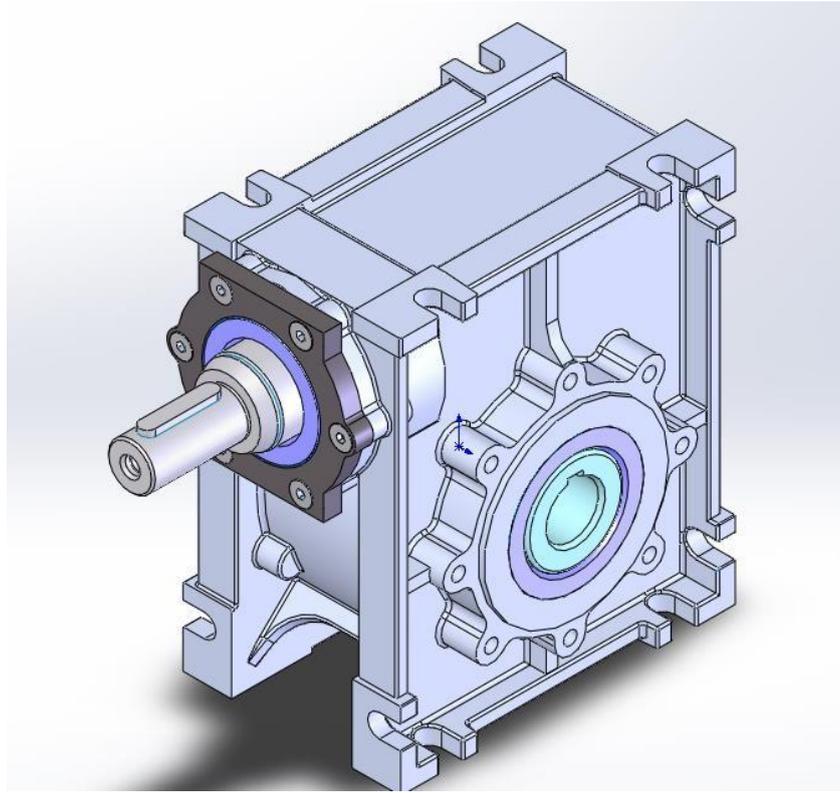


Figura21. Reductor
Fuente: Cidepa-sincron (2019)

Tabla 19

Características de la caja reductora

ITEM	DESCRIPCION	VALOR
1	Marca	CIDEPA
2	Modelo	TORNILLO SIN FIN
3	Potencia	2HP
4	RATIO	30:1

Fuente: cidepa (2019)

3.11.3 Rodamientos

Se escogió del catálogo SKF el cojinete con una capacidad de carga mayor que la calculada para cada rodamiento. Debido a que esto va a estar unida al eje, por el cual se tomó como referencia el punto A y el punto B donde se generar los esfuerzos. Esto se puede apreciar en la siguiente Tabla 21.



*Figura 23. Rodamientos.
Fuente: SKF*

Tabla 21

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Marca	SKF
2	Tipo	Flanged Y-bearing
3	d_{int}	1 ¼ in
4	C_0	15.3 KN

Fuente: SKF (2019)

3.11.4 Perfil de aluminio

Se eligió el perfil de aluminio tipo V- slot y sus accesorios son de la marca REXROTH. El tipo de perfil posee unas dimensiones de 40x40mm y una ranura de 10 para los pernos de fijación

3.11.5 Plancha de Acero

Para la fabricación de las cuchillas se empleará el acero inoxidable ASTM A240.

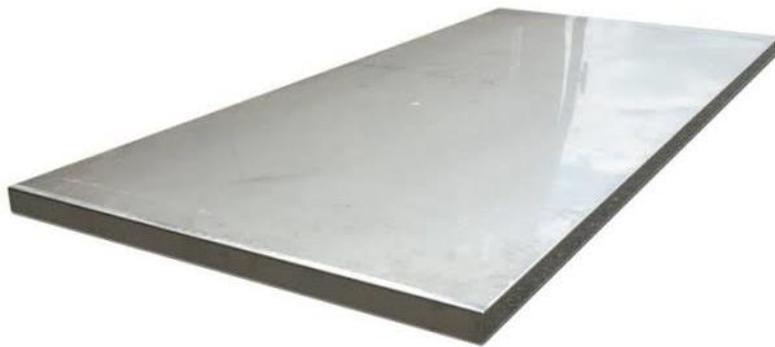


Figura 24. Acero Inoxidable ASTM A240

Fuente: Polimetales

3.11.6 Husillo

Para la selección del material del husillo de extrusión se eligió el acero ASTM A-276, debido a las propiedades mecánicas y características que tiene.



Figura 25. Husillo

Fuente: Porras (2018)

3.7.8. Análisis económico

Se realizó el análisis económico de nuestro sistema integrado, el cual se muestra en la tabla. Este presupuesto es la primera inversión para aquella empresa quiera invertir en la adquisición del equipo en mención, y en base a ello se analizará y calculara el periodo de retorno de inversión por la compra.

Tabla 14

Descripción de los costos de componentes

N°	Descripción	Cant.	Precio Unit	Precio Total
1.	Motor eléctrico 2Hp	2	S/. 510	S/. 1020
2.	Reductor de velocidad	2	S/. 220	S/. 440
3.	Perfil de Aluminio 40x40	5	S/. 275	S/. 1375
4.	Cojinete y Rodamiento	2	S/. 240	S/. 480
5.	10 und tuerca T-nut	4	S/. 20	S/. 80
6.	10 und perno T, M8x20	4	S/. 38	S/. 152
7.	Mano de Obra	5	S/. 50	S/. 250
SUB TOTAL				S/.2422
IGV (18%)				S/. 435.96
TOTAL				S/. 2857.96

3.14 Diseño de Detalle

Luego de los resultados de las entrevistas y en base al diseño ganador, continuamos con el proceso de diseño, llegando a obtener el siguiente plano general de nuestro sistema integrado para producción de filamento.

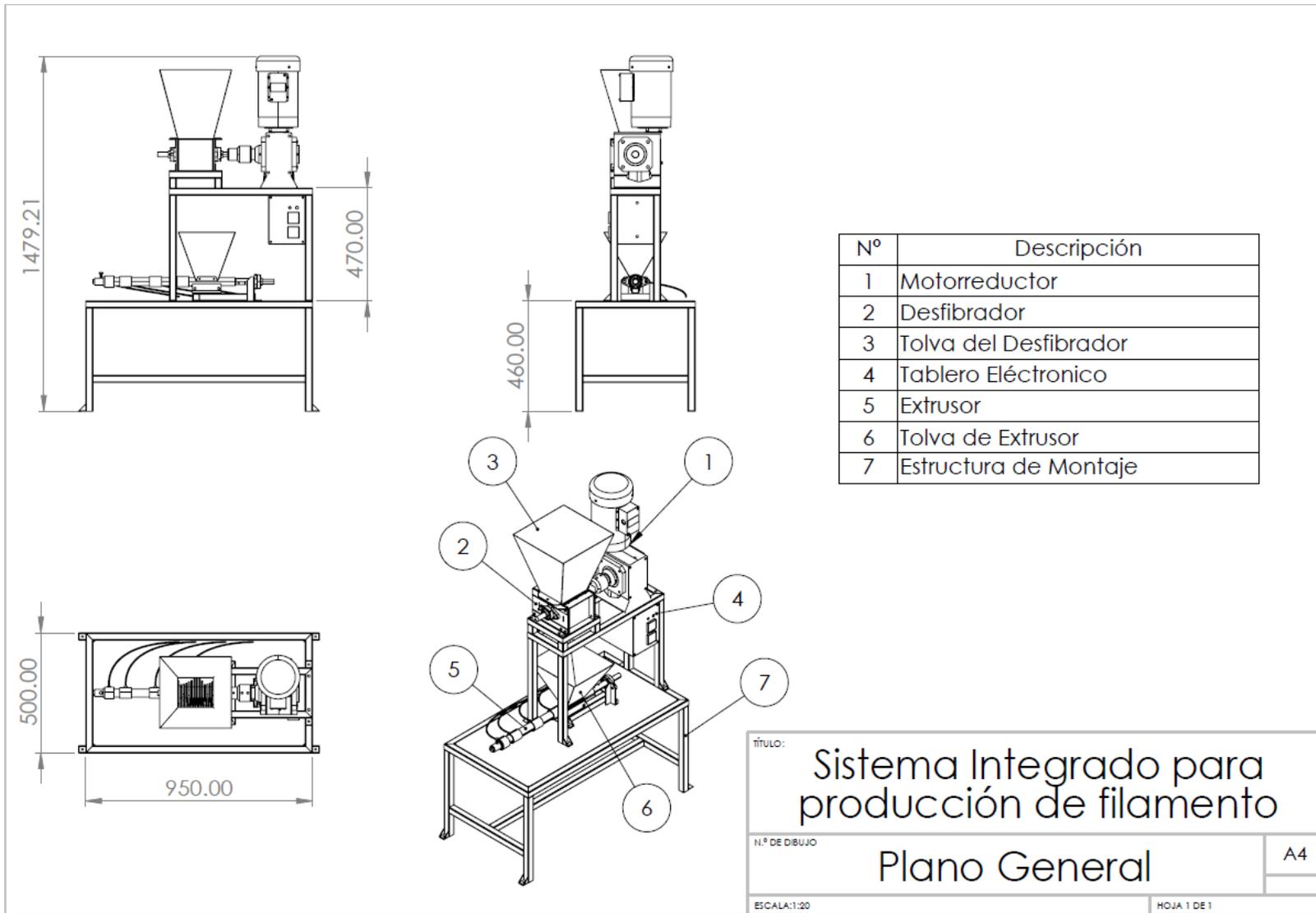


Figura 26. Dimensionamiento general del sistema integrado para producción de filamento

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

Las entrevistas fueron realizadas a las empresas Star Tech y Naylamp Mechatronics para poder determinar las necesidades de los clientes en el mercado actual, teniendo como resultado el precio promedio del filamento mediante plástico, el precio de la máquina y los parámetros de diseño. Esta información resulto de mucha utilidad como punto de partida para el proceso de diseño que siguió.

La secuencialidad de los procesos de diseño provista por una metodología de diseño (Eggert y Dieter-Schmidt) facilito la toma de decisiones ahorrando tiempo e iteraciones innecesarias comparado con el caso de diseñar sin una metodología probada.

Luego del análisis de la bibliografía de reciclaje de plásticos de desecho PET, PP y HDPE mediante triturado y extrusión vía extrusora de hélice simple se observó que en los primeros ciclos de reciclaje las propiedades mecánicas no sufren una alteración notoria. Sin embargo, existen límites para cada caso particular respecto del número de ciclos que pueden realizarse sin que se note una alteración en las propiedades. Por ejemplo, 05 veces para el caso de PP, 03 veces para el caso de PET y 10 veces para el caso de HDPE. Es decir, el reciclaje de plástico de desecho puede resultar rentable y practico en los tres casos de plástico analizado.

Los valores experimentales para obtener las propiedades mecánicas luego del reciclaje se realizaron de acuerdo a la Tabla 15 en el cual mediante un Software se ingresaron los datos y se obtuvieron nuevos resultados (Ver Tabla 16) lo cual demuestra que están dentro de los parámetros, definiendo que presentan buenas propiedades mecánicas en este caso del PP que se puede reciclar hasta 05 veces.

Estas gráficas nos muestran los valores de la resistencia de la fluencia, módulo de elasticidad y tenacidad de los materiales (PET, HDPE Y PP) a través de la técnica del mapeo simple, los cuales tienen ciertas variaciones, pero dependiendo de la temperatura de extrusión y el número de ciclos de reciclaje podemos predecir su comportamiento y observar si sus propiedades mecánicas se mantienen a lo largo de los ciclos o varían.

La predicción de las propiedades mecánicas de polímeros reciclados para filamento de impresora 3D es posible si se conoce la historia de reciclaje (número de ciclos de reciclado) y la temperatura de extrusión (Temperatura de la matriz de la extrusora). Esto se demuestra para el caso del polímero PP e indica una reducción de las propiedades mecánicas muy posiblemente debido a fenómenos termo mecánicos o a nivel cristalínico.

La técnica de superficie de respuesta usada por los autores para representar el modelo experimental de da Costa (da Costa, 2007) resulto de gran utilidad en la visualización global de la dependencia entre las propiedades mecánicas y el número de ciclos de reciclado junto con la temperatura de extrusión. La degradación de las propiedades queda muy clara al observar estos gráficos.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo se resumen como sigue:

El trabajo de campo con la colaboración de las empresas Star Tech y Naylamp Mechatronics, productoras de polímeros de reciclaje, resulto ilustrativa y de mucha utilidad como base para el proceso de diseño que realizo a continuación.

El uso de una metodología de diseño probada facilito en gran manera la toma de decisiones de una etapa a otra del diseño. Esto permitió de tiempo al minimizar el número de iteraciones comparado con el caso de un proceso de diseño que no sigue una metodología definida.

El reciclaje de los plásticos PP, PET y HDPE se presenta como provechoso debido a que, en los tres casos, como mínimo durante los 03 primeros ciclos de reciclaje desde el estado virgen, no se reporta deterioro sobre las propiedades mecánicas de los mismos.

Es posible una predicción acertada de las propiedades mecánicas de polímeros reciclados para filamento de impresora 3D si se conoce a ciencia cierta el número de veces que el plástico de desecho ha sido previamente reciclado y la temperatura de reciclaje. El caso de predicción basada en datos experimentales para el caso de PP utilizada en este trabajo, muestra una consistencia bastante aceptable.

La técnica de superficie de respuesta usada por los autores para representar el modelo experimental permite una observación clara de las tendencias globales de deterioro de propiedades. Esto es, como varia la propiedad mecánica y el número de ciclos de reciclado junto con la temperatura de extrusión.

VI. RECOMENDACIONES

Simular mediante el Método del Elemento Finito (FEM) el proceso de extrusión de polímeros de desecho.

Realizar trabajos experimentales en equipos de extrusión reales para obtener modelos semi-empíricos de predicción.

Realizar trabajos completos de reciclaje que incluyan análisis estricto de la procedencia del polímero, reciclaje e impresión 3D acompañado de ensayos en cada etapa.

REFERENCIAS

- da Costa, H. M., Ramos, V. D., & de Oliveira, M. G. (2007). Degradation of polypropylene (PP) during multiple extrusions: Thermal analysis, mechanical properties and analysis of variance. *Polymer Testing*, 26(5), 676-684.
- Arteaga Medina, L. (2015). *Fabricación y caracterización de filamentos para impresora 3D a partir de materiales reciclados*. Universidad La Laguna.
- Calderon Muñoz, W., & Frederick Gonzalez, R. (2015). *Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D*. Santiago de Chile.
- Dieter, G. E. & Schmidt, L. C. (2013). *Engineering design. The United States, New York: McGraw-Hill*.
- El Correo. (24 de Enero de 2019). *Llega a Perú la máquina que te da vales de consumo y comida gratis por reciclar plástico*.
- Eggert, R. (2010). *Engineering design*. The United States, Meridian: High Peak Press.
- Gutiérrez Paredes, C., & Vargas Ayala, L. (2017). *Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de materia plástico*.
- Juran, J. (2013). *Calidad, concepto y filosofía*. Madrid: Diaz de Santos. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/calidad-concepto-y-filosofias-deming-juran-ishikawa-y-crosby/>
- Maldonado, S. (25 de septiembre de 2018). OCEANA, protegiendo los Océanos del mundo. *10 datos gráficos sobre los plásticos*.
- ONU. (2017). Plásticos en los océanos. *Greenpeace*, 3-7.
- Ortiz Abata, C. (2018). *Diseño y construcción de una máquina extrusora de filamentos de 1.75 mm y 3 mm para impresoras 3D, a partir de polímero reciclado*.
- Porras Solorzano, J. (2018). *Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamento de plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP*. PUCP, Lima.
- Raffino, M. (2019). *Plástico*. Obtenido de <https://concepto.de/plastico/>
- ULTIMA HORA. (20 de junio de 2008). *Al menos ocho personas mueren sepultadas por un alud de basura en Guatemala*.

- Vásconez Ortiz, A. (2013). *Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 Kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica*
- Maldonado, (2012). *Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico aplicada al prototipado rápido de modelado por deposición fundida de material para el laboratorio de mecatrónica de la universidad del ecuador*. Quito: s.n., 2012.
- Álvarez, A. (2015). *Resistencia de Materiales 2*, Lima, Perú: PUCP
- Barriga, B. (2014). *Métodos de diseño en Ingeniería Mecatrónica*. Lima, Perú: PUCP
- Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012). *Tecnología de Polímeros*. Alicante, España
- FilabotEX2 (2017). *Filabot EX2 Filament Extruder*. Filabot.
- Hopewell, J. et al. (2009) *Plastics recycling: challenges and opportunities*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 364 (1526), pp. 2115–2126.
- Molina, A (2016). *Desarrollo de materiales compuestos de matriz termoplástica reforzados con nanopartículas utilizando la técnica de modelado por deposición fundida empleada en manufactura aditiva*. PUCP, Lima, Perú.
- Ramos, L. (1993) *Extrusión de plásticos. Principios básicos*. México DF, México: Limusa
- Reynald, H. (2005). *Reciclaje. Reciclaje de envases plásticos de agroquímicos y su transformación en insumos rurales*
- Suarez, J. (2015). *Proyecto de máquina extrusora, para creación de hilos de Poli Etilén Tereftalato*. Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.
- Pranay, P (2017). *Possibilities and Limitations of using Production Waste PET and PES materials in Additive*
- Donnini, S (1998). *Consecutive Steps of PET Recycling by Injection: Evaluation of the Procedure and of the Mechanical Properties*
- Oromiechie, A(2004). *Recycling PET beverage bottles and improving properties*
- Oblak,P (2015). *Mechanical properties of extensively recycled high density polyethylene (HDPE)*
- Hamond, H (2014). *Suitability of recycled HDPE for 3D printing filament*

ANEXOS
Anexo N° 1:
Modelo de Entrevista

ENTREVISTADO

Apellidos y nombres:

Cargo:

Profesión:

Empresa:

Ubicación:

ENTREVISTADOR

Apellidos y nombres: Velasquez Avalos, Miki Mijaíl.

Moncada Padilla, Julio André

Universidad: Cesar Vallejo.

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Tesis: ““DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA PRODUCCION DE FILAMENTO DE IMPESORA 3D A PARTIR DE PLASTICO RECICLADO””.

1. ¿Cuál es el precio promedio del filamento?

.....
.....

2. ¿Ha escuchado de los filamentos de impresora 3D producido a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.

.....
.....

3. ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?

.....
.....

4. ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?

.....
.....

5. ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?

.....
.....

6. ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?

.....
.....

7. ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una maquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?

.....
.....

**Anexo N° 2:
Entrevista N° 1**

Modelo de Entrevista

ENTREVISTADO

Apellidos y nombres: García Pérez Herlis Galdamis

Cargo: Gerente general

Profesión: Estudiante de ingeniería mecatrónica

Empresa: Startech Robotics & Electronics SAC

Ubicación: Av. Juan Pablo II 239 - Trujillo

ENTREVISTADOR

Apellidos y nombres: Velasquez Avalos, Miki Mijaíl.

Moncada Padilla, Julio André

Universidad: Cesar Vallejo.

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Tesis: "“DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA PRODUCCION DE FILAMENTO DE IMPESORA 3D A PARTIR DE PLASTICO RECICLADO”".

1. ¿Cuál es el precio promedio del filamento?

PLA : S/ 70 x Kg
.....
ABS : S/ 80 x Kg
.....

2. ¿Ha escuchado de los filamentos de impresora 3D producido a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.

Si. Es una buena alternativa que podría disminuir el costo de los materiales de impresión 3D, además de contribuir con el cuidado del medio ambiente.

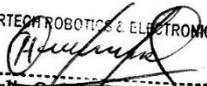
3. ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?
S/ 50 x kg

4. ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?
buena resistencia Térmica y Mecánica
bajo nivel de toxicidad.

5. ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?
S/ 5000

6. ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?
Negro, blanco, Azul, rojo, Plata

7. ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una maquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?
Debe ser de fácil uso para el usuario final.....
Ademas tener en cuenta el costo final de la maquina
y el costo de todo el proceso para obtener el filamento
ya que dependera de eso el precio del nuevo filamento
para que pueda ser competitivo con los ya existentes.

STARTECH ROBOTICS & ELECTRONICS SAC

 Heriberto S. Garcia Perez
 GERENTE GENERAL

Entrevista N° 2

MODELO DE ENTREVISTA

ENTREVISTADO

Apellidos y nombres: *Caiceda Ulloa José Andrés.*
Cargo: *Co-fundador Startech Robotics & Electronics.*
Profesión: *Estudiante. Ing. Mecatrónica*
Empresa: *Startech Robotics & Electronics.*
Ubicación: *Av. Juan Pablo # 239 - Trujillo.*

ENTREVISTADOR

Apellidos y nombres: *Velasquez Avalos, Miki Mijail.*

Moncada Padilla, Julio André

Universidad: *Cesar Vallejo.*

Escuela: *Ingeniería Mecánica Eléctrica*

Tesis: *“DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA PRODUCCION DE FILAMENTO DE IMPRESORA 3D A PARTIR DE PLASTICO RECICLADO”.*

1. ¿Cuál es el precio promedio del filamento?

\$ 110 - Trujillo
\$ 70 - Lima.

2. ¿Ha escuchado de los filamentos de impresora 3D producido a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.

Si, los filamentos de plástico reciclado son una muy buena alternativa para combatir la contaminación y sus efectos y una muy buena propuesta de solución tecnológica.

3. ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?

Para dar una buena competencia \$1.60 por que así se animarían a comprar muchos.

4. ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?

*1° No tener burbujas en alguna parte del filamento
2° No tener el filamento enrollado.
3° Ser de 1,75mm de diametro que es el mas comercial.*

5. ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?

En un promedio de \$1000 - \$2000

6. ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?

Blanco, negro, azul, rojo. Aunque en realidad en el último caso no haya el color específico, igual lo necesitan comprar.

7. ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una maquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?

- 1° La primera parte que es la maquina trituradora debe tener una cuchillas finas para agilizar el proceso de calentamiento.*
- 2° Escoger un buen material para la fase de calentamiento, y un principio. lo usual sería usar inoxidable.*
- 3° El proceso de calentamiento se puede realizar por convección ya que así la materia prima no tendría contaminación.*
- 4° Los umbotes de formación del producto final deben ser controlados con bastante precisión.*
- 5° Tener un panel de control que sea fácil de manejar por cualquier persona (incluye a personas no ligadas a este rubro).*

Entrevista N°3

Modelo de Entrevista

ENTREVISTADO

Apellidos y nombres: SOTO CASTAÑEDA DAVID
Cargo: GERENTE
Profesión: ING. MECATRÓNICO
Empresa: NAYLAMP MECHATRONICS S.A.C.
Ubicación: MR. E 4.31 Urb. INGENIERIA - Tumbillo

ENTREVISTADOR

Apellidos y nombres: Velasquez Avalos, Miki Mijail.

Moncada Padilla, Julio André

Universidad: Cesar Vallejo.

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

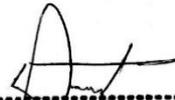
Tesis: "DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA PRODUCCION DE FILAMENTO DE IMPESORA 3D A PARTIR DE PLASTICO RECICLADO".

1. ¿Cuál es el precio promedio del filamento?

PLA — 80 Soles
ABS / PETG / NYLON — 120 Soles

2. ¿Ha escuchado de los filamentos de impresora 3D producido a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.

SI, hay de diversas calidades. En el mercado peruano casi no se comercializan filamentos reciclados.


David A. Soto Castañeda
GERENTE GENERAL
NAYLAMP MECHATRONICS S.A.C.

3. ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?

50 soles el rollo de 1kg.

4. ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?

Uniformidad en el diámetro del filamento, no ser poroso, tener superficie lisa.

5. ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?

Entre 2 a 4 mil soles.

6. ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?

Blanco y Negro.

7. ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una maquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?

Ser modular, fácil de utilizar/mantener. Con repuestos que se puedan conseguir fácilmente. Con conexión a internet para control/supervisión.

David A. Soto Castañeda
GERENTE GENERAL
MAYLAMP MECHATRONICS S.A.C.

Entrevista N°4

Modelo de Entrevista

ENTREVISTADO

Apellidos y nombres: Choquehuanca Zumbano Ernesto

Cargo: Representante del área de ventas

Profesión: Ingeniero Mecatrónico

Empresa: Noylamp Mechatronics SAC

Ubicación: Urb Ingeniería mancha E Lt 31, Trujillo

ENTREVISTADOR

Apellidos y nombres: Velasquez Avalos, Miki Mijail

Moncada Padilla, Julio André

Universidad: Cesar Vallejo

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Tesis: "DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA PRODUCCION DE FILAMENTO DE IMPESORA 3D A PARTIR DE PLASTICO RECICLADO".

1. ¿Cuál es el precio promedio del filamento?

S/ 80.00

2. ¿Ha escuchado de los filamentos de impresora 3D producido a partir de plástico reciclado? Qué opinión tiene de estos.

Se ven mucho más amigables con el ambiente


David A. Soto Castañeda
GERENTE GENERAL
NOYLAMP MECHATRONICS S.A.C

3. ¿Qué precio de filamento le representaría una ventaja competitiva en la producción de piezas por impresión 3D?

... Solo si la diferencia de precio es mayor al 50%

4. ¿Qué características deben tener un filamento de impresora 3D para ser considerado de calidad aceptable?

... Buenas Tolerancias de diámetro en todo el filamento, material uniforme que permita imprimir sin tener que ajustar las configuraciones de impresión

5. ¿Si tuviera las posibilidades económicas, cuanto estaría dispuesto a pagar por una máquina que recicle plástico y la convierta en filamento 3D?

... \$ 1000,00

6. ¿Qué colores de filamento de impresión 3D son preferidos por los clientes?

... Blanco, negro y gris

7. ¿Qué criterios considera usted que debería tenerse en cuenta al diseñar y fabricar una maquina recicladora de plástico para producir filamento de impresión 3D?

... Facilidad de uso, confiabilidad y buena calidad del filamento


David A. Soto Castañeda
GERENTE GENERAL
NAYLAMP MECHATRONICS S.A.C.

**Anexo N° 3:
Norma ISO 21873-1:2019**

BS ISO 21873-2:2019



BSI Standards Publication

Building construction machinery and equipment — Mobile crushers

Part 2: Safety requirements and verification

Anexo N° 4:
Norma ISO 21873-2:2009

**Building construction machinery
and equipment — Mobile crushers —**
Part 2:
Safety requirements

*Machines et matériels pour la construction des bâtiments —
Concasseurs mobiles —
Partie 2: Exigences de sécurité*



Reference number
ISO 21873-2:2009(E)

© ISO 2009

Anexo N° 5

NMX-E-232-CNCP-2011

CDU 678.7

NMX-E-232-SCFI -1999



SECRETARÍA DE
COMERCIO Y
FOMENTO INDUSTRIAL
DGN

**INDUSTRIA DEL PLÁSTICO - RECICLADO DE PLÁSTICOS -
SIMBOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL
CONSTITUTIVO DE ARTÍCULOS DE PLÁSTICO -
NOMENCLATURA**

**PLASTIC INDUSTRY - RECYCLED OF PLASTICS - SYMBOLOGY
FOR IDENTIFYING THE POLYMER OF PLASTIC ARTICLES -
NOMENCLATURE**

**Anexo N° 6:
Matriz de Consistencia**

Autores: - Moncada padilla, Julio - Velasquez Avalos, Miki					
Título: “DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA PRODUCCIÓN DE FILAMENTO PARA IMPRESORA 3D DE CALIDAD COMERCIAL A PARTIR DE PLÁSTICO RECICLADO”					
Problema	Objetivos	Hipotesis	Variables	Metodología	
¿Se obtendrá filamento de impresora 3D de calidad aceptable a partir de elementos plásticos de desechos comunes haciendo uso de un sistema integrado de producción?	Objetivo General	Se obtendrá el filamento de calidad aceptable a partir de material reciclado mediante un sistema integrado.	Variable Independiente	1. Tipo de investigación: Aplicada	
	Diseñar y simular un sistema integrado de desfibración y extrusión de plástico de desecho en la generación de filamento de impresora 3D de calidad aceptable para reducir costos y proteger el medio ambiente.		Tipo de plástico a triturar	2. Nivel de investigación: Descriptiva	
			align="center"> Variable Dependiente	3. Método: deductivo, Análisis, Síntesis	
	4. Diseño de la investigación: No experimental, transversal				
	5. Población: Todas las empresas que brindan servicio de impresión 3D				
	Objetivos Específicos		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Obtener las necesidades del cliente / mercado, mediante entrevistas. ✓ Diseñar y modelar los elementos de fabricación. ✓ Generar planos para fabricación. ✓ Evaluar el presupuesto de fabricación. 	Calidad de filamento	6. Muestra: La empresa “StarTech” y la empresa “Naylamp Mechatronics”.
				7. Técnicas: Entrevista	
				8. Instrumentos: Guía de entrevista	
				9. Indicadores: Resistencia del material	

Anexo N° 7:
Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Tipo de plástico desechado a triturar y extruir	Independiente	Según Raffino (2018), los plásticos un conjunto de macromoléculas orgánicas que cuenta con elasticidad y flexibilidad en intervalos de temperaturas altas.	Tipos de plásticos desechados en forma de botellas que pueden ser usados para producir filamento de impresión 3D.	PET HDPE PP	De razón
Calidad de filamento	Dependiente	Según Juran (2013), Calidad consiste en aquellas características del producto que se basan en las necesidades del cliente y que por ello brindan satisfacción.	La calidad tiene que ver con el cumplimiento de los estándares generales que requiere un producto para la aceptación al público	Resistencia	De razón

Anexo N° 8: Diseño conceptual

Concepto 1: Sistema integrado de una máquina trituradora a base de rodillos dentados con una extrusora de husillo simple

Este concepto se basa en la unión de ambas máquinas para la obtención de filamento plástico en la cual la trituradora posee dos rodillos horizontales que permite la trituración a trazos finos debido a la presión al girar los rodillos y en la extrusión cuenta con un tornillo de extrusión de tres etapas fabricado de acero de alto carbono endurecido y pulido, cuenta con un control de velocidad de extrusión.

Sus principales ventajas son: Alta productividad, fácil mantenimiento, fácil manipulación.

Sus desventajas son de que la extrusora es de alto costo, desgaste en los rodillos de la trituradora.

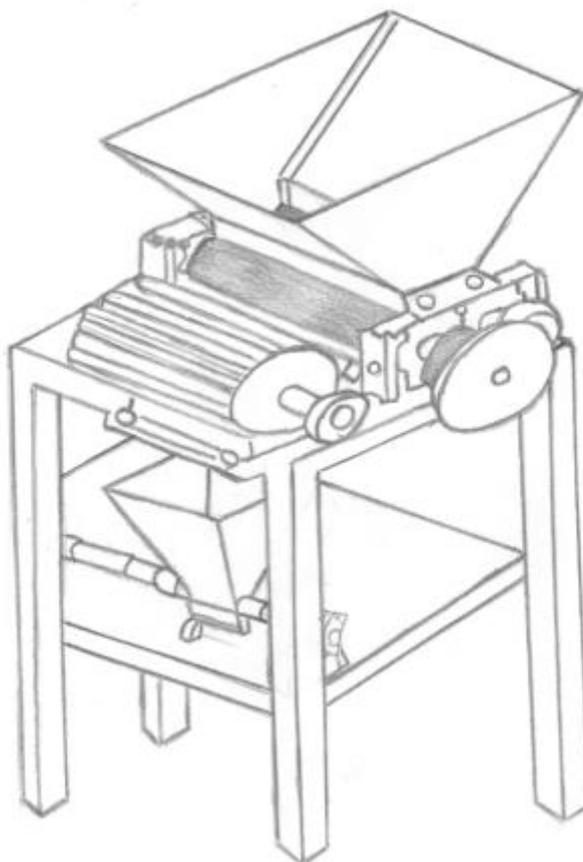


Figura 27. Concepto N° 1
Fuente: Elaboración propia

Concepto 2: Integración de una máquina trituradora a base de cuchillas con extrusora por husillo simple

Este concepto se basa en una máquina trituradora que tiene como nombre Precious Plastic Shredder y una extrusora por husillo simple. La trituradora consta de cuchillas de eje simple y una malla metálica mediante el cual se puede seleccionar el tamaño de salida del material reducido y la extrusora por su parte consta de un eje metálico central con alabes helicoidales llamado husillo o tornillo, instalado dentro de un cilindro metálico revestido con una camisa de resistencias eléctricas.

Sus principales ventajas de la integración de las maquinas es de que son de fácil mantenimiento, fácil manipulación y presentan alta productividad.

Sus desventajas son principalmente en la trituradora, el ruido que ocasiona, genera malestar auditivo para el operario.

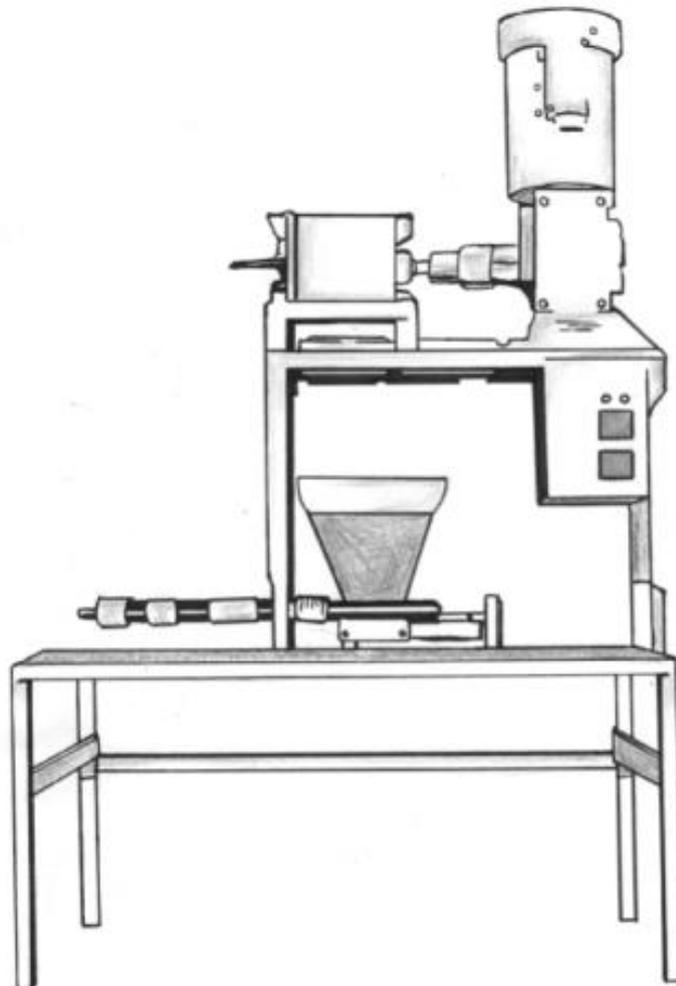


Figura 28. Concepto N° 2
Fuente: Elaboración propia

Concepto 3: Máquina recicladora con extrusora de husillo simple

Este concepto se basa en una integradora de una máquina trituradora de cuchillas de eje simple que está conformado por un eje triturador, soporte de trituración, placas de la cavidad y los rodamientos.

Sus principales ventajas son de que es ergonómico, fácil mantenimiento y fácil de transportar.

Sus desventajas son de que podría generarse alguna falla entre las cuchillas, desgaste de faja.

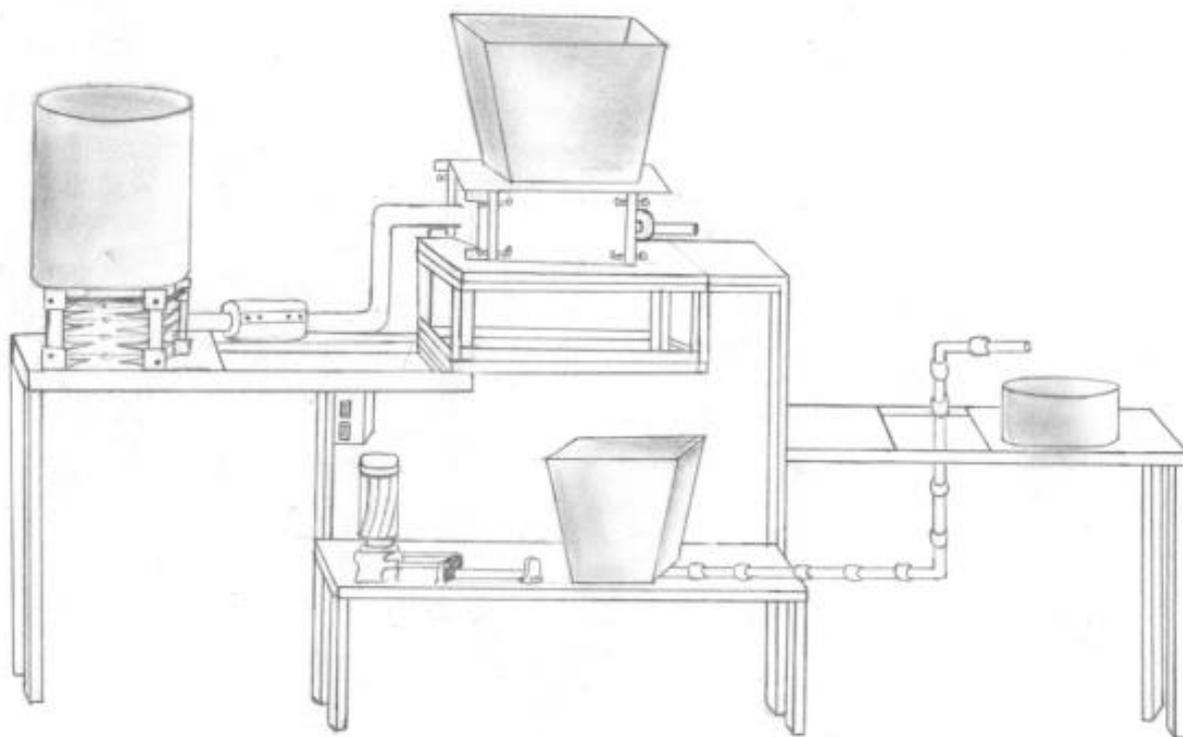


Figura 29. Concepto N° 3
Fuente: Elaboración propia

Determinación del concepto óptimo

Se seleccionó la alternativa más conveniente mediante una matriz de selección ponderada como se muestra a continuación:

Se tomaron en cuenta los criterios (Tabla 4) para la evaluación de un sistema integrado de una máquina trituradora de plástico con una extrusora de filamento. Obteniendo como criterios estratégicos a evaluar los que se muestra a continuación.

- **Ergonomía:** Se consideró este criterio debido a que el usuario tendrá acceso visible para la manipulación de la máquina. Asimismo, interactuara con el sistema al momento de controlarlo, introducir el plástico en la trituradora y obtener el filamento mediante la extrusora.
- **Seguridad:** Este criterio se consideró debido a que las cuchillas estarán protegidas mediante la tolva para no tener ningún problema con el usuario que manipule la máquina, ya que esto puede lesionar al operario si no se tiene en cuenta los indicadores de seguridad así mismo con la extrusora, ya que trabaja a altas temperaturas.
- **Confiabilidad:** Se consideró este criterio debido al rendimiento del sistema integrado al momento de funcionar para evitar los momentos críticos en las maquinas.
- **Mantenimiento:** Este criterio se consideró debido a que el sistema puede ser desmontada fácilmente para así poder evaluar y realizar un mantenimiento adecuado.
- **Ruido:** Se consideró este criterio teniendo en cuenta al cuidado del sentido auditivo del operario y asimismo al cuidado del medio ambiente.
- **Costo:** Este criterio permite tener en cuenta el valor que tendría el sistema integrado al fabricarse.
- **Estética:** Se consideró este criterio debido a que el operario tenga un mejor cuidado con la máquina y asimismo tenga una buena imagen para el público en general.
- De acuerdo a los indicadores, la selección de la alternativa optima en la matriz ponderada, fueron elegidos de acuerdo a los criterios más sobresalientes obtenidos de las entrevistas realizadas a las empresas Star Tech y Naylamp.

El ranking obtenido de la matriz de selección ponderada indica que el concepto 2 es el óptimo para el sistema integrado.

Anexo N° 9: Diseño de configuración

Configuración N°1

En esta configuración, se emplea una transmisión por acoplamiento en la parte de la trituradora, la cual permite reducir ruido y vibraciones, luego viene el sistema de extrusión, en la cual caen los trozos de plásticos de manera vertical directo en la tolva de la extrusora, permitiendo seguir el proceso de una manera eficiente.

La disposición de los elementos de esta configuración se puede observar en la Figura 30.

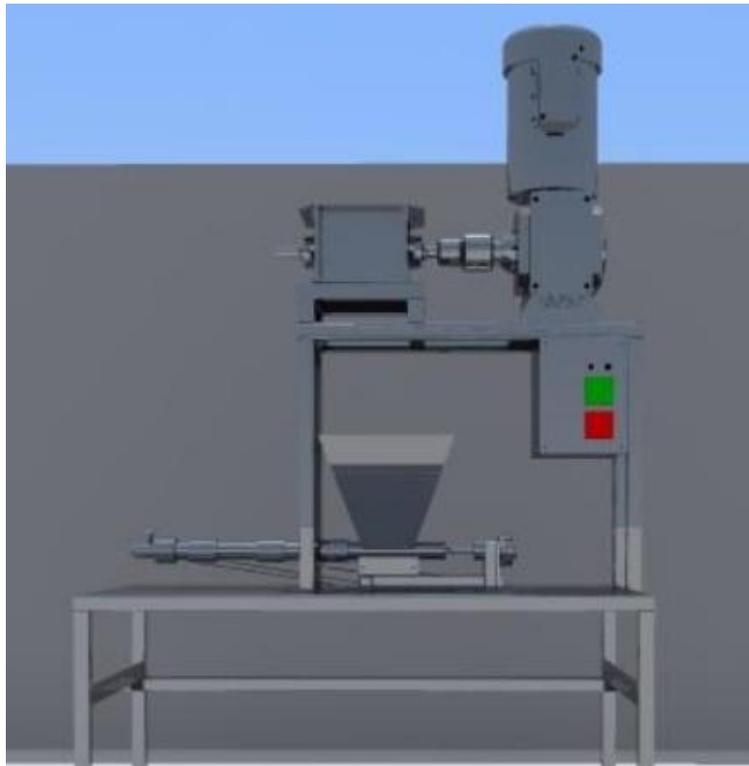


Figura 30. Configuración N° 1
Fuente: Elaboración propia

Configuración N°2

En este tipo de configuración la orientación del motor y la trituradora forman 90 grados, haciendo que el espacio sea un poco más grande, aunque el funcionamiento es el mismo, esto implica mayor material para la mesa principal, así mismo el accionamiento del sistema es un poco incómodo para iniciar el funcionamiento de la máquina.

La disposición de los elementos de esta configuración se puede observar en la Figura 31.



Figura 31. Configuración N° 2
Fuente: Elaboración propia

Configuración N°3

En esta configuración la orientación del motor se encuentra echada, haciendo que la altura total del diseño sea menor, La disposición de los elementos de esta configuración se puede observar en la figura 32.

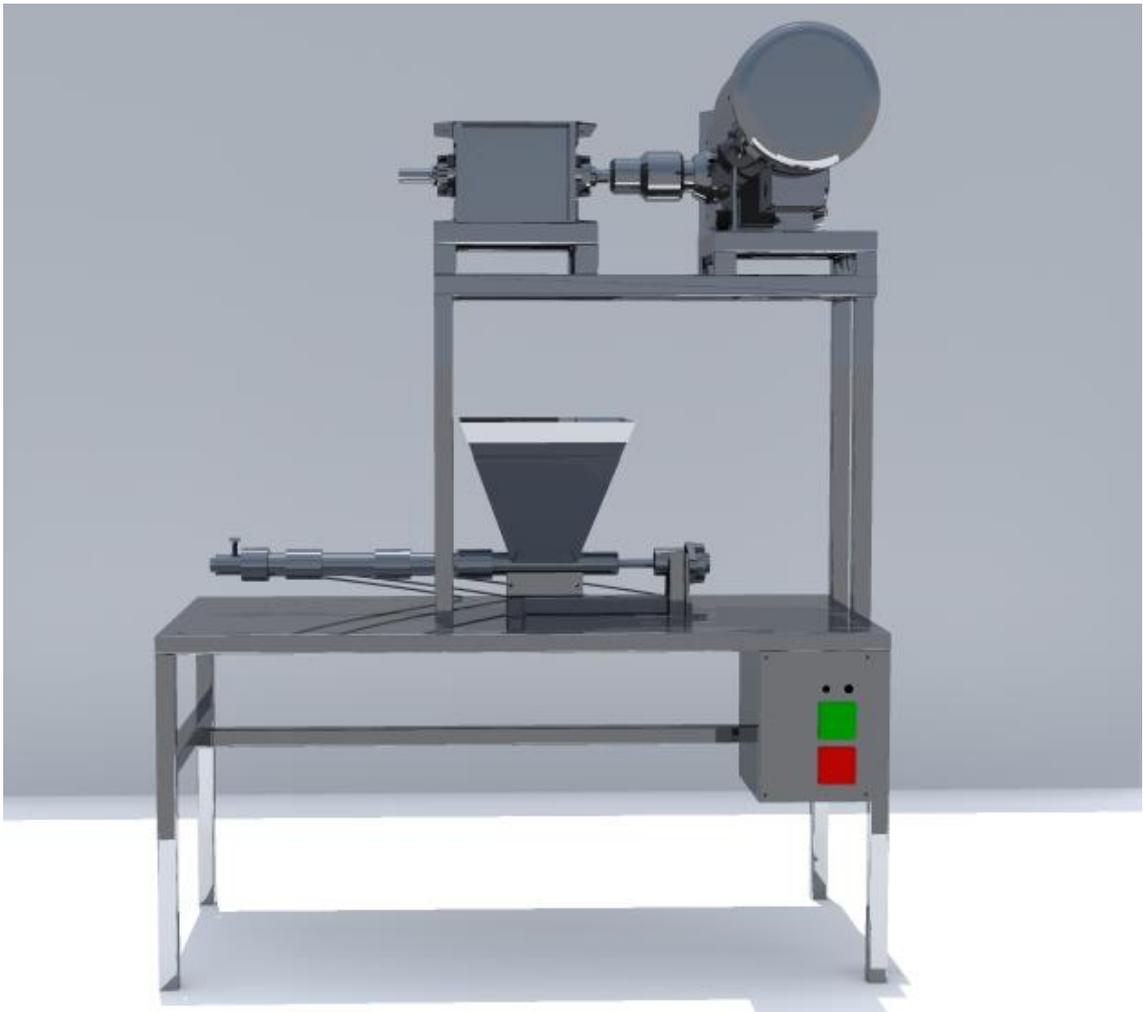


Figura 32. Configuración N° 3
Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 10

Características del Acero AISI A240

302 Stainless Steel, annealed bar

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Heat Resisting](#); [Stainless Steel](#); [T 300 Series Stainless Steel](#)

Material Notes: Austenitic Cr-Ni stainless steel. More corrosion resistant than Type 301 and because of higher Ni content does not work harden as quickly as Type 301. Essentially magnetic in cold worked condition. Can be stamped, blanked, formed, and lightly drawn. Applications include car and radar antennas, automobile trim, bottling machine processing equipment, home appliances, hospital equipment, industrial floor plate, jewelry, kitchen and restaurant equipment, spring clips, washers, retainers.

Key Words: T302, T 302, 302SS, 302 SS, UNS S30200, AMS 5515, AMS 5516, AMS 5636, AMS 5637, AMS 5688, ASME SA 240, ASME SA 479, ASTM A167, ASTM A240, A368, ASTM A473, ASTM A478, ASTM A479, ASTM A492, ASTM A493, ASTM A511, ASTM A554, ASTM A666, FED QQ-S-763, FED QQ-S-766, FED QQ-W-423 (30302), DIN 1.4300, X12CrNi188, B.S. 309S25, EN 58A, PN 86020 (Poland), 1H18N9, austenitic, ISO 4954 X10CrNi189E, ISO 683/13 12, ISO 6931 X9CrNi188, 18-

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English
Density	7.86 g/cc	0.284 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	139	139
Hardness, Knoop	155	155
Hardness, Rockwell B	80	80
Hardness, Vickers	139	139
Tensile Strength, Ultimate	585 MPa	84800 psi
Tensile Strength, Yield	240 MPa	34800 psi
	@Strain 0.200 %	@Strain 0.200 %
Elongation at Break	60 %	60 %
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi
Poissons Ratio	0.25	0.25
Shear Modulus	77.2 GPa	11200 ksi
Charpy Impact	43.0 - 46.0 J	31.7 - 33.9 ft-lb
	50.0 - 54.0 J	36.9 - 39.8 ft-lb

Anexo N° 11

Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A276

4. Propiedades mecánicas de acero inoxidable ASTM 440C

Temperatura de templado (° C)	Resistencia a la tracción (MPa)	Fuerza de rendimiento 0.2% Prueba (MPa)	Alargamiento (%) en 50 mm)	Dureza Rockwell (HRC)	Impacto Charpy V (J)
Recocido *	758	448	14	269HB máx. #	-
204	2030	mil novecientos	4.4	59	9.9
260	1960	1830	4.4	57	9.9
316	1860	1740	4.4	56	9.9
371	1790	1660	4.4	56	9.9

• Propiedades físicas

Grado	Densidad ₃ (kg / m ³)	Módulo elástico (GPa)	Coeficiente medio de expansión térmica (mm / m / ° C)			Conductividad térmica (W / mK)		Calor específico (J / kg.K)	Resistividad eléctrica (nW.m)
			0-100 ° C	0-200 ° C	0-600 ° C	a 100 ° C	a 500 ° C		
440 C	7650	200	10,1	10,3	11,7	24,2	-	460	600

Anexo N° 12 Propiedades del Acero AISI 6150

Acero AISI 6150, normalizado, redondo de 50 mm (2 pulg.)

Categorías:	Metal ; Metal ferroso ; Acero aleado ; Acero de la serie AISI 6000 ; Acero de baja aleación ; Acero al carbono ; Acero al Carbono Medio
Notas materiales:	Normalizado 870 ° C, refrigerado por aire, redondo de 50 mm. Aplicaciones: muelles automotrices; también muelles de válvula, vástagos de pistón, piezas de bomba y ejes estriados. AISI 6150
Palabras clave:	AFNOR 50 CV 4 (Fr), UNI 50 CrV 4, JIS SUP 10, SS14 2230 (Suecia), BS 735 A 50, BS En. 47, ASTM A505, MIL-SPEC MIL-AMS 6450, AMS 7301, ASTM A231, ASTM A322, ASTM A331
Vendedores:	No hay vendedores listados para este material. Haga clic aquí si es un proveedor y desea información sobre cómo agregar su listado a este material.

Propiedades físicas	Métrico	Inglés
Densidad	7,85 g / cc	0.284 lb / in ³
Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés
Dureza, Brinell	262	262
Dureza, Knoop	287	287
Dureza, Rockwell B	98	98
Dureza, Rockwell C	26	26
Dureza, Vickers	276	276
Resistencia a la tracción, máxima	896 MPa	130000 psi
Resistencia a la tracción, rendimiento	515 MPa	74700 psi
Alargamiento a la rotura	20,7%	20,7%
Módulo de elasticidad	205 GPa	29700 ksi
Módulo de volumen	160 GPa	23200 ksi
El coeficiente de Poisson	0,29	0,29
Maquinabilidad	55%	55%
Módulo de corte	80.0 GPa	11600 ksi

Anexo N° 13 Propiedades del Acero AISI 4140

Acero AISI 4140, normalizado a 870 ° C (1600 ° F), refrigerado por aire, redondo de 50 mm (2 pulg.)

Categorías:	Metal ; Metal ferroso ; Acero aleado ; Acero de la serie AISI 4000 ; Acero de baja aleación ; Acero al carbono ; Acero al Carbono Medio
Notas materiales:	Normalizado: calentado a 815 ° C, enfriado por aire. Acero de medio carbono con alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, a la abrasión y a la corrosión.
Palabras clave:	AFNOR 40 CD 4, AFNOR 42 CD 4 (Francia), ASTM A322, ASTM A331, ASTM A505, ASTM A519, ASTM A646, BS 708 A 42 (Reino Unido), BS 708 H, JIS SCM 4, JIS SCM440, SS14 2244 (Suecia), MIL SPEC MIL-S-16974, SAE J404, SAE J412, SAE J770, DIN 1.7225, UNS G41400, AMS 6343, 4367 40Cr1Mo28, IS 5517 40Cr1Mo28
Vendedores:	No hay vendedores listados para este material. Haga clic aquí si es un proveedor y desea información sobre cómo agregar su listado a este material.

Propiedades físicas	Métrico	Inglés
Densidad	7,85 g / cc	0.284 lb / in ³
Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés
Dureza, Brinell	285	285
Dureza, Knoop	311	311
Dureza, Rockwell B	99	99
Dureza, Rockwell C	30	30
Dureza, Vickers	301	301
Resistencia a la tracción, máxima	972 MPa	141000 psi
Resistencia a la tracción, rendimiento	635 MPa	92100 psi
Alargamiento a la rotura	16,5%	16,5%
Reducción del área	48,1%	48,1%
Módulo de elasticidad	205 GPa	29700 ksi
Módulo de volumen	160 GPa	23200 ksi
El coeficiente de Poisson	0,29	0,29
Maquinabilidad	sesenta y cinco %	sesenta y cinco %
Módulo de corte	80.0 GPa	11600 ksi

Anexo N° 14 Propiedades del Acero ASTM A36

ASTM A36 Acero, barra

Categorías:	Metal ; Metal ferroso ; ASTM Steel ; Acero al carbono ; Acero bajo en carbono
Notas materiales:	Acero para fines estructurales generales, incluidos puentes y edificios.
Palabras clave:	UNS K02600
Vendedores:	No hay vendedores listados para este material. Haga clic aquí si es un proveedor y desea información sobre cómo agregar su listado a este material.

Propiedades físicas	Métrico	Inglés
Densidad	7,85 g / cc	0.284 lb / in³
Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés
Resistencia a la tracción, máxima	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Resistencia a la tracción, rendimiento	250 MPa	36300 psi
Alargamiento a la rotura	20%	20%
	23%	23%
Módulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi
Fuerza de rendimiento compresivo	152 MPa	22000 psi
Módulo de volumen	160 GPa	23200 ksi
El coeficiente de Poisson	0,26	0,26
Módulo de corte	79,3 GPa	11500 ksi
Propiedades de elementos componentes	Métrico	Inglés
Carbono, C	0.29%	0.29%
Cobre, Cu	> = 0.20%	> = 0.20%
Hierro, Fe	98%	98%
Manganeso, Mn	0.80 - 1.2%	0.80 - 1.2%
Fósforo, P	0,040%	0,040%
Silicio, si	0.15 - 0.40%	0.15 - 0.40%
Azufre, S	0.050%	0.050%

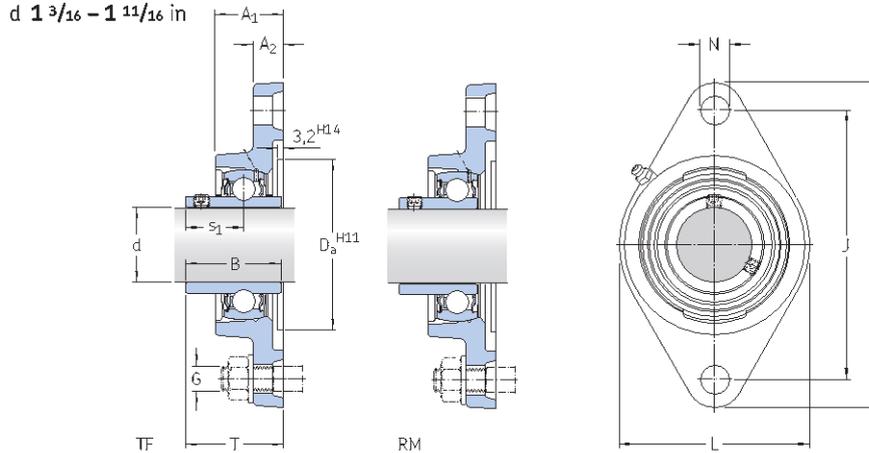
Anexo N° 15 Datos Técnicos del Perfil de Aluminio

Datos Técnicos Perfiles Aluminio Estructural			
Longitud estándar :	6 Mts.	Límite elástico :	200 N/mm²
Aleación de Aluminio:	6060/6063 (Al Mg Si 0,5 F25)	Módulo elasticidad transversal :	aprox. 27000 N/mm²
Densidad :	2,7 gr/cm³	Dureza Brinell :	75 HB
Espesor Anodizado:	15 µm	Coficiente de dilatación:	23,8 · 10 ⁻⁶ · K ⁻¹
Dureza Anodizado:	250-350 HV	Punto de tensión:	A5> 10% - A10 > 8%

Valores de Elasticidad	Lx Cm ⁴	Ly Cm ⁴	Wx Cm ³	Wy Cm ³
	9,0	9,0	4,5	4,5

Anexo N° 16 Cojinetes en pulgadas - SKF

Flanged Y-bearing units with a cast housing with an oval flange and grub screws,
inch shafts
d 1 3/16 – 1 11/16 in



Dimensions											Designation
											Bearing unit
d	A ₁	A ₂	B	H	J	L	N	G	s ₁	T	
in/mm											
<hr/>											
1 3/16	1.28	0.51	1.22	5.57	4.60	3.27	0.50	7/16	0.87	1.66	FYT 1.3/16 RM
30,163	32,5	13	31	141,5	116,9	83	12,7	10	22	42,2	FYT 1.3/16 TF
	1.28	0.51	1.50	5.57	4.60	3.27	0.50	7/16	0.87	1.66	
	32,5	13	38,1	141,5	116,9	83	12,7	10	22,2	42,2	
1 1/4	1.36	0.51	1.38	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	FYT 1.1/4 RM
31,75	34,5	13	35	156	130,2	96	14,3	12	25,5	46,4	
	1.36	0.51	1.69	6.14	5.12	3.78	0.55	1/2	1.00	1.83	FYT B 1.1/4 TF
	34,5	13	42,9	156	130	96	14	12	25,4	46,4	
	1.34	0.63	1.69	6.34	5.12	3.78	0.63	9/16	1.00	1.75	FYTJ 1.1/4 TF
	34	16	42,9	161	130	96	16	14	25,4	44,4	
1 5/16	1.36	0.51	1.69	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	FYT 1.5/16 TF
33,338	34,5	13	42,9	156	130,2	96	14,3	12	25,4	46,4	
1 3/8	1.36	0.51	1.38	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	FYT 1.3/8 RM
34,925	34,5	13	35	156	130,2	96	14,3	12	25,5	46,4	
	1.36	0.51	1.69	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	FYT 1.3/8 TF
	34,5	13	42,9	156	130,2	96	14,3	12	25,4	46,4	
1 7/16	1.36	0.51	1.38	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	FYT 1.7/16 RM
36,513	34,5	13	35	156	130,2	96	14,3	12	25,5	46,4	
	1.36	0.51	1.69	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	FYT 1.7/16 TF
	34,5	13	42,9	156	130,2	96	14,3	12	25,4	46,4	
1 1/2	1.52	0.55	1.57	6.75	5.66	4.02	0.56	1/2	1.12	2.07	FYT 1.1/2 RM
38,1	38,5	14	40	171,5	143,7	102	14,3	12	28,5	52,6	
	1.52	0.55	1.94	6.75	5.66	4.02	0.56	1/2	1.19	2.13	FYT 1.1/2 TF
	38,5	14	49,2	171,5	143,7	102	14,3	12	30,2	54,2	
	1.52	0.55	1.94	6.75	5.65	4.02	0.55	1/2	1.19	2.13	FYT B 1.1/2 TF
	38,5	14	49,2	171,5	143,5	102	14	12	30,2	54,2	
	1.42	0.63	1.94	6.89	5.67	3.94	0.63	9/16	1.19	2.02	FYTJ 1.1/2 TF
	36	16	49,2	175	144	100	16	14	30,2	51,2	
1 5/8	1.54	0.55	1.94	7.03	5.84	4.37	0.63	9/16	1.19	2.13	FYT 1.5/8 TF
41,275	39	14	49,2	178,5	148,4	111	15,9	14	30,2	54,2	
1 11/16	1.54	0.55	1.63	7.03	5.84	4.37	0.63	9/16	1.20	2.13	FYT 1.11/16 RM
42,863	39	14	41,5	178,5	148,4	111	15,9	14	30,5	54,2	
	1.54	0.55	1.94	7.03	5.84	4.37	0.63	9/16	1.19	2.13	FYT 1.11/16 TF
	39	14	49,2	178,5	148,4	111	15,9	14	30,2	54,2	

Designations Bearing unit	Separate components		Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Limiting speed with shaft tolerance h_6	Mass Bearing unit
	Housing	Bearing	dynamic C	static C_0			
–			lbs/kN		lbs/kN	r/min	lb/kg
FYT 1.3/16 RM	FYT 506 U	YAT 206-103	4 390 19,5	2 520 11,2	110 0,475	6 300	1,95 0,88
FYT 1.3/16 TF	FYT 506 U	YAR 206-103-2F	4 390 19,5	2 520 11,2	110 0,475	6 300	2,05 0,93
FYT 1.1/4 RM	FYT 507 U	YAT 207-104	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,65 1,21
FYTB 1.1/4 TF	FYTB 507 U	YAR 207-104-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	3,10 1,40
FYTJ 1.1/4 TF	FYTJ 507 U	YAR 207-104-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,85 1,30
FYT 1.5/16 TF	FYT 507 U	YAR 207-105-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,85 1,30
FYT 1.3/8 RM	FYT 507 U	YAT 207-106	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,60 1,15
FYT 1.3/8 TF	FYT 507 U	YAR 207-106-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,80 1,27
FYT 1.7/16 RM	FYT 507 U	YAT 207-107	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,50 1,14
FYT 1.7/16 TF	FYT 507 U	YAR 207-107-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,75 1,25
FYT 1.1/2 RM	FYT 508 U	YAT 208-108	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,55 1,60
FYT 1.1/2 TF	FYT 508 U	YAR 208-108-2F	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,60 1,70
FYTB 1.1/2 TF	FYTB 508 M	YAR 208-108-2F	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,75 1,70
FYTJ 1.1/2 TF	FYTJ 508	YAR 208-108-2F	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,55 1,60
FYT 1.5/8 TF	FYT 509 U	YAR 209-110-2F	7 470 33,2	4 860 21,6	210 0,915	4 300	4,20 1,90
FYT 1.11/16 RM	FYT 509 U	YAT 209-111	7 470 33,2	4 860 21,6	210 0,915	4 300	3,85 1,74
FYT 1.11/16 TF	FYT 509 U	YAR 209-111-2F	7 470 33,2	4 860 21,6	210 0,915	4 300	4,10 1,86

Anexo N° 17
Cálculo de escritorio para el diseño del eje por carga estática y fatiga

1. Cálculo para determinar la fuerza de corte para el plástico

1.1. Ángulo de corte

Para determinar el ángulo de corte se emplea la Ecuación N° 3.

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \gamma_0}{\frac{h_c}{f} - \operatorname{sen}(\gamma_0)} \right)$$

Donde:

φ : Ángulo de corte

h_c : 3.5 mm

f : 3 mm

γ_0 : 15°

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos 15}{\frac{3.5}{3} - \operatorname{sen}(15)} \right)$$

$$\varphi = 46.775^\circ$$

1.2. Fuerza de fricción sobre la viruta

Para ello, calculamos la fuerza de fricción que actúa sobre la viruta empleando la Ecuación N° 2.

$$F_w = C \cdot b \cdot f \cdot \left[\frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \left(\frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right]$$

Donde:

F_w : Fuerza de fricción actuando sobre la viruta

C : 72 N/mm²

n : 0.346

b : 5 mm

$$F_w = 72 \times 5 \times 3 \left[\frac{\cos(2(46.775) - 15)}{\sqrt{3} \cdot \sin^2(46.775)} \cdot \left(\frac{\cos 15}{\sqrt{3} \cdot \sin(46.775) \cos(46.775 - 15)} \right)^{0.346} \right]$$

$$F_w = 224.8 \text{ N}$$

1.3. Fuerza de corte

Con la Ecuación N° 1 calculamos la fuerza de corte:

$$F_c = \frac{cbf}{n+1} \left(\frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \times \sin \varphi \times \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} + F_w \left(\frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)} \right)$$

$$F_c = \frac{72 \times 5 \times 3}{0.346 + 1} \left(\frac{\cos 15}{\sqrt{3} \times \sin 46.775 \times \cos(46.775 - 15)} \right)^{0.346+1} + 132.11 \left(\frac{\sin 46.775}{\cos(46.775 - 15)} \right)$$

$$F_c = 889.25 \text{ N}$$

2. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el eje

2.1. Diagrama de Cuerpo Libre

De la Figura 15 se sustituye las fuerzas que actúan sobre las cuchillas por sus valores equivalentes sobre el eje (Fuerzas y Momentos) como se aprecia en la Figura N° 33.

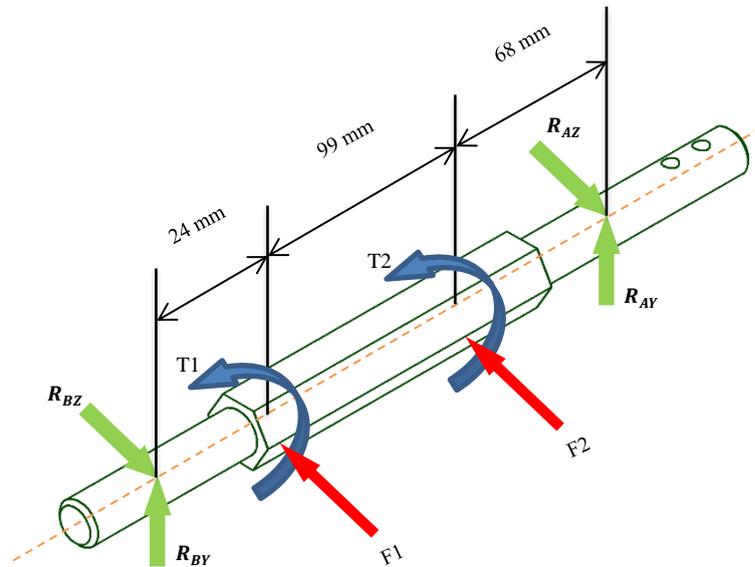


Figura N° 33. Diagrama de cuerpo libre de eje
Fuente: Propia

2.2. Ecuaciones de Equilibrio

$$\sum F_Y = R_{AY} + R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} = R_{BY}$$

$$\sum F_Z = R_{AZ} - F_1 - F_2 + R_{BZ} = 0$$

$$F_1 = F_2$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 2(F_1) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 2(889.25 \text{ N}) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 1778.5 \text{ N}$$

$$\sum M_{BY} = F_1(L_1) + F_2(L_2) - R_{AZ}(L_T) = 0$$

$$F_1(L_1 + L_2) = R_{AZ}(L_T)$$

$$(889.25 \text{ N})(68 \text{ mm} + 167 \text{ mm}) = R_{BZ}(191\text{mm})$$

$$R_{AZ} = \frac{(889.25 \text{ N})(235 \text{ mm})}{191 \text{ mm}} = 1094.1 \text{ N}$$

$$R_{BZ} = 1778.5 - R_{AZ}$$

$$R_{BZ} = 1778.5 - 1094.1$$

$$R_{BZ} = 684.39 \text{ N}$$

2.3. Esfuerzos fluctuantes

Debido a que el eje es un elemento rotativo y por la naturaleza de la carga aplicada sobre el mismo los esfuerzos que se presentan en el eje son fluctuantes completamente invertidos. Para determinar el factor de seguridad en fatiga se determinan los esfuerzos fluctuantes como:

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}$$

$$M_a = \left| \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \right|$$

Donde:

$$M_{max} = M_c = 57.11 \text{ N.m}$$

$$M_{min} = -M_c = -57.11 \text{ N.m}$$

$$\tau_{max} = 267.1 \text{ N.m}$$

$$\tau_{min} = 0$$

Sustituyendo se tiene:

$$M_m = \frac{57.11 + (-57.11)}{2} = 0$$

$$M_a = \left| \frac{57.11 - (-57.11)}{2} \right| = 57.11 \text{ N.m}$$

$$T_m = 267.1 \text{ N.m}$$

$$T_a = 0$$

2.4. Factor de Seguridad en Carga Estática

Determinado el diámetro del eje desde el análisis paramétrico se confirma el valor del Factor de Seguridad en carga estática para el nuevo diámetro calculado.

$$\sigma_c = K_t \frac{32M_a}{\pi(d_{eje})^3} = (1.4) \frac{32(57.11 \text{ N.m})}{\pi(0.03175\text{m})^3} \times 10^{-6} = 25.45 \text{ Mpa}$$
$$\tau_{xy_c} = K_{ts} \frac{16T_c}{\pi(d_{eje})^3} = (1.2) \frac{16(267.1 \text{ N.m})}{\pi(0.03175\text{m})^3} \times 10^{-6} = 51.01 \text{ Mpa}$$
$$\sigma'_c = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{(24.93)^2 + 3(58.3)^2} = 91.95 \text{ Mpa}$$
$$FS = \frac{S_y}{\sigma'_c} = \frac{310 \text{ Mpa}}{91.9474 \text{ Mpa}} = 3.37$$

2.5. Factor de Seguridad en Fatiga

Límite de resistencia a la fatiga es:

$$S'_e = 0.5S_{ut}$$
$$S'_e = 0.5(565) = 282.5$$

Factor de superficie: k_a

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Donde:

S_{ut} : 565 Mpa

a: 4.51

b: -0.265

$$k_a = 4.51(565)^{-0.265} = 0.8412$$

Factor de tamaño: k_b

$$k_b = 1.24d^{-0.107}$$
$$k_b = 1.24(31.75)^{-0.107} = 0.8565$$

Factor de carga: k_c

$$k_c = k_d = k_e = k_f = 1$$

Modificadores del límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

$$S_e = (0.8412)(0.8565)(1)(1)(1)(1)(282.5) = 203.5$$

2.6. Teoría de Falla ASME Elíptica

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

$$FS = \frac{1}{\frac{16}{\pi(0.03175)^3} \left[4 \left(\frac{(1.4)(57.11)}{203.5} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1.2)(0)}{203.5} \right)^2 + 4 \left(\frac{(1.4)(0)}{310} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1.2)(267.1)}{310} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$FS = 3.21$$

2.7. Potencia Requerida

$$P = T \cdot \omega$$

$$T = 267.1 \text{ N.m}$$

$$\omega = 60 \text{ RPM}$$

Sustituyendo:

$$P = (1.2)(267.1 \text{ N.m})(60 \text{ RPM}) \left(\frac{2\pi}{60} \right) (10^{-3}) = 2.01 \text{ KW}$$

$$P = 2.01 \text{ KW} = 2.7 \text{ HP}$$

Anexo N° 18 Simulación del eje

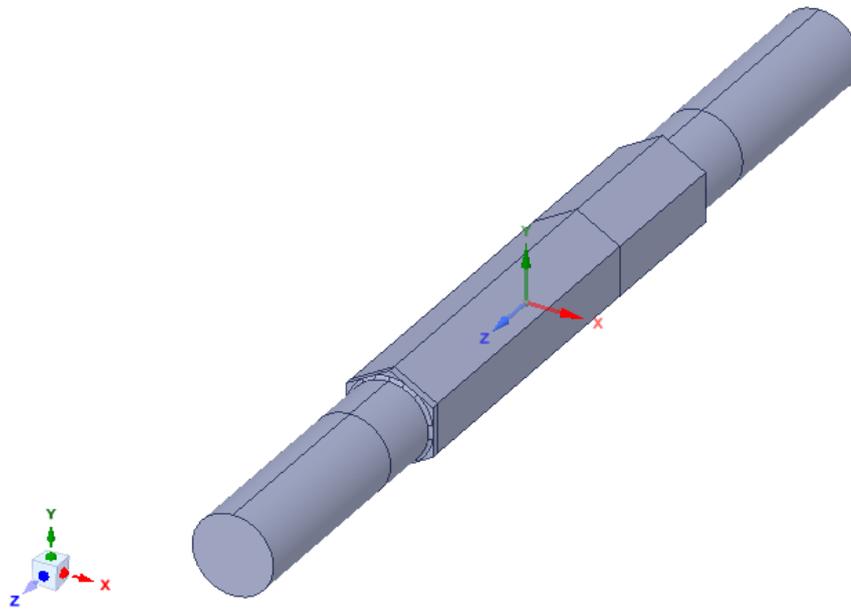


Figura 32. Dibujo CAD para la simulación del eje.

Fuente: Elaboración Propia

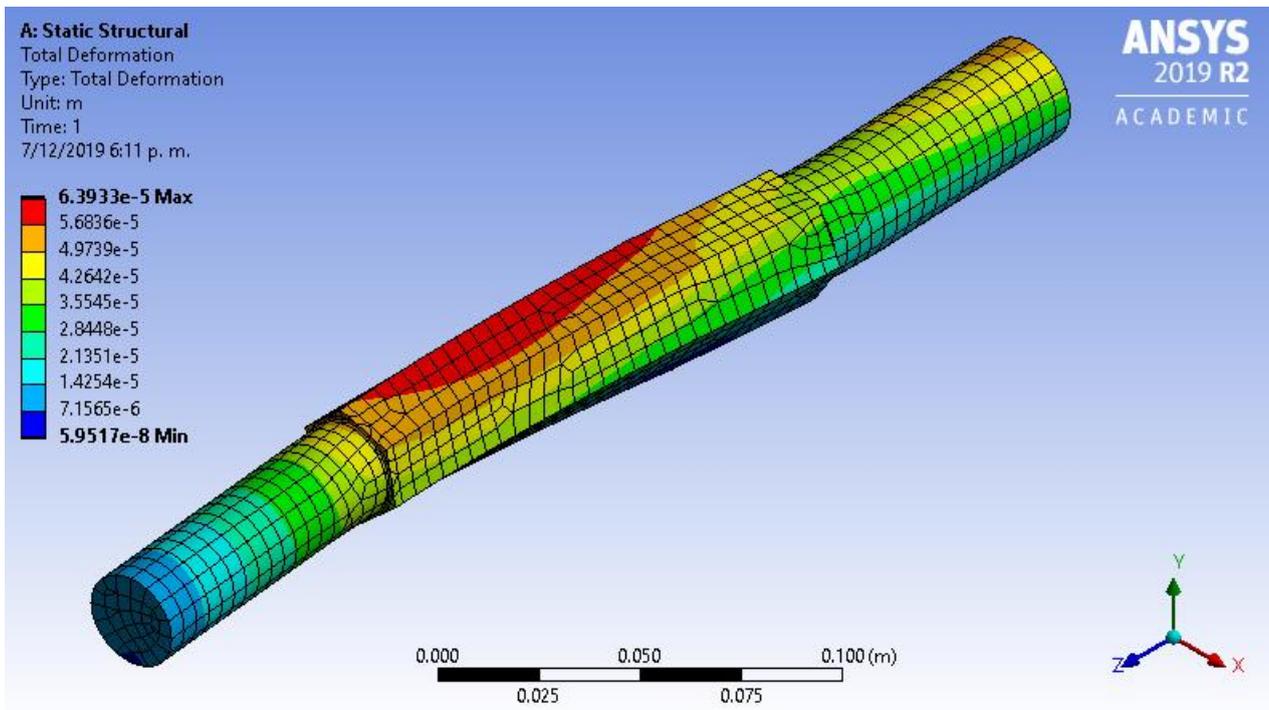


Figura 33. Resultado de deformación máxima para la simulación del eje.

Fuente: Elaboración Propia

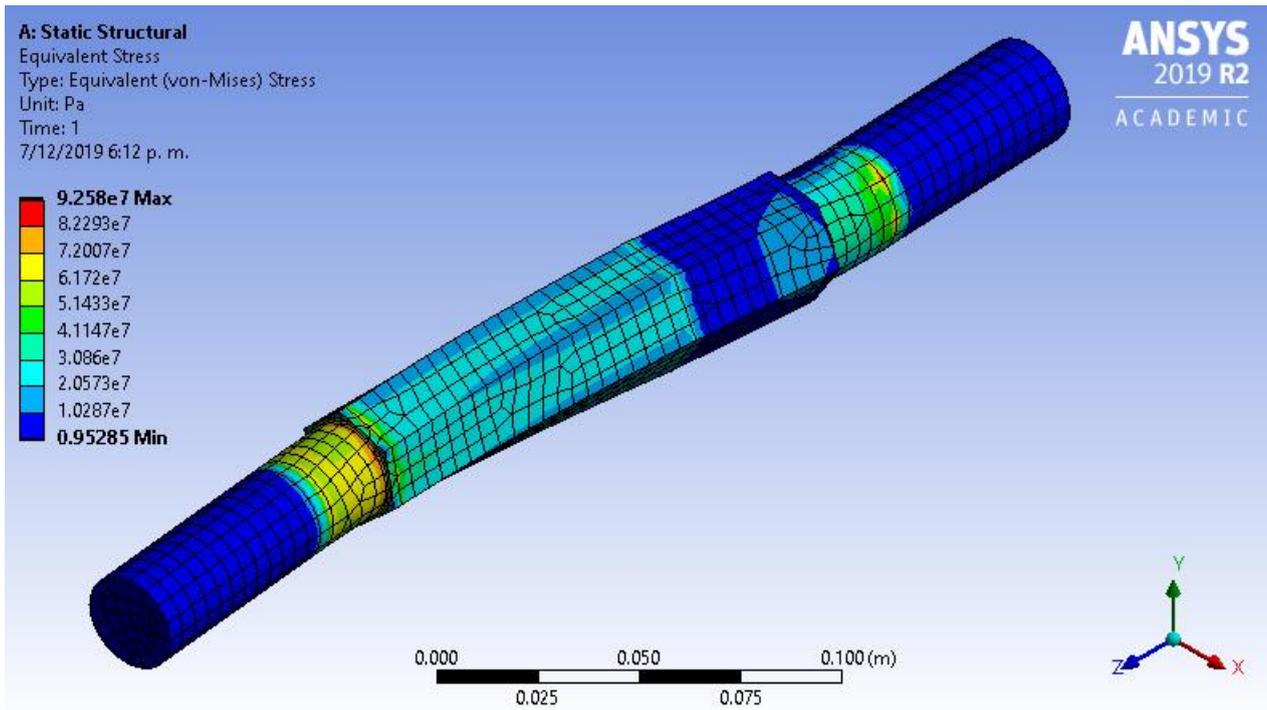


Figura 34. Resultado de esfuerzos de Von Mises para la simulación del eje.

Fuente: Elaboración Propia

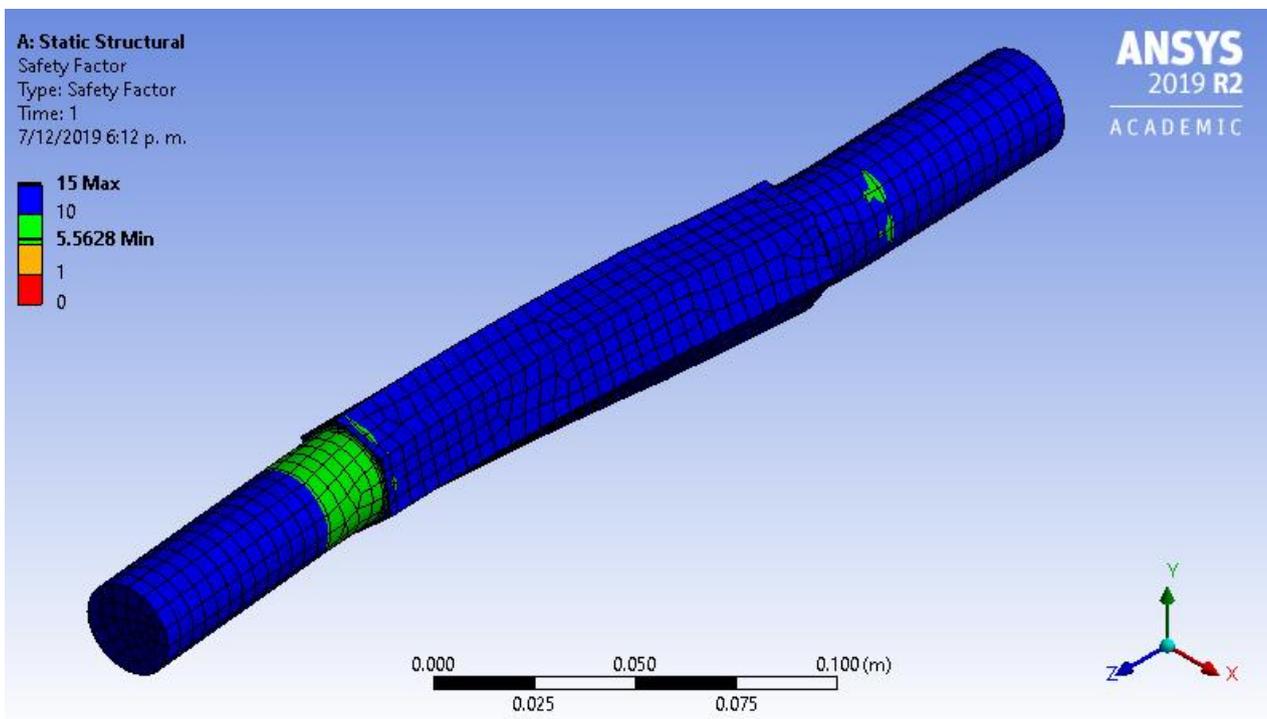


Figura 35. Resultado de factor de seguridad en carga estática para la simulación del eje.

Fuente: Elaboración Propia

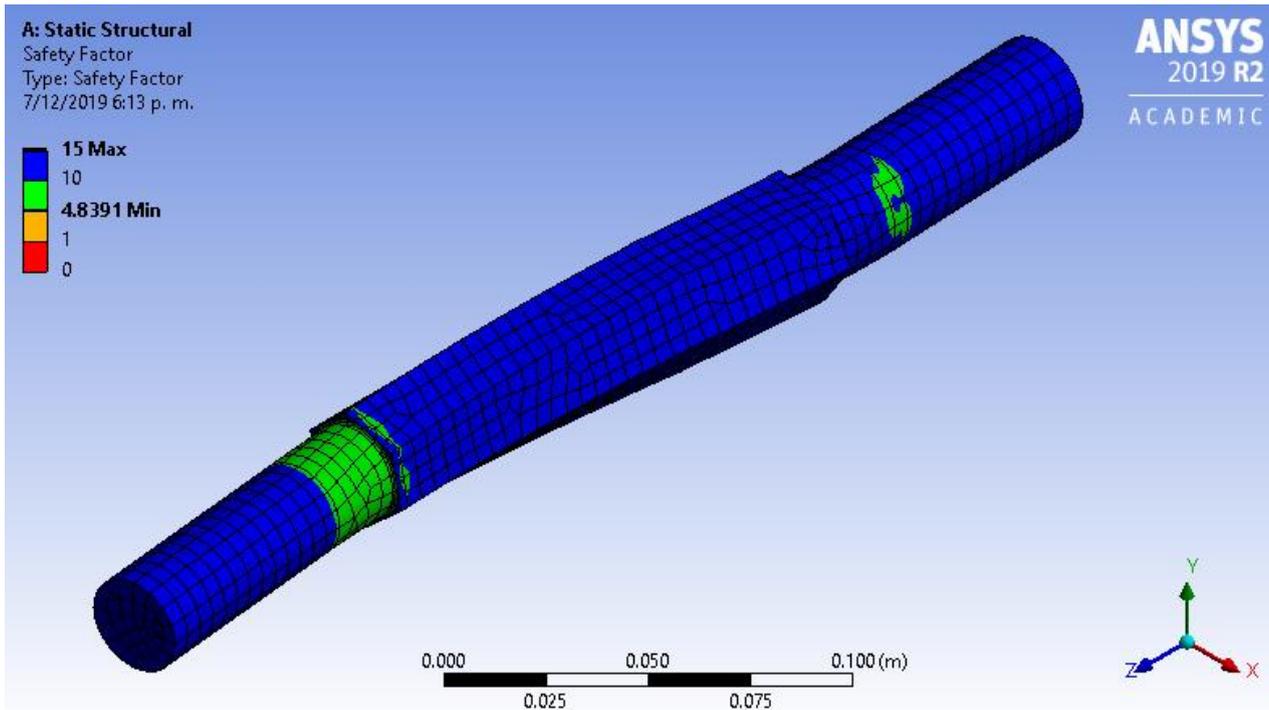


Figura 36. Resultado de factor de seguridad en fatiga para la simulación del eje.

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N° 19
 Simulación de las cuchillas

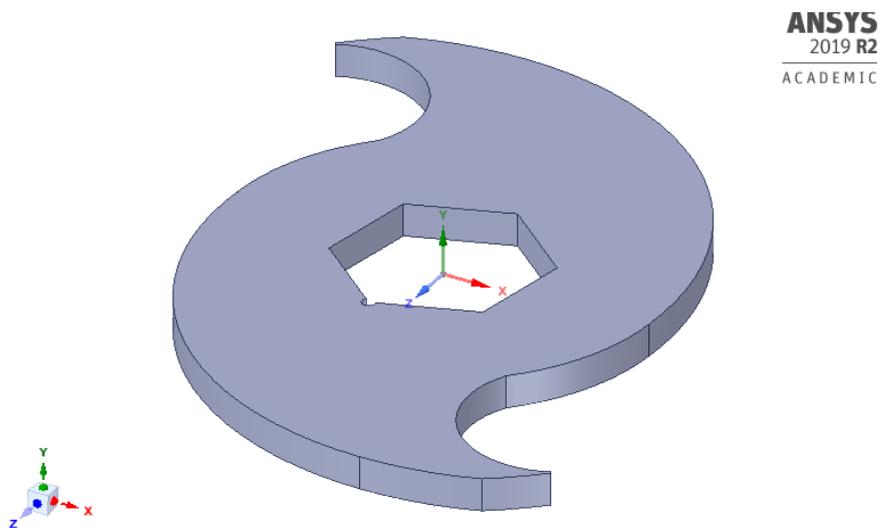


Figura XX. Dibujo CAD para la simulación del eje.

Fuente: Elaboración Propia

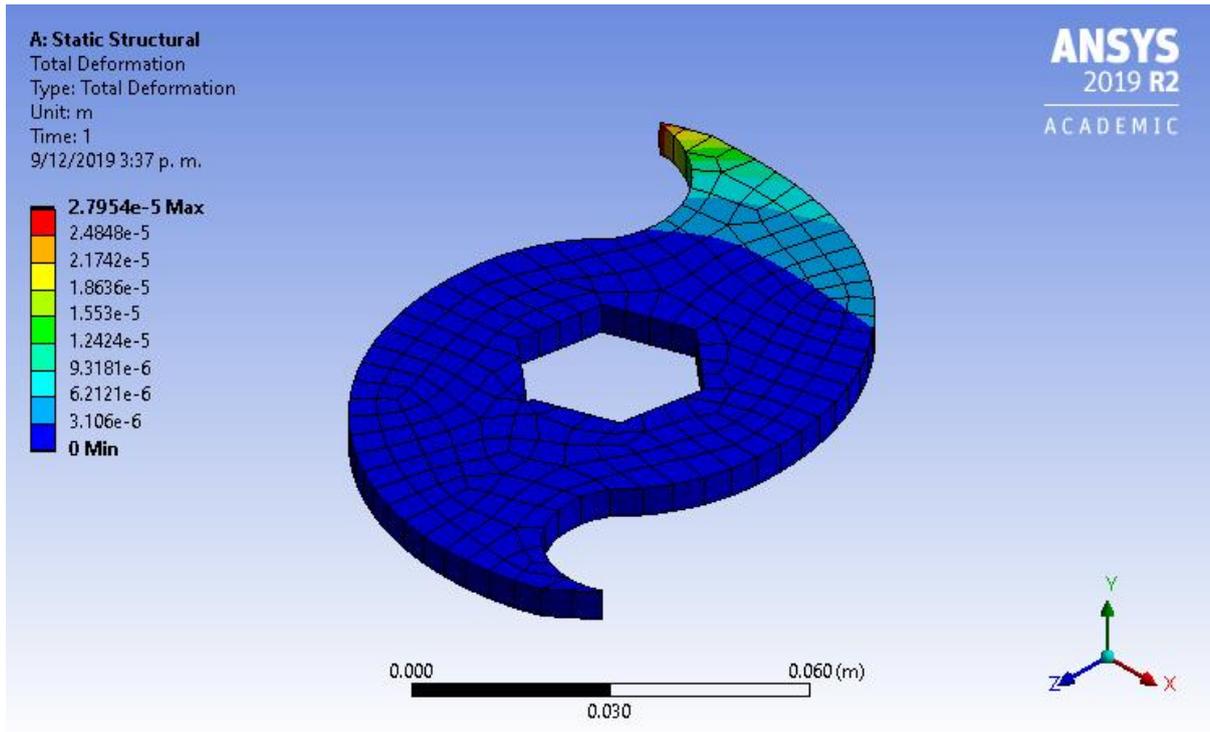


Figura 37. Resultado de deformación máxima para la simulación de las cuchillas.

Fuente: Elaboración Propia

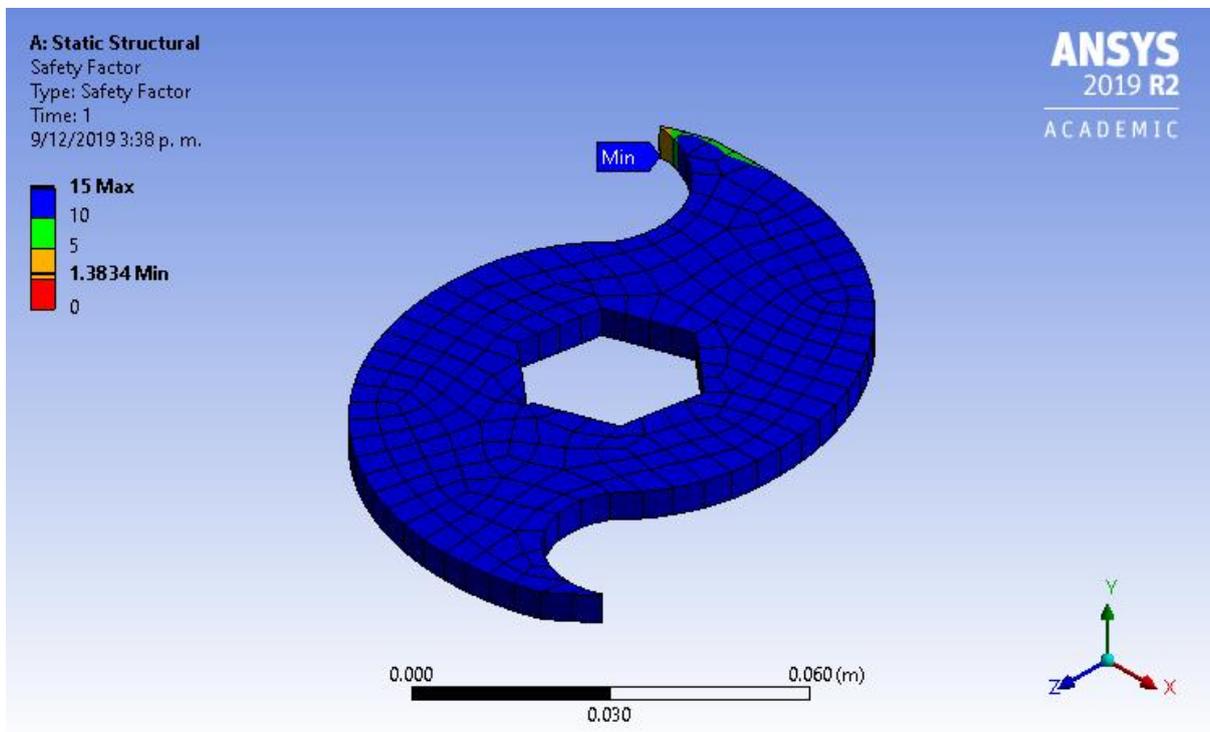


Figura 38. Resultado de factor de seguridad en carga estática para la simulación de las cuchillas.

Fuente: Elaboración Propia

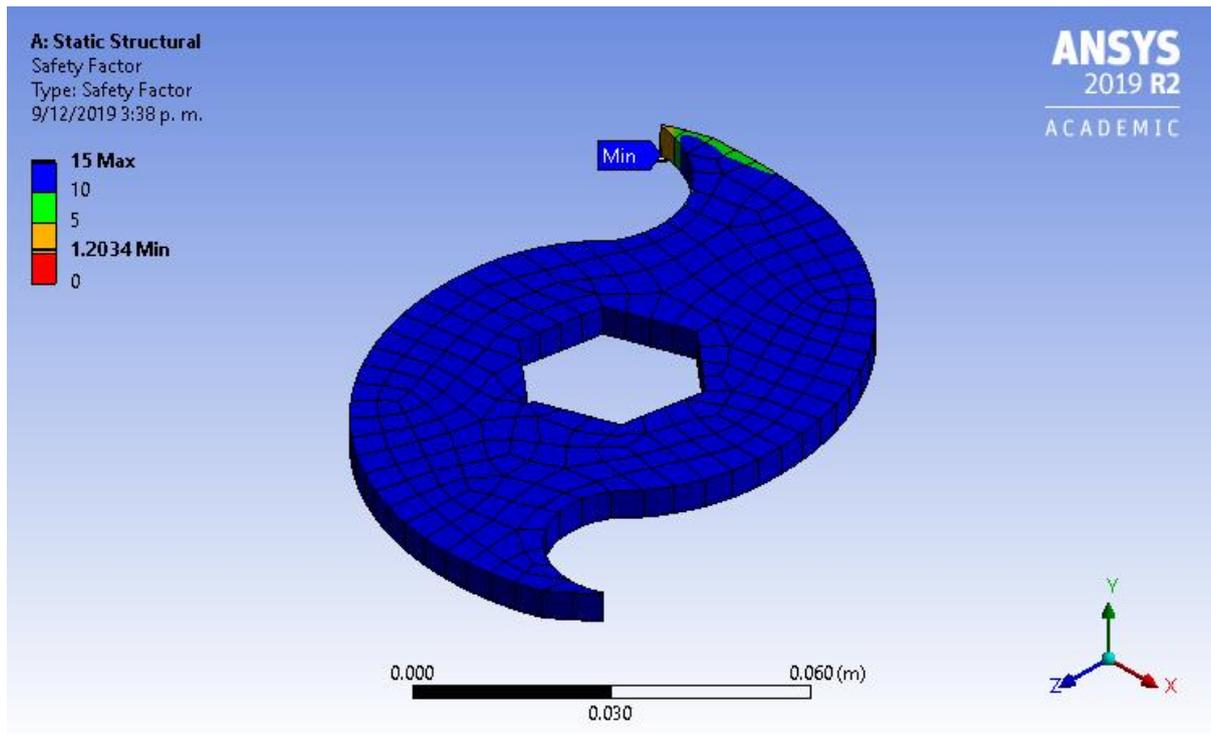


Figura 39. Resultado de factor de seguridad en fatiga para la simulación de las cuchillas.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo N° 20 Cálculo de Parámetros de la Extrusora

Flujo en extrusor de tornillo sinfín

La geometría de un extrusor de tornillo sinfín se muestra en la Figura 40 y en ella se encuentran las variables que se emplearan en los cálculos para el flujo de extrusión. Durante el proceso de extrusión el flujo total se compone esencialmente de dos tipos de flujo: el flujo rotacional (Kg/s) y el flujo de presión (Kg/s). De esta manera el flujo total se puede hallar con las siguientes ecuaciones.

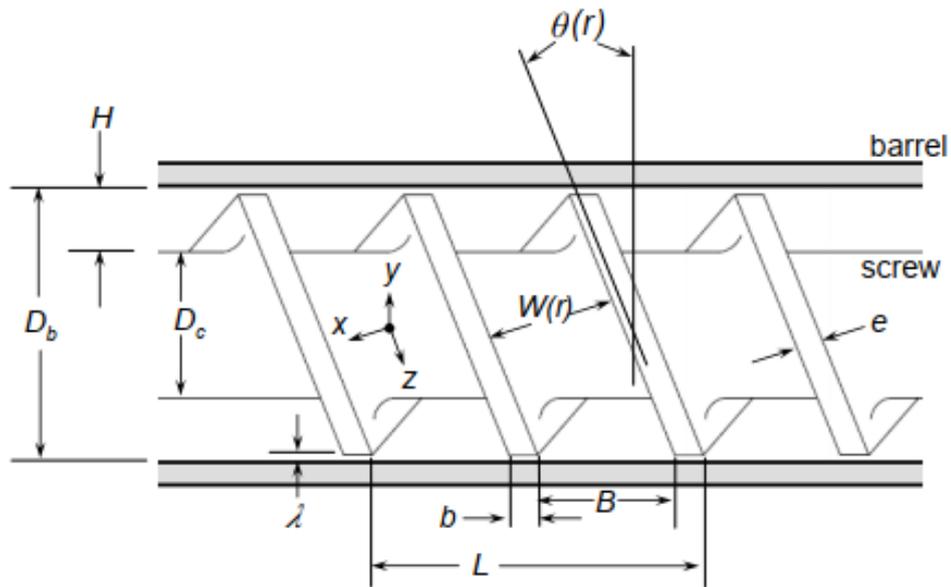


Figura 40. Un esquema de una geometría de tornillo de doble ala

Fuente: Campbell & Spalding (2013)

Los parámetros geométricos se agrupan en dos partes: las que corresponden a la hélice y son designados con (b) y las que corresponden al eje y se designan con (c). Para la hélice se tienen las ecuaciones 1 hasta 3:

$$\theta_b = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi D_b}\right) \dots (1)$$

$$W_b = \left(\frac{L}{p}\right) \cos(\theta_b) - e \dots (2)$$

$$e_b = b_b \cos(\theta_b) \dots (3)$$

Donde:

D_b : Diámetro del tonillo

L : Paso del tornillo

θ_b : Angulo externo de la hélice

p : Numero de aletas del tornillo sinfín

W_b : Ancho del canal para la hélice

e_b : Espesor del filete para hélice

b_b : Ancho del filete para hélice

Para el eje se tiene las ecuaciones:

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi D_c} \right) \dots (4)$$

$$W_c = \left(\frac{L}{p} \right) \cos(\theta_c) - e \dots (5)$$

$$e_c = b_c \cos(\theta_c) \dots (6)$$

$$W = \frac{W_b + W_c}{2} \dots (7)$$

Donde:

D_c : Diámetro del eje

θ_c : Angulo externo del eje

W_c : Ancho del canal para el eje

e_c : Espesor del filete para el eje

b_c : Ancho del filete para el eje

$$z(r) = \frac{l}{\sin(\theta(r))} \dots (8)$$

$$V_{bz} = \pi N D_b \cos(\theta_b) \dots (9)$$

$$V_{cz} = \pi N D_b \cos(\theta_c) \dots (10)$$

Donde:

$z(r)$: Longitud helicoidal total de la sección de medición

N : Velocidad de rotación del tornillo

V_{bz} : Componente z de la velocidad del vuelo del tornillo

V_{cz} : Componente z de la velocidad del eje del tornillo

$$Q_{md} = \frac{\rho_m V_{bz} W H F_d}{2} \dots (11)$$

$$F_d = \frac{16W}{\pi^3 H} \sum_{i=1,3,4,\dots}^{\infty} \frac{1}{i^3} \tanh \left(\frac{i\pi H}{2W} \right) \dots (12)$$

Donde:

Q_{md} : Caudal de masa rotacional

ρ_m : Densidad del fluido

H : Altura del ala del tornillo
 F_d : Factor de forma para flujo rotacional

$$Q_{mp} = \frac{\rho \rho_m W H^3 F_p}{12\eta} \left[\frac{\partial P}{\partial z} \right] \dots (13)$$

$$F_p = 1 - \frac{192H}{\pi^5 W} \sum_{i=1,3,4,\dots}^{\infty} \frac{1}{i^5} \tanh\left(\frac{i\pi W}{2H}\right) \dots (14)$$

Donde:

Q_{mp} : Caudal másico inducido por presión
 η : Viscosidad de corte promedio del fluido en el canal
 $\frac{\partial P}{\partial z}$: Gradiente de presión en la dirección z
 F_p : Factor de forma para flujo rotacional

$$Q_m = Q_{md} - Q_{mp} \dots (15)$$

$$Q_m = \frac{\rho \rho_m V_{bz} W H F_d}{2} - \frac{\rho \rho_m W H^3 F_p}{12\eta} \left[\frac{\partial P}{\partial z} \right] \dots (16)$$

Donde:

Q_m : Caudal másico total

1. Cálculo relación L/D broca

La relación longitud/diámetro de la broca debe encontrarse en un intervalo de 20:1 a 30:1

Relación L/D:

$$20 \leq L/D \leq 30$$

Donde:

L = Longitud de trabajo de la broca.

D = Diámetro de la broca.

Anexo N° 21
Datos técnicos del PET

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm ³	1.34-1.39
Resistencia a la tensión	MPA	59-72
Resistencia a la compresión	MPA	76-128
Resistencia al impacto	J/mm	0.01-0.04
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2-24
Resistencia al calor	°C	80-120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780-15750
Absorción de agua (24h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Temperatura de fusión	°C	244-254
Módulo de Young E	MPA	2800-3100
Presión	MPA	55-75

Anexo N° 22
Datos técnicos del PP



PROPIEDADES FISICAS POLIPROPILENO (PP)

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color	-	-	Marron claro
Densidad	DIN 53 479	g/cm ³	0,91
PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de Fusion	DIN 53 736	°C	165
Conductividad termica a (23°C)	-	W/(K-m)	0,22
Temperatuta de transicion vitria	-	10 ⁵ .(1K)	-18
Capacidad calorica especifica (23° C)	-	5(g.k)	1,7
Temperatura maxima de servicio:	-	-	-
-en periodos cortos	-	°C	130
-en periodos largos	-	°C	100
Coefficiente de dilatación lineal (23°C)	-	10 ⁵ ,1k	11
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C			
Ensayo de tracción	-	-	-
-esfuerzo en el punto de fluencia	DIN 53 455	MPa	35
-elongacion a la rotura	DIN 53 455	%	650
-modulo de elasticidad a la tensión	DIN 53 457	-	1
-Resistencia al impacto	DIN 53 457	Kj/m ²	no rompe
-Coeficiente dinamico de fricción	-	N/mm ²	0,3
-Dureza a la bola (30s)	DIN53457	Mpa	80
PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C			
Resistencia dielectrica	60243	Ohm	>10 ¹³
Factor de disipación	DIN 53 483	-	0,0002
Resistencia especifica de paso	DIN 53 483	-	>10 ¹⁷
Resistencia superficial	DIN 53 482	Ohm.cm	100
Coefficiente dielectrico	60250	-	2,25

Anexo N° 23
Datos técnicos del HDPE

PROPIEDADES	UNIDAD		VALOR	
Densidad	g/cm ³		0.941 – 0.965	
Absorción de Agua	mg a 96 h		<0.5	
Contracción	%		1.5 – 3	
Resistencia a la tensión al Cede	N/mm ²		18 – 35	
Elongación Punto de Ruptura	%		1000	
Resistencia al impacto Ranurado1 A 20 C A-20C	KJ/m	KJ/m	No rompe –6	>5
Temperatura de Defección 1.86 N/mm² 0.45 N/mm²	C°	C°	50	75
Resistencia Dieléctrica	KV/cm		>600	
Coefficiente de Fricción			0,29	
Dureza – Rockwell			D60-73 – Shore	
Módulo de Tracción	(GPa)		0,5-1,2	
Relación de Poisson			0,46	
Resistencia a la Tracción	(MPa)		15-40	
Resistencia al Impacto Izod	(J m ⁻¹)		20-210	
Temperatura Máxima de Utilización	C°		55-120	

Anexo N° 24

Predicción de propiedades mecánicas para PP a T=250 C y n=12 ciclos-Cálculo manual

Variables Normalizadas

$$X_1 = \frac{(T^\circ - 240)}{15} - 1$$

$$X_2 = \frac{(n - 5)}{7} - 1$$

$$YSg = 20.5769 - 0.742 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right) - 0.5413 * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right) + 0.1495 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right) * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right) - 0.2527 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right)^2 - 0.2092 * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right)^2$$

$$YS = 20.7962$$

$$Egs = 471.5306 - 27.7730 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right) - 16.8915 * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right) - 1.4601 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right) * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right) - 4.9582 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right)^2 - 1.0410 * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right)^2$$

$$E = 480.23$$

$$ISg = 4.5084 - 0.2964 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right) - 0.0512 * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right) - 0.1717 * \left(\frac{T - 240}{15} - 1\right) * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right) + 0.0668 * \left(\frac{n - 5}{7} - 1\right)^2$$

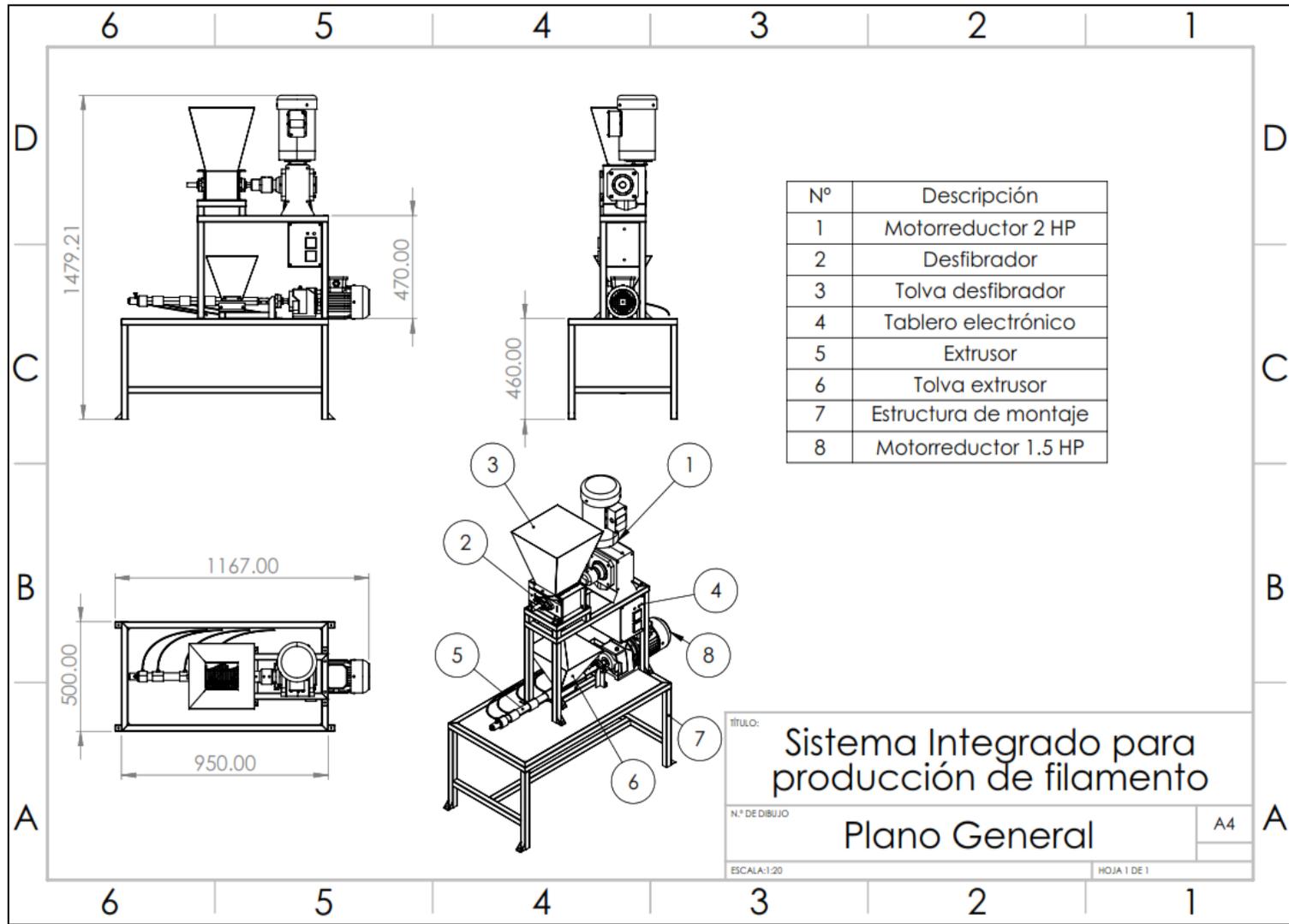
$$IS = 4.6072$$

Anexo N° 25

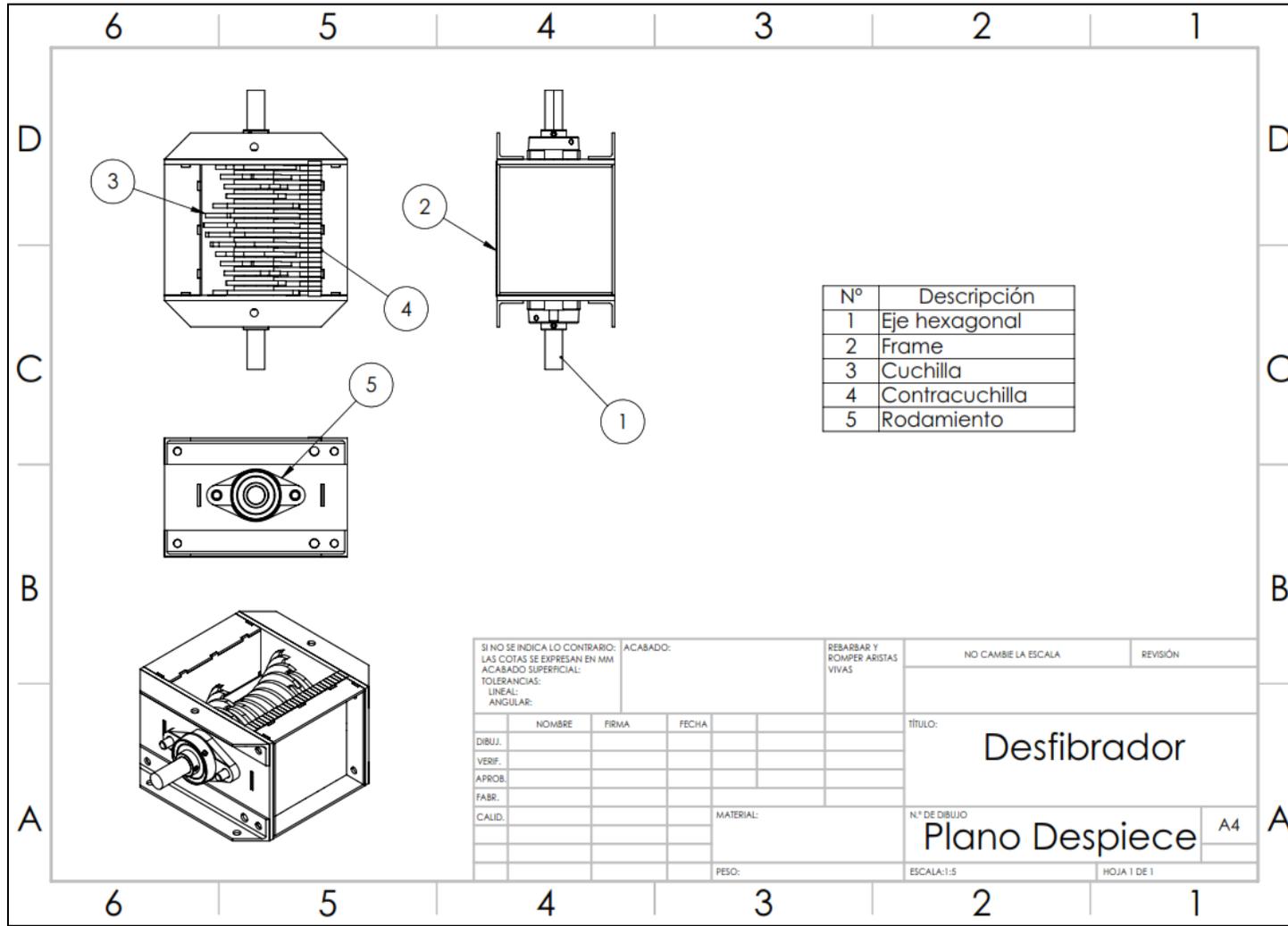
Variación de las propiedades mecánicas del PP con la temperatura y numero de ciclos

Temperatura (°C)	Número de ciclos	La resistencia al impacto (J/m)	La tensión de fluencia (MPa)	Módulo (E, MPA)	Tensión de rotura (MPa)	Energía para romper (J)	Deformación de rotura (%)
240	5	4.6± 0.2	21.3± 0.6	507.6± 17.9	27.4± 2.1	26.6±1.6	795.8±37.9
240	12	5.0± 0.8	21.0± 0.5	495.9± 17.8	22.7± 0.6	25.2±1.1	659.0±36.5
240	19	5.1± 0.6	20.3± 0.6	476.3± 23.0	22.6± 2.5	23.1±3.0	527.1±36.2
250	5	4.7± 0.4	21.5± 1.1	499.7± 9.9	28.0± 3.0	25.6±0.8	730.4±20.3
250	12	4.6± 0.5	20.8± 0.8	490.5± 10.8	23.7± 1.2	23.3±1.2	631.5±41.6
250	19	4.4± 0.5	20.1± 0.8	468.0± 14.3	22.8± 1.4	20.3±0.8	531.6±35.4
260	5	4.4± 0.3	20.5± 0.3	475.9± 16.1	27.9± 0.8	25.7±0.4	743.1±37.7
260	12	4.6± 0.3	20.1± 0.8	452.6± 16.2	21.6± 0.9	24.2±1.3	664.1±31.8
260	19	4.1± 0.4	19.4± 0.6	433.3± 10.9	18.6± 0.5	1.0±0.1	23.1±2.3
270	5	4.2± 0.3	19.8± 0.9	456.7± 22.4	26.5± 2.2	24.2±1.3	739.1±34.6
270	12	4.3± 0.2	19.9± 0.4	438.6± 18.6	19.6±1.2	20.0±1.4	560.1±45.6
270	19	4.2± 0.6	19.0± 0.6	423.0± 9.9	17.3±1.2	0.9±0.1	28.4±2.4

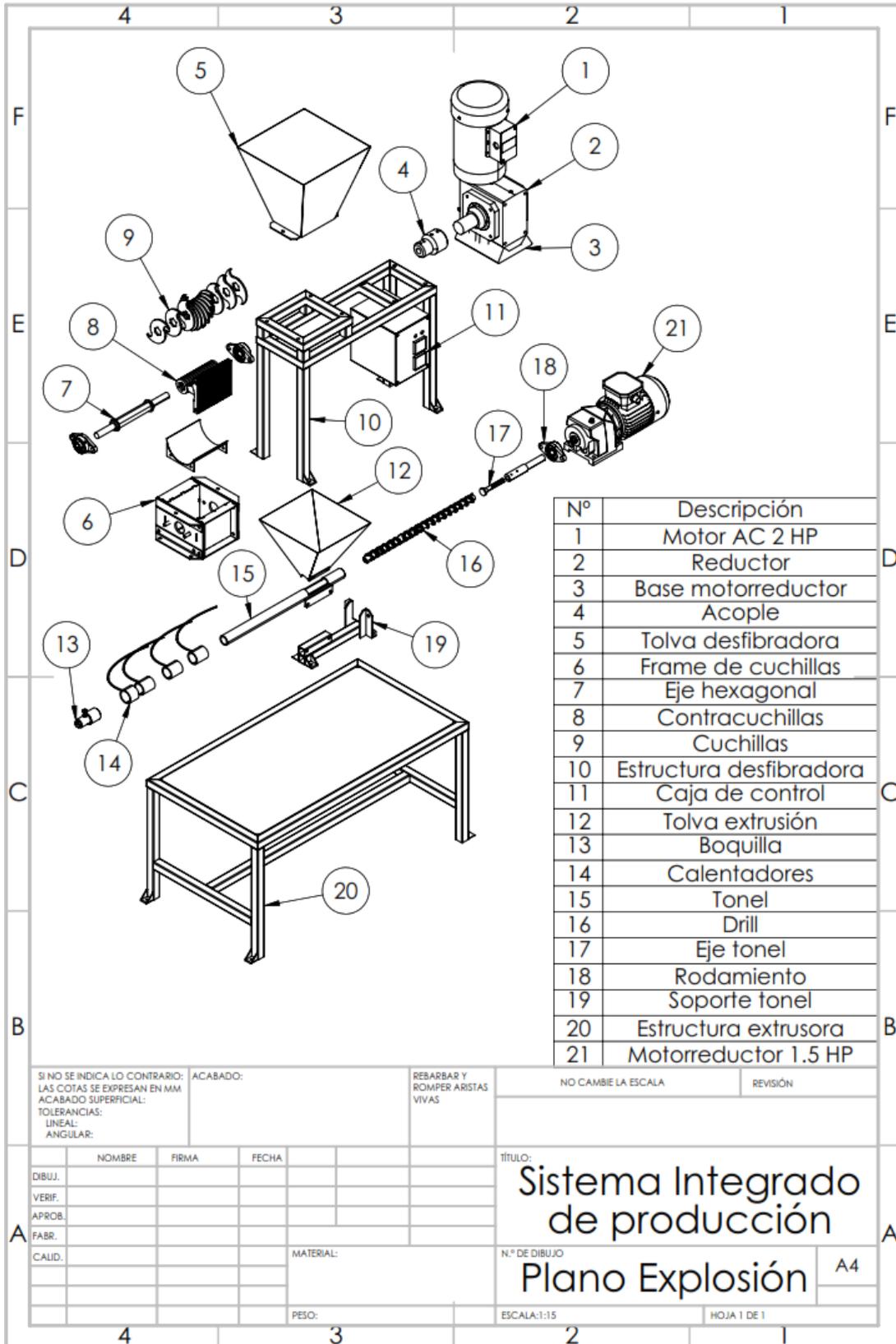
Anexo N° 26
Plano General



Anexo N° 27
Plano de Detalle



Anexo N° 28
Plano Explotado



Nº	Descripción
1	Motor AC 2 HP
2	Reductor
3	Base motorreductor
4	Acople
5	Tolva desfibrosadora
6	Frame de cuchillas
7	Eje hexagonal
8	Contracuchillas
9	Cuchillas
10	Estructura desfibrosadora
11	Caja de control
12	Tolva extrusión
13	Boquilla
14	Calentadores
15	Tonel
16	Drill
17	Eje tonel
18	Rodamiento
19	Soporte tonel
20	Estructura extrusora
21	Motorreductor 1.5 HP

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Sistema Integrado de producción	
VERIF.				N° DE DIBUJO	
APROB.				Plano Explosión	
FABR.				ESCALA:1:15	A4
CALID.				HOJA 1 DE 1	
			PESO:		