



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 796011

Visto el Informe N° 079-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 076-2025

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISEÑO DE EXTRUSIÓN PARA EL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS (PET) DE LA EMPRESA DIESTRA S.A.C”

Presentado por:


ANTEZANA ZACARIAS, JUNIOR ALFREDO

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA ELECTRÓNICA. El resultado obtenido es un porcentaje de DIEZ POR CIENTO (10%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 19 de Marzo del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Donayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



TESIS

“Implementación de un diseño de extrusión para el procesamiento de residuos plásticos (pet) de la empresa diestra S.A.C”.

INFORME FINAL DE TESIS

Línea de investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado por:

ANTEZANA ZACARIAS JUNIOR ALFREDO

Ica, Perú

2024

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional durante mi formación académica, y el haberme inculcado buenos valores hacia el prójimo; A mi hermano, quien fomento en mi, el interés y el motivo de construir una profesión. A mis abuelos quienes siempre me acompañaron en todas las etapas y los momentos mas significantes de mi vida.

Junior Antezana.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien fue mi fortaleza en los malos momentos; A mi familia que me brindaron un espacio en su morada a en los años de mi carrera universitaria; A mis docentes y colegas que me apoyaron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

Portada.	i
Dedicatoria.	ii
Agradecimientos	iii
Índice.	iv
- Índice de contenidos.	v
- Índice de tablas.	vi
- Índice de figuras.	vii
Resumen	viii
Abstract.	ix

CUERPO DEL INFORME FINAL

I. Introducción.	10
II. Estrategia metodológica.	21
III. Resultados.	30
IV. Discusión.	45
V. Conclusiones.	46
VI. Recomendaciones.	47
VII. Referencias bibliográficas.	48
VIII. Anexos.	49

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I.- INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Planteamiento del Problema.....	11
1.2. Antecedentes de la Investigación	11
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	11
1.2.2. Antecedentes Nacionales	13
1.2.3. Antecedentes Locales.....	15
1.1 Teoría Relacionada al Tema.....	15
1.4 Formulación del problema	24
1.4.1. Problema general:.....	24
1.4.2. Problemas Específicos	24
1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	25
1.5.1 Justificación	25
1.3 Objetivos	25
1.3.1 Objetivo general	25
1.3.2 Objetivos específicos	25
1.4 Hipótesis y variables de la investigación	25
1.4.1 Hipótesis.....	25
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA.	26
2.1. Diseño de la investigación.	26
2.1.1. Tipo de investigación	26
2.1.2. Nivel de investigación.....	26
2.2. Variables, Operacionalización.	26
2.2.1. Del Problema General	26

2.2.2. De las Dimensiones.....	28
2.3. Población y muestra.....	28
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	29
2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
2.4.2. Metodología para la elección del diseño de la maquina extrusora.....	29
2.4.3. Validación y confiabilidad del instrumento	32
III RESULTADOS.....	33
3.1 Aspectos Generales	33
3.2. Desarrollo del diseño de una maquina extrusora.	33
3.2.1. Diseño del tornillo extrusor o sinfín.....	33
3.2.2. Estudio de los esfuerzos del tornillo extrusor o sinfín	37
3.2.3 Selección del cilindro.....	41
3.2.4 Selección y diseño de la tolva de alimentación.....	41
3.2.5 Selección y diseño del sistema de calentamiento.....	43
3.2.6 Selección y diseño de la boquilla.....	46
3.2.7 Selección y diseño del sistema de transmisión.....	47
IV. DISCUSIÓN.	53
V. CONCLUSIÓN.	54
VI. RECOMENDACION.	55
BIBLIOGRAFIA	56
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Caudales por sección lisa y acanalada para polietileno de baja densidad.....	28
Tabla II: Caudales de extrusión por sección lisa y acanalada	29
Tabla III: ventajas/desventajas maquina de extrusión de tornillo simple.....	29
Tabla IV: ventajas/desventajas maquina de extrusión de doble tornillo.....	30
Tabla V: Ponderación para selección de alternativa de maquina extrusora.....	30
Tabla VI: Datos para el diseño de sistema de extrusión.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de plásticos termoplásticos para el reciclaje	19
Figura 2: Diseño de la investigación	25
Figura 3: Diseño de extrusión de tornillo simple	26
Figura 4: Envases de plástico (pet).....	27
Figura 5: Partes de tornillo sinfín	32
Figura 6: Calculo de ángulo de hélice del tornillo.....	33
Figura 7: Diagrama de fuerzas del tornillo	37
Figura 8: Vistas y diámetros de tolva	41
Figura 9: Análisis estático I de la estructura.....	47
Figura 10: Análisis estático II de la estructura.....	47
Figura 11: Dimensión de la estructura principal del equipo	48
Figura 12: Análisis estático del tornillo sin fin	49
Figura 13: Validación de factor de seguridad en tornillo Sin Fin.....	49
Figura 14: Análisis estático de la estructura principal del equipo.....	50
Figura 15: Dimensión de la estructura principal del equipo	51

RESUMEN

Debido a la relevancia del tema del reciclaje mediante la extrusión y la desmerecida atención en nuestra región, lo cual puede responder al desconocimiento del tema de las autoridades y empresarios, el presente trabajo de investigación busca fomentar el interés en la instrucción del reciclaje mediante el proceso de extrusión a favor del medio ambiente.

En este trabajo de investigación es descriptivo y no experimental, dado que se estudia de forma teórica los conceptos relacionados al reciclaje de plásticos PET, mediante la maquina extrusora, a fin de establecer los criterios para el diseño a nivel de ingeniería básica o justificativa para la selección de componentes y sistemas para la maquina a diseñar y modelar matemáticamente.

Se estudian los componentes de una maquina extrusora a detalle, mediante los resultados obtenidos con la aplicación de fórmulas se estima el dimensionamiento que tendrá cada componente y escoger los materiales y componentes disponibles en el mercado actual para el correcto funcionamiento y una óptima operatividad y mantenimiento para el usuario.

Se realiza la validación de los resultados obtenidos en cálculos, mediante un software especializado para determinar el comportamiento del tornillo, sometido a diferentes esfuerzos y de esta manera obtener un factor de seguridad óptimo para el sistema.

Palabras clave: Reciclaje, plásticos, extrusión, maquina.

ABSTRACT

Due to the relevance of the topic of recycling through extrusion and the undeserved attention in our region, which may be due to the lack of knowledge of the authorities and businessmen, this research work seeks to promote interest in the instruction of recycling through the extrusion process in favor of the environment.

This research work is descriptive and non-experimental, since it studies in a theoretical way the concepts related to the recycling of PET plastics, by means of the extruder machine, in order to establish the criteria for the design at the level of basic engineering or justification for the selection of components and systems for the machine to be designed and mathematically modeled.

The components of an extruder machine are studied in detail, by means of the results obtained with the application of formulas, the dimensioning of each component is estimated and the materials and components available in the current market are chosen for the correct operation and optimal operation and maintenance for the user.

The results obtained in calculations are validated by means of specialized software to determine the behavior of the screw, subjected to different stresses and thus obtain an optimum safety factor for the system.

Keywords: Recycling, plastics, extrusion, machine.

I.- INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Con el incremento poblacional la generación de residuos plásticos es una actual preocupación, pues su consumo cada vez va en aumento, el consumo de estos es directamente proporcional a la cantidad de habitantes, es decir mientras más crecimiento poblacional existe, habrá un mayor consumo de estos residuos. Según información obtenida de “SIGERSOL MUNICIPAL” la cual es una herramienta, administrada por el Ministerio del Ambiente (MINAM), la cual facilita el registro, procesamiento y difusión de la información sobre la gestión y manejo de residuos sólidos de las municipalidades. El último reporte vigente nos indica que la ciudad de Ica cuenta con una población total de 133967 habitantes, distribuidos de forma urbana 133539 y de forma rural 428; Así el distrito de Ica tiene una generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios de 0.639 (kg/hab/día). Del total de residuos sólidos del distrito de Ica el 3.62 % es el plástico PET y el 3.18% es el plástico Duro, actualmente la municipalidad de Ica cuenta con un programa de recolección selectiva en el cual participan 4382 viviendas, también se cuentan con dos organizaciones de recolectores formales “Nuevo Horizonte” y “Medalla milagrosa”.

En la encuesta para la elaboración del PIGARS-ICA año 2012, ante la pregunta de ¿Qué se hace con las botellas vacías en tu casa? El 45 % indicó que estas son botadas a la basura, el 28 % se venden, otro 25 % se regalan y otro 2% les da otro uso. Ante estos datos recogidos para el presente trabajo, se sostiene que el nivel de reciclaje aun es mínimo ante un constante crecimiento poblacional. Es por ello que formulamos la propuesta y el diseño de una maquina extrusora para fortalecer el reciclaje de tipo mecánico en la empresa Diestra S.A.C encargados del acopio de residuos sólidos del distrito de Ica.

1.2. Antecedentes de la Investigación

La presente investigación tiene como base científica y teórica los siguientes trabajos previos internacionales, nacionales y locales; dichas investigaciones han sido realizadas anteriormente y tienen relación con la problemática planteada en este estudio.

1.2.1. Antecedentes Internacionales

G. Ramos & G Lombana (2019); En su estudio presentan un sistema que permite convertir botellas y envases de plástico en filamento para impresión 3D mediante el proceso FDM. El objetivo es proporcionar a los particulares la materia prima necesaria para sus diseños, a la vez que se promueve el desarrollo tecnológico en zonas marginadas como el barrio Agua Blanca de la ciudad de Santiago de Cali. “El concepto consiste en la

implementación de dos etapas de procesamiento del material reciclado: por un lado, la etapa de trituración, cuyo objetivo es transformar los residuos plásticos en trozos más pequeños mediante un sistema de cuchillas capaz de desmenuzar los envases” [1]. Por otro lado, “está el sistema de extrusión de plástico, que utiliza el material previamente triturado para producir filamento para impresoras 3D. Este sistema implica una extrusora, guiada por un tornillo sin fin, que funde el material plástico y lo empuja a través de una boquilla para moldearlo en un diámetro estándar (1,75 mm). La regulación de la temperatura se controla mediante un controlador específico” [1].

El objetivo de este proyecto es reducir los gastos asociados a los materiales y componentes utilizados en los sistemas de impresión 3D, con el fin de hacerlos más accesibles a las personas con recursos financieros limitados. De este modo, estas personas pueden utilizar estos procesos de fabricación como un medio para producir productos con un valor adicional, y potencialmente generar dinero en efectivo a partir de ellos. El equipo se centra en la población del distrito de Agua Blanca en Cali, Colombia. Plantea la colaboración con Fundautonoma, una fundación que lleva muchos años trabajando activamente con esta comunidad. “El objetivo principal de la fundación es ofrecer alternativas a los jóvenes que residen en estos barrios y que a menudo están implicados en actividades delictivas o en bandas” [1]. Se emplearán diversos procesos de fabricación, como el corte por láser, la impresión en 3D y el termoformado, para dar vida a estos diseños. El objetivo último de esta iniciativa es permitir a los particulares comercializar estos artículos de forma independiente, adquirir competencias valiosas para su futuro empleo y crear oportunidades de emprendimiento y creación de empleo en la comunidad. “El HDPE y el PP son dos tipos de plásticos reciclados que tienen un acabado y un manejo superiores a los de otros plásticos reciclables. Estos plásticos se utilizan habitualmente en envases de detergentes, tapones de botellas y envases de alimentos. Son especialmente adecuados para obtener filamento e imprimir piezas en 3D” [1].

L. Daza (2018); Plantea “El aprovechamiento de los residuos plásticos como alternativa de gestión posibilita su reintegración en el ciclo productivo, permitiendo su utilización como materias primas valorizables” [2]. Este enfoque es significativo en términos de conservación de materias primas vírgenes y prevención de su acumulación en el medio ambiente, reduciendo así los impactos adversos que naturalmente causan. La propuesta facilita la integración de “un sistema productivo que priorice la sostenibilidad social y ambiental a nivel local. Esto se logrará mediante el aprovechamiento de los residuos plásticos generados en el municipio de Villavicencio como materia prima para la creación de un producto, basado en el entendimiento integral del ciclo de vida de los materiales plásticos” [2]. Así que “Mediante una investigación de mercado, en el municipio de Villavicencio – Meta, se analizaron los proveedores de materias primas, los productos

disponibles en el mercado y los clientes potenciales. Este análisis tenía como objetivo desarrollar estrategias de marketing para un producto propuesto y establecer proyecciones de ventas, ingresos y gastos” [2]. El objetivo final era “crear un plan de negocio para utilizar los residuos plásticos (concretamente PP, HDPE y PEB) de Villavicencio para fabricar cajas de plástico para el sector de la construcción. Al reincorporar estos residuos al ciclo de producción, nuestro objetivo era reforzar la economía de ciclo cerrado” [2].

F. Cadena, N. Carranza, A. Cazar, M. Fernandez, L. Irusta, F. Quiroz & A. Teran(2012); En su estudio de investigación proponen “el reciclado mecánico como solución viable para reutilizar la basura plástica de los invernaderos” [3]. La investigación ofrece una explicación exhaustiva de los procedimientos necesarios para este método específico de reciclado, junto con un análisis de las características mecánicas de un producto fabricado mediante extrusión y su comparación con un material de referencia. “Antes del reciclado, el material se redujo primero a una longitud de aproximadamente 3 mm utilizando un molino de cuchillas. A continuación, las piezas se lavaron utilizando agua como único agente de limpieza y se secaron en dos etapas, una de secado mecánico y otra utilizando un lecho fluidizado. El resultado de este proceso fue un contenido medio de humedad inferior al 0,5%”[3]. Tras un periodo de 24 meses, que es la vida útil prevista, “el material presentaba signos de oxidación y de desplazamiento de cargas minerales hacia la superficie. El material se sometió a extrusión a determinados perfiles de temperatura: 100 °C en la zona de alimentación, 135 °C en la zona de compresión, 150 °C en la zona de dosificación y 160 °C en la boquilla. El proceso de extrusión se llevó a cabo a una velocidad de tornillo de 30 rpm” [3].

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Triveño (2020); Realizo el diseño de una máquina extrusora que pueda procesar eficazmente plástico reciclado. Esta máquina se utilizará en la producción de paletas de plástico para la empresa "Envasadora Majes E.I.R.L.". El proyecto recibió todo el apoyo y la cooperación del director de la planta, el ingeniero César Vera, quien proporciono todos los recursos y la información necesarios. “El resultado del proyecto es un diseño detallado que cumpla con los objetivos especificados. El proyecto desarrolla un diseño de máquina que cumpla con las especificaciones mecánicas tanto de los componentes y elementos de la máquina, como del resultado final deseado, que en este caso es el palet de plástico” [4]. Para justificar el diseño de una máquina extrusora, recopiló información teórica y técnica sobre su diseño. Esta información, junto con los datos proporcionados por la empresa, se utilizó para realizar cálculos de diseño que tengan en cuenta las cargas que debe soportar la máquina y la cantidad de material con el que trabajará. Por último, “basándonos en estos cálculos, generaremos los planos del equipo. El objetivo de este

proyecto es proporcionar a Envasadora Majes E.I.R.L. un diseño de máquina que permita la extrusión del polímero adecuado para el producto final de forma sencilla. Los entregables para la empresa incluirán planos mecánicos de la máquina, información teórica exhaustiva y un análisis económico final del proyecto"[4].

Gago, Ramos & León (2013); En su estudio plantean para adquirir compuestos a base de polímeros con fines industriales y residenciales, “es necesario utilizar una extrusora. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este equipo está disponible en el mercado, pero tiene un coste elevado. Para llevar a cabo investigaciones, es necesario contar con un equipo de tamaño compacto y que pueda transportarse fácilmente. Por lo tanto, se ha diseñado y probado una extrusora de laboratorio que es portátil y barata, y que tiene la capacidad de gestionar parámetros fundamentales, con el fin de extruir polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP)” [5]. Este aparato se ha modificado para producir muestras de compuestos poliméricos utilizando Capirona (*Calycophyllum spruceanum* Be) y residuos de madera de HDPE. A continuación, “los compuestos se expusieron a radiación gamma utilizando un aparato Gammacell 220-Excel a una dosis de 100 kGy. Posteriormente, se sometieron a pruebas para medir su resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, dureza y biodegradabilidad. Los resultados se consideraron satisfactorios y servirán de base para el desarrollo de un extrusor industrial” [5].

Mamani & Talavera (2013); El estudio se realiza para abordar el importante problema de la contaminación plástica en el departamento de Puno. Se propone una solución alternativa, a saber, “la Extrusión de Plástico Reciclado. Este proceso implica la transformación de gránulos de plástico reciclado, que se introducen en una tolva y luego se dirigen a una cámara de calentamiento a través de un tornillo sin fin. A continuación, el plástico se extruye de forma continua y forzada a través de una matriz, que determina la forma final del producto” [6]. El objetivo es automatizar este proceso para aumentar la productividad y la independencia. “Para lograr la automatización, es necesario comprender las variables que intervienen en el proceso y crear un diseño adecuado. Esto nos permitirá seleccionar el controlador lógico programable que mejor se adapte a nuestras necesidades, teniendo en cuenta sus características, flexibilidad y coste. La selección de instrumentos para el proceso de extrusión de plástico reciclado se basó en un análisis de costes y beneficios” [6]. Sobre las dificultades en la investigación “Como el área actual carece de la tecnología necesaria para la automatización, adquiriremos estos instrumentos de otras áreas. Comenzaremos con la instalación, toma de medidas y realización de pruebas de los instrumentos. Además, determinaremos la forma adecuada de control, que en este caso es un control ON - OFF con histéresis, conocido por su respuesta favorable al proceso” [6]. Finalmente el proceso de extrusión de plástico reciclado “se automatizó con éxito aprovechando nuestra comprensión de las variables

clave que debían controlarse. Esto nos permitió desarrollar un sistema bien diseñado y seleccionar el PLC adecuado, concretamente el Micrologix 1100 de Allen-Bradley. Este PLC ofrece entradas y salidas analógicas, así como un software que facilita la interacción directa entre el operario y el proceso a través de un ordenador” [6].

1.2.3. Antecedentes Locales

Zanabria (2022); El objetivo principal de su investigación fue “examinar el impacto del caucho reciclado en las características del hormigón con una resistencia a la compresión de $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, específicamente para componentes no estructurales en Marcona 2022” [7]. Para ello, se evaluó el comportamiento de “los ensayos de compresión, flexión y consistencia. La metodología se estableció con un diseño de investigación experimental (cuasi), empleando un nivel explicativo y un enfoque cuantitativo” [7]. Los resultados obtenidos al incorporar caucho en diferentes porcentajes (1%, 1,5% y 2%) fueron los siguientes: “El primer objetivo pretendía determinar el efecto del caucho reciclado sobre la resistencia a la compresión. Se comprobó que la resistencia aumentaba de $177,3 \text{ kg/cm}^2$ a 186 kg/cm^2 con un 2% de caucho. - El segundo objetivo se centró en analizar el impacto del caucho reciclado sobre la resistencia a la flexión. Se observó que la resistencia se optimizó con un 2% de caucho, aumentando de $18,6 \text{ kg/cm}^2$ a $24,3 \text{ kg/cm}^2$. - El tercer objetivo pretendía evaluar la influencia del caucho en la consistencia. Se observó que la consistencia se mantenía igual con un 1% en comparación con el estándar. En conclusión, la adición de caucho mejoró las características del hormigón” [7].

1.1 Teoría Relacionada al Tema

Extrusión

El proceso de extrusión se caracteriza por el tratamiento continuo del material a través de un tornillo sinfín denominado husillo, ubicado dentro de un cilindro que culmina en una boquilla. En este sistema, los pellets son fundidos debido a la presión y la fricción generadas durante el desplazamiento. Es en el husillo donde el material fundido se homogeniza y dosifica antes de llegar a la boquilla, la cual confiere una forma longitudinal continua al producto. Mediante el cambio del dado, es posible obtener una variedad de perfiles. Para la fabricación de envases, esta boquilla o ranura genera una forma tubular conocida como preforma, similar a una manguera. Entre las ventajas y limitaciones del proceso, destaca su alta productividad y su relevancia como el método predominante en la transformación de plásticos en grandes volúmenes. La operación es relativamente sencilla, ya que, una vez definidas las condiciones operativas, la producción puede continuar sin interrupciones significativas. Además, el costo de la maquinaria resulta moderado en comparación con otros procesos como la inyección o el calandrado, y ofrece una flexibilidad notable para realizar cambios de productos sin requerir inversiones

significativas. En cuanto a sus aplicaciones, el proceso de extrusión permite la fabricación de diversos productos disponibles en el mercado, tales como películas tubulares, bolsas, láminas plásticas para distintos usos, tuberías, mangueras de jardín, mangueras para aplicaciones médicas, perfiles, envases médicos, recipientes para ampollitas, botellas de aceite, botellas de gaseosa, envases para condimentos, garrafones de agua, juguetes, contenedores de gran capacidad para agua u otras sustancias, envases para alimentos, recipientes para reactivos y sustancias corrosivas, así como tanques para gasolina. Cabe destacar que este método se posiciona como el más importante en términos de volumen de plástico procesado. En Sudamérica, aproximadamente el 60 % del plástico transformado se obtiene mediante el proceso de extrusión.

El procedimiento de extrusión consiste en forzar el paso de un plástico o material fundido a través de una boquilla o dado, mediante la aplicación de presión. Este método, ampliamente empleado en la industria, tiene antecedentes en el procesamiento de metales como el aluminio, que adquieren fluidez plástica cuando son sometidos a presión de deformación. Inicialmente, para la extrusión de polímeros, se utilizaban máquinas impulsadas por un ariete o empujador mecánico. Sin embargo, los avances tecnológicos han llevado al uso de tornillos, los cuales permiten el desplazamiento del polímero en estado fundido o gomoso a lo largo de la camisa de la máquina. En la actualidad, el extrusor de tornillo simple es el dispositivo más común, aunque los extrusores de tornillos gemelos se emplean en casos donde se requieren mezclas más homogéneas o condiciones de transporte más estrictas para el material fundido. Este sistema se basa en un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de un cilindro, dejando un espacio mínimo que permite su rotación. El polímero sólido se alimenta en un extremo del equipo, mientras que en el otro extremo se obtiene el material extruido, ya conformado con el perfil deseado. Durante el proceso, el polímero se funde y homogeniza dentro de la máquina, lo que garantiza la uniformidad del producto final. La extrusión es ampliamente utilizada en la industria del plástico para la producción de materiales termoplásticos con secciones transversales constantes y de longitud continua, como perfiles, tuberías, mangueras, fibras y películas. Este método es esencial en la fabricación de productos que demandan precisión y alta eficiencia en el moldeado.

Respecto a la máquina de extrusión: Esta máquina tiene como función principal fundir polietileno y transformarlo en una película plástica que servirá como base para la fabricación de bolsas. Su funcionamiento inicia con la introducción del material en un embudo, desde donde este pasa a un tubo que contiene un tornillo sin fin en movimiento. Este tornillo tritura y procesa el polietileno, sometiéndolo a temperaturas elevadas, aproximadamente 200 grados Celsius, aunque esta cifra puede variar dependiendo de las condiciones ambientales, ya que el rendimiento del proceso difiere entre el día y la noche.

A estas temperaturas, el material se homogeniza completamente. En el extremo del tubo se encuentra una salida equipada con un molde en forma de corona, conocido como dado, el cual da origen a una burbuja de polietileno. Estos moldes, disponibles en diferentes tamaños, determinan el ancho de la burbuja producida y se seleccionan según el tipo de polietileno que se esté procesando. Es importante mencionar que el polietileno fundido que emerge del cañón se encuentra a una temperatura considerablemente alta, por lo que es esencial que los operarios utilicen equipos de protección adecuados para evitar quemaduras graves. La burbuja generada se eleva gracias a una corriente de aire, y su altura es un factor crítico en la calidad del producto final. Una vez elevada, la burbuja es aplanada mediante dos rodillos situados en la parte superior de la máquina. Posteriormente, la película plástica desciende hacia un sistema de embobinado, donde se enrolla para formar una bobina. Esta bobina ya posee el ancho y calibre específicos para la producción de bolsas plásticas, cumpliendo con los estándares requeridos en el proceso.

Algunos autores sobre la extrusión:

Sadao Kobayashi es reconocido principalmente por su trabajo en el diseño y la ingeniería de dados de extrusión para plásticos y caucho. Su libro "Extrusion Dies for Plastics and Rubber: Design and Engineering Calculations"[8]. es una referencia importante en el campo de la extrusión. Diseño de Dados de Extrusión: Kobayashi explora en detalle los principios y técnicas de diseño de dados de extrusión. Esto incluye cómo diseñar matrices que controlen de manera efectiva el flujo del material fundido para producir productos plásticos y de caucho con formas y dimensiones precisas. El libro proporciona cálculos y métodos de ingeniería para optimizar el diseño de dados de extrusión. Esto puede abarcar desde aspectos básicos como la geometría del dado hasta consideraciones avanzadas como la distribución de temperatura y la fluidodinámica del proceso de extrusión. Kobayashi aborda aplicaciones prácticas del diseño de dados en diversas industrias, destacando cómo los ingenieros pueden aplicar sus principios para mejorar la eficiencia y la calidad en la producción de componentes extruidos.

"Extrusion of Plastics"[8]. es un libro escrito por James L. Throne que aborda los principios fundamentales y las aplicaciones prácticas del proceso de extrusión de plásticos. El libro comienza proporcionando una introducción detallada al proceso de extrusión. Explica cómo funciona este proceso industrial y qué tipos de productos se pueden fabricar mediante extrusión de plásticos. Throne discute los principios físicos subyacentes en la extrusión, incluyendo aspectos como el comportamiento del material fundido, la viscosidad, la presión y la temperatura. Estos principios son fundamentales para comprender cómo controlar y optimizar el proceso de extrusión. Se exploran los diferentes tipos de equipos utilizados en la extrusión de plásticos, como los tornillos de extrusión, los dados (matrices), las unidades de alimentación y los sistemas de control. También se abordan los materiales

de construcción y las tecnologías avanzadas que mejoran la eficiencia y precisión del proceso. El libro cubre diversos tipos de extrusión, como la extrusión directa, la coextrusión y la extrusión en caliente, entre otros. Se examinan las aplicaciones específicas de cada tipo de extrusión en diferentes industrias, como la automotriz, la construcción, el embalaje y la electrónica. Throne dedica secciones importantes a discutir cómo se controla y asegura la calidad del producto en el proceso de extrusión. Esto incluye la importancia de la temperatura y la presión, así como las técnicas de medición y prueba para garantizar que los productos cumplan con los estándares requeridos.

Reciclaje de residuos plásticos

Ramos (2015) nos dice sobre el particular: El reciclaje mecánico se fundamenta en los procesos de trituración, calentamiento y extrusión para convertir plásticos en nuevos productos. Un aspecto crucial de este método es la adecuada separación de los diferentes tipos de polímeros, ya que el procesamiento de materiales mezclados genera un producto reciclado de calidad inferior, restringiendo significativamente sus posibles aplicaciones. Por esta razón, el reciclaje mecánico resulta especialmente adecuado para residuos plásticos que presentan un bajo nivel de contaminación, como los provenientes de embalajes, donde los materiales suelen estar más uniformes y limpios. El reciclaje mecánico de mezclas de residuos comienza con un proceso de segregación manual. Esta etapa implica elevados costos y no siempre es atendido con el grado de eficiencia, necesario para satisfacer los objetivos de calidad pretendidos. Para garantizar un procesamiento eficiente de plásticos, es fundamental separar los materiales según sus características comunes. En particular, es crucial diferenciar los plásticos como el polietileno de baja densidad (PEBD) y el polietileno de alta densidad (PEAD) de otros similares, como el polipropileno (PP). La mezcla de estos polímeros resulta altamente perjudicial en procesos posteriores, como la inyección o extrusión, debido a la incompatibilidad química entre ellos. Además de la segregación adecuada, el proceso de aglomeración requiere condiciones específicas: los materiales no deben tener un alto contenido de humedad ni estar conformados por láminas de gran tamaño. Por ello, en el caso de materiales como el **Stretch Film**, es necesario realizar un corte previo antes de proceder con la aglomeración y la peletización del plástico. En la empresa analizada, aunque no se realiza un proceso de lavado de plástico, se logra reciclar una proporción significativa de material segregado, ya que las láminas de polietileno generalmente presentan humedad elevada y solo trazas menores de grasa o residuos orgánicos.

De acuerdo con Becerra (2019), en Perú, según el Informe del Diagnóstico de los Residuos Sólidos y el Programa de Segregación en la Fuente (reciclaje formal), en 2012 participaron 205 municipalidades, logrando recuperar un promedio de 9,020 toneladas de residuos reciclables al mes. Esta cifra corresponde aproximadamente al 9 % de los residuos reciclables, equivalente a una tasa de reciclaje del 1.5 % del total de residuos sólidos municipales (MINAM, NEFCO, NORDCN, 2013). En cuanto al destino final de los residuos plásticos, muchos terminan siendo incinerados, lo que genera emisiones contaminantes como NOX, SOX y COX. No obstante, el procesamiento a una temperatura controlada de 90°C permite que los residuos plásticos adquieran flexibilidad, plasticidad y adherencia, facilitando su mezcla, moldeo y compactación sin generar dichas emisiones. Este enfoque convierte el conformado artesanal en una alternativa viable para el manejo y reducción de residuos sólidos plásticos (RSP), promoviendo una gestión más sostenible y amigable con el medio ambiente.

Finalmente Espinoza (2009); Sobre la problemática con el reciclaje de residuos plásticos enfrenta diversos desafíos debido a la amplia variedad de plásticos disponibles en el mercado, que supera los 3,000 productos distintos. Solo es posible recuperar los más comunes y bajo la condición de que puedan ser completamente separados por tipo de material. Sin embargo, un reciclaje completo no es factible, ya que el producto reciclado generalmente presenta una calidad inferior al original, un fenómeno conocido como **downcycling**. Por esta razón, el reciclaje de plásticos no puede repetirse indefinidamente, debido a la degradación progresiva de sus propiedades. El 90 % de los plásticos domésticos corresponde a las categorías PP, PE, PS y PVC, aunque la adición de químicos como suavizantes, colorantes, estabilizadores y ablandadores modifica sus propiedades, haciendo que productos fabricados con el mismo tipo de plástico puedan presentar características diferentes. Esto afecta directamente la calidad del producto reciclado. Además, ciertos embalajes plásticos reaccionan con los materiales que contienen, lo que puede llevar a contaminaciones persistentes. Por ejemplo, un recipiente que haya contenido químicos agrícolas retendrá trazas de dichos productos, lo que podría transferirse al plástico reciclado. Por lo tanto, es crucial clasificar los plásticos no solo por tipo de material, sino también por su uso anterior y procedencia. Para promover una gestión integral de los desechos sólidos, se recomienda capacitar a la población sobre la adecuada segregación de plásticos. Sin embargo, el enfoque más efectivo para reducir la contaminación ambiental y los riesgos para la salud es minimizar el consumo de plásticos. Alternativas como el uso de bolsas reutilizables en lugar de bolsas de plástico desechables son un ejemplo práctico. Asimismo, es importante fomentar la preferencia por productos con embalajes mínimos en lugar de aquellos con envolturas excesivas o vistosas.

En cuanto a los envases de plástico para bebidas y alimentos, existen limitaciones adicionales. Muchas veces no se recuperan debido a la falta de un mercado viable en el país y, en los casos en que son reciclados, no deben reutilizarse para fabricar recipientes de alimentos por razones de higiene. Aunque los envases de plástico tienen ventajas significativas en términos de peso y eficiencia energética para el transporte a largas distancias, estas ventajas disminuyen cuando se trata de mercados locales, donde la distancia entre el productor y el consumidor es reducida. Por ejemplo, mientras una carga de 10 toneladas de bebidas en recipientes de plástico incluye solo 400 kg de empaque y 9,600 kg de producto, la misma carga en vidrio implica 3,700 kg de empaque y solo 6,300 kg de bebida, incrementando los costos y el impacto energético asociado al transporte. En conclusión, aunque el plástico ofrece beneficios logísticos importantes, su impacto ambiental y las dificultades inherentes a su reciclaje hacen indispensable promover estrategias de consumo responsable, minimizar su uso y mejorar los sistemas de gestión de residuos plásticos en cada localidad

Plásticos

Encontramos dos grandes grupos en los que se pueden clasificar, los cuales definiremos como Termoplásticos y termoestables.

Plásticos Termoplásticos

Plásticos óptimos para el reciclaje ya sean derretidos llegando a su forma líquida para moldeados y luego enfriados según sea el caso y se puede repetir el proceso múltiples veces.

Plásticos Termoestables

Estos tipos de plásticos tienen una nula capacidad de reciclaje, ya que al fabricarse han pasado por un proceso químico irreversible de un estado líquido viscoso a un estado sólido.

Tipos de plásticos termoplásticos para el reciclaje

Según la clasificación de la Sociedad de las Industrias Plásticas SPI (siglas en inglés), existen 07 categorías diferenciados por sus nombres, símbolos y claves respectivamente.

Conforme la numeración de la clave aumenta, también aumenta de manera directa la dificultad para su proceso de reciclaje.



Fig. 1 Tipos de plásticos termoplásticos para el reciclaje

Plásticos PET

Poliétileno tereftalato de tipo termoplástico, 100 % reciclable y de mayor uso industrial para la fabricación de envases.

Plásticos PEAD

Poliétileno de alta densidad de tipo termoplástico, también utilizado para fabricación de envases y otras aplicaciones

Plásticos PVC

Policloruro de Vinilo de tipo termoplástico, utilizado en conductores para aislamiento de cables eléctricos, tarjetas de crédito, estructuras plásticas entre otros.

Plásticos PEBD

Poliétileno de baja Densidad de tipo termoplástico, utilizados en sacos y bolsas plásticas, stretch film, tubos y tuberías entre otros.

Plásticos PP

Polipropileno de tipo termoplástico, utilizados en implementos automotrices, empaques de alimentos, equipos de laboratorios entre otros.

Plásticos PS

Poliestireno de tipo termoplástico, denominado comúnmente como vidrio plástico, utilizado en implementos de cocina, contenedores plásticos, cintas de grabación entre otros.

Otros plásticos

Existe una diversidad de tipo termoplástico, actualmente existe una tendencia en las naciones de primer mundo a reducir su uso de estos.

Reciclaje

Proceso que reduce un residuo en su ciclo de producción con el objetivo de la reutilización a materia prima para la elaboración de nuevos objetos, el reciclaje abarca a residuos sólidos

como el plástico, el cartón y vidrios. Con el claro objetivo de reducir los impactos de contaminación ambiental.

Proceso de reciclaje del plástico

El proceso del reciclaje de plásticos está basado en 03 importantes etapas, cada una consecutiva a la otra y estas son: la recolección, el acopio y la clasificación

Recolección

Inicia con la recolección de los residuos sólidos, según el programa de la localidad para el levantamiento de estos, en este punto es fundamental la participación de la ciudadanía, facilitando la tarea del reciclaje al momento de separarlos en sus hogares de forma diferenciada entre residuos orgánicos e inorgánicos

Acopio

Es el lugar donde deben terminar los residuos plásticos, después de la etapa anterior para que estos sean almacenados.

Clasificación

Después de su almacenamiento de los residuos plásticos, estos deben ser clasificados por su tipo de plástico y color, este proceso generalmente es de forma manual.

Tipos de reciclajes de residuos plásticos

Podemos diferenciar 03 tipos de reciclaje los cuales definiremos como Reciclaje Químico, Reciclaje Energético y Reciclaje Mecánico.

Reciclaje Químico

El reciclaje químico está basado en reacciones químicas que implican cambios en la estructura química del material. Este tipo de reciclaje no requiere otros tipos de procesos como separado y lavado del residuo plástico. A partir de este tipo de reciclaje se obtiene el plástico como materia prima virgen que sirve también para la fabricación de otro tipo de material con distintas características. Existen distintos tipos de reciclado químico, siendo los más importantes los siguientes: Pirolisis, hidrolisis, gasificación, quimiolisis, disolventes y metanolisis. Entre sus ventajas del reciclaje químico, no se necesita que los residuos pasen por el trabajo de limpieza y separación de los polímeros; Permite recuperar cualquier tipo de material termoplástico y producirlo en materia prima de calidad, sin importar el uso que ha tenido ni su origen. Las desventajas para que resulte económico se requiere de grandes volúmenes de residuos plásticos y al emplearse distintos químicos para cada proceso respectivo, este conlleva impacto ambiental, ya que en los procesos también se generan gases de tipo invernadero.

Reciclaje Energético

Este tipo de reciclaje tiene esta denominación por su alternativa de aprovechamiento energético a partir de los residuos plásticos. Mediante este proceso se transforman los residuos plásticos en gases de combustión, escorias y cenizas. Los cuales son aprovechados

por su significativo poder calorífico, permitiendo así la recuperación energética de los residuos plásticos, todo esto debe estar bajo estrictos parámetros ambientales; Las ventajas se obtiene vapor o electricidad a partir de la energía térmica de los residuos plásticos; Permiten una gran cantidad de reducción de volumen y peso de los residuos plásticos; Se pueden procesar casi la mayoría de tipos de residuos plásticos. Mientras que en las desventajas encontramos que se requiere de elevada inversión económica inicial; Poca aceptación social, por la emanación de CO₂ en contra del medio ambiente.

Reciclaje Mecánico

Alternativa de reciclaje más desarrollada para la recuperación de residuos plásticos, necesariamente tiene que cumplir las etapas de separación, molienda y de lavado del residuo plástico, en la elaboración de productos por inyección o extrusión no necesariamente deben convertirse en pellets. Se tiene el ciclo de reciclaje mecánico manual donde se da: Separación manual, trituración, lavado y secado del plástico, molienda, extrusión y la obtención de granzas o pellets; Por otro reciclaje mecánico automático se da: Separación manual, molienda primaria, lavado de contaminantes por gravedad, molienda secundaria o fina, silo de homogenización, segundo lavado de plásticos y secado por centrifugación, silo de homogenización, extrusión y la obtención granzas o pellets.

Las ventajas de este tipo de reciclaje son: Genera fuentes de empleo en la cadena del reciclado; Muy bajo impacto ambiental e inversión económicamente mediana, por los costos de los equipos. Mientras que las desventaja principal es la toma más tiempo por las etapas de separación y lavado.

Proceso de extrusión

Es un proceso continuo, dado que en todo momento de trabajo en condiciones normales un equipo de extrusión genera productos inalterables y constantes en cualquier punto de su longitud. Este proceso se inicia sometiendo a presión el residuo plástico mediante un tornillo sin fin el cual está ubicado en el interior de un cilindro a temperatura, de esta forma el residuo sólido se funde por las temperaturas del cilindro generadas por resistencias eléctricas, como también por la fricción del husillo o tornillo sin fin, después de esto atraviesa una placa con agujeros denominada matriz dado. Los residuos plásticos, inician el proceso de extrusión de forma sólida, la máquina de extrusión son quienes realizan la fundición y homogenización.

Maquina extrusora

Es un equipo mecánico idóneo para la industria del reciclaje, ya que no se requiere de altos costos para el diseño y fabricación de una de estas máquinas, valorado también su alta aceptación social por su casi nula contaminación ambiental. El diseño de esta máquina parte extrusora se inicia considerando el tipo de material a trabajar, el proceso que realizara y la forma final del producto que se desea obtener, la cual generalmente se encuentra

integrada por las siguientes partes: tolva, cilindro de husillos, husillo, moto reductor y el motor eléctrico. La máquina extrusora desarrolla sus funciones basado principalmente en el material a procesar, estas funciones son : Recibir y recopilar el polímero, trasladar el polímero, calentamiento y compresión del polímero, homogenización del polímero, generar la presión requerida para la obtención de nuestro producto final.

Tolva

Contenedor por donde se insertan los residuos plásticos, el transporte del material se producto de la gravedad, el diseño de la tolva debe permitir contener un volumen de residuos plásticos para 02 horas de trabajo, como también favorecer el flujo de estos. En resumen su función es recibir el material e ingresarlo hacia el husillo.

Cilindro de Husillo

Es donde se encuentra ubicado el husillo o tornillo de extrusión, así formando un espacio de fusión y bombeo de la máquina, este cilindro está diseñado con aceros altamente resistentes y con revestimiento bimetálicos, con el objetivo de obtener larga durabilidad, excelente transferencia de calor, su sistema de transferencia de calor es quien proporciona la temperatura mediante resistencias eléctricas, como también posee un sistema de enfriamiento.

Husillo

Denominado también tornillo de extrusión el cual es un cilindro largo con filete helicoidal, este es el componente principal de la máquina de extrusión, pues en la sección de este tornillo se transporta, se calienta y se funde a cierta temperatura, así homogenizando los residuos plásticos, los tipos y la forma de selección y diseño de este componente lo veremos a detalle en el desarrollo del presente trabajo.

Moto Reductor

Componente que reduce las velocidades del husillo, así evitando el transporte acelerado, buscando la eficiencia de nuestro producto final.

Motor Eléctrico

Componente que suministra energía requerida para que el equipo entre en funcionamiento, operados con voltajes de 220 v o 440 v, ensamblados al moto reductor y luego al husillo.

1.4 Formulación del problema

1.4.1. Problema general:

PG1: ¿Cómo plantear la implementación de un diseño de extrusión para el procesamiento de residuos plásticos (pet) de la empresa Diestra S.A.C?

1.4.2. Problemas Específicos

PE1.- ¿Cuál debe de ser el diseño necesario para que se cumpla el proceso de extrusión?

PE2.- ¿Cómo realizar los cálculos de diseño para la selección de componentes eléctricos y mecánicos, necesario para una máquina extrusora?

1.5 Justificación e importancia de la investigación

1.5.1 Justificación

El presente trabajo tiene por finalidad incrementar el % de aprovechamiento de los residuos plásticos del distrito de Ica, mediante un proceso de transformación como es la extrusión, por sus bondades económicas y ambientales. De esta forma evitar que estos residuos plásticos aprovechables terminen en los botaderos ubicados alrededor de la ciudad donde se puede tardar un promedio de 1000 años en degradarse, siendo este perjudicial para el impacto ambiental de nuestra ciudad, esto supone nuevos retos tanto a las directivas municipales, como a la gerencia de la empresa Diestra S.A.C, el poder implementar un sistema eficiente para el re uso de estos residuos plásticos, como es el reciclaje mecánico de extrusión.

El actual ritmo de vida de cada habitante de nuestra ciudad viene afectado el medio ambiente de nuestra localidad, considerando que solo 4382 hogares iqueños practican el reciclaje selectivo de plásticos, esto es un alarmante indicador del nivel de concientización de nuestra sociedad sobre el impacto medio ambiental, es por ello que se requiere de esfuerzos extras el poder realizar una selección de residuos sólidos, separando los plásticos y poder procesar mediante un equipo extrusor estos residuos plásticos, fomentando las tecnologías a favor del trabajo ecológico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Plantear el diseño de extrusión para procesamiento de residuos plásticos (pet) de la empresa Diestra S.A.C.

1.3.2 Objetivos específicos

OE1: Establecer un diseño que pueda cumplir el proceso de extrusión de residuos plásticos (Pet) de la empresa Diestra S.A.C.

OE2: Realizar los cálculos de diseño para la selección de componentes eléctricos y mecánicos, necesario para una máquina extrusora.

1.4 Hipótesis y variables de la investigación

1.4.1 Hipótesis

Hipótesis general:

Con el diseño extrusión se podrá realizar el procesamiento de residuos plásticos (Pet) de la empresa Diestra S.A.C.

Hipótesis específicas:

HE1: Se encontrará la mejor solución de diseño para la maquina de extrusión de residuos plásticos (Pet) de la empresa Diestra S.A.C.

HE2: La maquina extrusora diseñada podrá funcionar correctamente, debido a la justificación de los cálculos de diseño en la selección de componentes.

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA.

2.1. Diseño de la investigación.

Para la presente investigación se elegirá el diseño descriptivo simple, ya que se basa en recoger información actualizada sobre diseño de extrusión.



Fig. 2 Diseño de la investigación

M = muestra u objeto en que se realizara el estudio.

O = observación de la muestra.

2.1.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo básico por que se orienta a la profundización y clarificación de la información antes estudiada aplicando nuevos conocimientos

2.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es exploratorio porque existe la necesidad de familiarizarse con fenómenos relativamente desconocidos debido a que el tema diseño de maquina extrusora llegara a los cálculos justificativos de los elementos que lo componen.

2.2. Variables, Operacionalización.

2.2.1. Del Problema General

Variable Independiente: Diseño de extrusión

El proceso de extrusión consiste en forzar un plástico o material fundido a pasar de manera continua a través de una matriz o boquilla, aplicando presión. Una vez que el material conformado emerge, es recogido por un sistema de arrastre con velocidad regulable, el cual determina sus dimensiones finales mientras se enfría y adquiere la consistencia necesaria para su manipulación. Originalmente, este procedimiento fue utilizado para metales que, al ser sometidos a presiones de deformación, adquirirían fluidez plástica. En las primeras aplicaciones de extrusión para polímeros, se empleaban máquinas impulsadas por un ariete o empujador mecánico. Sin embargo, en los procesos modernos, se han sustituido estos dispositivos por sistemas de tornillos, que permiten transportar el polímero fundido a lo largo de la camisa de la máquina de manera más eficiente y controlada.

Las máquinas de extrusión están compuestas por un cilindro en cuyo interior se encuentra un tornillo que, al girar, recoge el material desde la tolva de alimentación. Este tornillo impulsa el material a lo largo del cilindro, sometiéndolo a esfuerzos significativos de cizalla mientras lo comprime y dosifica. El material es dirigido a través de un plato rompedor antes de pasar a la boquilla. Durante este proceso, el movimiento relativo entre el tornillo y el

cilindro asegura una mezcla homogénea del material, que se calienta tanto por la energía disipada debido a los esfuerzos cortantes como por el calor aplicado al cilindro. El material, almacenado inicialmente en forma de gránulos en la tolva de alimentación, desciende por gravedad hacia el extrusor. Este componente está formado por un tornillo de Arquímedes ajustado con precisión dentro de una camisa cilíndrica, dejando solo el espacio necesario para su rotación. A medida que el tornillo transporta el material, el polímero se funde y homogeniza, adquiriendo las propiedades necesarias para su conformado. El polímero fundido fluye a través de la matriz o boquilla, y el dispositivo de arrastre lo recoge ya perfilado. Este sistema permite obtener productos con dimensiones precisas y consistencia uniforme. El tipo de máquina más utilizado en la industria es la de tornillo simple, debido a su eficiencia y versatilidad en diversas aplicaciones. El cual se plantea en el presente trabajo.

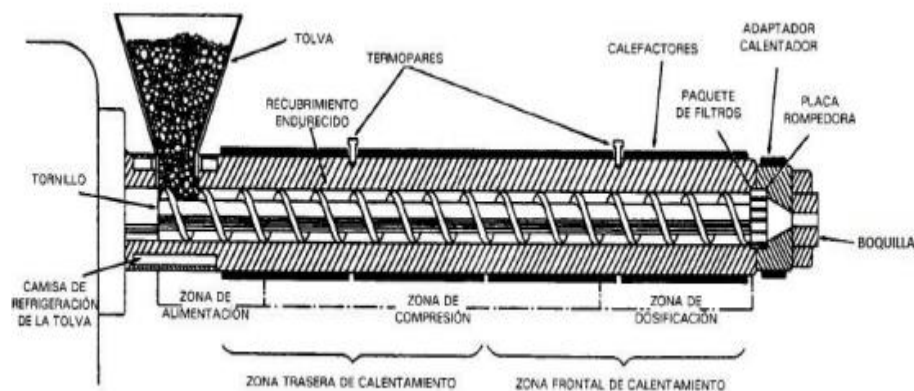


Fig. 3 Diseño de extrusión de tornillo simple

Variable Dependiente: Residuos plásticos (pet)

El PET, un polímero termoplástico derivado de la polimerización del etilenglicol con ácido tereftálico, ha sido ampliamente utilizado en la industria del envase desde la década de 1990. Su popularidad radica en las ventajas que ofrece, como la versatilidad en formas y colores, así como su bajo peso, características que lo convierten en una opción ideal para embalaje y envasado. En la actualidad, el reciclaje mecánico es el método más común para reutilizar el PET, aunque enfrenta desafíos debido a las impurezas presentes en materiales reciclados, como botellas con etiquetas y pinturas adheridas. Para que el PET reciclado sea apto para aplicaciones en contacto directo con alimentos, se emplea la técnica de coextrusión. Este proceso consiste en encapsular una capa de PET reciclado entre dos capas de PET virgen, lo que garantiza un aislamiento efectivo. Los envases producidos mediante esta técnica deben someterse a estrictas pruebas de calidad para asegurar que no ocurran migraciones de componentes del material reciclado hacia los alimentos, garantizando así la seguridad del consumidor y el cumplimiento de las normativas sanitarias.



Fig. 4 Envases de plástico (pet).

2.2.2. De las Dimensiones

Variable Independiente

Capacidad de producción: Kg/hora

Velocidad de producción diseñada: mts/min.

Modelo – mecanismo principal: Tornillo simple

Alimentación: Tolva.

Potencia del motor principal: Kw.

Calidad

Puede definirse como el conjunto de características que posee un producto o servicio obtenidos en un sistema productivo. El concepto de calidad sufre una evolución importante, pasando de la simple idea de realizar una verificación de calidad, a tratar de generar la calidad desde sus orígenes. (Cuatrecasas, 2012).

2.3. Población y muestra

Población

Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p. 174).

De acuerdo a las variables consideradas para el presente trabajo de investigación, la población está definida la maquina de extrusión.

Muestra

Subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de ésta” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p. 173).

Es así que, en la presente investigación, la muestra será tomada por el diseño obtenido como resultado del modelado y cálculos de una maquina de extrusión.

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

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

De acuerdo a la metodología adoptada para el trabajo de investigación, utilizaremos la recolección de datos, basada en la revisión de registros existente de diseño de equipos de extrusión.

2.4.2. Metodología para la elección del diseño de la maquina extrusora.

Se realizara la selección del diseño basados en tablas comparativas que permitirán exponer las bondades y debilidades de cada modelo a fin de escoger la mas optima para el presente proyecto de investigación.

Es una máquina con la capacidad de extruir cualquier termoplástico. Se establece que, de acuerdo al diámetro y longitud del tornillo, las extrusoras más comunes son aquellas con diámetros de tornillos de 25 -200 mm.

Tabla I Caudales por sección lisa y acanalada para polietileno de baja densidad.

Diámetro del cilindro	Zona de alimentación lisa		Zona de alimentación acanalada	
	Caudal/Revolución	Caudal	Caudal/Revolución	Caudal
mm	<i>Kg / h.min⁻¹</i>	<i>kg / h</i>	<i>kg / h</i>	<i>kg / h</i>
60	0.6 a 0.7	140	0.9 a 1	220
90	1.7 a 1.9	300	2.6 a 2.8	450
120	3.2 a 4.2	470	5 a 5.2	650
150	7 a 8	760	8 a 8.5	840
200	15 a 17	1200	18 a 20	1500

Tabla II Caudales de extrusión por sección lisa y acanalada

Diámetro del cilindro	Zona de alimentación lisa		Zona de alimentación acanalada	
	Caudal/Revolución	Caudal	Caudal/revolución	Caudal
mm	<i>Kg / h.min⁻¹</i>	<i>kg / h</i>	<i>kg / h</i>	<i>kg / h</i>
60	0.6 a 0.7	140	0.9 a 1	220
90	1.7 a 1.9	300	2.6 a 2.8	450
120	3.2 a 4.2	470	5 a 5.2	650
150	7 a 8	760	8 a 8.5	840
200	15 a 17	1200	18 a 20	1500

Extrusora de tornillo simple

Es el dispositivo más utilizado en la industria de proceso de alimentos y extrusión de termoplásticos. Las principales etapas que existen para estos equipos, desde la alimentación hasta la salida por el dado del material están descritas en la figura 8, las cuales son:

- Zona de alimentación: Es donde ocurre el transporte de la materia prima y comienza a elevarse la temperatura.
- Zona de compresión: La materia prima es comprimida y sujeta a fricción y esfuerzos cortantes, logrando una fusión efectiva.
- Zona de distribución: En esta zona se homogeniza el material fundido y se mezcla.
- Zona de mezcla: esta zona no es muy frecuente ya que puede causar degradación del polímero.

Tabla III ventajas/desventajas maquina de extrusión de tornillo simple.

Ventajas	Desventajas
Mayor calidad de extrusión.	Velocidad limitada de dosificación.
Menor costo de producción.	Menor capacidad de mezclado.

Extrusora de doble tornillo

Estos mecanismos tienen mayor empuje, elevando los esfuerzos cortantes, aumentando la velocidad de flujo y mezclado intensivo. Este proceso para algunos materiales es demasiado agresivo ya que se puede degradar los pigmentos. Esta configuración de tornillos tiene una mayor dependencia de la viscosidad del material, aunque menor que en los de husillo simple

Tabla IV ventajas/desventajas maquina de extrusión de doble tornillo

Ventajas	Desventajas
Notable capacidad de, mezcla	Construcción más compleja.
Alto nivel de flexibilidad de procesos	Mayor costo de fabricación.
Mayor transferencia de calor por convección	

Selección de alternativa para maquina extrusora

Para generar un intervalo de valorización que permita comparar los detalles que genera la instalación y fabricación, se define numéricamente dependiendo a su factor de importancia como se visualiza.

Tabla V Ponderación para selección de alternativa de maquina extrusora.

Ítem.	Criterio de ponderación	Factor de importancia	de Alternativa ideal	Evaluación			
				Alternativa ideal ponderada	Extrusora simple	Extrusora doble	
1	Costo	0.9	10	9	8	6	
2	Capacidad de extrusión	0.9	10	9	7	9	
3	Tiempo de fabricación	0.8	10	8	9	7	
4	Facilidad de montaje	0.8	10	8	9	8	
5	Mantenimiento	0.9	10	9	8	7	
6	Disponibilidad de repuestos	0.9	10	9	9	7	
7	Operatividad	0.9	10	9	8	8	
TOTAL			90	61	58	52	

Como se observa en la tabla V, después de la asignación respectiva de la ponderación para los modelos de extrusoras, la extrusora simple es la que mas se acerca a la alternativa ideal ponderada; Se llega a la conclusión que la mejor opción es la extrusora de husillo simple debido a su costo de fabricación facilidad de montaje y mantenimiento.

2.4.3. Validación y confiabilidad del instrumento

la validación de los resultados obtenidos en cálculos, se realizara mediante un software especializado para determinar el comportamiento del tornillo, sometido a diferentes esfuerzos y de esta manera obtener un factor de seguridad óptimo para el sistema; quedando a disputa del juicio de los expertos.

III RESULTADOS

3.1 Aspectos Generales

3.1.1 Descripción general

En esta sección se abordan las fórmulas fundamentales para el diseño de un tornillo de extrusión, junto con el análisis de los componentes que conforman una extrusora de tornillo simple destinada a la inyección de polímeros. Se examina el comportamiento mecánico, térmico y de control durante la transformación del polímero, considerando la adición de calor como principal mecanismo de procesamiento. A partir de los resultados obtenidos mediante las fórmulas aplicadas, se determina el dimensionamiento de cada elemento del sistema, lo que incluye la selección de materiales y componentes disponibles en el mercado actual. Este enfoque busca garantizar un funcionamiento eficiente, una operatividad óptima y un mantenimiento adecuado para el usuario final. Para iniciar los cálculos, se considera un flujo másico de producción de 5 kg/h y un diámetro nominal del tornillo de 30 mm. Estos parámetros iniciales permiten establecer las condiciones de diseño necesarias para desarrollar un equipo que cumpla con los requerimientos específicos del proceso y ofrezca un rendimiento confiable y sostenible.

3.2. Desarrollo del diseño de una maquina extrusora.

3.2.1. Diseño del tornillo extrusor o sinfín

Todos los tornillos están compuestos de una serie de partes que se especifican en la figura y tabla a continuación:

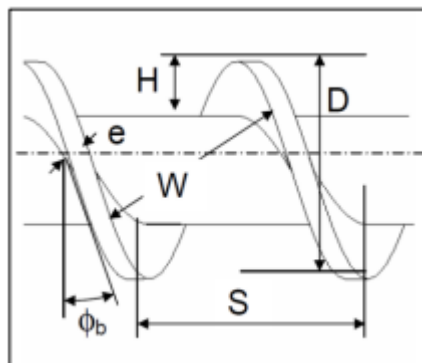


Fig. 5 Partes de tornillo sinfín

Siendo; e = espesor de filete; D = Diámetro nominal del tornillo, S = Paso diametral, H = Altura de filete, ϕ_b = Angulo de paso; W = ancho de canal.

Diámetro del tornillo sinfín

Se determinara mediante la ecuación de flujo volumétrico de dosificación

$$D = \left(\frac{\dot{V}}{7.291 \times 10^{-3}} \right)^{1/1.774}$$

Relación L/D

Usualmente en la transformación de plástico se trabaja con la relación de 20 a 25: 1, correspondiendo la relación que se seleccione la longitud cambiara, ejemplo usando una relación de 24:1 la longitud seria:

$$L = 24. D$$

Angulo de hélice ϕ_β

Se calcula teniendo en cuenta la espira del tornillo, conforme a la siguiente imagen se obtiene el ángulo de la hélice.

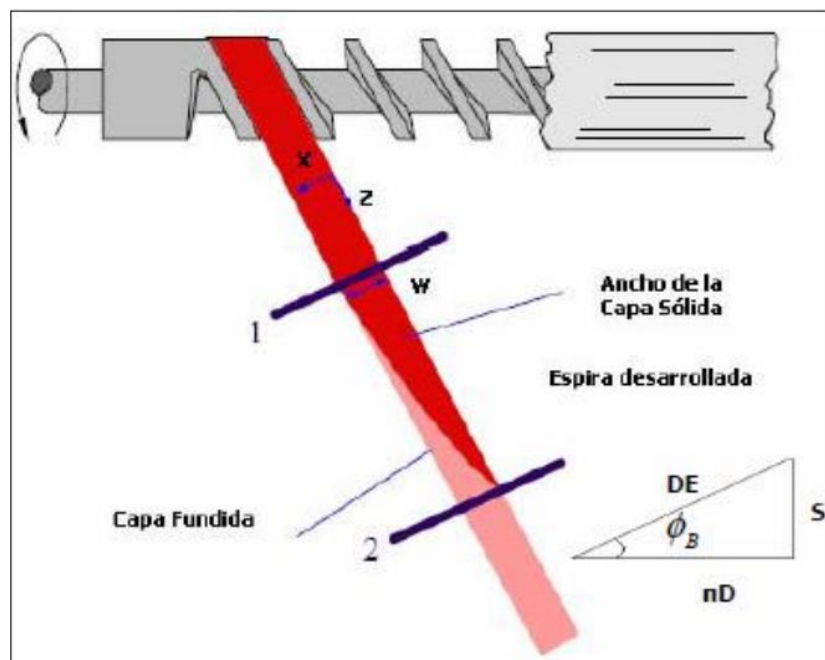


Fig. 6 Calculo de ángulo de hélice del tornillo

Donde: DE = Desarrollo de la espira; πD = el perímetro; Entonces se define el ángulo de la hélice con la siguiente formula.

$$\phi_\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{S}{\pi D}\right)$$

Paso del husillo (t)

Distancia existente de cresta a cresta en la hélice del tornillo, se define con la siguiente formula:

$$t = \pi \cdot D \cdot \tan \phi_{\beta}$$

Ancho del canal (w)

Es la medida de un punto identificado del filete al siguiente, se define con la siguiente formula:

$$W = (S \cdot \cos \phi_{\beta}) - e$$

Altura del filete

Definiremos la altura máxima como H_{max} ; el cual no debe superar en la alimentación, según lo estipulado a continuación.

$$H_{max} = 0.2 \cdot D$$

Se recomienda que la altura de filete, cumpla con la relación:

$$2H_D < H_A < 4H_D$$

Donde; H_A =Altura de filete en alimentación; H_D = Altura de filete en la dosificación

Longitud de la zona del husillo ($l_{1,2,3}$)

Es la medida de un punto identificado del filete al siguiente, se define con la siguiente formula:

Para la zona de la alimentación

$$l_1 = \frac{L}{2}$$

Para la zona de compresión

$$l_2 = \frac{L}{4}$$

Para la zona de dosificación

$$l_3 = \frac{L}{4}$$

Calculando el tornillo extrusor o sinfín.

Par el diseño de maquinas de extrusión de polietilenos, en especifico del tornillo Savagorodny (1973) en su libro “transformación de plásticos”; Establece que la relación de proporcionalidad 15:1 hasta 21:1, se refiere a la relación entre la longitud del tornillo y su diámetro. Esta relación influye en varios aspectos del proceso de extrusión, como la eficiencia de mezclado, la capacidad de transporte de material y la presión de extrusión, esto será de acuerdo a las aplicaciones de la maquina, a continuación detallaremos los datos requeridos para el sistema de extrusión

Tabla VI Datos para el diseño de sistema de extrusión.

Datos	Magnitud
Flujo másico (m)	5 [kg / h]
Diámetro nominal (D_n)	30 [mm]
Relación de proporcionalidad (L/D_n)	15:1
Factor de proporcionalidad (k)	66.7
Densidad del PET (δ)	1.36 [g / cm ³]
Calor específico (C_p)	1350 [J/Kg° K]
Esfuerzo a la fluencia del AISI 4140 (S_y)	690 [MPa]

Dado proceso de producción del equipo, se recomienda para perfiles y laminados utilizar la relación de proporcionalidad de 15:1, a continuación mostramos la siguiente ecuación.

$$L = 15 \times 30 \text{ mm}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$L = 0.45 \text{ m}$$

Para el calculo del paso de husillo (s), Savgorodny recomienda utilizar la proporción 0.8:1 para la extrusión de polietileno, a continuación mostramos la siguiente ecuación

$$S = 0.8 \times D_n$$

$$S = 0.8 \times 30 \text{ mm}$$

$$S = 24 \text{ mm}$$

Hallando el ángulo de la hélice, desarrollando la siguiente ecuación:

$$\phi_\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{S}{\pi D}\right)$$

$$\phi_\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{24}{\pi 30}\right)$$

$$\phi_\beta = 14.28^\circ$$

Aplicando la relación 0.1 D n para el calculo del espesor de filete, se obtiene:

$$e = 0.1 \times 30 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

Hallando el ancho del canal, se define por:

$$W = (24 \cdot \cos 14.28^\circ) - 3 \text{ mm}$$

$$W = 20.26 \text{ mm}$$

Considerando 6 mm el tamaño del pellet máximo que se puede insertar a la tolva, definimos la altura:

$$H_{max} = 0.2 \times 30 \text{ mm}$$

$$H_{max} = 6 \text{ mm}$$

Hallando la altura del filete en la zona de dosificación, se calcula primero el diámetro interno del husillo en la zona de alimentación, siendo esta:

$$D_{il} = D_n - 2 \times H_A$$

$$D_{il} = 30 - 2 \times 6 \text{ mm}$$

$$D_{il} = 18 \text{ mm}$$

Entonces la altura del filete para la zona dosificadora, se calcula:

$$H_D = H_A - S \times \tan(D_{il})$$

$$H_D = 6 - 24 \times \tan(18) \text{ mm}$$

$$H_D = 1.8 \text{ mm}$$

Con los resultados obtenidos, hallamos longitudes por zonas, desarrollando las siguientes ecuaciones:

Para la zona de la alimentación

$$l_1 = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$$

Para la zona de compresión

$$l_2 = \frac{480}{4} = 112.5 \text{ mm}$$

Para la zona de dosificación

$$l_3 = \frac{480}{4} = 112.5 \text{ mm}$$

Determinando la holgura entre la camisa y el tornillo:

$$\Delta = 0.002 \times 30 \text{ mm}$$

$$\Delta = 0.06 \text{ mm}$$

3.2.2. Estudio de los esfuerzos del tornillo extrusor o sinfín

Este análisis es necesario para validar el dimensionamiento del tornillo y verificar el comportamiento durante su funcionamiento, así como sus esfuerzos máximos admisibles.

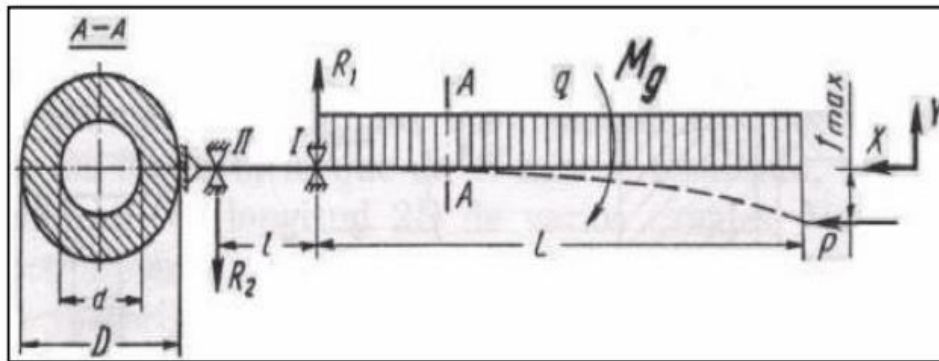


Fig. 7 Diagrama de fuerzas del tornillo

Buscando obtener el momento flector en el tornillo, necesitamos hallar el número de revoluciones por minuto que responde al giro del tornillo, se obtendrá mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{m}{2.3 \cdot D_n^2 \cdot H_A \cdot g}$$

Donde: N = revoluciones por minuto; g= gravedad específica del PET 1.36 g/cm³; 2.3=factor de conversión.

Reemplazando datos obtenemos:

$$N = \frac{11 \text{ lb/h}}{2.3 \cdot (1.18 \text{ pulg}^2) \cdot (0.236 \text{ pulg}) \cdot 1.36 \text{ gm/cm}^3}$$

$$N = 10.70 \text{ rpm}$$

La potencia del motor se calculara mediante la ecuación:

$$Pot = \frac{N \cdot \pi \cdot D_n^3}{f_p^2}$$

Donde: N = revoluciones por minuto; Fp= factor de proporcionalidad

$$Pot = \frac{10.70 \cdot \pi \cdot 30^3}{66.7^2}$$

$$Pot = 204 \text{ W} = 0.273 \text{ hp}$$

Dado el resultado de las rpm, se realizara el calculo de torque en el tornillo mediante la siguiente formula:

$$T = 9550 \cdot \frac{Pot}{N}$$

$$T = 9550 \cdot \frac{0.372 \text{ kW}}{10.70 \text{ rpm}}$$

$$T = 332 \text{ Nm}$$

Se determina el área superficial (As), presión máxima (Pm), para hallar la fuerza axial (Fa), en el husillo:

$$Pot = \frac{6 \cdot \pi \cdot D_{il} \cdot L \cdot N \cdot v}{H_A^2 \cdot \tan \phi_\beta}$$

Donde: ν = viscosidad efectiva del PET 500 Pa.s; la presión máxima sería:

$$P = \frac{6 \times \pi \times 0.026 \text{ m} \times 0.48 \text{ m} \times 0.18 \frac{\text{rev}}{\text{seg}} \times 500 \text{ Pa.s}}{0.0018 \text{ m}^2 \times \tan 14.28}$$

$$P = 25.67 \text{ MPa}$$

Calcularemos el área superficial mediante:

$$A_s = \frac{\pi \times D_n^2}{4} \times (1 - u^2)$$

$$A_s = \frac{\pi \times 30^2}{4} \times (1 - \frac{18^2}{32}) \text{ mm}^2$$

$$A_s = 4.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

La tensión tangencial es igual:

$$t = \frac{16 \cdot T}{\pi \times D_n^3 \times (1 - \frac{D_{t1}}{D_n})^4}$$

$$t = \frac{16 \cdot 332 \text{ Nm}}{\pi \times 0.030 \text{ m}^3 \times (1 - \frac{18}{30})^4}$$

$$t = 71.94 \text{ Mpa}$$

La carga distribuida del eje se calcula mediante:

$$q = \frac{W_{\text{husillo}}}{L}$$

El peso del W husillo, se halla:

$$W_{\text{husillo}} = \delta \times V \times g$$

Donde; δ = densidad del acero AISI 4140; V = volumen del husillo; g = gravedad.

$$W_{\text{husillo}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$W_{\text{husillo}} = 20.88 \text{ N}$$

Desarrollando la fórmula de la carga distribuida:

$$q = \frac{20.88 \text{ N}}{0.6 \text{ m}}$$

$$q = 34.8 \text{ N/m}$$

La tensión normal es producto de la fuerza axial y la carga distribuida del peso del husillo, lo definiremos con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F_a}{A_s} + \frac{M_f}{W_0}$$

Donde; M_f = momento de flexión máximo; W_0 = momento de inercia al eje neutro.

Definimos el momento de flexión max, mediante la siguiente ecuación:

$$M_f = \frac{\delta_{4140} \times g \times L^2}{2} \times \frac{\pi \times D_2}{4} \times (1 - u^3)$$

Donde u = relación diámetro inferior con diámetro superior.

$$u = \frac{D_{I1}}{D_{I2}} = 0.71$$

$$M_f = \frac{7850 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.6 \text{ m}^2}{2} \times \frac{\pi \times 0.026^2 \times m^2}{4} \times (1 - 0.6^3)$$

$$M_f = 5.76 \text{ Nm}$$

Mediante la ecuación, buscamos obtener el momento de inercia referente al eje neutro

$$W_0 = \frac{\pi \times D_n^3}{32} \times (1 - u^4)$$

$$W_0 = \frac{\pi \times 0.03^3}{32} \times (1 - 0.6^4) \text{ m}^3$$

$$W_0 = 2.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Entonces hallamos la tensión normal:

$$\sigma = \frac{11602.84 \text{ N}}{4.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{5.76 \text{ Nm}}{2.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma = 28.17 \text{ Mpa}$$

Con los resultados los remplazamos en la ecuación de la tensión

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot t^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{28.17^2 + 4 \times 71.94^2} \text{ Mpa}$$

$$\sigma' = 146.61 \text{ Mpa}$$

Definimos el factor de seguridad del husillo, despejando n de la ecuación:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Considerando S_y como la resistencia a la fluencia del acero AISI 4140.

$$n = \frac{414 \text{ Mpa}}{146 \text{ Mpa}}$$

El valor obtenido del factor de seguridad es de 2.83, esto debido a que, para el dimensionamiento del tornillo, se consideró la profundidad del canal la cual tiene que ser como mínimo el tamaño de una muestra de pellet en este caso de 6 mm, para este tipo de máquina se recomienda un factor de seguridad de 2, por lo cual el diseño no tendrá problemas de falla. Para la selección del material, se considera los diámetros más comunes que existen en el mercado, se selecciona un eje de 32 mm de diámetro y 605 mm de longitud para su mecanizado. $n = 2.83$

3.2.3 Selección del cilindro

Tolerancia tornillo – cilindro.

Es importante dimensionar la tolerancia entre la cresta filete y cilindro, mientras se obtenga una tolerancia mayor el mezclado resultará más efectivo inversamente proporcional al avance del polímero, esto responde al aumento de flujo inverso del material.

Para tornillos de diámetro constante, aplicamos la siguiente ecuación:

$$\Delta = 0.002 \times D$$

Hallando el espesor del cilindro, utilizando las presiones a las que se someterá el equipo para el sistema de extrusión:

$$e_c = r_i \times \left(1 - \sqrt{\frac{2P_{max}}{\sigma_1 - 2P_{max}}}\right)$$

Dónde: e_c : Espesor del cilindro (mm) r_i : Radio interior del cilindro (mm) P_{max} : Presión interna del cilindro (MPa) σ_t : Esfuerzo máximo de fluencia del material (MPa).

Consideramos el tamaño del espesor de la pared, para calcular el diámetro exterior, el diámetro interior será:

$$D_{ih} = D_n + 2 \cdot \Delta$$

$$D_{ih} = 30 \text{ mm} + 2 \times 0.06 \text{ mm}$$

$$D_{ih} = 30.12 \text{ mm}$$

Remplazamos en la siguiente fórmula para obtener el espesor de la pared del cilindro:

$$e_c = 0.015 \times \left(1 - \sqrt{\frac{2.3.21 \text{ Mpa}}{79 \text{ Mpa} - 2.2.21 \text{ Mpa}}}\right)$$

$$e_c = 0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm}$$

El diámetro requerido según el cálculo es de 50 mm, se trabajará con una barra perforada EN 10294-1, la cual es aplicada para construcción de cilindros, ya que posee una aleación de vanadio al 0.12%, que le otorga una mayor resistencia al desgaste y la corrosión, con dimensiones de 50 mm para diámetro exterior, 30 mm para diámetro interior y 500 mm de longitud

3.2.4 Selección y diseño de la tolva de alimentación

Se realizará el diseño en base a la capacidad de carga requerida para el equipo, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m}{\delta}$$

Dónde: δ : Densidad del material a extruir (kg/m³) m : Masa del material a extruir (Kg)

Se debe tener en cuenta el ángulo de inclinación de la tolva de alimentación, esto nos ayudará a obtener la altura de la misma, aplicamos la siguiente ecuación.

$$h_{tolva} = \frac{\phi_M - \phi_m}{2 \tan \alpha}$$

Donde: ϕ_M : Diámetro mayor de la tolva de alimentación [mm] ϕ_m : Radio menor de la tolva de alimentación [mm] α : Ángulo de inclinación del cono.

Hallaremos el espesor, utilizando la relación de la presión de la materia prima que se almacena sobre las paredes de la tolva, utilizando los esfuerzos tangenciales y longitudinales dados en las paredes de la tolva:

$$\sigma_A + \sigma_B = \frac{S_y}{n}$$

Dónde: σ_A : Esfuerzo tangencial (MPa); σ_B : Esfuerzo longitudinal (MPa); S_y : Esfuerzo de fluencia del material (MPa); n : Factor de seguridad recomendado

El diseño de la tolva debe ser efectuado para preparar la cantidad de materia prima a extruir durante por lo menos 01 hora de funcionamiento del equipo, para el caso particular sera de 5 kg/hora, considerando la capacidad y la densidad del plástico, utilizamos la ecuación para hallar el volumen de este material.

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{5 \text{ kg}}{1360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 3.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Considerando el diámetro menor de abertura el cual es directamente proporcional al diámetro del cilindro.

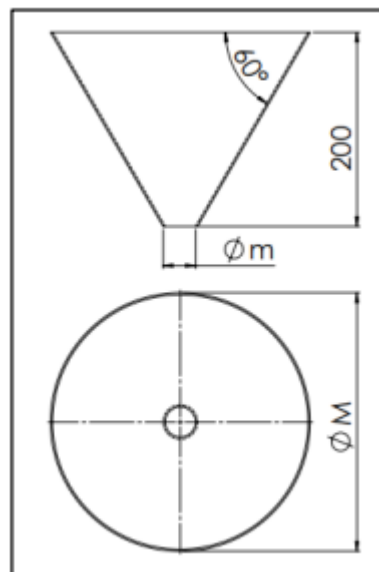


Fig. 8 Vistas y diámetros de tolva

Para hallar el diámetro menor, consideraremos el 70% del diámetro exterior del cilindro

$$\begin{aligned}\phi_m &= 0.7 \times D_e \\ \phi_m &= 0.7 \times 50 \text{ mm} \\ \phi_m &= 35 \text{ mm}\end{aligned}$$

Determinaremos el diámetro mayor de la tolva, en función al ángulo de inclinación de la tolva el cual consideraremos de 60°, entonces remplazamos y obtenemos en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}\phi_M &= 2 \tan \alpha \times h_1 \times \phi_m \\ \phi_M &= 2 \tan 30 \times 200 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \\ \phi_M &= 266 \text{ mm}\end{aligned}$$

3.2.5 Selección y diseño del sistema de calentamiento

Todo sistema de calentamiento superior a las 40 C° se debe tomar las medidas adecuadas para asegurar la integridad del operador. Sabiendo esto el sistema tendrá un cobertor aislante alrededor del sistema de resistencias con un panel protector de plancha de galvanizado de 1 mm, para ocultar el material aislante, que para este caso se usará lana de vidrio.

Determinaremos la potencia necesaria que debe tener la resistencia para calentar el husillo, fundamentados en la cantidad de flujo de calor necesario que necesita para fundir el plástico.

$$Q_{int} = m \times Cp \times (Ts - Ta)$$

Dónde: m : Flujo másico del sistema [Kg/h] Cp: Calor específico [Kcal/Kg °C] Ts : Temperatura del polímero a la salida [°C] Ta : Temperatura del polímero al ingreso [°C].

La potencia real, la obtendremos mediante:

$$Q_{real} = Q - Q_r - Q_c$$

Dónde: Q: Potencia entregada por las resistencias [W] Q_r: Pérdida de energía por radiación [W] Q_c: Pérdida de energía por convección [W]

Calculo del coeficiente de convección

Se considera el cilindro y el husillo como un solo sistema, además se desprecia el aire que se encuentra en el interior del cilindro, la temperatura de fusión del PET es de 250°C, con estos datos se procede a determinar la temperatura media de película con la ecuación:

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

Dónde: Ts : Temperatura del cuerpo sólido de la superficie [°K] T_α : Temperatura ambiente [°K]

$$\begin{aligned}T_f &= \frac{523.15^\circ \text{ K} + 239.15^\circ \text{ K}}{2} \\ T_f &= 408.15^\circ \text{ K}\end{aligned}$$

Con los datos de la temperatura de la película de plástico fundido, se determina las propiedades del aire a una temperatura de 135°C

Pr = 0.704; γ=2.74 10⁻⁵ m²/s; k = 0.0337 W/m×°K

Para el coeficiente de convección, se considera que se trabaja con un sistema de convección natural, para lo que necesitamos determinar el número de Grashof, mediante la ecuación:

$$Gr = \frac{g \times \beta \times (T_s - t_a) \times L_c^3}{\gamma^2}$$

Dónde: β : Coeficiente de expansión volumétrica [$1/^\circ\text{K}$]; g : Aceleración gravitacional [m/s^2];
 T_s : Temperatura de la superficie [$^\circ\text{C}$]; t_a : Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie [$^\circ\text{C}$]; L_c : Longitud característica de la configuración geométrica [m]; γ : Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s]

Mediante la siguiente ecuación, calcularemos el coeficiente de expansión volumétrica:

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{408.15^\circ\text{K}} = 2.44 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

Se halla el número de Grashof:

$$Gr = \frac{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2.44 \times 10^{-3} \text{K}^{-1} \times (523.15 - 293.15)^\circ\text{K} \times 0.05^3 \text{m}^3}{(2.74 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}^2)^2}$$

$$Gr = 91.56 \times 10^4$$

Calcularemos el número de Nusselt, lo que nos permitirá obtener el aumento de la transmisión de calor

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}}\right)^2$$

Dónde: Pr : Número de Prant; Ra : Número de Rayleigh

$$Ra = 0.704 \times 91.56 \times 10^4$$

$$Ra = 6.44 \times 10^5$$

Como el número de Rayleigh cumple con la condición $Ra \leq 10^{12}$; entonces la ecuación de Nusselt es correcta, procedemos a reemplazar valores y obtenemos:

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}}\right)^2$$

$$Nu = 12.75$$

Obtenemos el coeficiente de convección natural, con la ecuación :

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{\phi M}$$

$$h_c = \frac{12.75 \cdot 0.03374 \text{ w/m}^\circ\text{K}}{0.050 \text{ m}}$$

$$h_c = 8.60 \text{ w/m}^2\text{K}$$

Calculo del coeficiente de conducción

La superficie metálica del cilindro posee una buena conductividad térmica por lo cual es importante determinar el coeficiente de conducción basado en datos de emisividad del material, temperatura superficial y el área del cilindro, como se muestra en la ecuación:

$$h_r = \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_a^4)}{(T_s - T_a)}$$

Dónde: ε : Emisividad del acero a 523.15 °K = [0.6]; σ : Constante de Stefan-Boltzman= 5.67x10⁻⁸ [W/m² °K⁴]; T_s : Temperatura absoluta de la superficie [°K]; T_a : Temperatura ambiente [°K]

$$h_r = \frac{0.6 \times 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \times 523.15^4 - 293.15^4}{(523.15 - 293.15) \cdot K}$$
$$h_r = 9.98 \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

Sumando los dos coeficientes hallados anteriormente, obtendremos el coeficiente de transferencia del sistema:

$$h = h_c + h_r$$
$$h = (8.60 + 9.98) \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$
$$h = 18.58 \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

Perdidas de calor por conducción

Se considera un valor mínimo y despreciable debido a que los elementos que están en contacto directo con el husillo son los soportes.

Perdidas por convección

Se generan pérdidas por efecto de la corriente de aire que no pertenecen al sistema de extrusión, disminuyendo la energía calorífica de ingreso al tornillo.

$$Q_c = h_c \times \Delta T \times \pi \times \phi_M \times L$$
$$Q_c = 8.60 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 230 \cdot K \times \pi \times 0.052 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$$
$$Q_c = 140 \text{ W}$$

Perdidas por radiación

Calcularemos estas pérdidas, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_r = \pi \times \phi_M \times L \times \varepsilon \times \sigma \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$
$$Q_r = \pi \times 0.05 \text{ m} \times 0.45 \text{ m} \times 0.6 \times 5.68 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \times (523.15^4 - 293.15^4) \cdot K^4$$
$$Q_r = 162.65 \text{ W}$$

Potencia de entrada al sistema de extrusión

Es la potencia requerida mínima y necesaria para el proceso de fundición del plástico, esta delimitado por la capacidad de la maquina y el calor especifico del material, utilizamos la siguiente ecuación:

$$Q_{int} = m \times Cp \times (Ts - ta)$$

$$Q_{int} = 5 \frac{kg}{h} \times 1350 \frac{J}{kg^{\circ}K} \times (593.15 - 293.15)^{\circ}K$$

$$Q_{int} = 2025 \times \frac{10^3 J}{h} = 563 W$$

Potencia en la salida del sistema de extrusión

Se realizara la comparación de la potencia real otorgadas por las resistencias con la energía de salida del sistema de extrusión, de ser mayor esto indica que las resistencias tendrán la capacidad de fundir el material a procesar.

$$Q_{out} = Q_r + Q_c + Q_{int}$$

$$Q_{out} = (162.5 + 140 + 563)W$$

$$Q_{out} = 865.5 W$$

Para determinar la potencia real del sistema, se considera trabajar con tres resistencias de 300 W respectivamente, obteniéndose una potencia total de 900 W, determinamos la potencia real mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{real} = Q - Q_r - Q_c$$

$$Q_{real} = (900 - 162.65 - 140)W$$

$$Q_{real} = 597.35 W$$

La potencia real es de 597.35 [W], comparando este resultado con la potencia que requiere el sistema para fundir el polímero 563 [W], esta es mayor lo que quiere decir que la selección de 4 resistencias de 300 [W] es correcta para que la extrusora cumpla con la capacidad de extrusión de PET reciclado

3.2.6 Selección y diseño de la boquilla

Considerando el espesor de la pared del cilindro es el mismo que el de la pared del cabezal.

$$e_c = e_b = 10 mm$$

Consideraremos un valor de 60 mm para el largo de la boquilla

$$L_b = 60 mm$$

Para la punta de la boquilla, la longitud no debe ser relativamente larga para evitar pérdidas de presión en la salida del polímero extruido, el diámetro de la boquilla depende del tamaño de filamento que se requiere extruir.

$$L_{pb} = 20 \text{ mm}$$

$$D_{pb} = 5 \text{ mm}$$

Dónde: L_{pb} : Largo de la punta de la boquilla [mm] D_{pb} : Diámetro de la punta de la boquilla [mm]

El material seleccionado para la boquilla en este caso, se plantea usar el acero AISI 1018, generalmente este se utiliza en el mecanizado de piezas pequeñas y que no están sometidas a cargas altas de trabajo, en este se utiliza un eje de 50 mm de diámetro y 60 mm de longitud.

3.2.7 Selección y diseño del sistema de transmisión

La potencia necesaria para el funcionamiento del sistema se halló en el diseño del tornillo, el cual es:

$$Pot = 0.273 \text{ Hp}$$

El valor requerido de potencia según los cálculos no es un valor exacto para la selección de motores trifásicos según en el catálogo, en este caso se trabaja con un motor de 0.5 [HP], con 1200 RPM, un par motor de 3.13 [Nm]. Con estos datos se procede a seleccionar la caja reductora, que permita disminuir la velocidad de giro del husillo.

$$i = \frac{N_{int}}{N} = \frac{1200 \text{ rpm}}{11 \text{ rpm}} = 109.1$$

Para la selección de la caja reductora, se considera que esta debe soportar una velocidad de entrada de 1200 [RPM], y como resultado se busca tener 11 [RPM] a la salida, caja seleccionada es una de tornillo sin fin simple, MRS-MRT 85, ya que esta posee una relación de 1:100, un torque de 210 [Nm] y una potencia de 0.75 [Hp].

$$N_{OUT} = i_{real} \times N_{int}$$

$$N_{OUT} = 100 \times 1200 \text{ RPM} = 12 \text{ RPM}$$

Es importante que el torque real con el torque calculado, cumpla con la siguiente condición.

$$T_{real} \geq T$$

$$210 \text{ Nm} \geq 184 \text{ Nm}$$

La velocidad real del sistema es de 12 [RPM] con la caja reductora seleccionada, de esta manera se busca cumplir con la capacidad inicial de la máquina ya que si se trabaja con velocidades menores a la calculada se puede afectar el resultado de capacidad.

3.2.8 Selección y diseño de la estructura

Para el diseño de la estructura, se considera las cargas a las que esta está sometida, en este caso cargas por el peso de los componentes y las cargas verticales por efecto de la presión ejercida en el husillo.

$$W_t = W_1 + W_2$$

Dónde: W_1 : Carga distribuida por efecto del peso de los componentes de la extrusora [N/m]; W_2 : Carga distribuida por efecto de la presión ejercida en el husillo [N/m].

$$W_t = 461 \frac{N}{M} + 909 \frac{N}{M} = 1370 \frac{N}{M}$$

Con el valor de carga distribuida a lo largo de un perfil estructural, se realiza el análisis estático como se muestra en la siguiente figura, para determinar el momento máximo ejercido sobre el perfil que se va a seleccionar.

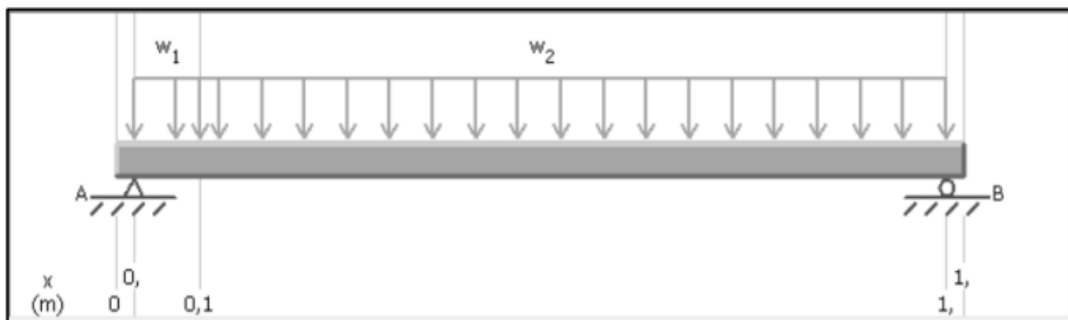


Fig. 9 Análisis estático I de la estructura

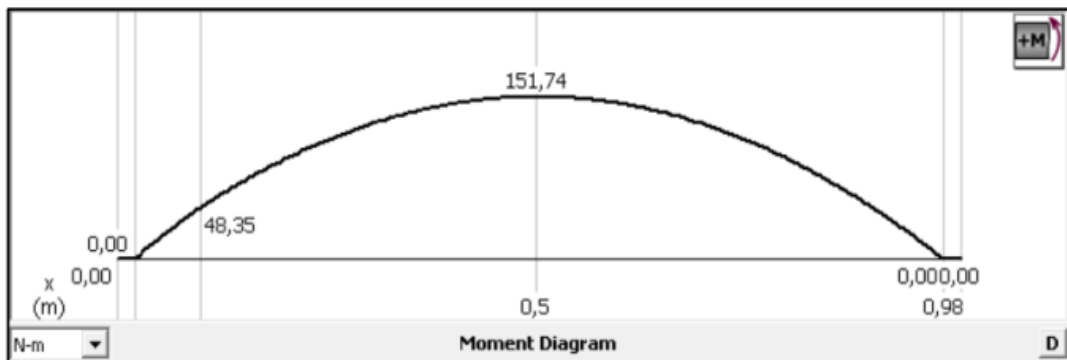


Fig. 10 Análisis estático II de la estructura

Para seleccionar un perfil adecuado que soporte las cargas distribuidas, se determina el módulo de la sección transversal:

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma}$$

Dónde: M_{max} : Momento máximo de flexión 151.74 [N-m]; σ : Esfuerzo límite de flexión acero ASTM A36 [Ksi]

El manual de aceros para la construcción, recomienda utilizar el factor de 0.66 para determinar el esfuerzo límite de fluencia del material en vigas, como se muestra en la ecuación:

$$\sigma = 0.66 \times S_y$$

$$\sigma = 0.66 \times 34 \text{ ksi} = 24 \text{ Ksi}$$

El momento máximo en unidades de [Lb-plg] es el siguiente:

$$M_{max} = 151.74 \text{ N.m} = 1343 \text{ Lb} - \text{plg}$$

Remplazando en:

$$S = \frac{1343 \text{ Lb} - \text{plg}}{2400 \text{ lb/plg}^2} = 0.056 \text{ plg}^3$$

El valor obtenido, se compara con un perfil de la tabla de perfiles del manual de la AISC, mostrado en el anexo 8, en este caso se debe buscar un perfil que posea el mismo módulo de la sección calculado o a su vez que sea mayor, por lo que se seleccionó el perfil de tubo cuadrado de 1 1/8 pulgadas por 3/16 pulgadas de espesor que posee un módulo de sección de 0.641 [plg³] el cual supera al valor calculado, de esta manera se sustenta que el perfil seleccionado es adecuado para el diseño de la estructura

Para el dimensionamiento de la estructura, se considera un diseño el cual le brinde a la máquina la resistencia adecuada de los componentes, además de una buena estabilidad que le permita trabajar de manera adecuada, en la figura 34 se muestra a detalle el diseño y dimensiones que debe tener la estructura principal.

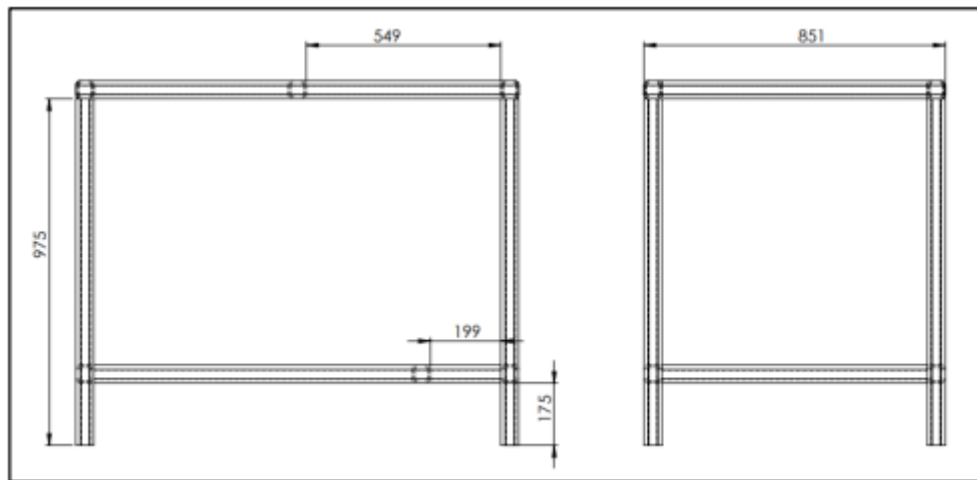


Fig. 11 Dimensión de la estructura principal del equipo

3.3. Validación de resultados

Se realizara la validación de los resultados obtenidos en cálculos, mediante un software especializado para determinar el comportamiento del tornillo, sometido a diferentes esfuerzos y de esta manera obtener un factor de seguridad óptimo para el sistema.

Para sustentar los cálculos realizados, es necesario utilizar los software especializados (SolidWorks), de manera que se pueda evaluar los resultados obtenidos en el cálculo y en la simulación, a su vez determinar si el diseño es óptimo para su funcionamiento.

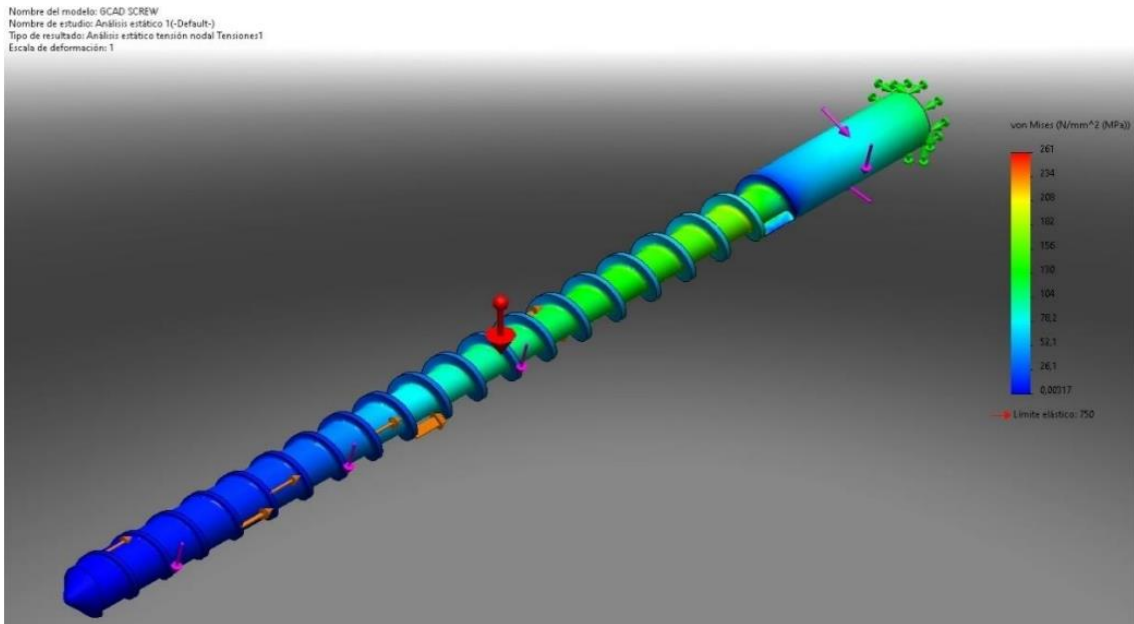


Fig. 12 Análisis estático del tornillo sin fin

Según los resultados obtenidos en el análisis estático mostrado en la figura 12, el diámetro seleccionado para el tornillo, es adecuado ya que este no sobrepasa el límite de fluencia del material AISI 4140.

Para el caso del factor de seguridad en software de diseño Solidworks, permite calcular los puntos más críticos del tornillo, en base a estos datos nos da un valor de factor de seguridad promedio del diseño.

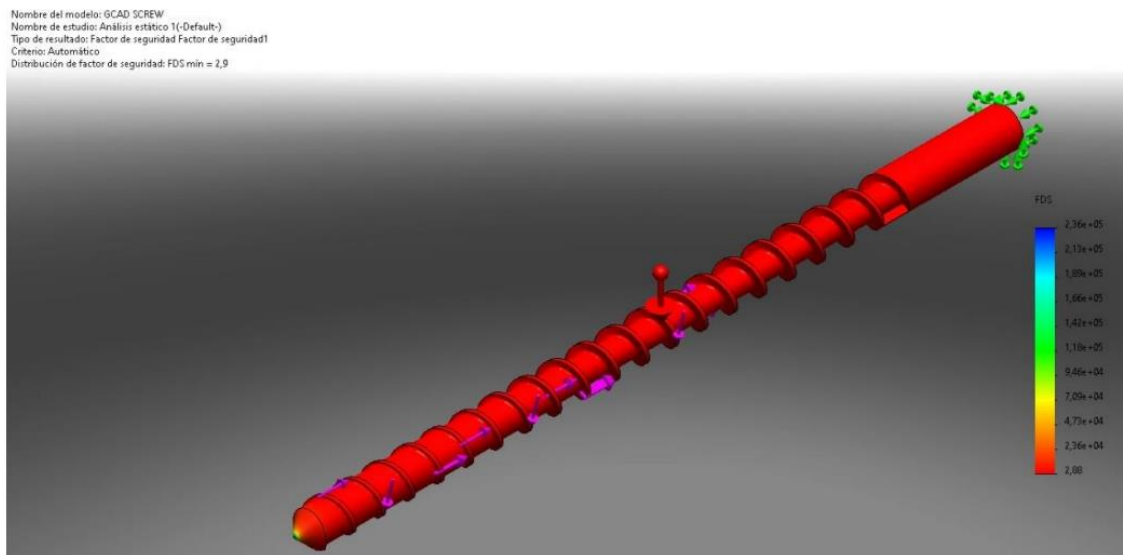


Fig. 13 Validación de factor de seguridad en tornillo Sin Fin.

En la figura 13, se puede apreciar al eje de color rojo, lo cual indica que este tiene un valor de 2.88, el valor determinado en la simulación y en el cálculo son muy aproximados, por lo tanto, el diámetro seleccionado para el eje es adecuado para el funcionamiento de la extrusora

Para en análisis de la estructura, se determina el esfuerzo máximo de flexión que se tiene en los perfiles cuadrados armados, los que soportan el peso y la fuerza de trabajo de los componentes de la máquina, en la figura 14 se puede observar que el esfuerzo máximo que se obtiene por efecto de la carga distribuida es de 21 MPa y el límite de fluencia para el acero ASTM A36 es de 250 MPa, por lo que la estructura es adecuada en este diseño.

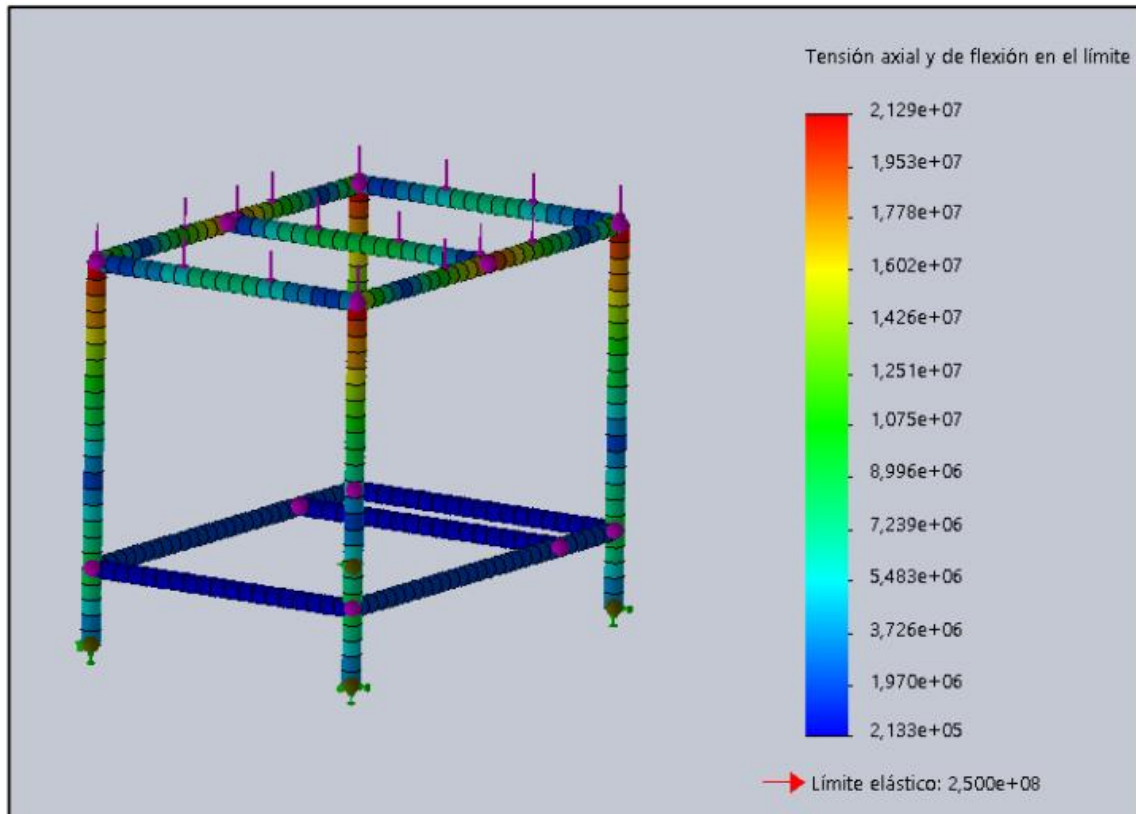


Fig. 14 Analisis estático de la estructura principal del equipo

Para el caso del factor de seguridad como se muestra en la figura 15 , se tiene un valor promedio de 11,7 el cual es bastante alto, esto debido a que el perfil seleccionado es lo suficientemente robusto para brindar estabilidad a la máquina una vez que entre en funcionamiento, además de resistencia mecánica.

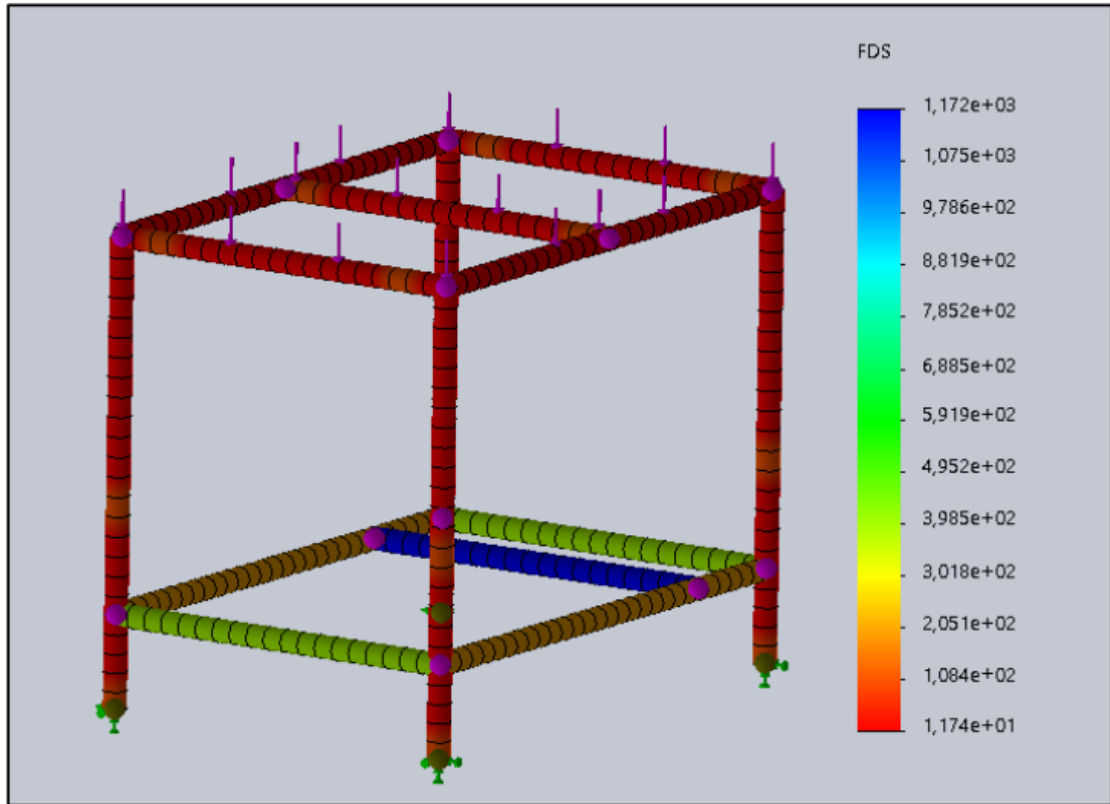


Fig. 15 Dimensión de la estructura principal del equipo

IV. DISCUSIÓN.

Respecto a resultados de otros autores en el diseño de tornillos extrusores para laboratorios:

Usualmente estos diseños arrojan factores de seguridad altos, lo cual indica que la máquina es confiable pero posiblemente sobre dimensionada para un entorno de laboratorio de polímeros. Esto plantea la pregunta de si la sobredimensión es necesaria o si podría optimizarse para un uso más eficiente en un entorno de producción en serie. Optan por un diseño de máquina extrusora con características especiales en términos de tamaño, forma y posición, adecuadas para integrarse en un proyecto de laboratorio de materiales. Esto sugiere una consideración precisa de los requisitos del proyecto, pero también podría limitar la versatilidad de la máquina para aplicaciones fuera del entorno específico para el cual fue diseñada. Se utilizan fórmulas empíricas para el diseño, lo cual es común en ingeniería pero plantean la cuestión de si se consideraron todas las variables y condiciones específicas del proceso de extrusión de plásticos.

Considerando los aspectos anteriores, se plantea la discusión de los resultados con el presente trabajo de investigación, podemos resumirlo de la siguiente manera:

Eficiencia vs. Sobredimensión: Es crucial evaluar si los altos factores de seguridad y la sobredimensión del diseño son justificados para un entorno de laboratorio. ¿Podría optimizarse el diseño para reducir costos y mejorar la eficiencia sin comprometer la seguridad?

Adaptabilidad del Diseño: El diseño específico para un proyecto de laboratorio puede limitar la flexibilidad y la adaptabilidad de la máquina para otros usos potenciales. ¿Se consideraron alternativas que permitan una mayor versatilidad?

Aplicación de Conocimientos Empíricos: El uso de fórmulas empíricas es estándar, pero ¿se complementaron con simulaciones o análisis más avanzados para asegurar que el diseño cumpla con los requisitos específicos de extrusión de plásticos?

Optimización del Tornillo: La segmentación del tornillo en diferentes zonas es beneficiosa para el rendimiento de la máquina. ¿Se realizaron pruebas y validaciones suficientes para garantizar que las dimensiones y configuraciones de las zonas sean óptimas para la extrusión de PET?

Finalmente, mientras que los argumentos destacan aspectos clave del diseño de la máquina extrusora, es esencial evaluar críticamente la adecuación del diseño para su entorno específico, la optimización de recursos y la eficiencia del proceso de extrusión de plásticos. Integrar análisis más profundos y considerar alternativas podría llevar a mejoras significativas en el rendimiento y la versatilidad del equipo diseñado.

V. CONCLUSIÓN.

- Se especifica un diseño de tornillo con una relación L/D de 15:1, optimizado para el funcionamiento de extrusión de PET. Esta relación es crucial para asegurar una mezcla adecuada y una extrusión eficiente del material plástico.
- El tornillo está dividido en tres zonas: alimentación (225 mm), compresión (112 mm) y dosificación (112 mm), lo cual está diseñado para maximizar el rendimiento de la máquina y cumplir con la capacidad inicial requerida. Esta segmentación ayuda a controlar el proceso de extrusión y garantizar la calidad del producto final.
- El proyecto ha generado una guía metódica para futuros cálculos de tornillos extrusores, lo cual es beneficioso para la reproducibilidad y mejora continua del diseño de máquinas extrusoras en el contexto específico del laboratorio de materiales.

VI. RECOMENDACION.

- Respecto al tamaño del pellet y flujo del material y condiciones operativas: Limitar el tamaño máximo del pellet a 6 mm es crucial para mantener un flujo constante de material en la zona de alimentación. Esto ayuda a prevenir obstrucciones y asegura una extrusión continua. Es importante verificar que el diseño del alimentador y las especificaciones de la máquina sean compatibles con este tamaño máximo de pellet. Considerar la temperatura del entorno de trabajo entre 14 a 45 °C con una humedad relativa del 20% al 80% es fundamental para evitar fluctuaciones que puedan afectar el proceso de extrusión y la calidad del producto. Estas condiciones proporcionan un entorno estable que favorece un rendimiento consistente de la máquina.
- A la empresa diestra S.A.C: Realizar un estudio de inversión económica a fin de evaluar la viabilidad de la construcción de un equipo de extrusión para plásticos PET, dado que en la industria nacional se encuentran ofertados todos los materiales requeridos para realizar la construcción de estos equipos.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Ramos Espinosa, G., & Lombana Gómez, G. A. (2019). Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas.
- [2]. Daza Niño, L. J. (2018). Plan de negocios para la creación una empresa en la ciudad de Villavicencio, dedicada al aprovechamiento de residuos, plásticos (pead, pebd, pp) para la fabricación de cajillas plásticas (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás).
- [3]. Cadena, F., Carranza, N., Cazar, A., Fernandez-Berridi, M., Irusta, L., Quiroz, F., & Terán, A. (2012). Reciclaje mecánico de residuos plásticos de invernaderos. Revista Iberoamericana de polímeros, 1-10.
- [4]. Triveño Luque, A. M. (2020). Diseño de una máquina extrusora de plástico para fabricación de Pallets para la empresa envasadora Majes EIRL.
- [5]. Gago, J., Ramos, V., León, K., López, A., Hernández, Y., Huatay, L., ... & Solís, J. (2011). Desarrollo de una extrusora de laboratorio para compuestos poliméricos basado en residuos de fibras naturales y polietileno. Informe Científico Tecnológico, 11(1), 147-152.
- [6]. Mamani Pacori, E. S., & Talavera Mejia, S. Diseño y Automatización de una planta de extrusión de plástico reciclado utilizando Plc Micrologix 1100 de Allen-Bradley.
- [7]. Zanabria Chanchhuaña, L. A. (2022). Influencia del caucho reciclado en las propiedades de concreto $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ para elementos no estructurales, Marcona, Ica 2022.
- [8]. S. Kobayashi, (2003). Extrusion Dies for Plastics and Rubber: Design and Engineering Calculations. Munich: Hanser Publishers.
- [9]. J. L. Throne, (2001). Extrusion of Plastics. Hanser Publishers.

ANEXOS

Anexo 01: Catálogos de fabricante para selección de planchas metálicas, barra perforada, aceros AISI 4140, y motores trifásicos.

Descripción

Productos planos, que se obtienen por laminación en caliente, a partir de planchones de acero estructural.

Usos

Estructuras metálicas, equipos mineros, tolvas, autopartes, tanques de almacenamiento, vigas, puentes, torres de alta tensión, silos, etc.

Normas Suministradas y Composición Química

NORMA TECNICA	C %	Mn %	Si %	P %	S %	TIPO DE ACERO
ASTM A 36/A 36M	0.26 máx	1.20 máx	0.4 máx	0.04 máx	0.05 máx	RESISTENCIA MEDIA

Propiedades Mecánicas

NORMA TECNICA	Límite de Fluencia			Resistencia a la Tracción			Elongación	
	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Probeta 2"	Probeta 8"
ASTM A 36/A 36M	25.3 mín	36 mín	250 mín	41 - 56	58 - 80	400 - 550	23 % mín	20% mín

Dimensiones y Pesos Teóricos

SISTEMA METRICO			SISTEMA INGLES, REFERENCIAL			PESOS TEORICOS			AREA DE PLANCHA	
Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Espesor	Ancho pie	Largo pie	kg/plancha	kg/m ²	kg/pie ²	m ²	pie ²
1.5	1200	2400	1/16"	4	8	33.91	11.78	1.09	2.88	31.0
1.8	1200	2400	9/128"	4	8	40.69	14.13	1.31	2.88	31.0
2.0	1200	2400	5/64"	4	8	45.22	15.70	1.46	2.88	31.0
2.2	1200	2400	11/128"	4	8	49.74	17.27	1.60	2.88	31.0
2.3	1200	2400	12/128"	4	8	52.00	18.06	1.68	2.88	31.0
2.4	1200	2400	3/32"	4	8	54.26	18.84	1.75	2.88	31.0
2.5	1200	2400	3/32"	4	8	56.52	19.63	1.82	2.88	31.0
2.7	1200	2400	7/64"	4	8	61.04	21.20	1.97	2.88	31.0
2.9	1200	2400	1/8"	4	8	65.56	22.77	2.11	2.88	31.0
3.9	1200	2400	5/32"	4	8	88.17	30.62	2.84	2.88	31.0
4.0	1200	2400	5/32"	4	8	90.43	31.40	2.92	2.88	31.0
4.4	1200	2400	3/16"	4	8	99.48	34.54	3.21	2.88	31.0
4.5	1200	2400	3/16"	4	8	101.74	35.33	3.28	2.88	31.0

Tolerancias de Acuerdo al JIS G 3193

BARRA PERFORADA

NORMA EN 10294-1

Especificaciones Generales:

Norma: EN 10294-1

Descripción: Barra perforada de alta resistencia de acero con aleación de vanadio (0.12%), que le otorga una mayor resistencia que otros aceros de bajo carbono en estado natural, de fácil maquinado y soldabilidad.

Aplicaciones: Ejes, bujes, cilindros, cajas de engranes y conectores, flechas, equipos para minería y petróleo, espaciadores, cilindros de exhibición, entre otros.

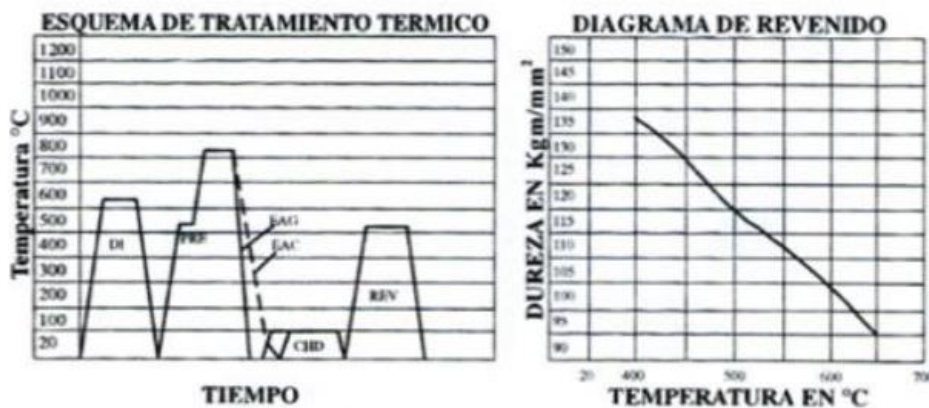


COMPOSICIÓN QUÍMICA					
%C	%Mn	%Si	%V	%S	%P
0,22	0,16	0,35	0,12	0,04	0,03

DIMENSIONES		DESDE	HASTA
		INTERIOR	30mm
	EXTERIOR	50mm	115mm
	LONGITUD	5,85 mts	7 mts

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICAS	PUNTO DE FLUENCIA	ELONGACIÓN Min %	DUREZA HB
650/800	<16mm - 480 >16- 30mm - 460 >30mm - 440	18	-240

ACERO SAE 4140
Color de Identificación: Verde/Rojo



REDONDO

20 mm	(3/4")	130 mm	(5")
25 mm	(1")	135 mm	(5.1/4")
28 mm	(1.1/8")	150 mm	(5.3/4")
32 mm	(1.1/4")	160 mm	(6.1/4")
35 mm	(1.3/8")	170 mm	(6.1/2")
38 mm	(1.1/2")	180 mm	(7")
40 mm	(1.9/16")	200 mm	(7.3/4")
45 mm	(1.3/4")	210 mm	(8")
50 mm	(2")	220 mm	(8.1/2")
55 mm	(2.1/8")	230 mm	(9")
60 mm	(2.3/8")	240 mm	(9.1/2")
65 mm	(2.5/8")	250 mm	(9.3/4")
70 mm	(2.3/4")	260 mm	(10")
75 mm	(3")	270 mm	(10.1/2")
80 mm	(3.1/8")	280 mm	(11")
85 mm	(3.1/4")	290 mm	(11.1/4")
90 mm	(3.1/2")	300 mm	(11.1/2")
95 mm	(3.3/4")	330 mm	(13")
100 mm	(4")	350 mm	(13.1/2")
110 mm	(4.1/4")	400 mm	(15.1/2")
115 mm	(4.1/2")	430 mm	(17")
120 mm	(4.3/4")	450 mm	(17.1/2")
125 mm	(4.7/8")	500 mm	(19.1/2")

Nota: Valores referenciales, medidas disponibles sujeto a stock.

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I/ In	Par con rotor trabado Tt/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	440 V						Corriente nominal In (A)	
								% de la potencia nominal				Rendimiento			Factor de potencia				
								Caliente	Frio			50	75	100	50	75	100		
VI Poles - 1200 rpm - 60 Hz																			
0,12	0,16	63	1,01	3,3	2,4	2,4	0,00067	20	44	8,0	47	1130	36,0	42,0	46,3	0,46	0,52	0,58	0,585
0,18	0,25	71	1,62	2,8	1,7	1,9	0,00056	31	68	10,0	47	1060	45,0	49,0	52,0	0,46	0,54	0,65	0,700
0,25	0,33	71	2,23	2,8	1,9	2,0	0,00079	30	66	11,0	47	1070	48,0	54,0	58,0	0,43	0,52	0,63	0,900
0,37	0,5	80	3,13	3,9	2,0	2,1	0,0021	10	22	14,0	47	1130	46,0	55,0	59,0	0,50	0,60	0,71	1,16
0,55	0,75	80	4,65	4,5	2,2	2,4	0,0033	10	22	15,5	47	1130	58,0	61,0	66,0	0,46	0,57	0,71	1,54
0,75	1	90S	6,34	5,2	2,2	2,5	0,0044	15	33	17,5	49	1130	68,0	73,0	73,0	0,48	0,62	0,72	1,88
1,1	1,5	90S	9,30	5,3	2,5	2,7	0,0055	12	26	19,0	49	1130	71,0	74,5	75,1	0,46	0,60	0,70	2,75
1,5	2	100L	12,6	5,3	2,1	2,6	0,0099	20	44	27,5	48	1140	75,5	77,5	78,0	0,50	0,62	0,70	3,60
2,2	3	100L	18,4	5,0	2,1	2,4	0,0115	14	31	29,0	48	1140	76,7	78,5	78,6	0,52	0,64	0,72	5,10
3	4	112M	25,1	5,1	1,9	2,4	0,0201	12	26	39,0	52	1140	81,5	82,0	81,5	0,56	0,69	0,76	6,35
3,7	5	132S	30,5	5,9	1,9	2,5	0,0378	23	51	58,0	55	1160	81,5	83,5	83,7	0,52	0,65	0,72	8,06
4,5	6	132S	37,1	5,9	1,9	2,4	0,0415	22	48	59,0	55	1160	82,0	84,0	84,3	0,53	0,66	0,73	9,60
5,5	7,5	132M	45,3	6,1	2,0	2,5	0,0491	19	42	64,0	55	1160	83,5	85,0	85,2	0,55	0,67	0,74	11,4
7,5	10	132M	61,8	6,5	2,1	2,5	0,0642	14	31	75,0	55	1160	85,1	86,2	86,3	0,56	0,68	0,75	15,2
9,2	12,5	160M	75,1	5,6	2,0	2,4	0,1221	12	26	109	59	1170	86,0	87,5	87,7	0,62	0,75	0,81	17,0
11	15	160M	89,8	6,0	2,0	2,5	0,1652	12	26	122	59	1170	87,2	89,0	89,2	0,64	0,76	0,82	19,7
15	20	160L	122	6,1	2,3	2,7	0,1867	10	22	137	59	1170	87,5	89,3	89,6	0,61	0,74	0,80	27,5
18,5	25	180L	151	7,0	2,2	2,7	0,2827	6	13	170	59	1170	89,5	90,3	90,3	0,71	0,82	0,87	30,9
22	30	200L	179	6,0	2,1	2,3	0,4126	18	40	227	62	1175	90,5	91,1	91,1	0,75	0,81	0,85	37,3
30	40	200L	244	6,0	2,2	2,4	0,4485	12	26	214	62	1175	90,4	91,6	91,8	0,64	0,76	0,82	52,3
37	50	225S/M	300	6,8	2,1	2,5	1,08	11	24	374	64	1180	92,0	92,5	92,3	0,73	0,82	0,86	61,2
45	60	250S/M	364	7,2	2,3	2,6	1,22	12	26	435	64	1180	92,2	92,7	92,6	0,72	0,82	0,86	74,1
55	75	250S/M	443	7,4	2,5	2,7	1,37	11	24	475	64	1185	93,0	93,5	93,2	0,71	0,81	0,85	91,1
75	100	280S/M	605	6,0	1,9	2,2	3,10	15	33	641	69	1185	93,0	93,6	93,3	0,70	0,80	0,84	126
90	125	280S/M	729	6,0	2,0	2,3	3,68	12	26	678	69	1180	93,2	93,7	93,6	0,70	0,80	0,84	150
110	150	315S/M	883	6,4	2,0	2,3	4,37	20	44	946	70	1190	93,4	94,3	94,3	0,68	0,79	0,83	184
132	180	315S/M	1060	6,4	2,1	2,3	5,29	18	40	990	70	1190	93,5	94,4	94,4	0,70	0,79	0,83	221
150	200	315S/M	1200	6,6	2,2	2,3	5,29	17	37	1044	70	1190	93,8	94,5	94,5	0,69	0,79	0,83	251
185	250	315L	1490	6,7	2,4	2,4	9,53	13	29	1250	71	1190	94,0	94,6	94,6	0,70	0,79	0,83	309
200	270	315L	1610	7,2	2,4	2,4	7,27	12	26	1306	71	1190	94,2	94,6	94,7	0,69	0,79	0,83	334
220	300	315L	1770	7,6	2,6	2,6	11,0	11	24	1468	71	1190	94,3	94,7	94,8	0,68	0,78	0,83	367
260	350	355M/L	2090	6,4	2,1	2,1	13,8	28	62	1769	77	1190	94,6	95,0	95,0	0,68	0,78	0,81	443
300	400	355M/L	2410	6,3	2,2	2,1	14,8	26	57	1927	77	1190	94,7	95,2	95,2	0,67	0,77	0,80	517
330	450	355M/L	2650	6,3	2,2	2,1	15,5	26	57	1989	77	1190	94,9	95,3	95,3	0,67	0,77	0,80	568
370*	500	355M/L	2970	6,3	2,2	2,3	9,92	25	55	1989	77	1190	95,0	95,4	95,4	0,63	0,74	0,79	640