

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
EXPENDEDORA INVERSA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET CON
SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO**

AUTORES

ANTONY FABRICIO MORILLO ROSERO

WELINTON JAIRO QUESPAZ PADILLA

TUTOR

ING. VICTOR HUGO CABRERA MORETA

Quito, Abril 2018

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Antony Fabricio Morillo Rosero con documento de identificación N° 0401589403 y Welinton Jairo Quespaz Padilla con documento de identificación N° 1723748032, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “Diseño y construcción de un prototipo de máquina expendedora inversa de botellas plásticas PET con sistema de control automatizado”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Antony Fabricio Morillo Rosero
Cédula: 040158940-3
Fecha: Quito, abril de 2018




.....
Welinton Jairo Quespaz Padilla
Cédula:172374803-2

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: diseño y construcción de un prototipo de máquina expendedora inversa de botellas plásticas PET con sistema de control automatizado, realizado por Antony Fabricio Morillo Rosero y Welinton Jairo Quespaz Padilla, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, abril de 2018



.....
Ing. Victor Hugo Cabrera Moreta
Cédula: 1714864657

DEDICATORIA

Dedico a Dios por ser incondicional, ya que sin él, nada es posible. A mis abuelitos Blanca Aguilar y Julio Rosero que con una mirada, una caricia, me dieron fuerzas, por circunstancias de la vida tuvieron que marcharse, dejando un inmenso dolor, pero grandes enseñanzas, pensando que desde el lugar que se encuentren, están felices por este logro en mi vida.

ANTONY FABRICIO MORILLO ROSERO

Este proyecto va dedicado a todas las personas que creyeron en mí, en especial a dos personas que me dieron su apoyo, mi padre Wilfrido Quespaz y mi madre Piedad Padilla quienes son mi ejemplo a seguir, me enseñaron que con esfuerzo, perseverancia, trabajo y dedicación, cualquier objetivo es posible. A mis hermanos Bryan y Bymmer quienes son parte de mi vida y para ellos ser un ejemplo, y en especial a mi hermano Santiago Quespaz, quien es un apoyo incondicional por sus consejos, enseñanzas, su motivación y por estar cuando lo necesito. Y sin dejar de mencionar a mí hermana de corazón Mayra Colcha, a mis queridos sobrinos Dilan e Isaac Quespaz. A mis amigos que han formado parte en mi vida y me han cultivado cada uno con sus enseñanzas, consejos, conocimientos y han hecho de mí una mejor persona, en especial para mi gran amigo Antony Morillo con quien comenzamos y ahora culminamos la carrera.

WELINTON JAIRO QUESPAZ PADILLA

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por no dejarme decaer en los múltiples obstáculos que se colocan en el trascurso de la vida. A mis padres Humberto Morillo y Blanca Rosero, en especial a mi madre por el apoyo brindado y darme lo necesario para este logro. A mis hermanos; Santiago y Paola Morillo, a mis tías Magdalena, Inés, Anita y mi tío Antonio Rosero por ser padres y madres. Amigos que se conocieron en los años de lucha, en especial a mi mejor amigo Welinton Quespaz.

ANTONY FABRICIO MORILLO ROSERO

Gracias de todo corazón a Dios Padre todo poderoso, por darme el conocimiento, habilidades, destrezas y sobre todo por darme cada día la vida y poderla disfrutar juntos a mis seres queridos.

Gracias a mi familia; tíos, primos, hermanos que me brindaron su apoyo incondicional cuando los necesité. A mis abuelitos Carme Aguirre y Rafael Padilla los cuales con una sonrisa o un gesto me demostraban su inmenso amor, cariño y su gran bondad, que aunque han pasado algunos años de su fallecimiento, los extraño, los recuerdo cada día porque enseñaron a ser un buen hijo, sobrino, primo, amigo y fueron como unos segundos padres de la cual me siento muy orgulloso por su sencillez y humildad.

WELINTON JAIRO QUESPAZ PADILLA

A la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingeniería Mecánica, a los docentes por brindarnos los conocimientos académicos, como valores para la formación de nuestra vida como profesionales. En especial a nuestro tutor Ing. Victor Cabrera por ser un guía a lo largo de este reto.

ÍNDICE

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Alcance	4
1.5 Marco teórico	4
1.5.1 Definición de reciclaje	4
1.5.2 Reciclaje de botellas de plásticos de tipo PET	4
1.5.3 Reciclaje Mecánico	5
1.5.4 Reciclaje Químico	6
1.5.5 Reciclaje Energético	7
1.5.6 Tipos de botellas plásticas PET	8
1.5.7 Propiedades de los plásticos	8
1.5.8 Conciencia ambiental del reciclaje	9
1.5.9 Manejo de envases plásticos a nivel mundial	11
2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y EVALUACIÓN	17
2.1 Compactación	17
2.1.1 Compactado por prensa	17
2.1.2 Compactado por rodillos	19
2.1.3 Compactado de superficies inclinadas	21
2.1.4 Selección del tipo compactado	21
2.2 Interfaz	22
2.2.1 PLC	22
2.2.2 ARDUINO	24
2.2.3 Dispositivo manual	25
2.2.4 Selección del tipo interfaz	25
2.3 Transporte	26
2.3.1 Banda Convencional	26
2.3.2 Bandas transportadoras tubulares	27
2.3.3 Compuertas	28
2.3.4 Selección del tipo de transportación	29

2.4	Resultado del estudio de alternativas y evaluación	30
2.5	Exigencias del diseño.....	30
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA.....	32
3.1	Diseño del Prototipo	32
3.1.1	Características de la botella.....	32
3.1.2	Factores para definir el sistema estructural	33
3.1.3	Transportación	34
3.1.4	Compactación.....	48
3.1.5	Fuerza necesaria de compactación.....	48
3.1.6	Automatización	76
4.	RESULTADOS	84
4.1	Pruebas de funcionamiento	84
4.1.1	Pruebas de compactación	84
4.1.2	Pruebas en el almacenamiento	84
4.2	Análisis de costos	87
4.2.1	Costos.....	87
4.2.2	Costos directos	87
4.2.3	Costos Indirectos	90
4.2.4	Costo Total	92
4.3	Estudio financiero para la construcción del prototipo	92
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
	CONCLUSIONES.....	96
	RECOMENDACIONES.....	97
	ANEXO A: PROGRAMACIÓN	106
	ANEXO B: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	108
	ANEXO C: TABLAS	112
	ANEXO E: IMÁGENES.....	117
	ANEXO F: RESULTADOS DEL SOFTWARE	123

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Código de los Plásticos	10
Tabla 2. Características de una compactadora hidráulica	18
Tabla 3. Método Cuantitativo	21
Tabla 4. Selección del tipo de compactado	22
Tabla 5. Selección del tipo interfaz.....	26
Tabla 6. Materiales de tejido empleados en las bandas transportadoras.....	27
Tabla 7. Selección del tipo de transportación	29
Tabla 8.Requerimientos del equipo.....	31
Tabla 9. Propiedades importantes del PET	33
Tabla 10. Dimensiones de las botellas plásticas vacías	34
Tabla 11.Valores para el cálculo del diseño de banda	35
Tabla 12. Propiedades básicas de las diferentes botellas comerciales en Ecuador	48
Tabla 13. Resultados de primer ensayo de compactación.....	48
Tabla 14. Resultados de segundo ensayo de compactación.....	49
Tabla 15. Características del motorreductor.	76
Tabla 16. Características del motor trifásico.....	76
Tabla 17. Características de Sensor Capacitivo.	79
Tabla 18. Características de Sensor Analógico.....	80
Tabla 19. Características de Sensor Inductivo.	81
Tabla 20. Características de la Pantalla LCD.....	82
Tabla 21. Características del Servo Motor.....	83

	Pag.
Tabla 22. Resultados de compactación a varias distancias.....	84
Tabla 23. Resultados de compactación de botella hidratante	85
Tabla 24. Resultados de compactación de botella de gaseosa	85
Tabla 25. Resultados de compactación de botella de agua	86
Tabla 26. Resultado de capacidad de almacenamiento de botellas.....	86
Tabla 27. Costos de Materiales Directos.....	87
Tabla 28. Costos de procesos de construcción.....	89
Tabla 29. Costos de Mano de Obra.....	90
Tabla 30. Costo Total Directo.....	90
Tabla 31. Costos de Materiales Indirectos	91
Tabla 32. Costos Imprevistos.....	91
Tabla 33. Costo Indirecto Total	91
Tabla 34. Costo Total de Inversión de prototipo.....	92
Tabla 35. Descripción de ingresos por año	92
Tabla 36. Flujo de Ingresos	93
Tabla 37. Desglose de salario básico	93
Tabla 38. Desglose de Flujo de Egresos	93
Tabla 39. Flujo de Egresos.....	94
Tabla 40. Flujo de Efectivo Neto	94
Tabla 41. Datos para el cálculo del VAN	94
Tabla 42. Resultados de VAN y TIR	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura.1 Reciclado mecánico de botellas plásticas PET	5
Figura.2 Reciclado químico de las botellas plásticas PET.....	6
Figura.3 Degradación térmica de las botellas plásticos.	7
Figura.4 El plástico como fuente de combustible	8
Figura.5 Reciclaje de botellas	12
Figura.6 Unas personas esperando para reciclar botellas en Finlandia.....	14
Figura.7 Valor de impuesto para una botella de 1,5 litros	14
Figura 8 Recolección de botellas plásticas.....	15
Figura. 9 Compactadora Vertical Hidráulica	18
Figura. 10 Compactadora Vertical Neumática Mac-Fab-60 HD	19
Figura.11 Compactado por rodillo con cuchillas	20
Figura.12 Compactadora con rodillos con puntas.....	20
Figura.13 Compactadora de superficies inclinadas.....	21
Figura.14 Arduino Motor Shield.....	24
Figura.15 Arduino Mega.....	25
Figura. 16 Caneca compactadora de botellas PET.....	25
Figura. 17 Banda Transportadora convencional	27
Figura.18 Sección de transición zona de carga	28
Figura.19 Configuración de compuerta automática	29

Figura.20 Tamaño y componentes de la botella.....	33
Figura. 21 Esquema de acopio de botellas PET	36
Figura. 22 Eje Conducido	36
Figura. 23 Cilindro hueco de grilón	37
Figura. 24 Esquema de banda transportadora	38
Figura. 25 Diagrama de fuerzas del rodillo.....	45
Figura. 26 Factores de concentración de esfuerzos.....	46
Figura. 27 Parámetros en el factor superficial	46
Figura. 28 Diagrama de botella Hidratante 750 ml, Fuerza-Posición.....	49
Figura. 29 Diagrama de Botella de Gaseosa 1140 ml, Fuerza-Posición.....	50
Figura. 30 Diagrama de Botella de Agua 3000 ml, Fuerza-Posición.....	50
Figura. 31 Rodillo compactador.....	51
Figura. 32Esquema de rodillo compactador.....	52
Figura. 33 Diagrama fuerzas del rodillo compactador.....	52
Figura. 34 Puntos de apoyo del rodillo.	53
Figura. 35 Diagrama de Análisis de esfuerzos.....	54
Figura. 36 Diagrama de corte.....	54
Figura. 37 Diagrama de Momentos.....	55
Figura. 38 Ejes de rodillos y puntos de apoyo.	55
Figura. 39 Diagrama de las fuerzas del eje 1.	56

	Pag.
Figura. 40 diagrama de fuerzas del eje 1.....	57
Figura. 41 Diagrama de corte del eje 1	57
Figura. 42 Diagrama de momento del eje 1.	58
Figura. 43 Diagrama de cuerpo libre X-Z.....	58
Figura. 44 Diagrama de corte plano xz.	59
Figura. 45 Diagrama de momento del eje 1 en el plano xz.....	59
Figura. 46 sensibilidad de la muesca.....	62
Figura. 47 Nomenclatura de los dientes rectos de engranes rectos.....	65
Figura. 48 Juego de tren de Engranés para reducción de velocidad.	65
Figura.49 Ubicación de púas en el rodillo.	71
Figura.50 Dimensiones de Púas.	72
Figura. 51 Puntos de apoyo de las chumaceras.....	72
Figura.52 Agujero de las tapas e imagen 3D.	74
Figura.53 Diagrama de control.	77
Figura. 54 Diagrama de flujo de proceso	78
Figura. 55 Sensor capacitivo	79
Figura.56 Sensor analógico.....	80
Figura.57 Sensor inductivo	81
Figura.58 Pantalla LCD 16 x 2.	82
Figura. 59 Servo motor Hitech.....	83

SIMBOLOGÍA

Símbolo Significado

d : diámetro.

e : espesor.

F_{eng}^y : fuerza del engrane en eje Y.

F_{eng}^z : fuerza del engrane en el eje Z.

F_c^Y : fuerza de compactado en el eje Y.

F_c^Z : fuerza de compactado en el eje Z.

F_c : fuerza de compactación de pruebas de ensayo.

H : potencia.

k_f : factor de concentración de esfuerzos por fatiga.

k_e : factor de confiabilidad.

k_d : factor de modificación de la temperatura.

k_c : factor de modificación de carga.

k_b : factor de modificación del tamaño.

k_a : factor de modificación de la condición de la superficie.

L : longitud.

M_a : momento alternativo.

$M_{máx}$: momento máximo.

n : factor de seguridad.

Pot_t : potencia total.

q : sensibilidad a la muesca.

r : radio.

R_C : reacción en el punto C.

R_B : reacción en el punto B.

S_e : límite de resistencia a la fatiga.

S_y : resistencia a la fluencia.

S_{ut} : resistencia última a la tensión.

T : torque.

T_m : torque medio.

μ : coeficiente de fricción del PET/ Acero.

V : velocidad de línea de paso.

Vol : volumen.

w^t : carga transmitida.

$\sigma'_{m\acute{a}x}$: esfuerzo máximo.

RESUMEN

La alta demanda de envases desechables, generalmente de características poliméricas (plástico), está repercutiendo en consecuencias graves en el medio ambiente debido a la contaminación que estos producen. La falta de programas de reciclaje en el Ecuador, que permita su recolección adecuada y posterior procesamiento, agrava aún más este problema. El presente proyecto, a través de una investigación básica y aplicada de carácter descriptivo, pretende generar un dispositivo para que la sociedad ecuatoriana aporte al cuidado y respeto al medio ambiente, con el fin de disminuir el impacto que produce el consumo de plástico.

El objetivo del presente trabajo es el de diseñar un prototipo de máquina automática, capaz de procesar botellas plásticas mediante la reducción de su espesor hasta 11 mm, con el fin de facilitar la recolección de las mismas.

En el presente estudio se considerará todas las variables físicas que intervienen en el proceso de reducción como: la fuerza requerida para reducir el volumen, la potencia necesaria, la selección de cada uno de los elementos que integran el equipo; así como: el costo, la calidad, la versatilidad y la ergonomía. En un inicio el sistema de compactación se efectuará mediante rodillos con púas, estos son impulsados por un moto reductor de 2HP de potencia.

Este equipo es ideal para ser ubicado en centros comerciales, universidades, colegios e instituciones públicas, en donde existe una mayor afluencia de personas que consumen bebidas. Con el fin de incentivar el reciclaje de botellas plásticas, se plantea que exista una retribución que puede ser de tipo económica o por medio de tickets, para ser utilizados en locales asociados a la protección del medio ambiente.

ABSTRACT

The high demand for disposable containers, generally of polymeric characteristics (plastic), is having a serious impact on the environment due to the pollution they produce. The lack of recycling programs in Ecuador, which allow adequate management and subsequent processing, aggravates this problem even more. This project is presented through a basic and applied research of a descriptive nature thus, is generated a device that contributes to the care and respect for the environment in our society, managing to reduce the environmental impact produced by the consumption of plastic.

The objective of this work is to design a prototype of automation in a machine capable of processing plastic bottles by reducing their thickness (up to 11 mm), making it easier to collect them.

In the present study, all the physical variables that intervene in the reduction process are considered as: force required for volume reduction, necessary power, besides the cost, quality, versatility, ergonomics and selection of each of the elements that make up the equipment. In the beginning, the compaction system is carried out by means of spiked rollers, which are driven by a 2HP power reduction motorcycle.

This equipment is ideal to be located in strategic places where there is a greater inflow of people; like malls, universities, schools and public institutions. It is proposed to foster a culture of recycling through economic retribution or consumption coupons in local sponsors that wish to support this proposal.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El impacto que ha sufrido el mundo entero por la contaminación ambiental en estos últimos años, como consecuencia del crecimiento industrial y demográfico, ha obligado a tomar medidas sobre el medio ambiente.

De tal forma que, sus políticas internas han evolucionado hacia el desarrollo de normativas guiadas a través de la investigación, creación de métodos de cuidado como el de las tres R (reducción, reutilización y reciclado), de manera que estas permitan desarrollar el proceso tanto de forma manual como automático, con el reciclaje de botellas plásticas de tipo Tereftalato de Polietileno (PET), mediante su compactación y triturado [1].

En el presente estudio es necesario especificar el avance tecnológico que las Reverse Vending Machine (Máquina Expendedora Inversa), aportado al mercado nacional e internacional.

La empresa Ecomain (España) fabrica este tipo de máquina la que recepta envases de manera automática, por medio de visión artificial, el proceso de compactación reduce los envases hasta 5 mm de espesor, almacenando 150 botellas de 1.5 litros y 500 latas de refresco [2].

La tendencia del ser humano hacia el consumo masivo de productos embotellados, genera desperdicios y ha dado origen a una huella de destrucción ambiental.

Es importante la implementación de nuevos proyectos para el cuidado ambiental y para incentivar en las personas una cultura de reciclaje.

1.2 Justificación

El motivo por el cual se lleva a cabo el presente proyecto es por la creciente contaminación que sufre el ambiente y el incorrecto reciclaje de envases plásticos que se efectúa en el Ecuador. En el Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual (IEPI) no existe una patente de una máquina automática capaz de receptor botellas plásticas PET.

Existen varios proyectos a nivel mundial que tratan de ayudar al planeta evitando el desperdicio y aprovechando los recursos ya extraídos, la madera plástica por ejemplo es el resultado de utilizar plástico reciclado para obtener un nuevo producto.

Se debe, ante todo, impedir que las botellas sean desechadas, estas deben ser recicladas, para lograr una adecuada reutilización de los recursos. La re-fabricación está vinculada a una serie de factores que consumen energía, tanto en el trabajo humano como en los equipos mecánicos y el tiempo vinculado a la trasportación a centros de acopio.

La implementación de este proyecto, se puede aplicar a diferentes ciudades del país, en distintos sectores como centros comerciales, supermercados, tiendas, lo cual reducirá la contaminación. Así también generará ganancias para todas las personas que se encuentren vinculadas a esta actividad.

A continuación, se enlista los principales beneficios que se puede obtener al reciclar:

- Preservación de los recursos naturales.
- Implementación de nueva metodología de reciclaje.
- Reducción de volúmenes de residuos.
- Concientizar a la gente para las utilizar las 3R.
- Implementar de tecnología para aprovechar al máximo el plástico.

En la actualidad, el consumo de líquidos es indispensable para saciar la sed. Una persona promedio para satisfacer su necesidad de agua consume alrededor de 2 litros diarios, lo cual equivale a 4 botellas PET de 500 ml. Dicho consumo representa una alta contaminación al planeta, por lo que, la implementación del proyecto pretende reducir esta contaminación [3].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de máquina expendedora inversa capaz de aceptar únicamente botellas plásticas de tipo PET de hasta 1000 ml, y compactarlas mediante un proceso que permite un mayor almacenamiento con un sistema de control automatizado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un proceso de compactado adecuado para solucionar las necesidades de reciclar, adaptándolas a un equipo.
- Diseñar un dispositivo que posea una interfaz de interacción con el usuario para la utilización de la máquina expendedora inversa y que a su vez cumpla con las respectivas normas de seguridad.
- Diseñar y construir un prototipo, seleccionando componentes existentes en el mercado ecuatoriano, cumpliendo con los requerimientos de diseño, un bajo costo y una buena calidad.

- Desarrollar un sistema automatizado, que garantice la identificación de botellas vacías de diversos volúmenes, de tipo PET, capaz de detectar mediante sensores existentes en el Ecuador.
- Plantear un análisis de costo que cumpla con el TIR y el VAN, para la realización de un préstamo en una corporación financiera, este sea rentable para la construcción del equipo.

1.4 Alcance

El alcance del proyecto es el diseño y construcción de un prototipo de máquina expendedora inversa, capaz de identificar botellas plásticas, vacías, entre volúmenes comprendidos de 250 a 1000 cm^3 . El prototipo contará con un interfaz visual, que brindará ayuda al usuario.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Definición de reciclaje

El término reciclaje se define como la utilización de desperdicios de materiales para la elaboración de un nuevo producto [4]. El desperdicio de botellas plásticas se ha tornado en un problema social, puesto que, estas después de su consumo son desechadas. En gran medida se debe a la falta de cultura y educación por parte de las personas en cuanto a temas de reciclaje y reutilización [5].

1.5.2 Reciclaje de botellas de plásticos de tipo PET

El reciclaje de botellas plásticas, generalmente se lo efectúa a través de la introducción del material en contenedores para luego ser sometidos a procesos: fisicoquímicos,

mecánicos o tratamientos que permitan obtener materia prima con el fin de fabricar un nuevo producto [6]. De ahí que, existen tres métodos para el reciclado de plásticos:

- Reciclaje mecánico
- Reciclaje químico
- Reciclaje energético

1.5.3 Reciclaje Mecánico

Consiste en cortar botellas PET en pequeños granos para posteriormente tratarlos. Los procesos de reciclaje mecánico tiene las siguientes etapas: trituración, lavado y granceado (homogenización del material y corte en pequeños trozos), como se puede observar en la Figura.1. Una vez terminado el proceso mecánico, la granza de plástico se funde. En segunda instancia se procede a obtener un nuevo producto en forma de láminas que son solidificadas en un molde frío formando piezas huecas, se introduce aire en su interior o utilizando moldes a presión [5].



Figura.1 Reciclado mecánico de botellas plásticas PET [7].

Las etapas del reciclado mecánico son:[5].

- Acopio de material.
- Empacado de las botellas.
- Reducción de material.
- Separación, triturado y lavado.
- Limpieza.
- Secado.
- Paletizado

1.5.4 Reciclaje Químico

Se basa en degradar materiales plásticos mediante calor o a base de catalizadores, hasta el punto de rotura de las macromoléculas y lograr obtener solamente moléculas sencillas comúnmente llamados monómeros, para posteriormente poder conseguir otros productos o combustibles según el método de reciclaje. Este método pese a ser menos utilizado que el mecánico, es más prometedor, ya que al obtener monómeros básicos se pueden volver a hacer envases de la misma calidad que los originales, el esquema se observa en la Figura.2 [5].

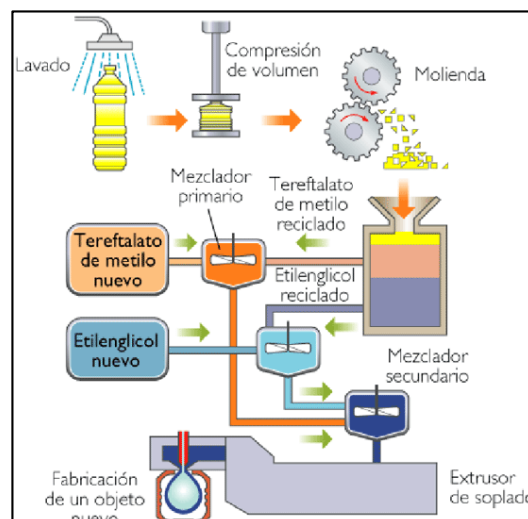


Figura.2 Reciclado químico de las botellas plásticas PET [7].

Principales procesos existentes:

- Pirólisis. – Es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrio, se realiza por el calentamiento al vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que luego pueden ser procesados y refinados.
- Hidrogenación. -En este caso el plástico es tratado con hidrógeno y calor, las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en las refinerías y en las plantas químicas.
- Gasificación. - Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtiene gases como monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados en la creación de metanol o amoníaco [7].

1.5.5 Reciclaje Energético

Es un tipo de degradación térmica de los plásticos, y es la tecnología más interesante para el desarrollo de un proceso a gran escala de reciclaje y poder producir hasta energía eléctrica, como se observa a continuación en la Figura.3. A pesar de sus múltiples propiedades los polímeros tienen grandes limitaciones, se funden o descomponen a temperaturas superiores a 200 °C, estos tipos de materiales no metálicos son resistentes al deterioro, en comparación con el acero son inmunes a la corrosión electroquímica[8].

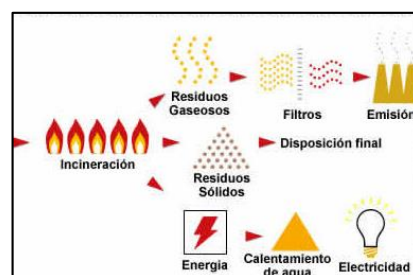


Figura.3 Degradación térmica de las botellas plásticas[8].

La obtención de energía eléctrica mediante el plástico que es un tipo de combustible, según [9]. La degradación de los polímeros, se refiere al cambio en las propiedades físicas causadas por las reacciones, este tipo de degradación que puede ser térmica, química, fotoquímica, radiante o biológica se puede observar en la Figura.4.

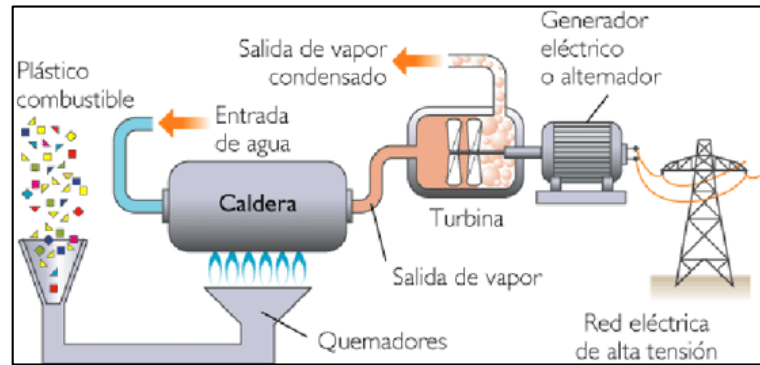


Figura.4 El plástico como fuente de combustible [7].

1.5.6 Tipos de botellas plásticas PET

La identificación de las botellas que se pueden reutilizar es algo que una persona desconoce, pero resulta esencial e importante para poder clasificar los distintos plásticos y lograr un mejor proceso de reciclaje [10].

1.5.7 Propiedades de los plásticos

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta también transparencia y resistencia química. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado de fibra, los de peso molecular medio grado pelicular y los de mayor peso molecular son de grado de ingeniería. Este último no se estira y no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos

El uso de cada uno de los plásticos contienen las siguientes características:







- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Compatible con otros materiales que mejoran en su conjunto la calidad de los envases.
- Bajo consumo de energía en el proceso de transformado.
- Reciclaje.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto alimenticios.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes [11].

Es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas como se puede ver Tabla 1.

1.5.8 Conciencia ambiental del reciclaje

Es un conjunto de aspectos particulares tales como, la disminución de especies (plantas, animales), la escasez de recursos naturales, del aire, todos estos temas y otros se ven agravados por la acción humana por su falta de conciencia en sus actos, cultura, información, y el irrespeto a la vida, así como al ambiente. El estudio de la conciencia ambiental en función de las actitudes, creencias y valores específicos determinan una pauta orientadora en la relación personal con el ambiente [12].

Tabla 1. Código de los Plásticos[11]

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Polietileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Polietileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, láminas y tuberías.	bolsas industriales, botellas, detergentes, contenedores
Polietileno de baja densidad	PEBD		Films adhesivos, bolsas, revestimiento de cubos, recubrimientos contenedores flexibles, tubería para riego	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimiento para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, valla, contenedores.
Polipropileno	PP		Envase para productos alimenticios, cajas, tapones, piezas de automóviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botella, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Los plásticos por sus características en su mayoría representan un daño o riesgo para el ambiente, no pueden degradarse en el entorno, al contrario de lo que ocurre con la madera, el papel o fibras naturales, incluso el metal. Los plásticos no se oxidan, tampoco se descomponen con el tiempo. En la actualidad se han desarrollado plásticos biodegradables, pero en los vertederos de basura no existen espacios exclusivos para estos materiales. Un método práctico para reducir considerablemente este problema es

a través del reciclaje de envases de tipo PET, que se utilizan para la fabricación de un nuevo producto [13].

1.5.9 Manejo de envases plásticos a nivel mundial

Debido a la contaminación del planeta muchos países han realizado investigaciones y estudios para la creación de proyectos ambientales, con tal de buscar la forma de reducir este problema. En los últimos años el mal manejo de envases se ha convertido en una gran amenaza.

1.5.9.1 Situación de Alemania

El Instituto de Investigación sobre Innovación Aplicada (IIAI) ubicado en la ciudad de Bochum en Alemania, realizó un estudio al decreto sobre empaques, en el cual, los fabricantes y distribuidores deben cumplir con diferentes exigencias por el uso de productos plásticos. Como una reacción al decreto, 95 empresas líderes fundaron una asociación denominada punto verde (Green Dot), con el objetivo de crear un sistema de mantenimiento para la recolección, la clasificación y el reciclaje de envases. Los esfuerzos realizados para ahorrar costos de materiales han logrado una notable reducción de residuos plásticos en la última década [13].

Las botellas en Alemania se reciclan en un 93,6 %, así lo determina estudios que se realizaron hasta el año 2013, donde se ha logrado una conciencia considerable en las personas para la recuperación de las botellas PET. En este país la mayoría de bebidas existentes como: agua mineral, bebidas refrescantes, jugo, cerveza, vino y bebidas alcohólicas, son envasados en contenedores retornables y reutilizables [14].

Casi una cuarta parte de la cantidad de botellas son reciclados en equipos como el que muestra la Figura.5, a través del aumento de la tasa de reciclaje y la utilización del PET para empaques de bebidas, se realiza una gran contribución a la economía y al ahorro en Alemania. En las personas hay una gran disposición por la reducción de residuos y por ayudar al ambiente por eso el 97.2% de botellas PET son dirigidas a reciclar. Una forma de recompensar al ciudadano es mediante una retribución económica por reciclar, dependiendo del tamaño y grosor del envase, cuyo valor varía entre 0,05 euros a 0,20 euros. El país Alemania se posiciona como el segundo que más recicla en Europa con una tasa de 62%, cifra que solo supera Australia por un punto [14], [15].



Figura.5 Reciclaje de botellas [16].

Al comprar una bebida cuyo envase es botella de plástico, vidrio o en lata se paga un depósito o un impuesto que va entre los 0,08 y 0,25 dólares, este sistema es considerado como Pfand (Prenda), esto incentiva a la gente a reciclar en donde las personas guardan un cierto número de botellas considerables y llevan a los supermercados donde están ubicadas las máquinas, que reciben las botellas y a su vez imprimen un ticket que puede ser canjeado por dinero o por descuento en compras. Debido al costo del envase las personas de escasos recursos las juntan para tener así

una ganancia, esto podría considerarse como un trabajo para individuos de escasos recursos y también una forma de mantener a la ciudad limpia [15].

1.5.9.2 Países Europeos

En los países europeos el reciclaje y la recuperación de energía es un tema muy importante y vital para el desarrollo. La legislación alemana Due, es la precursora Europea en materia de recolección y reciclaje de botellas o residuos plásticos. Actualmente alrededor de 15 países como: Australia, Bélgica, Francia, Gran Bretaña, España, Portugal y Suecia, se encuentran desarrollando sistemas e innovando máquinas que ayuden a la recepción de envases PET. Debido a una responsabilidad extendida los fabricantes de empresas industriales en países como Alemania y Austria tienen costos muy altos donde la responsabilidad recae sobre los fabricantes de botellas. En cambio en Bélgica y Francia tiene un enfoque de responsabilidad compartida donde las autoridades también ingresan en el sistema de manejo de recolección y de residuos plásticos [13].

1.5.9.3 Finlandia

En Finlandia al comprar una botella de plástico o de vidrio se paga una fianza o Pfan (impuesto) que una vez que se retorna a las máquinas especializadas, ese dinero es devuelto, una forma de culturalizar a la gente [17].



Figura.6 Unas personas esperando para reciclar botellas en Finlandia [17]

El proceso de reciclaje se realiza cuando la persona se acerca a los supermercados de Finlandia, donde se puede encontrar con máquinas, como se observa en la Figura.6, con unas ranuras donde se introduce las botellas, el envase ingresa en la máquina de esta manera reconoce el tipo de botellas y el pantti (el valor de fianza), como lo muestra en la Figura.7. De este modo la máquina va sumando todo el impuesto de las botellas para al final recibir un ticket con el valor total que posteriormente es gastado en el supermercado [17].



Figura.7 Valor de impuesto para una botella de 1,5 litros [17].

1.5.9.4 Estados Unidos de Norte América

En Estados Unidos los residuos plásticos son recolectados por empresas privadas que realizan programas de reciclaje, compostaje e incineración como última alternativa.

Este sector privado en los últimos años ha entrado en competencia con diferentes recolectores particulares, porque a su vez están innovando numerosos dispositivos de máquinas o alternativas para reciclar. Posteriormente su reprocesamiento ha generado una reducción hasta un 20 % en los costos de reciclaje [13].

1.5.9.5 Ecuador

En Ecuador fabrican 1300 a 1406 millones de botellas plásticas PET cada año, de las cuales se lograron recuperar 511 millones de los embotelladores y 624 millones de los centros de acopio y recicladores como se ve en la Figura 8. Una de las empresas dedicada a la reciclaje es Recynter y Reciplasticos reciclando 41 millones de botellas en los meses de Enero y Febrero del 2018. Se usa habitualmente para bebidas carbonatadas y botellas de agua [18],[19].



Figura 8 Recolección de botellas plásticas [19].

Desde la instauración del Impuesto Redimible de \$0,02 (centavos) en botellas plásticas, la recolección de botellas ha crecido notablemente. En 2011 la recolección fue del 30%, en 2012 se incrementó al 50%, en 2013 superó al 80%. La recaudación estuvo a cargo de recicladores y de empresas encargadas de recuperar el material PET desechado. Los sitios habilitados para recolectar las botellas se encuentran en 34 puntos de canje de Arca Ecuador y 19 puntos de Tesalia, pero sólo existen 5 centros de

acopio que tienen certificación del ministerio de industrias y productividad (Mipro) y del SRI [19].

El viceministro del Mipro, manifestó que su reto es aumentar el nivel de reciclaje, donde explico que al Ecuador ingresa 45 000 toneladas métricas de PET, para la fabricación de botellas, pero actualmente solo se recicla el 24%, que son 11 300 toneladas métricas. Intercia S.A. (Guayas) está dedicada exclusivamente a la recolección de cartón, papel, plásticos, vidrio y metales con el fin de abastecer a la industria nacional y extranjera con materias primas recicladas. Con 10 botellas se produce un jean, con 5 una camiseta y con 25 botellas de dos litros se hace un suéter [19].

Con los datos obtenidos se justifica que el prototipo es viable, debido a la alta tasa de fabricación de botellas que se realizan en el Ecuador y su poco interés en el reciclaje. Este proyecto se desarrolla con el fin de incentivar a la población y a que ubique los envases tipo PET en lugares estratégicos para reducir el impacto ambiental.

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y EVALUACIÓN

Para el diseño del prototipo, se considera algunas alternativas de análisis con el fin de obtener un resultado satisfactorio, considerando los métodos de:

- Compactación
- Sistemas de interfaz
- Transporte

2.1 Compactación

En el estudio de la compactación se toma en cuenta tres tipos de compactado, realizando un análisis de cada uno de ellos en cuanto a: costo, mantenimiento, compatibilidad, seguridad, y facilidad de operación:

- Compactado por prensa
- Compactado por rodillos
- Compactado de superficies inclinadas

2.1.1 Compactado por prensa

La prensa es una máquina estacionaria fija al suelo, que permite compactar botellas plásticas, reduciendo su volumen para almacenar en contenedores cerrados y ser transportadas a su destino final para ser reprocesadas. Se tiene un tipo hidráulico y neumático [20].

- Hidráulica. - Este sistema permite amplificar la intensidad de la fuerza, frecuentemente utilizado en prensas verticales como se observa en la Figura. 9. Su medio de transmisión es cualquier sustancia no compresible comúnmente aceite, el cual permite multiplicar su fuerza.



Figura. 9 Compactadora Vertical Hidráulica [21].

Su principio físico está determinado por la Ley de Pascal, de esta manera el material se reduce a pacas pequeñas como se muestra en la Tabla 2 [21].

Tabla 2. Características de una compactadora hidráulica [21]

Modelo	Compactadora V-60
Fuerza de compactación	5 ton
Motor	7.5 hp
Altura	0.60 m
Ancho	0.45 m
Largo	0.60 m
Peso de la paca	45-70 kg

- Neumática. - Este sistema de compactado proporciona potencia y velocidad, su funcionamiento es mediante el consumo de aire comprimido, como se observa en la Figura. 10. A diferencia del sistema hidráulico este provee de mayor velocidad, pero con una reducción en la fuerza. La presión máxima depende del diseño de los cilindros, permitiendo el trabajo hasta una presión de 16 bar [22].



Figura. 10 Compactadora Vertical Neumática Mac-Fab-60 HD

2.1.2 Compactado por rodillos

Este tipo de máquinas se emplean con uno o varios rodillos que mediante púas arrastran la botella y a su vez la compactan por sus conductos de estrechamiento entre los rodillos, posteriormente son almacenados.

- Rodillo con cuchillas. - Este tipo de máquina realiza el trabajo de reducir el tamaño a través de tubos soldados a cuchillas o también pueden ser discos que han sido maquinados e intercalados con espaciadores como se puede observar en la Figura.11.

Como el caso del perforador de botellas de marca HEL 600 de la empresa española PALVI, provee equipos que tiene una capacidad de procesado de $55 \text{ m}^3/h$ y permiten llenar la tolva de forma manual [23].



Figura.11 Compactado por rodillo con cuchillas [23].

- Rodillo con puntas. - Esta máquina está diseñada para perforar las botellas plásticas PET, para su posterior compactación eficiente como se muestra en la Figura.12. El perforado de la botella consta de dos cilindros girando en direcciones opuestas, estas están equipadas con numerosas puntas de acero que perforan eficazmente. Los picos de perforación son fáciles de reemplazar en caso de daño [24].

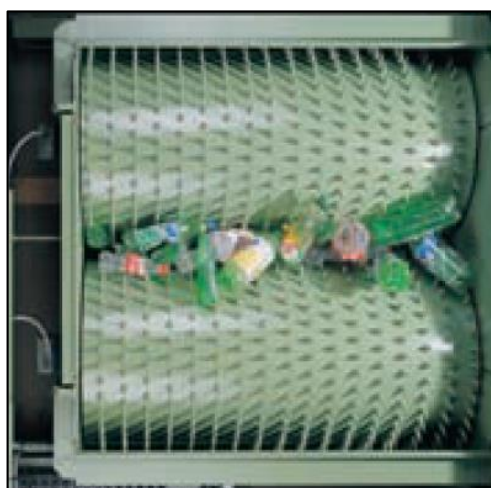


Figura.12 Compactadora con rodillos con puntas [24].

2.1.3 Compactado de superficies inclinadas

En la Figura.13 se encuentra una máquina en la cual las superficies de compactado están formadas por dos fajas. Las superficies poseen puntas metalizadas, de tres rodillos que soportan las fuerzas de compactado al ingreso de la botella. La ventaja en este tipo de dispositivos es que el proceso es rápido [25].

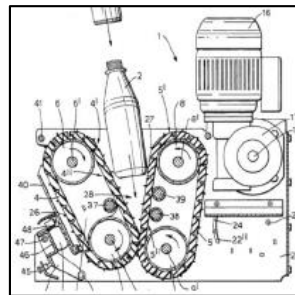


Figura.13 Compactadora de superficies inclinadas [25].

2.1.4 Selección del tipo compactado

Para la mejor selección de compactado se considera el método cuantitativo, explicado en la Tabla 3. Se basa en una escala numérica, permitiendo valorar los diferentes aspectos a considerar, como se puede observar en la Tabla 4. Matriz de valoración utiliza una escala de valorativa de 1 al 5.

Tabla 3. Método Cuantitativo

Tipo de compactado / Requerimientos	Numeración	Valorización
Costo	1	Alto costo
	5	Bajo costo
Mantenimiento	1	Difícil mantenimiento
	5	Fácil mantenimiento
Compatibilidad	1	Poca compatibilidad
	5	Bastante compatibilidad
Seguridad	1	Poco confiable
	5	Muy confiable
Facilidad de Operación	1	Difícil operación
	5	Fácil operación

Tabla 4. Selección del tipo de compactado

Tipo de compactado / Requerimientos	Prensa Hidráulica	Prensa Neumática	Rodillo con cuchillas	Rodillo con puntas	Superficies inclinadas
Costo	2	3	3	4	3
Mantenimiento	3	3	4	5	3
Compatibilidad	4	4	4	4	4
Seguridad	5	5	3	4	4
Facilidad de operación	3	3	5	5	4
Valor	17/25	18/25	19/25	22/25	18/25

Luego de analizar los resultados cuantitativos para las diferentes alternativas de compactado se establece que la mejor opción es utilizar el sistema mediante rodillo con púas, puesto que es la de mayor puntuación como se muestra en la Tabla 4.

2.2 Interfaz

En el estudio para la interfaz se ha considerado tres tipos de dispositivos. Se ha hecho un análisis de cada uno de ellos, analizando costo, mantenimiento, compatibilidad, seguridad y facilidad de operación. A continuación se muestran los dispositivos a considerar:

- Controlador Lógico Programable (PLC)
- Arduino
- Dispositivo manual

2.2.1 PLC

La automatización para la industria es un proceso de control a través de dispositivos, capaces de tomar decisiones e interactuar con otros, generando en el sistema mayor productividad, seguridad y calidad en sus resultados. Por otro lado, existe un costo

asociado a la adquisición de nueva tecnología en equipos y programas. Aun teniendo la tecnología más moderna, la automatización puede ser ineficiente y no operativa si no se realizó previamente un análisis de necesidades de las diferentes ofertas tecnológicas existentes en el mercado y un diseño de los sistemas. Los pasos a seguir para una metodología de automatización son:

- Descripción del sistema.
- Diagrama de flujo.
- Descripción de los equipos del sistema.
- Requerimientos del cliente.
- Selección autómeta programable.
- Programación del PLC [26].

Existen diferentes lenguajes de programación de PLC, el más utilizado es el lenguaje de programación gráfico para autómetas programables llamado Ladder. sin embargo este tipo de lenguaje no es muy amigable [27].

Los trabajos que tratan la problemática grafcet por sus siglas en inglés (Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition), tratan el modelado mediante la representación gráfica de los sucesos que se tiene en un sistema lógico que está determinada por sus entradas.

Este lenguaje gráfico en un inicio no fue concebido como un programa para autómetas programables, lo cual supone dificultades. En primera instancia parte del análisis del modelo en el diseño, para conseguir localizar un orden de ubicación adecuado. En un segundo plano modifica el modelo del grafcet diseñado con el fin de poder ser adaptado al dispositivo [28].

2.2.2 ARDUINO

El Arduino es un dispositivo electrónico diseñado y construido por la empresa Genuino, permite censar y controlar objetos a través del control de las diferentes variables físicas de un sistema. Este dispositivo está basado en un hardware y software que presentan flexibilidad para su uso. Las placas se pueden ensamblar a mano o encargadas pre ensambladas. El software es de uso gratuito y se lo puede descargar a través de la web [29].

Para programar el Arduino se brinda un software libre multiplataforma denominado IDE Arduino, este consiste en un Sketch, un simple editor de texto que permite cortar/pegar y buscar/reemplazar texto para escribir el código, aunque, debido a que la transmisión de datos entre PC y el Arduino es serial, la programación se puede llevar a cabo desde cualquier tipo de lenguaje de programación, desde java hasta Simulink [30].



Figura.14 Arduino Motor Shield [31].

La tarjeta Mega Arduino que se muestra en la Figura.15, tiene un software libre de bajo costo fácilmente programable en lenguaje C/C++, este ofrece librerías para comunicación en serie y un conversor Analógico-Digital. Tiene 54 pines de entrada/salida digital, 16 entradas analógicas, una memoria flash de 256 KB, un puerto USB para conectar a un computador [31].

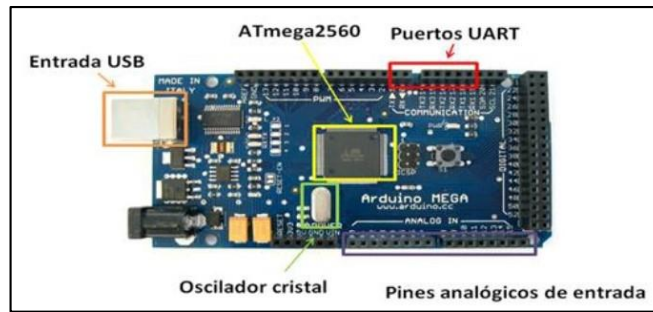


Figura.15 Arduino Mega [32].

2.2.3 Dispositivo manual

En dispositivos manuales se requiere el uso de mecanismos los cuales son cadenas cinemáticas a la que se inmoviliza uno de sus miembros, a este eje fijo se le conoce como bastidor. Refiriéndose como cadenas cinemáticas la agrupación de varios pares elementales de modo que todos los miembros integren parte del sistema e interactúen ligados entre sí. El término par cinemático se denomina al conjunto formado por dos o más miembros de un mecanismo en contacto, que se conjugan para realizar movimientos relativos entre ellos, como se visualiza en la Figura. 16 [33].



Figura. 16 Caneca compactadora de botellas PET

2.2.4 Selección del tipo interfaz

Con el fin de poder seleccionar la mejor opción para el diseño que gobernará el sistema de control, basados en la teoría del diseño concurrente se realizará una matriz de ponderación, en la cual se va a valorar las variables de costo, mantenimiento, compatibilidad seguridad y facilidad de operación, permitiendo la selección adecuada.

Tabla 5. Selección del tipo interfaz

Interfaz / Requerimientos	PLC	Arduino	Dispositivo manual
Costo	1	3	4
Mantenimiento	2	3	4
Compatibilidad	5	4	1
Seguridad	5	4	3
Facilidad de operación	1	5	5
Valor	14/25	19/25	17/25

Al realizar un análisis cuantitativo para las diferentes alternativas en la interfaz de control se establece la mejor opción como el uso del Arduino, siendo la de mayor puntuación como se muestra en la Tabla 5. No se opta por el dispositivo manual por lo que se busca innovar, como avanzar en tecnología, teniendo en consideración costo-beneficio.

2.3 Transporte

En el estudio del transporte, se considera tres tipos. Para lo cual, se analizó cada uno de ellos considerando factores como: costo, mantenimiento, compatibilidad, seguridad, y facilidad de operación:

- Banda convencional
- Bandas transportadoras tubulares
- Compuertas

2.3.1 Banda Convencional

Según Riquelme et al [34]. Define a las bandas transportadoras como elementos continuos de características flexibles que permiten el arrastre o carga de los objetos, comúnmente se desplaza entre puntos fijos. El movimiento en la trasportación es

impulsado mecánicamente. Son costosas, y requieren de mantenimiento continuo, sólo permiten trasportar en una dirección como se muestra en la Figura. 17.



Figura. 17 Banda Transportadora convencional

Los elementos que constituyen la banda de trasportación están compuestos por: la banda flexible, los rodillos de giro libre, un tambor de accionamiento que transmite el movimiento a la banda, un moto reductor encargado de definir el movimiento a través de su velocidad lineal de trasportación en la banda [35].

Los materiales de la banda, que transmiten los esfuerzos empleados en la actualidad se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Materiales de tejido empleados en las bandas transportadoras [36]

Material del tejido	Códigos de identificación
Algodón	B
Rayón	Z
Poliéster	E
Poliamida	P
Cables de acero	Set

2.3.2 Bandas transportadoras tubulares

El elemento principal en la trasportación es la banda, entre sus principales características se destaca la alta resistencia a esfuerzos de tensión, su alta flexibilidad longitudinal, rigidez trasversal [37].

A continuación, en la Figura.18 se observa una banda transportadora que posee una sección de transición. Entendiendo como sección de transición al espacio o región donde la banda cambia su forma de trabajo, de plana a tubular o viceversa. Para realizar el cierre circular de la banda se debe considerar particularidades, la cantidad de producto a transportar, la velocidad de transporte, así como la configuración de los rodillos externos que producen el cierre [37].



Figura.18 Sección de transición zona de carga [37].

2.3.3 Compuertas

Las compuertas son dispositivos de bloqueo que permiten regular el paso de un material a lo largo de una línea de trabajo, en su forma convencional estos elementos mecánicos constan de un sensor de proximidad comúnmente instalado en la parte superior. Este tiene como objetivo censar los objetos circundantes para permitir el paso a través de la compuerta, como se indica en la Figura.19. Una dificultad que representa este tipo de elementos es cuando no se requiere el paso del material a través de la compuerta esta se activará.

Generalmente los sensores de proximidad suponen un problema a la hora de trabajar, puesto que la apertura innecesaria de las compuertas debido a la falsa señal del objeto

que circunda. Sus proximidades produce gasto innecesario de energía debido a la activación de los sistemas de mando ya sean estos mecánicos o neumáticos.[38].

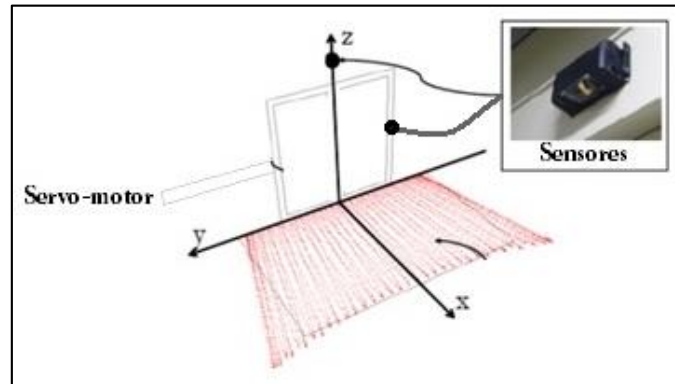


Figura.19 Configuración de compuerta automática [38].

2.3.4 Selección del tipo de transportación

Con el fin de desplazar el objeto de un punto de origen al punto de destino, se considera un medio de transporte adecuado y de fácil infraestructura.

En la Tabla 7, se presenta la matriz de valoración para la selección del sistema de transportación.

Tabla 7. Selección del tipo de transportación

Transporte / Requerimientos	Banda convencional	Banda tubular	Compuertas
Costo	3	1	3
Mantenimiento	3	3	3
Compatibilidad	4	4	4
Seguridad	5	4	4
Facilidad de operación	5	3	3
Valor	20/25	15/25	17/25

Luego de analizar los resultados cuantitativos para las diferentes alternativas de transporte, se establece que la mejor opción es mediante la banda convencional, siendo la de mayor puntuación como se muestra en la Tabla 7.

2.4 Resultado del estudio de alternativas y evaluación

Mediante el resultado obtenido a través de las matrices de ponderación. La opción de diseño está determinada por las alternativas de mayor puntuación.

Se tiene en el sistema; rodillos con puntas, sistema de control con uso de un Arduino, y trasportación por bandas convencionales.

Luego de la selección de los diferentes parámetros se puede iniciar con el diseño y los cálculos necesarios para la construcción y funcionamiento.

Es necesario resaltar que, el análisis de las alternativas permite adquirir un mayor conocimiento teórico a través del análisis de las principales características de cada uno de los componentes.

2.5 Exigencias del diseño

Se inicia con establecer los parámetros o requerimientos de las funciones que realizará la máquina. Así se dará forma a través del dimensionamiento a los distintos mecanismos de los que estará compuesto el prototipo. Estos parámetros tienen que abarcar aspectos relacionados con:

- Dimensionamiento general de sus componentes
- Tipo de energía a utilizar
- Materiales usados para su construcción
- Montaje
- Transporte de la máquina, entre otros.

Esto ayudará a visualizar mejores alternativas de solución para llevar a concretar un diseño satisfactorio, que debe estar acorde con las premisas expuestas en la Tabla 8, sobre los requerimientos del equipo.

Tabla 8. Requerimientos del equipo

Descripción
Función Principal: El prototipo debe ser capaz de recolectar, compactar y almacenar de una forma automática, con sistemas de control, para su posterior reciclado.
Geometría: Tiene una altura máxima de 1.4 metros y un ancho de 0.6 metros, por ocupación de espacio.
Fuerzas: El prototipo debe ser lo suficientemente rígido para mantener su estabilidad durante todo el proceso hasta su almacenamiento, teniendo niveladores.
Cinemática: El recorrido de los mecanismos de la máquina deben ser lo más corto posibles.
Energía: La energía eléctrica suministrada del lugar donde se localice, 220 V, trifásico.
Materiales: En la construcción deben usarse materiales con buenas propiedades de dureza, resistencia y tenacidad, tales como acero 705, acero de transmisión, de fácil obtención
Seguridad: Contar con dispositivos de seguridad para evitar accidentes y daños en la máquina, por lo que debe de existir un botón de paro de emergencia.
Fabricación: Utilizar métodos de fabricación tales que se haga factible su construcción.
Montaje: La facilidad de su instalación.
Transporte: Tener un peso y forma adecuada de tal manera que se transporte y manipule durante su instalación.
Uso: La máquina puede ser usada en cualquier lugar del Ecuador, por el usuario de una manera sencilla.
Mantenimiento: La máquina debe tener un acceso fácil a sus componentes como chumaceras, engranes. Las piezas de recambio deben ser de fácil adquisición y tener protección contra la corrosión, así como su obtención.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA

El desarrollo del presente capítulo se delinearán las características definitivas del prototipo, tomando en cuenta las condiciones y proceso sometidos al sistema de automatización, compactación y almacenamiento en su totalidad.

3.1 Diseño del Prototipo

El diseño de este prototipo se realizará en tres etapas. La primera constará de la obtención de datos a través de ensayos de compresión realizados en distintos tipos de botellas plásticas existentes del mercado nacional y que sean reciclables, para poder obtener el valor de la fuerza crítica para el compactado. La segunda etapa está determinada por el diseño y la selección de los diferentes materiales y accesorios que va a poseer el sistema de automatización, compactación, transportación. Finalmente la tercera etapa constará del diseño del bastidor o estructura metálica, en el cual se montarán todos los elementos especificados anteriormente para así poder lograr la compactación del material.

3.1.1 Características de la botella

Según estudios realizados por el medio de comunicación, el comercio en la población ecuatoriana el mayor consumo es hacia el consumo de bebidas carbonatadas y agua mineral de plástico generalmente medio litro, pero en ciertos lugares como centros deportivos o dentro de los hogares, el consumo es aún mayor por lo que la ingesta de bebidas de 1lt, 2lt y hasta 3lt como se muestra en la Figura.20, evidencia los diferentes tamaños y partes de una botella [39].

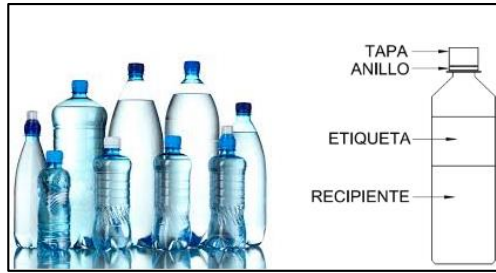


Figura.20 Tamaño y componentes de la botella [40].

Las propiedades de las botellas de plástico PET, se pueden observar en la Tabla 9, donde se evidencia las características de dicho material, estos datos serán posteriormente utilizados para el cálculo en los rodillos.

Tabla 9. Propiedades importantes del PET [41] [42].

Propiedades PET	Valor
Resistencia a la fluencia [N/mm^2]:	900
Coefficiente de fricción estático PET/Acero:	0,25
Coefficiente de fricción dinámico PET/Acero:	0,2
Fuerza de tensión [MPa]:	175
Dureza [Shore D]:	85-87
Resistencia a la flexión [kg/cm^2]:	1450
Resistencia a la compresión [kg/cm^2]:	260-280

3.1.2 Factores para definir el sistema estructural

Los factores a considerar y que serán evaluados en el siguiente análisis son:

- Confiabilidad: materiales de buena calidad, 100% de confianza en procesos de manufactura adecuados y supervisados.
- Seguridad: elementos de seguridad, que se proteja al usuario en un 100%.

- Costo: minimizar costos de un 10% a 30 % con el uso eficiente de los materiales.
- Tipo de material: Escoger el tipo de material con mejores propiedades, sin dejar de buscar el 100% de confiabilidad.

Los diferentes tipos de botellas que comúnmente se encuentran en el mercado desde la más pequeña a la más grande, permiten rescatar los siguientes datos presentados en la Tabla 10. Valores requeridos para los diferentes cálculos de transportación, compactación, almacenamiento, para el diseño del prototipo.

Tabla 10. Dimensiones de las botellas plásticas vacías

Masa(g)	25-58
Altura de la botella (mm)	150-360
Diámetro de la botella (mm)	65-116
Altura del pico de la botella (mm)	12
Diámetro del pico	27
Altura del anillo (mm)	4
Altura de la etiqueta (mm)	34-166

3.1.3 Transportación

Para los diferentes cálculos de transportación, se toma como referencia la botella de 3 litros, llena. Sobre dimensionando el prototipo para cualquier circunstancia que pueda ocurrir, sin embargo en los cilindros existen púas, las cuales pinchan a la botella, para la etapa de compactación.

3.1.3.1 Banda

La banda está fabricada a base de Cloruro de Polivinilo (PVC), un plástico que nace de la polimerización, es generalmente utilizada en los diferentes sectores industriales por su alta flexibilidad, trabaja a temperatura normal y posee resistencia al agua caliente y vapor. Posee características antiestáticas y es idónea para la manipulación de alimentos, así también, su costo en el mercado es razonable. En la Tabla 11 se muestra propiedades de los diferentes elementos a utilizar en la banda transportadora.

Tabla 11. Valores para el cálculo del diseño de banda [43][44][45][46].

	Valor	Unidad
Coefficiente de Fricción del acero	0.35	-
Coefficiente de Fricción PVC (materiales tejidos)	0.35	-
Densidad del Acero	7850	$\frac{kg}{m^3}$
Densidad de Grilón	1.14	$\frac{g}{cm^3}$
Densidad de Banda PVC	1.24	$\frac{g}{cm^3}$

Al suministrar las botellas a los cilindros de compactación es necesario guiar su camino por lo cual se decidió colocar una guía cónica como se muestra en la Figura. 21, con esto se logró reducir el tiempo de compactación.

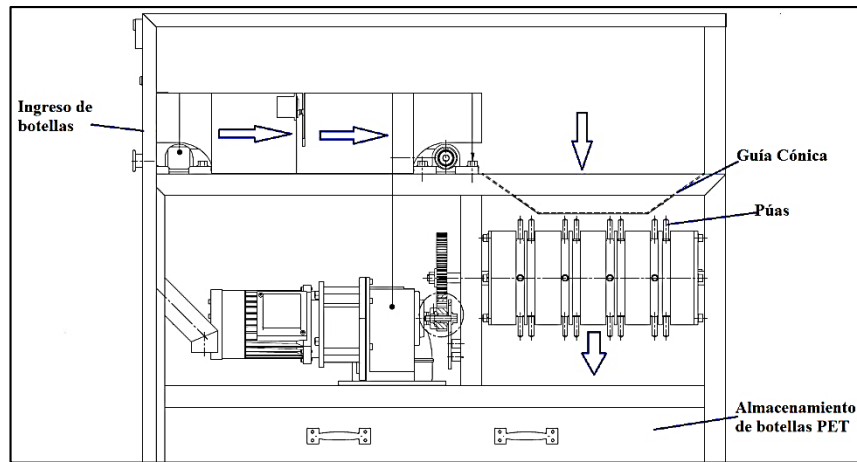


Figura. 21 Esquema de acopio de botellas PET

Cálculo de masa del rodillo

El sistema de transportación contiene dos ejes, los cuales requieren un previo cálculo para obtener el torque, el diámetro y el factor de seguridad. Se calcula de un eje de transmisión por lo que es un material económico. Se toma como referencia el valor de 122 mm que se indica en la Figura. 22 por el diámetro de la botella de 3 litros.

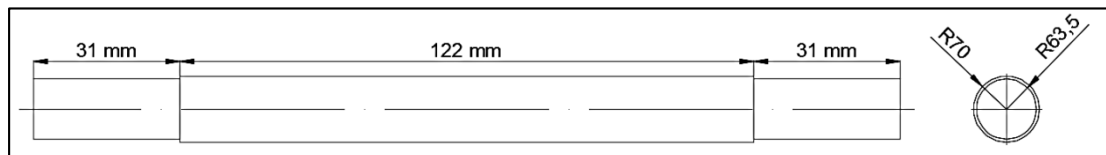


Figura. 22 Eje Conducido

$$Vol = \pi r^2 L \quad (1)$$

Dónde:

Vol: Volumen

r: Radio

L: Longitud

$$\begin{aligned} r &= 63.5\text{mm} = 0.0635 \text{ m} & r &= 7\text{mm} = 0.007 \text{ m} \\ L &= 2(31) = 62\text{mm} = 0.062 \text{ m} & L &= 122\text{mm} = 0.122 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Vol = \pi(0.00635)^2(0.062) \quad Vol = \pi(0.007)^2(0.122)$$

$$Vol = 7.854 \times 10^{-6}m^3 \quad Vol = 1.878 \times 10^{-5}m^3$$

$$m_1 = \rho Vol \quad m_2 = \rho Vol$$

$$m_1 = 7850(7.854 \times 10^{-6}) \quad m_2 = 7850(1.878 \times 10^{-5})$$

$$m_1 = 0.0616kg \quad m_2 = 0.147kg$$

$$m_1 + m_2 = m_{eje}$$

$$m_{eje} = 0.0616 + 0.147$$

$$m_{eje} = 0.208kg$$

$$m = \rho Vol \quad (2)$$

Donde:

m: Masa

ρ : Densidad

$$m_1 = 7850(7.854 \times 10^{-6}) \quad m_2 = 7850(1.878 \times 10^{-5})$$

$$m_1 = 0.0616kg \quad m_2 = 0.147kg$$

$$m_1 + m_2 = m_{eje}$$

$$m_{eje} = 0.0616 + 0.147$$

$$m_{eje} = 0.208kg$$

Para reducir costos se realiza un cilindro hueco de grilón, este va sobre puesto en el eje de transmisión, porque la banda necesita un diámetro aproximado de 32 mm como se observa en la Figura. 23 para tener un mejor tensado y funcione con facilidad.

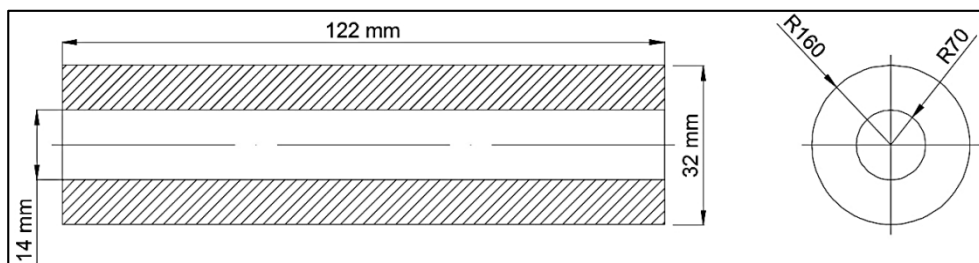


Figura. 23 Cilindro hueco de grilón

$$Vol = \frac{\pi}{4} L (d_e^2 - d_i^2) \quad (3)$$

Donde:

d_e : diámetro externo

d_i : diámetro interno

$$\begin{aligned} d_e &= 32 \text{ mm} = 3.2 \text{ cm} \\ d_i &= 14 \text{ mm} = 1.4 \text{ cm} \\ L &= 122 \text{ mm} = 12.2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vol &= \frac{\pi}{4} (12.2)(3.2^2 - 1.4^2) \\ Vol &= 79.338 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{grilón} &= \rho V \\ m_{grilón} &= 1.14(79.338) \\ m_{grilón} &= 90.445 \text{ g} \\ m_{grilón} &= 0.0904 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{Rodillo} &= m_{grilón} + m_{eje} \\ m_{Rodillo} &= 0.0904 \text{ kg} + 0.208 \text{ kg} \\ m_{Rodillo} &= 0.298 \text{ kg} \end{aligned}$$

Cálculo de masa de la banda

Para determinar la longitud de la banda, se usa la regla de Browning, basada en aplicaciones típicas sin poleas intermedias. Se toma como referencia el valor de 730 mm como se observa en la figura 24, por la altura de la botella de 3 litros.

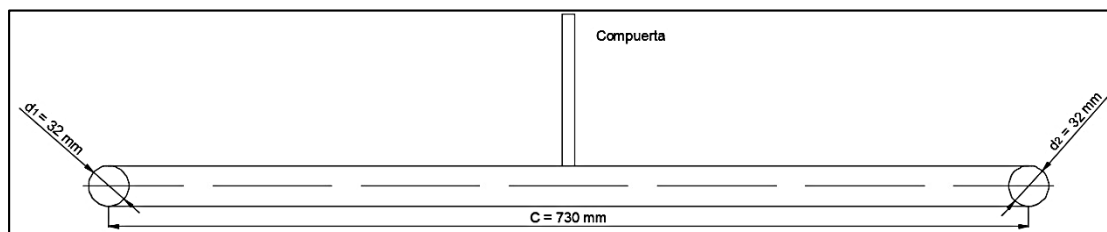


Figura. 24 Esquema de banda transportadora

$$L = 2C + 1.57(d_1 + d_2) \quad [47] \quad (4)$$

Donde:

C: distancia entre centros

d_1, d_2 : diámetros de los rodillos

$$L=2(730)+1.57(32+32)$$

$$L=1560.480 \text{ mm}$$

$$e= 2 \text{ mm} = 0.2 \text{ cm}$$

$$a= 122 \text{ mm} = 12.2 \text{ cm}$$

$$L= 1560.48 \text{ mm} = 156.048 \text{ cm}$$

$$\text{Vol}= L.a.e$$

$$\text{Vol}= 156.048 (12.2)(0.2)$$

$$\text{Vol}= 380.757 \text{ cm}^3$$

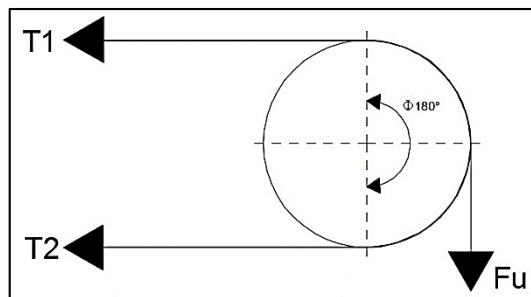
$$m_{banda} = \rho.V$$

$$m_{banda} = 1.24(380.757)$$

$$m_{banda} = 472.138 \text{ g}$$

$$m_{banda} = 0.472 \text{ kg}$$

Las tensiones de la banda dependen de la longitud, el tiempo de funcionamiento y el número de tambores de accionamiento. Las fuerzas periféricas aplicadas al rodillo accionador tienen que ser transmitidas a la banda por medio de rozamiento, sin llegar a producir deslizamiento para lo cual se debe regular la tensión aplicada, está deberá ser la más adecuada [48][49].



$$F_u = U_{rodillo} \cdot g \cdot (m_{botella} + m_{banda} + m_{rodillo}) \quad (5)$$

Siendo: F_u La fuerza tangencial

$U_{rodillo}$ Coeficiente de fricción para marcha sobre el eje

$$F_u = 0.35(9.81 \frac{m}{s^2})(3.144 + 0.472 + 0.298)kg$$

$$F_u = 13.438 N$$

$$T_1 = \frac{e^{u.\phi}}{e^{u.\phi} - 1} \cdot F_u \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{1}{e^{u.\phi} - 1} \cdot F_u \quad (7)$$

$$T_1 = \frac{e^{0.35(180)}}{e^{0.35(180)} - 1} \times 13.438$$

$$T_1 = 13.438 N$$

$$T_2 = 15\% T_1$$

$$T_2 = 2.016 N$$

T_1 y T_2 son las tensiones aplicadas a los rodillos de accionamiento, tienden a ser transmitidas a la banda por rozamiento sin que se produzca un deslizamiento, con esto se obtiene las fuerzas que se aplican al rodillo.

T_1 Es la tensión mayor o lado tenso y T_2 es la tensión menor o lado flojo, las dos tensiones pertenecen al eje motriz, esto se relaciona con la ecuación 8. Por lo cual la T_2 es casi despreciable.

$F_u \cong T_1 - T_2$	[50] (8)
-----------------------	----------

DCL X-Y

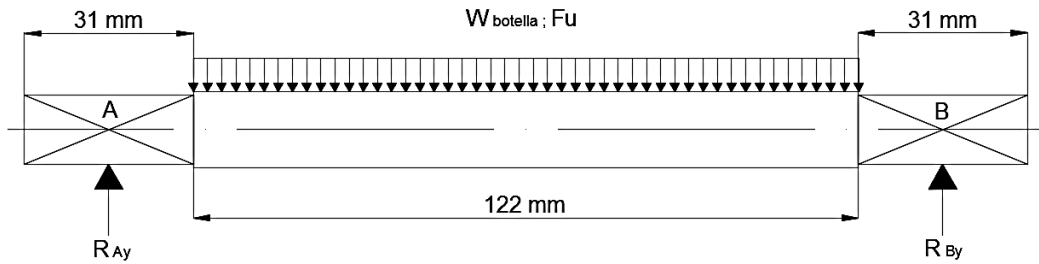
Para las diferentes fuerzas que se ejercen en el eje, se realiza un análisis en el plano x-y

$$W_{botella} = m_{botella} \cdot g = (3.144kg)(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$W_{botella} = 30.842N$$

Tanto el peso de la botella como la fuerza tangencial, se toma como una fuerza distribuida, sobre el rodillo.

$$W_{\frac{botella}{mm}} = 30.842 \frac{N}{mm}; F_u = 13.438 \frac{N}{mm}$$

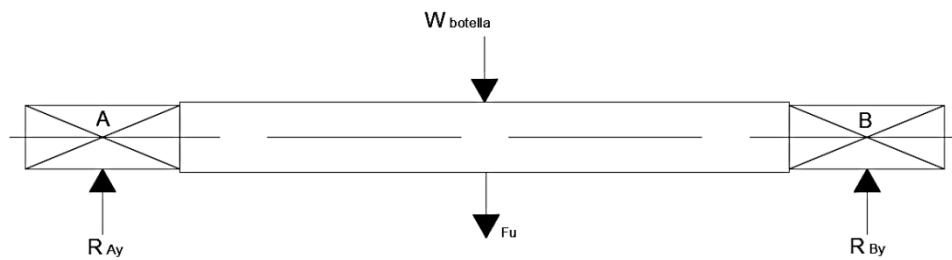


$$W_{botella} = 30.842 \frac{N}{mm} \times 122 \text{ mm}$$

$$W_{botella} = 3762.802 \text{ N}$$

$$F_u = 13.438 \frac{N}{mm} \times 122 \text{ mm}$$

$$F_u = 1639.436 \text{ N}$$



$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By}(0.153m) - Fu(0.0765m) - W_{bot}(0.0765) = 0$$

$$R_{By} = \frac{13.438N(0.0765m) + 30.842N(0.0765)}{0.153m}$$

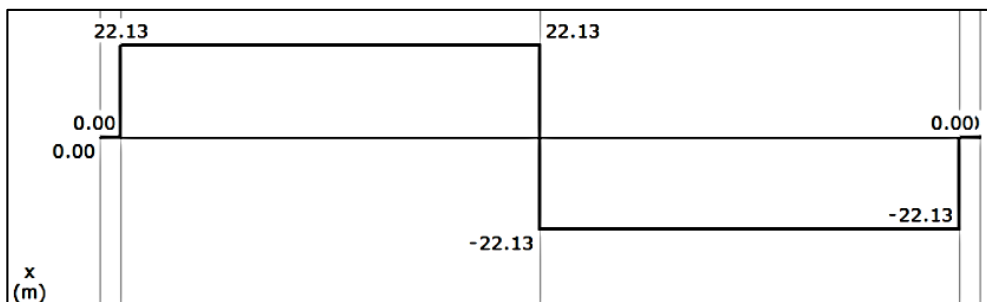
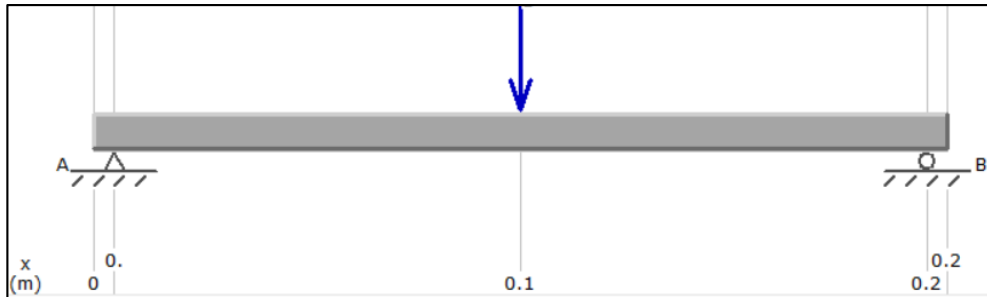
$$R_{By} = 22.140[N]$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - Fu - Fbot = 0$$

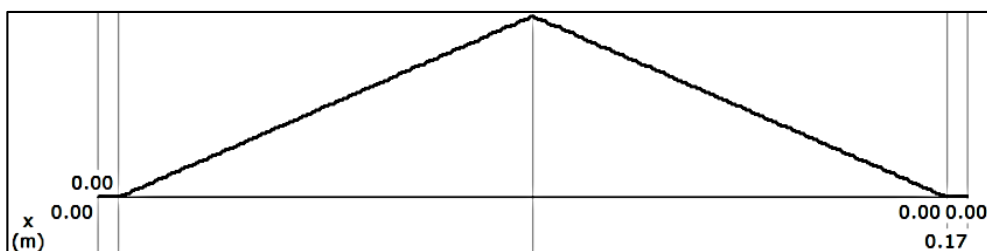
$$R_{Ay} = (13.438 + 30.842 - 22.140)[N]$$

$$R_{Ay} = 22.140[N]$$



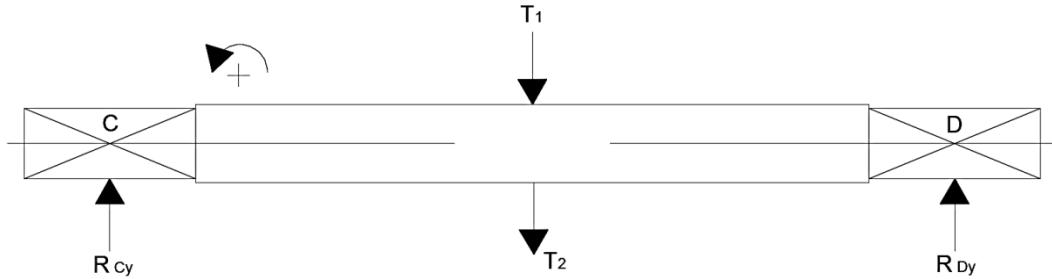
$$A_1 = 22.140 \times 0.0765 = 1.694[Nm]$$

$$A_2 = -22.140 \times 0.0765 = -1.694[Nm]$$



DCL X-Z

También se realiza un análisis en el plano x-z, para las diferentes fuerzas que se ejercen en el eje



$$\sum M_C = 0$$

$$R_{Dy}(0.153m) - T1(0.0765m) - T2(0.0765) = 0$$

$$R_{Dy} = \frac{13.438N(0.0765m) + 5.858 \times 10^{-27}N(0.0765m)}{0.153m}$$

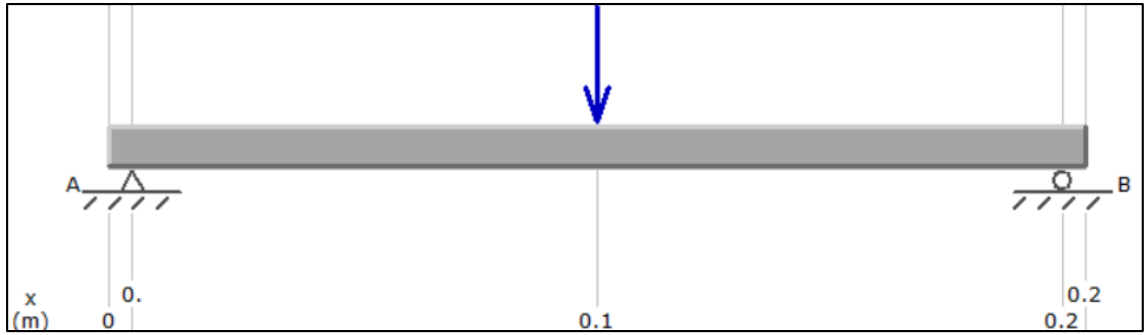
$$R_{Dy} = 6.719[N]$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

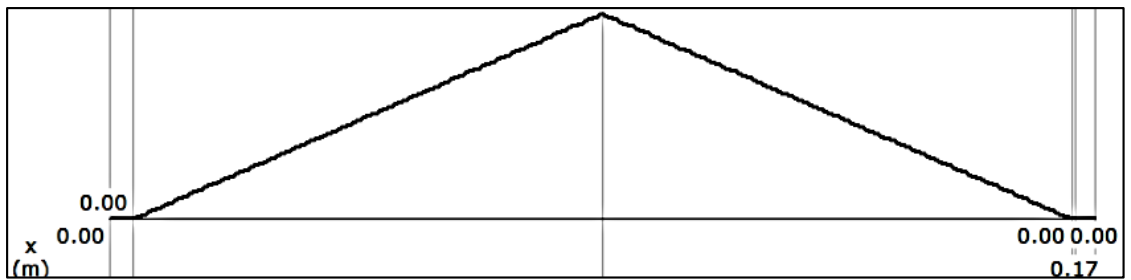
$$R_{Cy} + R_{Dy} - T1 - T2 = 0$$

$$R_{Cy} = (13.438 + 5.858 \times 10^{-27} - 6.719)[N]$$

$$R_{Ay} = 6.719[N]$$



$$M_1 = 6.719 \times 0.0765 = 0.514[Nm] = M_2$$



Combinación de planos ortogonales como vectores para la obtención del momento máximo.

$$M_{m\acute{a}x} = \sqrt{1.694^2 + 0.514^2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 1.770[Nm]$$

Se realiza un diagrama de las fuerzas que actúan sobre el rodillo.

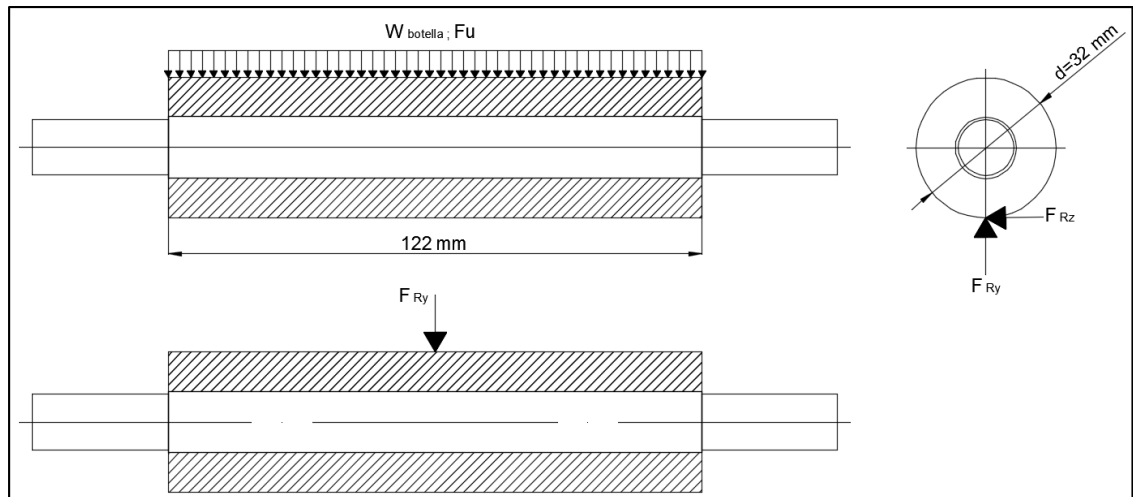


Figura. 25 Diagrama de fuerzas del rodillo

$$F = Fu + W_{botella} = (30.842 + 13.438)N$$

$$F = 44.280 N$$

La fuerza se distribuye por el rodillo $F = 44.280 N/mm$

$FR_Y = F \times d$	(9)
---------------------	-------

$$FR_Y = 44.280 \left[\frac{N}{mm} \right] \times 122 [mm]$$

$$FR_Y = 5402.16 [N]$$

$FR_z = \mu \times FR_Y$	(10)
--------------------------	--------

$$FR_z = 0,35 \times 5402.16 [N]$$

$$FR_z = 1890.756 [N]$$

$T = FR_z \times \frac{d}{2}$	(11)
-------------------------------	--------

$$T = 1890.756[N] \times \frac{0,032[m]}{2}$$

$$T = 30.252 [N.m]$$

Para la primera iteración de diseño del eje se toma un filete de hombro, redondeado por lo que las fuerzas de reacción son pequeñas, Se toma el valor $k_t = 1.7$, $k_{ts} = 1.5$

	Bending	Torsional	Axial
Shoulder fillet—sharp ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Shoulder fillet—well rounded ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
End-mill keyseat ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Sled runner keyseat	1.7	—	—
Retaining ring groove	5.0	3.0	5.0

Figura. 26 Factores de concentración de esfuerzos[51]

Es necesario dar un paso rápido y conservador, se supone $k_f = k_t$

Para la dimensión del eje se toma el acero A36, el $S_{ut}=400\text{MPa}$, su resistencia se ha tomado de los diversos catálogos de distribuidores de aceros [52], para el valor de k_a se trabaja con el recomendado, se puede observar en la Figura. 27, el cual considera un acabado superficial por maquinado (Machined).

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Figura. 27 Parámetros en el factor superficial[51]

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

$$k_a = 4.51(400)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.922$$

Consideración para el factor de tamaño de K_b , siendo el diámetro 14 mm, se toma:

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \quad 2.79 \leq d \leq 51\text{mm}$$

$$k_b = 1.24(14)^{-0.107} = 0.934$$

El factor de tamaño K_c , su valor para la torsión es un valor $k_c=0.590$

$S_e = k_a + k_b + k_c + k_d + k_f + S_{ut}$	(12)
--	-------

$$S_e = 0.922 \times 0.934 \times 0.590 \times 1 \times 1.7 \times 400 [MPa]$$

$$S_e = 345.492 [MPa]$$

Se utiliza el criterio de ED-Goodman, cuya ecuación es:

$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2(k_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3(k_{ts} \times T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$	(13)
---	-------

El valor del factor de seguridad $n=1.5$ ya que no se considera la banda como riesgo para el usuario.

$$d = \left\{ \frac{16 \times 1.5}{\pi} \left(\frac{2(1.7 \times 1.770 [Nm])}{345.492 \times 10^6} + \frac{[3(1.5 \times [30.252 N.m])^2]^{1/2}}{400 \times 10^6} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.011778 \text{ m} = 11.778 \text{ mm}$$

Se calcula el nuevo factor de seguridad despejando de la ecuación 13, con el diámetro del eje diseñado, $d=14$ mm.

$$n = \frac{\pi(d)^3}{16 \left(\frac{2(k_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3(k_{ts} \times T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right)}$$

$$n = 2.518$$

Por el material de la banda debido a que necesita mayor diámetro para un mejor agarre, y por el acople flexible 5-8 mm que se encuentra en el mercado, el eje se hizo de un diámetro final 14 mm, en Grilón de diámetro exterior de 32 mm, al considerar su bajo costo.

3.1.4 Compactación

El sistema de compactación se analiza la parte más crítica, el eje donde están soportado el rodillo con las púas, para obtener así los valores en cada sección del eje y conseguir el compactado deseado.

3.1.5 Fuerza necesaria de compactación

Para obtener la fuerza necesaria para el cálculo del diseño de los diferentes elementos que intervienen en la compactación, se realiza pruebas en la máquina universal electromecánica de investigación de ensayos llamada TestResources, ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Politécnica Salesiana.

Para un valor más exacto de la fuerza se realizó dos ensayos de laboratorio, cada uno consta de 3 pruebas, para lo cual se recolectó botellas de diferentes volúmenes, y marcas que darán el valor crítico de compactación. Sus características se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12. Propiedades básicas de las diferentes botellas comerciales en Ecuador

Tipo de Bebida	Volumen (ml)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
Hidratante	750	75	247
Gaseosa	1140	102	340
Agua	3000	116	360

El primer ensayo de compactación se realizó sin la tapa puesta, dando como resultado la fuerza máxima de compactación de 4081.46 N, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de primer ensayo de compactación

Tipo de Bebida	Fuerza (N)	Grosor último (mm)
Hidratante	4081.46	11.40
Gaseosa	3413.11	11
Agua	1142.97	13

El segundo ensayo de compactación se realizó con la tapa puesta, conciderando las situaciones que puedan ocurrir en el proceso. La botella de bebida hidratante es la que requiere mayor fuerza, este valor se ubica en 5178.19 N, como que se indica en los resultados de la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de segundo ensayo de compactación

Tipo de Bebida	Fuerza (N)	Grosor último (mm)
Hidratante	5178.19	10.50
Gaseosa	3617.14	11.00
Agua	1251.98	18.00

De la Figura. 28 a la Figura. 30 se muestra las gráficas fuerza – posición, resultado de las pruebas realizadas, se mostrará variaciones que sufre la botella al momento de la compresión.

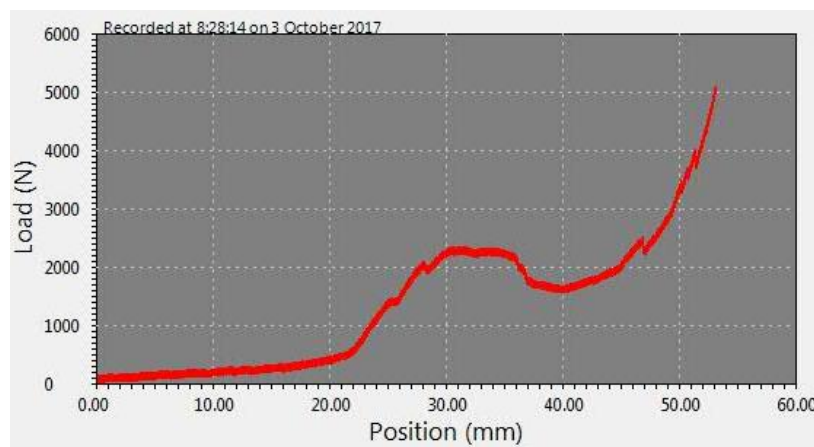


Figura. 28 Diagrama de botella Hidratante 750 ml, Fuerza-Posición.

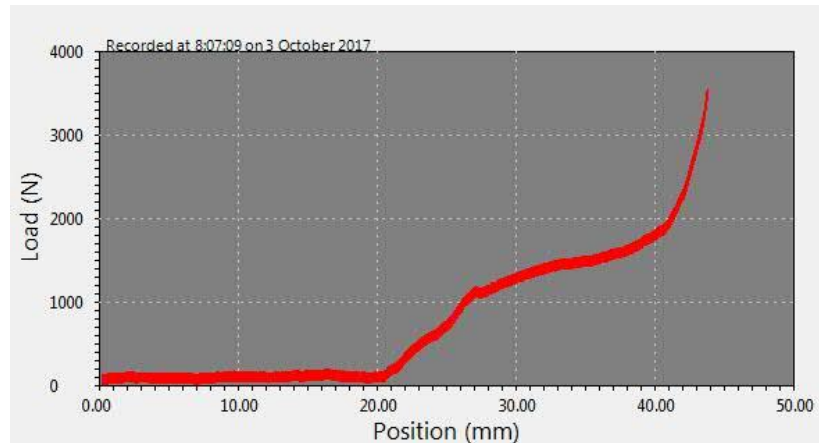


Figura. 29 Diagrama de Botella de Gaseosa 1140 ml, Fuerza-Posición.

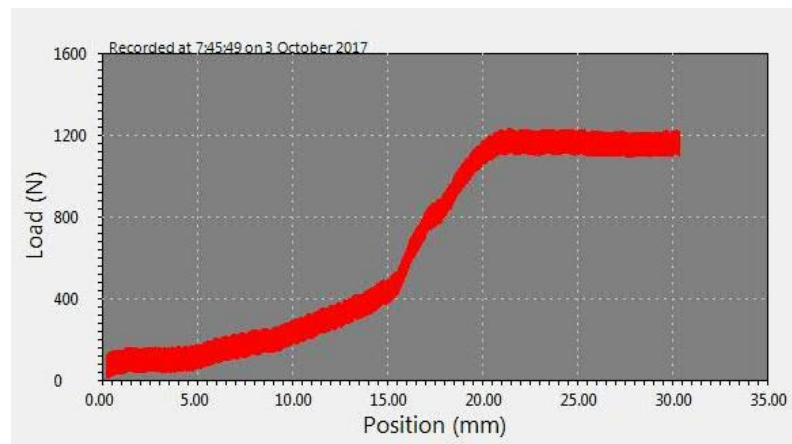


Figura. 30 Diagrama de Botella de Agua 3000 ml, Fuerza-Posición.

De acuerdo a los resultados de los dos tipos de ensayos realizados, como se indican en la Tabla 13 y Tabla 14 la fuerza más crítica es de 5178.19 N, este valor es con una botella tapada, pero al utilizar púas en los rodillos como punzones para el arrastre, esta queda sin aire, por lo tanto donde más ejerce presión es en los picos de las botellas, siendo estos estándar. Eligiendo para el prototipo la fuerza más crítica de 4081,463 [N], que equivale a ensayos de botellas sin tapa. Se toma este valor para no sobre dimensionar el diseño, reducir costos, teniendo en cuenta que es un prototipo.

Rodillos

Los rodillos son cilindros huecos con ranuras y con agujeros roscados con el fin de enroscar las púas, como se muestra en la figura 31. Además la función principal de estos elementos es el aplastamiento de las botellas y reducir su volumen.

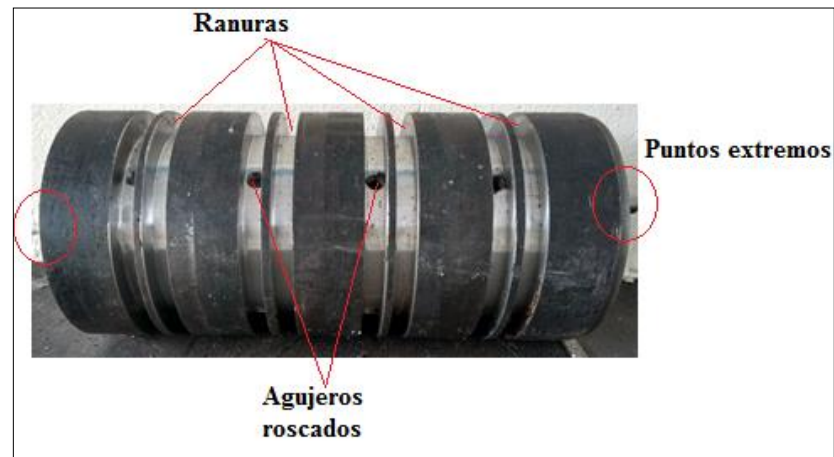


Figura. 31 Rodillo compactador.

La probabilidad de que el envase ingrese en forma paralela o vertical en los rodillos es de un 50%. El pico de la botella es el que requiere la mayor fuerza de compactado, sin saber la ubicación exacta donde se encontrará este, todo el rodillo debe ser capaz de compactar sin problema alguno.

Rodillo de compactación

La longitud del rodillo debe ser mayor que la longitud de la botella de 3 litros, así se garantizará el compactado en un 100% como se muestra en la Figura. 32.

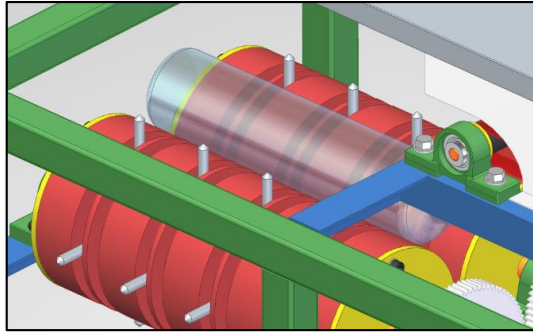


Figura. 32 Esquema de rodillo compactador.

Mediante el diagrama de cuerpo libre que se indica en Figura. 33, permite determinar la fuerza y torque sobre el rodillo al momento de realizar la compactación.

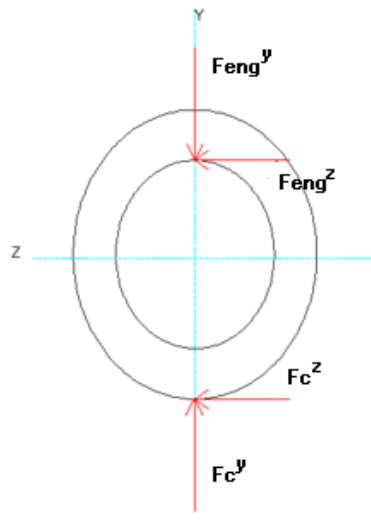


Figura. 33 Diagrama fuerzas del rodillo compactador.

Con el diagrama de cuerpo libre, se obtendrá la fuerza en el eje Y, como en el eje Z.

$$F_c^y = F_c \times dr \tag{14}$$

$$F_c^y = 4081,463 \left[\frac{N}{mm} \right] \times 380[mm] = 1550,955 [kN]$$

$$F_c^z = \mu \times F_c^y \tag{15}$$

$$F_c^z = 0,25 \times 1550,955[kN] = 387.738[kN]$$

El torque del rodillo se determina en la ecuación (16):

$$T = Fc^z \times \frac{d}{2} \quad (16)$$

$$T = 387,738[kN] \times \frac{0,1778[m]}{2} = 34,46[kN.m]$$

Cálculo de fuerza en los engranes:

$$F_{eng}^z = \frac{T}{r} \quad (17)$$

$$F_{eng}^z = \frac{34,46}{0,084} = 410,357[kN]$$

$$F_{eng}^y = F_{eng}^z \times \tan(\alpha) \quad (18)$$

$$F_{eng}^y = 427.619 \tan 20 = 149,357[kN]$$

Para validar los valores anteriores se procede con un diagrama de cuerpo libre, en consideración que la longitud máxima de los rodillos debe ser mayor que las botellas. La determinación de las fuerzas en los apoyos B y C del rodillo 1 se inicia con el DCL expresado en Figura. 34

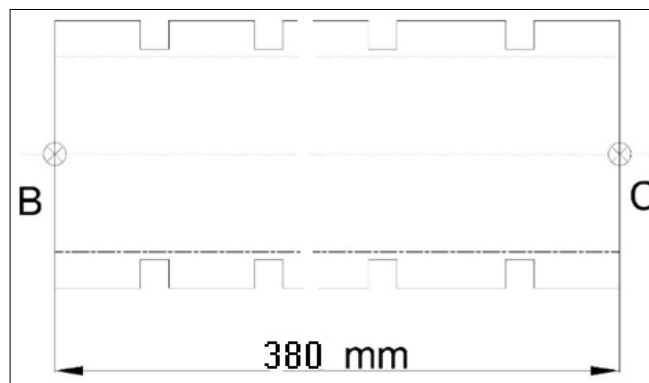


Figura. 34 Puntos de apoyo del rodillo.

Se considera una fuerza distribuida a todo el rodillo, ya que la probabilidad de que el pico de la botella se ubique en cualquier punto de los rodillos es alta. Mediante la

ayuda del programa MD Solid 4.0 como se observa en la Figura. 35, se pudo validar el resultado de los cálculos teóricos.

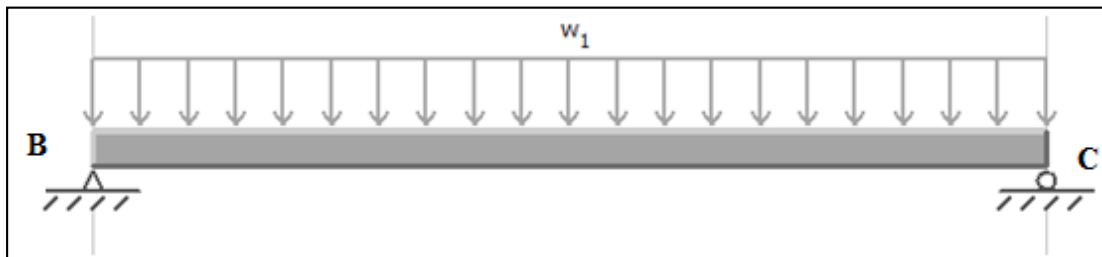


Figura. 35 Diagrama de Análisis de esfuerzos.

Con el diagrama de carga se determina las reacciones que actúan en los diferentes puntos de apoyo. En donde la fuerza es de $W_1 = 4081,463 \left[\frac{N}{mm} \right]$

$$\uparrow R_B = \uparrow R_C = \frac{Wl}{2} \quad (19)$$

$$\uparrow R_B = \frac{4081,463 \times 380}{2} = 775,478 [kN]$$

En la Figura. 36, se muestra el diagrama de corte del rodillo y el valor de las reacciones en los puntos de apoyo del rodillo.

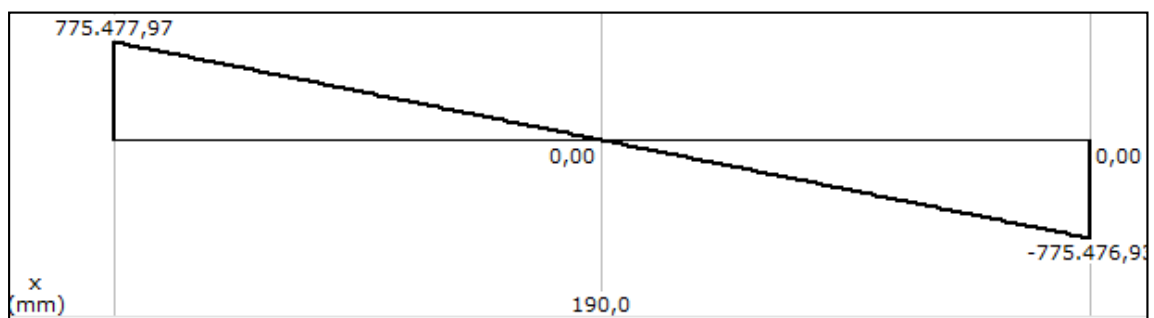


Figura. 36 Diagrama de corte.

También se determina el momento máximo, partiendo del diagrama de corte.

$$M_{max} = \frac{Wl^2}{8} \quad (20)$$

$$M_{max} = \frac{4081,463 \times 380^2}{8} = 73.670,407 \text{ [N.mm]}$$

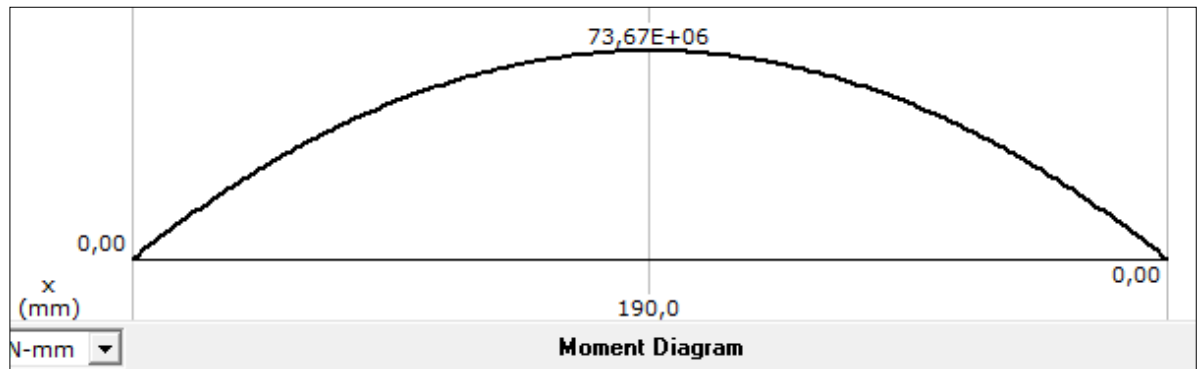


Figura. 37 Diagrama de Momentos.

Eje del rodillo

Los rodillos están apoyados sobre ejes. Estos giran porque transmiten potencia del motorreductor y se encuentra apoyados entre los soportes de los puntos A y D, como se ve la Figura. 38.

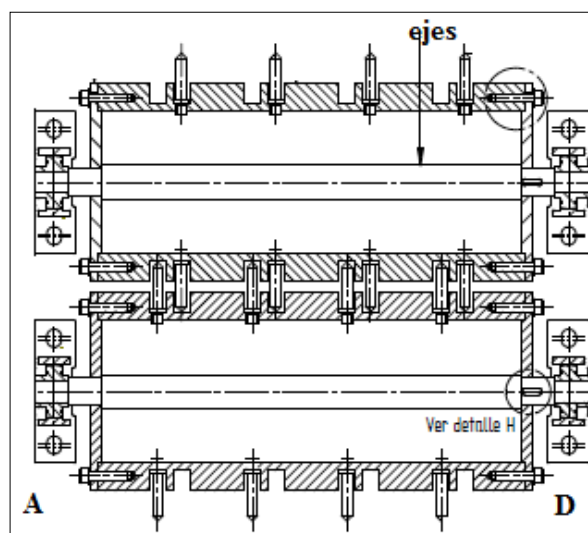


Figura. 38 Ejes de rodillos y puntos de apoyo.

Se determina las fuerzas del eje partiendo de un diagrama de cuerpo libre del eje 1, como se muestra en la Figura. 39, pero como ejercen distintas fuerzas primero se analiza el plano x-y.

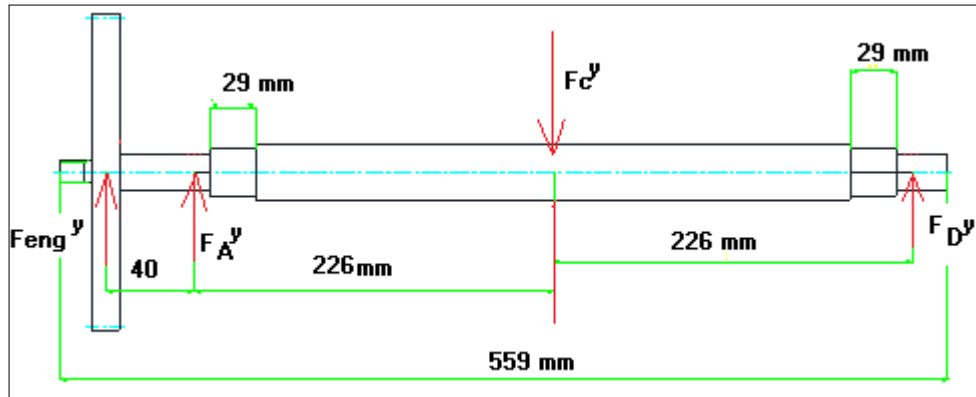


Figura. 39 Diagrama de las fuerzas del eje 1.

$$\sum MA \uparrow = 1550,95[kN] \times 226[mm] - F_D^y \times (452) + 155,641[kN] \times 40 = 0$$

$$F_D^y = \frac{1550,95[kN] \times 266 + 155,641[kN] \times 40}{452} = 789,248[kN]$$

Posteriormente se procede con el cálculo de la fuerza en el Punto A:

$$\sum MD \uparrow = 155,641[kN] \times 492 - 1550,95[kN] \times 286 + F_A^y \times (452) = 0$$

$$F_A^y = \frac{-155,641 \times 492 + 1550,95[kN] \times 226}{452} = 606,06 [kN]$$

La validación de resultados se realiza mediante el uso de software con el fin de analizar los resultados teóricos sean los correctos, evitar así un sobre o mal dimensionamiento que termine con el fallo del componente. En la Figura. 41, se observa del DCL y el resultado.

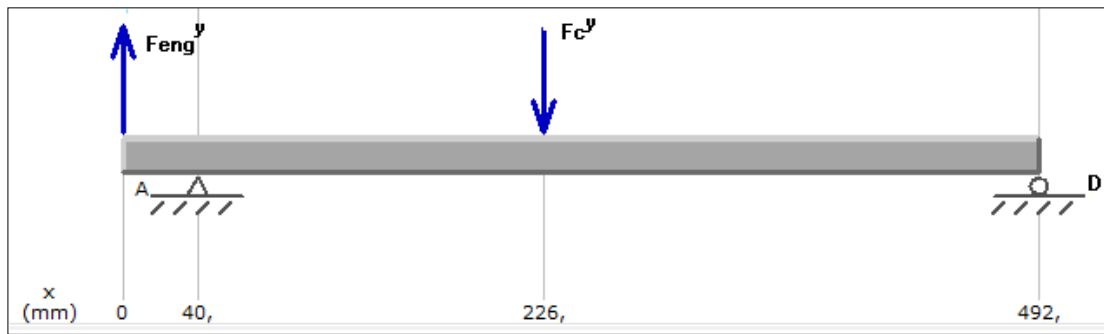


Figura. 40 diagrama de fuerzas del eje 1.

A continuación se observa fuerza de corte en la figura 41.

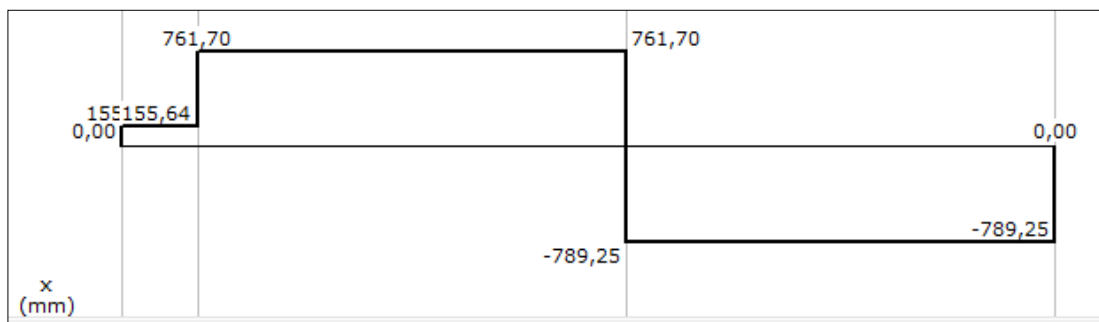


Figura. 41 Diagrama de corte del eje 1

$$M_1 = 155,64[kN] \times 40 = 6,225[kN \cdot mm]$$

$$M_2 = 761,70[kN] \times 226 = 172,144[kN \cdot mm]$$

$$M_3 = 789,25[k] \times 226 = 178,37[kN \cdot mm]$$

Los cálculos obtenidos permiten realizar el análisis de momentos y encontrar el momento máximo en dicho eje como lo muestra en la Figura. 42.

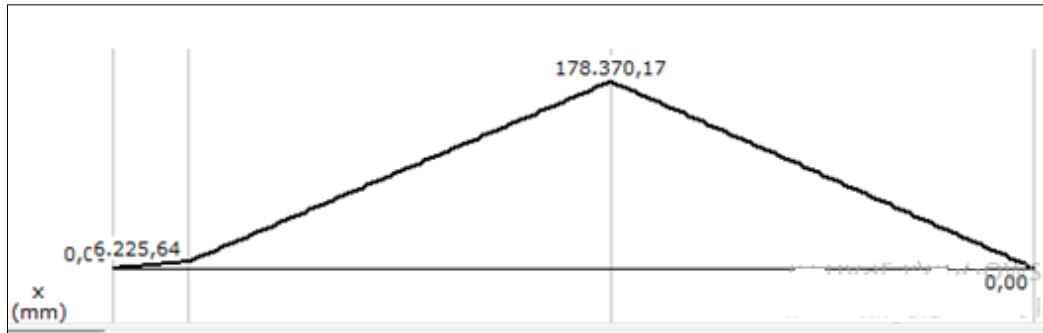


Figura. 42 Diagrama de momento del eje 1.

Por las diferentes fuerzas que ejercen en el eje, también se realiza un análisis en el plano xz como se observa en la Figura. 43.

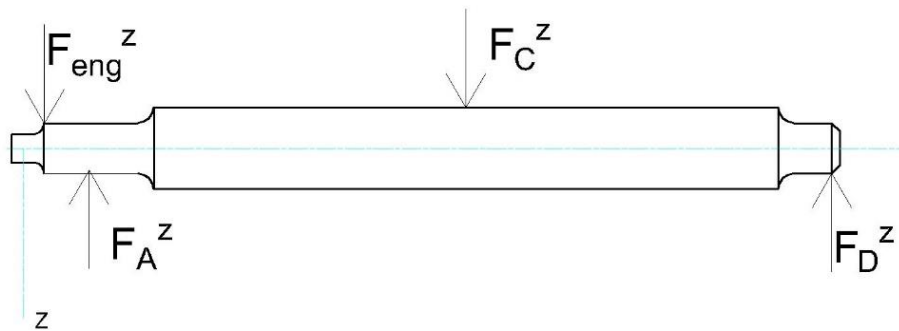


Figura. 43 Diagrama de cuerpo libre X-Z.

$$\sum MA \uparrow = -427,619[kN] \times 40 + 387,738[kN] \times 226 - F_D^z \times (452) = 0$$

Donde se obtiene F_D^z :

$$F_D^z = \frac{-427,619[kN] \times 40 + 387,738[kN] \times 226}{452} = 156,026 [kN]$$

Calcular en el punto D:

$$\sum MD \uparrow = -387,738[kN] \times 226 + F_A^z \times (452) - 427,619[kN] \times 492 = 0$$

Obteniendo así el valor de F_A^z :

$$F_A^z = \frac{387,738[kN] \times 226 + 427,619[kN] \times 492}{452} = 659,33 [kN]$$

La verificación del análisis del eje en el software permite verificar puntos críticos en el eje de tal forma que el momento flector máximo no produzca la flexión en los rodillos, como se muestra en la Figura. 44.

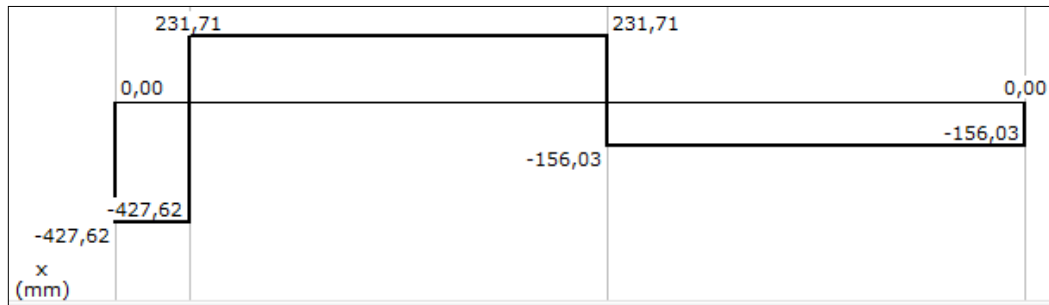


Figura. 44 Diagrama de corte plano xz.

$$M_1 = -427,62[kN] \times 40 = 17104,8[kN. mm]$$

$$M_2 = 231,71[kN] \times 226 = 52366,46[kN. mm]$$

$$M_3 = -156,03[kN] \times 226 = 35262,78[kN. mm]$$

El cálculo de momento máximo como lo muestra en la Figura. 45, permite determinar el valor del esfuerzo sobre eje.

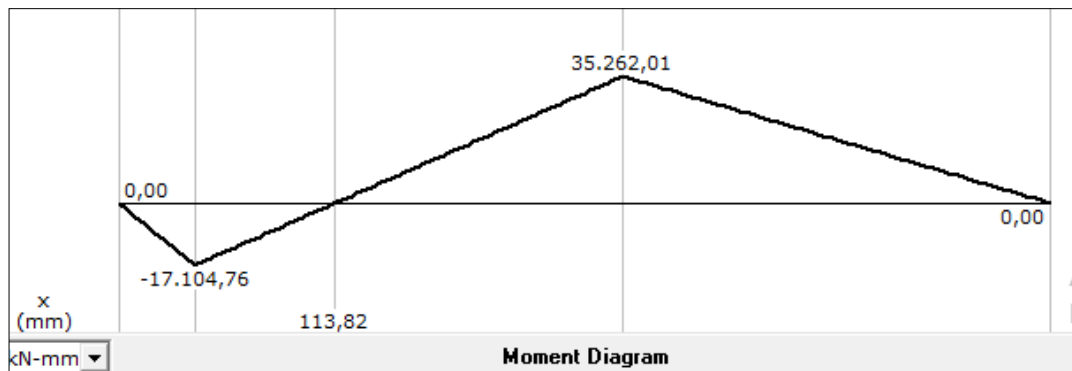


Figura. 45 Diagrama de momento del eje 1 en el plano xz

Combinar los planos ortogonales como vectores para obtener momentos totales y así encontrar el momento máximo.

$$M_{1max} = \sqrt{6225,64^2 + 17104,76^2} = 18202,361 [kN \cdot mm]$$

$$M_{2max} = \sqrt{178370,17^2 + 35262,78^2} = 181822,389 [kN \cdot mm]$$

Las dimensiones para ambos ejes son los mismos al igual que los cálculos para el dimensionamiento de estos, se lo efectúa con respecto al eje 1, porque posee más datos, valores en los segmentos y es el motriz de ambos rodillos. A partir de los datos obtenidos se puede observar algunos valores y se procede estimar el más crítico como se muestra en la Tabla C₁ del anexo C.

$$k_t = 1,7$$

$$k_{ts} = 1,5$$

Para realizar el dimensionamiento del eje, de la Tabla C₂ del anexo C, se emplea el uso del Acero 4340 que tiene excelentes propiedades mecánicas y se puede encontrar en el mercado con facilidad su $S_{ut} = 1470 MPa$, el factor K_a se determina de la Tabla C₃, que se encuentra en anexos C.

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (21)$$

$$k_a = 4,51 \times (1470)^{-0,265} = 0,6528$$

Considerar $k_b = 0,9$, verificar después cuando se conozca el diámetro.

$$S_e = k_a \times k_b \times k_f \times S_{ut} \times k_c \times k_d \quad (22)$$

$$S_e = 0,65288 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,5 \times 1470 = 431,880 \text{ [MPa]}$$

Calcular el primer diámetro con la ED-Goodman

$$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2(k_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3(k_{ts} \times T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad (23)$$

$$d = \left\{ \frac{16 \times 2}{\pi} \left(\frac{2(1,7 \times 35262,78 \text{ [N.m]})}{431\,880\,000} + \frac{[3(1,5 \times 34,46 \text{ [kN.m]})^2]^{1/2}}{1470\,000\,000} \right) \right\}^{1/3}$$

$$= 0,017455 \text{ [m]}$$

A continuación, los valores que se obtendrá son los diámetros de las diferentes secciones del eje de la máquina.

$$d_{rod} = 0,017455 \text{ [m]} \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 17,455 \text{ [mm]} \approx 18 \text{ [mm]}$$

$$d_{eng} = 0,017455 - 0,002 = 0,015455 \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 15,455 \approx 16 \text{ [mm]}$$

$$d_{tub} = 1,2 \times (0,017455) = 0,020946 \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 20,946 \approx 21 \text{ [mm]}$$

Verificar si estas estimaciones son aceptables

$$\frac{D}{d} = \frac{21}{18} = 1,166 \approx 1,2 \quad (24)$$

Suponga que el radio del filete $r = d/10 \cong 0,16$

$k_t = 1,7$, en donde se puede observar en la Figura. 46, $q = 0,925$

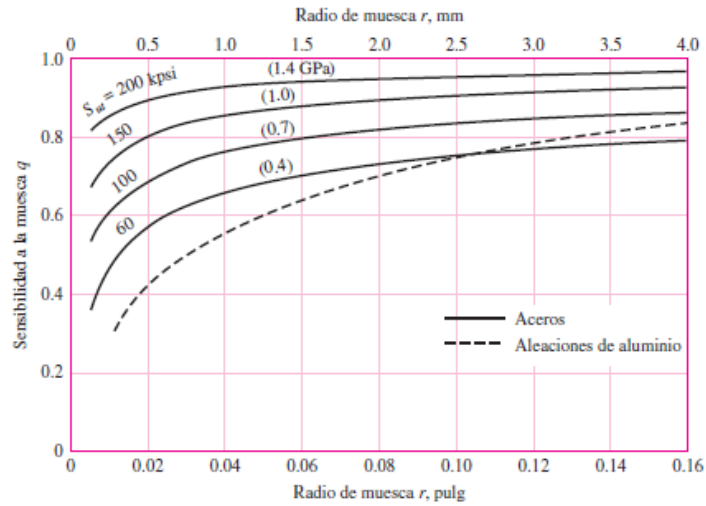


Figura. 46 sensibilidad de la muesca [53].

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (25)$$

$$k_f = 1 + 0,925(1,7 - 1) = 1,647$$

$k_{ts} = 1,45$, en la Figura D₂ del anexo D se observa los siguientes valores como son,
 $q_s = 0,96$

$$k_{fs} = 1 + q_s(k_{ts} - 1) \quad (26)$$

$$k_{fs} = 1 + 0,96(1,45 - 1) = 1,432$$

Factor de superficie $k_a = 0,6528$

Factor de tamaño

$$k_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} \quad (27)$$

$$k_b = \left(\frac{17,455}{7,62}\right)^{-0,107} = 0,9151$$

Donde:

$$S_e = 0,65288 \times 0,915 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,5 \times 1470 = 439,078 \text{ [MPa]}$$

Remplazando el valor de S_e en la ecuación (15) se encontrará el esfuerzo.

$$\sigma'_a = \frac{32k_f M_a}{\pi d^3} \quad (28)$$

$$\sigma'_a = \frac{32(1,647)(35,2678)}{\pi(0,017455)^3} = 111.333 \text{ [MPa]}$$

Por lo que se obtendrá:

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (29)$$

$$\sigma'_m = \frac{\sqrt{3}(16)(1,432)(34,46)}{\pi(0,017455)^3} = 81,922 \text{ [MPa]}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{111,333 \text{ [MPa]}}{439,078 \text{ [MPa]}} + \frac{81,922 \text{ [MPa]}}{1470 \text{ [MPa]}} = 0,3092 \quad (30)$$

$$n_f = 3,23$$

Donde se realiza el cálculo del factor de seguridad a la fluencia, obteniendo el valor de S_y de la tabla C7 del anexo C:

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{m\acute{a}x}} = \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m} \quad (31)$$

$$n_y = \frac{1360 \text{ [MPa]}}{111.333 + 81,922 \text{ [MPa]}} = 7,04$$

El factor de seguridad, por ser un material conocido con buenas propiedades mecánicas y estar sujeto a cargas, es de 2 o mayor. Como resultados se obtiene un factor de seguridad a la fluencia de 7,04 que es mayor a 2, lo que indica que el eje no va a fallar a fluencia.

El material de los ejes es un acero bonificado 705 en el mercado, o su equivalente AISI 4340, por ser el más utilizado en la creación de árboles y ejes. Las propiedades de este acero como el templado y revenidos, le dan mejores características al material.

Se determina el diámetro del eje que resista el mayor momento flector, que se encuentra en el punto A. En este lugar descansa sobre un rodamiento, por lo cual se eligió un diámetro de eje de 25 mm y posteriormente se realizó el maquinado para los diferentes puntos de apoyo.

3.1.5.1 Engranés

Los engranes son parte fundamental de la transmisión del movimiento en el sistema de potencia y fuerza. Se procede a calcular la relación de transmisión para obtener el valor del número de dientes de los engranes y su velocidad requerida.

Relación de transmisión.

Mediante la siguiente fórmula se obtendrá la relación de transmisión.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1} = i \quad (32)$$

Donde: $\frac{137 \text{ rpm}}{30 \text{ rpm}} \approx 4 = i$, entonces la relación de transmisiones 4:1

Donde:

N=número de rpm.

D= diámetro del círculo primitivo.

i = relación de transmisión

En la Figura 47, se observa todos los componentes de un engrane a calcular.

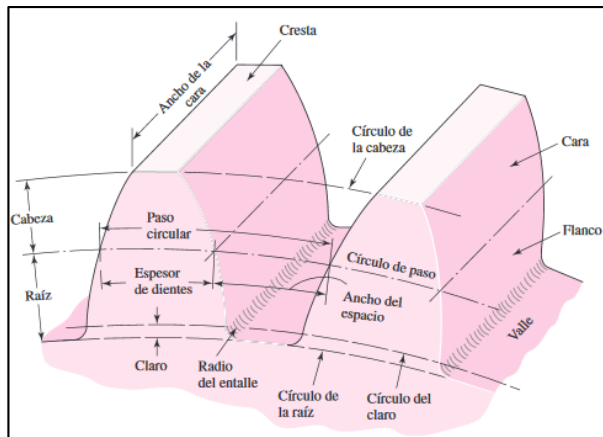


Figura. 47 Nomenclatura de los dientes rectos de engranes rectos [53].

Se debe conocer la distancia entre los dos ejes para poder saber el tamaño de los piñones y engranes como se observa en la siguiente Figura. 48.

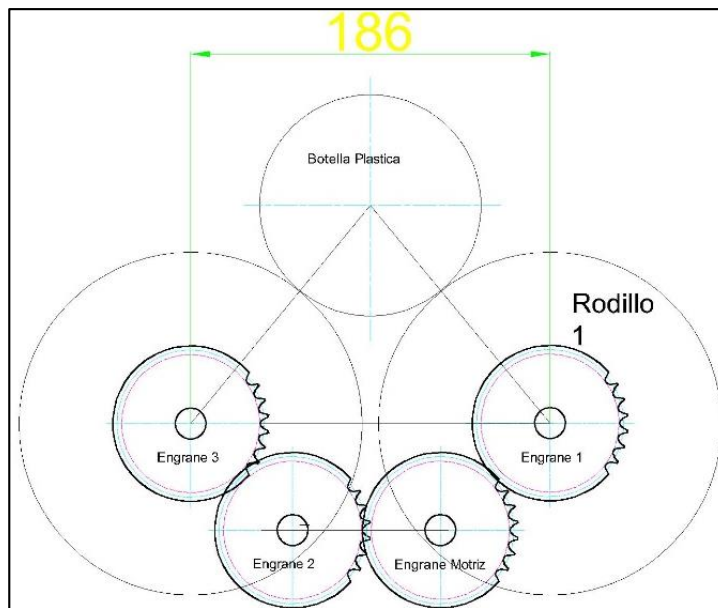


Figura. 48 Juego de tren de Engranes para reducción de velocidad.

Se establece en 186 mm el valor entre los ejes. Para acoplar el tren de engranes se optó por calcular los piñones y engranes, con el fin de dar movimiento en sentidos opuestos a los rodillos.

Cálculo del piñón motriz y el piñón de conjunto:

Con la distancia entre los dos ejes principales se puede determinar el tren de engranes que se necesita para transmitir el movimiento del motorreductor.

Para encontrar el diámetro primitivo se escoge un módulo adecuado, hay que tomar en cuenta que se encuentre en el mercado.

$$D_p = M \times Z \quad (33)$$

Donde:

$$D_p = 2 \times 22 = 44 [mm]$$

El valor de la ecuación (33) se reemplaza en ecuación (34) donde se obtiene D_e :

$$D_e = D_p + 2 \times M \quad (34)$$

$$D_e = 44 + 2(2) = 48[mm]$$

$$D_i = D_p - 2,5 \times M \quad (35)$$

$$D_i = 44 - 2,5(2) = 39 [mm]$$

La altura del diente se la obtiene de la ecuación (36):

$$h = 2,25 \times M \quad (36)$$

$$h = 2,25 \times (2) = 4,5 [mm]$$

$$j = 0,25 \times M \quad (37)$$

$$j = 0,25(2) = 0,5 [mm]$$

Para la obtención del paso se realiza mediante la ecuación (38).

$$P = \pi \times M \quad (38)$$

$$P = \pi(2) = 6,28 [mm]$$

El espesor del diente es:

$$E = \frac{P}{2} \quad (39)$$

$$E = \frac{6,283}{2} = 3,142 [mm]$$

Se debe considerar la cara del engrane, se puede determinar con la ecuación (40)

$$F = \beta \cdot \frac{\pi D e}{z} = 3 \cdot \frac{\pi(168)}{82} = 19.03 \approx 20 [mm] \quad (40)$$

Donde:

P: paso diametral, dientes por pulgada

d: diámetro de paso, mm

M: módulo, mm

p: paso circular

De: diámetro exterior

Di: diámetro interior

Dp: diámetro primitivo

E: espesor del diente

h: altura del diente

j: juego

Z: número de diente

F: ancho de la cara del engrane

β : factor de Diseño para diente con acabado es de 2.5-3[54].

Con los valores obtenidos se debe considerar el material con el que se puede fabricar ambos piñones, un motriz y un libre. Se toma en cuenta el módulo es 2, el número de dientes es 22.

Cálculo de Engrane reductor de velocidad:

$$D_p = M \times Z = 2 \times 82 = 164 \text{ [mm]}$$

$$D_e = D_p + 2 \times M = 164 + 2(2) = 168 \text{ [mm]}$$

$$D_i = D_p - 2,5 \times M = 164 - 2,5(2) = 159 \text{ [mm]}$$

$$h = 2,25 \times M = 2,25 \times (2) = 4,5 \text{ [mm]}$$

$$j = 0,25 \times M = 0,25(2) = 0,5 \text{ [mm]}$$

$$P = \pi \times M = \pi(2) = 6,28 \text{ [mm]}$$

$$E = \frac{P}{2} = \frac{6,283}{2} = 3,142 \text{ [mm]}$$

Se puede verificar con la ayuda del software SolidWorks que los cálculos realizados anteriormente sean correctos y evitar un daño entre los piñones y engranes. El engrane tiene un diámetro exterior de 168 mm, un módulo de 2 y 82 dientes.

Para determinar el factor dinámico de los engranes se debe tomar en cuenta los siguientes datos [51]:

Función: 2 hp, 30 rpm, $R = 0.95$, $N = 10^9$, $K_0 = 1$

Factor de diseño: $n_d = 3$

Sistema de dientes: $\phi_n = 20^\circ$

Número de dientes: $Z = 30$ dientes

Número de calidad: $Q_v = 6$

Paso diametral: $P_d = 10.16$ pulg

Para la obtención del siguiente dato se debe recurrir a la Tabla C5 en el anexo C el valor de $Y_p = 0.359$, como también, $j_p = 0.37$.

El siguiente cálculo se debe verificar que el acoplamiento de dientes en el engrane sea adecuado, de esta manera evitar daños en la transmisión de movimiento por la vibración de los dientes durante el acoplamiento debido a su rigidez.

$$V = \frac{\pi d_p n_p}{12} = \frac{\pi \times 10,16 \times 30}{12} = 79,796 \text{ [pies/min]} \quad (41)$$

$$w^t = \frac{33000H}{V} = \frac{33000(4)}{79,796} = 1654,218 \text{ lbf} \times \frac{4,44822N}{1\text{lbf}} = 7358,325 \text{ [N]} \quad (42)$$

$$B = 0,25(12 - Q_v)^{2/3} = 0,25(12 - 6)^{2/3} = 0,8255 \quad (43)$$

$$A = 50 + 56(1 - B) = 50 + 56(1 - 0,8255) = 59,77 \quad (44)$$

Factor dinámico: K_v

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200V}}{A} \right)^B \quad (45)$$

$$K_v = \left(\frac{59,77 + \sqrt{200(79,796)}}{59,77} \right)^{0,8255} = 2,55$$

El valor obtenido ayuda a determinar la fabricación del piñón y engrane. El factor dinámico permite determinar errores de transmisión por desgaste y deformación

permanente de las partes en contacto con los dientes, también el desalineamiento del eje del engrane.

Factor de confiabilidad:

$$K_R = 0,658 - 0,0759 \ln(1 - R) = 0,658 - 0,0759 \ln(1 - R) = 0,8854 \quad (46)$$

De acuerdo a los factores de confiabilidad correspondientes a grado 8, desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga en la Tabla C₄ del anexo C, el valor obtenido de K_R ($0,8854 \geq 0,85$), esto indica que la confiabilidad es de 90%. Esto ayuda a que el diseño sea más seguro y confiable [51], [54].

3.1.5.2 Tipo de lubricación

La lubricación de los engranajes se lo realizará con grasa debido a que operan a bajas velocidades y bajas cargas. La grasa es beneficioso porque la máquina trabajará intermitentemente y mantendrá un película de lubricante en los dientes aunque el piñón y los engranes no estén girando. Además, permitirá la lubricación cuando comience el funcionamiento de la máquina. A continuación se presenta las características del tipo de grasa a utilizar [55]:

- Marca: ABRO
- Nombre: Grasa de litio sintética #3
- Color: azul oscuro
- Punto de Goteo: 288 °C de acuerdo a la normativa ISO 2176
- Rango de penetración: 220-250
- Índice de viscosidad: 145

Esta grasa multipropósito tiene características como ofrecer protección para engranes, sistema de suspensión, juntas, cojinetes, chasis, tiene una excelente resistencia al agua y está diseñado para cargas pesadas [55].

3.1.5.3 Púas

La función de la púa es de empujar, penetrar y arrastrar la botella. Cada rodillo posee 4 líneas de cuatro púas distribuidas radialmente como se muestra en la Figura.49.

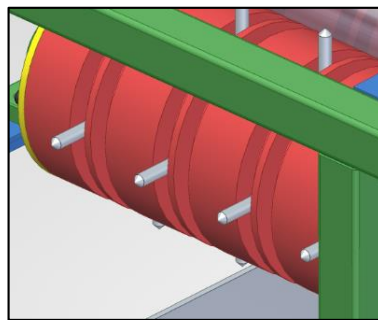


Figura.49 Ubicación de púas en el rodillo.

El roscado de las púas en la parte inferior es para que puedan ser removidas en caso de daño, desperfecto y requieran un cambio. Además, ayuda en el montaje y desmontaje de los rodillos. Las púas están hechas de AISI 1045 y sus dimensiones se observan en la Figura.50.

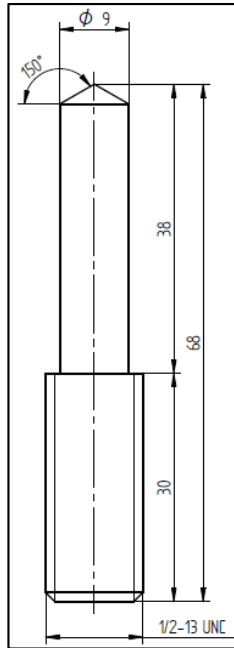


Figura.50 Dimensiones de Púas.

3.1.5.4 Selección de chumaceras

Se emplean chumaceras en los puntos de apoyo de los ejes de transmisión de movimiento de los rodillos compactadores, así reducir la fricción y soportar cargas elevadas como se puede observar en la Figura. 51. Se emplea rodamientos de bolas por ser de bajo costo, menor mantenimiento, gran capacidad de carga dinámica, y estática que pueden soportar.

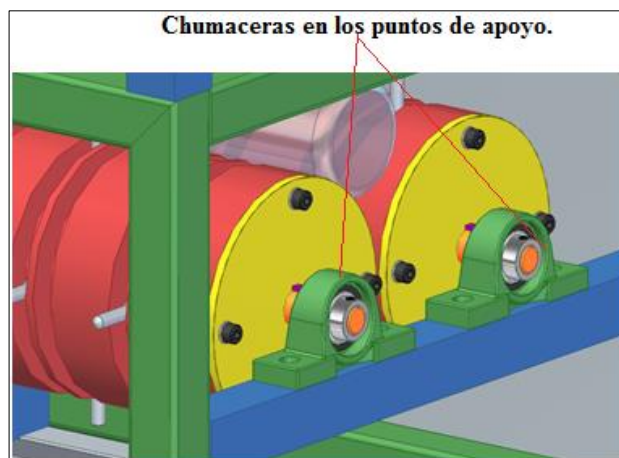


Figura. 51 Puntos de apoyo de las chumaceras

Hay que considerar que la carga soportada es únicamente radial y se decide que las cuatro chumaceras deben ser iguales. La mayor fuerza está en el eje 1 en el punto de apoyo A, con un valor de 1502.35 [N] y de diámetro interno de 19.05 mm. El cálculo se realiza estático.

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \quad (47)$$

Donde:

Co: capacidad de carga estática [KN]

Po: carga estática equivalente [KN]

So: factor de seguridad

- Los rodamientos giran a bajas velocidades, aproximadamente a 30 rpm.
- Los rodamientos están sometidos a cargas de choque o impacto.

Por tratar de reducir considerablemente el ruido y por las cargas de impacto el valor para el factor de seguridad estática (So) debe ser mayor o igual 2, proporcionado por la Corporación de rodamientos (NTN). Por ser el caso de que la carga estática equivalente (Po) es 1502.35N, se seleccionó la chumacera denominada 4T-L21549/L21511 con capacidad de carga estática (Co) igual a 12.80 kN y el valor del factor de seguridad es de 8.50. Dicho valor lo hace el más adecuado por el diámetro de 19.05 mm. Se puede observar en el Anexo C [56].

3.1.5.5 Selección de Pernos

Cada rodillo está unido al eje para que la transmisión de potencia sea directamente entre los dos, por medio de tornillos Allen y arandelas de presión por seguridad. Son 4 en cada agujero de la tapa como se muestra en la Figura.52, están ubicados circularmente y están sujetos a la pared de los rodillos. Los tornillos son M8 de longitud 30 mm, paso 1.5 mm estándar y con una altura de cabeza del tornillo de 8 mm. Su material es de acero inoxidable con un grado 8 de la normativa ISO 4762, que posee una resistencia a la tracción de 80 kg/mm^2 y un límite elástico de 64 kg/mm^2 . Además, es de acero inoxidable por posible contacto con agentes que influyan en la corrosión y desgaste de los pernos. Estos no tienen análisis debido a que son solo de sujeción y para alinear los ejes.

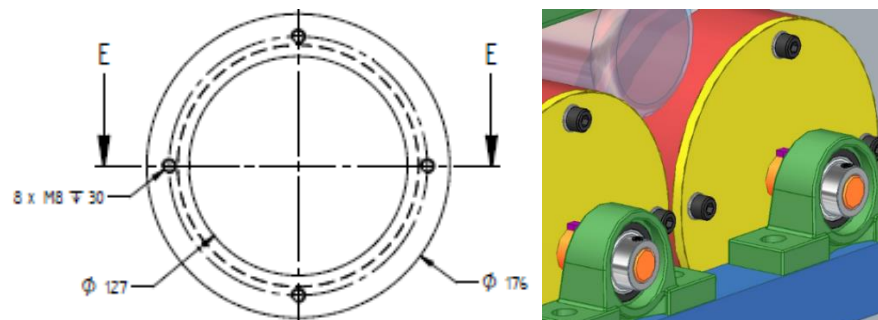


Figura.52 Agujero de las tapas e imagen 3D.

3.1.5.6 Selección del motor.

Para determinar la potencia necesaria en el motor se debe calcular la fuerza de compactación y velocidad. A su vez poder elegir el motor correcto para que no sufra por fatiga o sobre carga.

$$Pot = Fc * Vc \quad (48)$$

$$V_c = \frac{D \times \pi \times n}{1000} \quad (49)$$

$$V_c = \frac{177,8 \text{ mm} \times \pi \times 30 \text{ RPM}}{1000}$$

$$V_c = 16,757 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$Pot = 4081,463[N] \times 16,757 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1139,90 \left[\frac{N \cdot m}{s} \right]$$

Donde:

Pot: potencia del motor

Fc: fuerza de compactación

Vc: velocidad de compactación

Por lo que son dos rodillos para que se efectúe la compactación, esta fuerza se va a dividir entre ambos.

$$Pot_t = 1139,90[W] = 1139,90[W] \times \frac{1[hp]}{746[w]} = 1,528 [HP]$$

La eficiencia de una máquina nunca va a ser del 100%, el rendimiento se reduce en 92% o 93%.

$$Pot_t = \frac{1,528}{0,92} = 1,66 [hp] \approx 2 HP$$

El valor de 1.66 HP de potencia es la necesaria para el prototipo, pero no existe en el mercado a menos que se fabrique y esto influye en el costo, por lo que se emplea de 2 HP de potencia. Se encontró un motorreductor con esas características, para reducir la velocidad 30 RPM y aumentar su fuerza. Además, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 15. Características del motorreductor.

P_N [kW]	n_a [rpm]	Ma máx. [N.m.]	F_{Ra} [N]	SEW f_B	M [kg]	Rendimiento
0,37	137.1	2.4	20.000	1,6	9	94%

La información técnica del motor es la siguiente:

Tabla 16. Características del motor trifásico.

Tipo de motor						
P_N [kW]	M_N [N.m]	n_N [rpm]	I_N 220-440 v [A]	Cos Θ	n75	CLASE
0,37	6,1	1700	1,7	0,69	78	F

Dadas las características del motor a través del fabricante, se tiene una mejor información y de esta manera dar un mantenimiento adecuado para evitar que se produzca un daño.

3.1.6 Automatización

El diagrama de control está hecho mediante el software de Arduino, como se observa en la Figura.53, en este esquema se puede observar a cada uno de los elementos de control y sus conexiones. Los elementos de control como son: servo-motor, sensores, motor, módulo de relés. Este se lo realiza con el fin de comprobar la programación y funcionamiento antes de su posterior conexión.

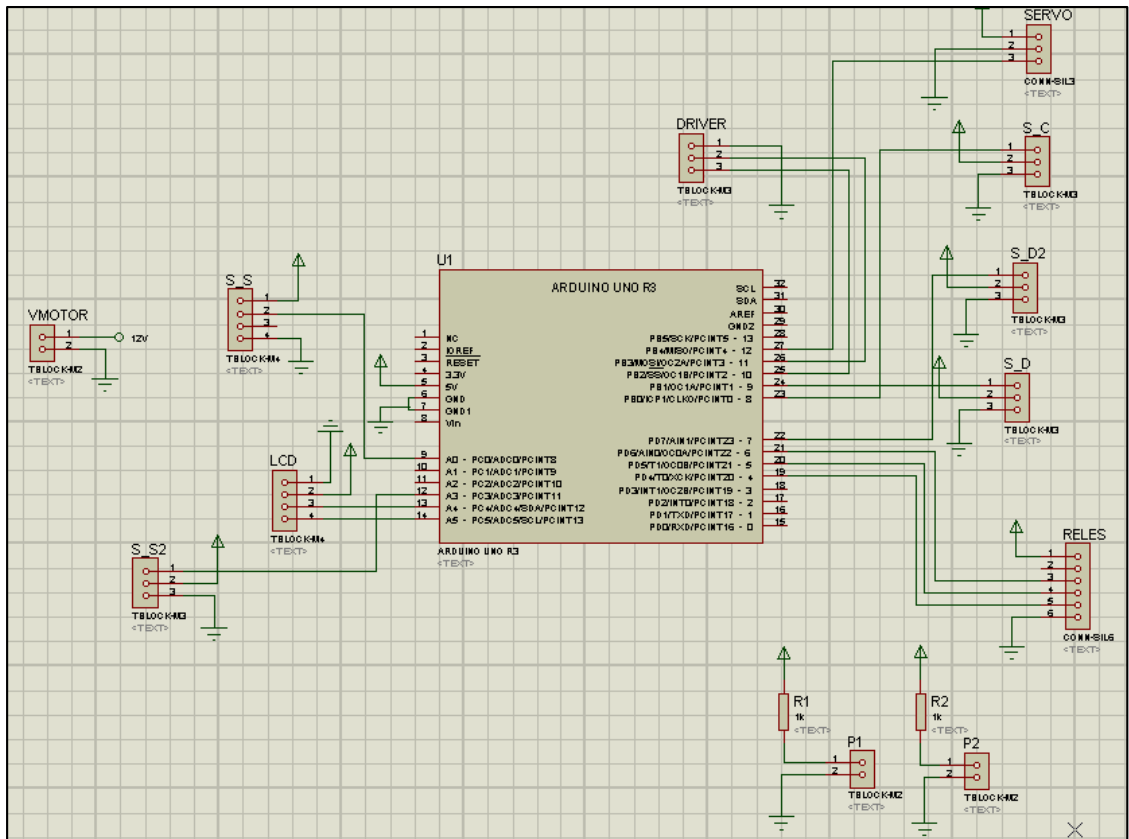


Figura.53 Diagrama de control.

La máquina compactadora posee un sistema de control de seguridad que funciona a través de un conjunto de sensores: capacitivos e inductivos, que tienen como objeto censar los diferentes materiales que se introduzcan y solo permitir el ingreso de las botellas PET para evitar ocasionar un daño en el equipo como se observa en la Figura. 54. Cabe resaltar que estos sensores están distribuidos a lo largo de la banda transportadora.

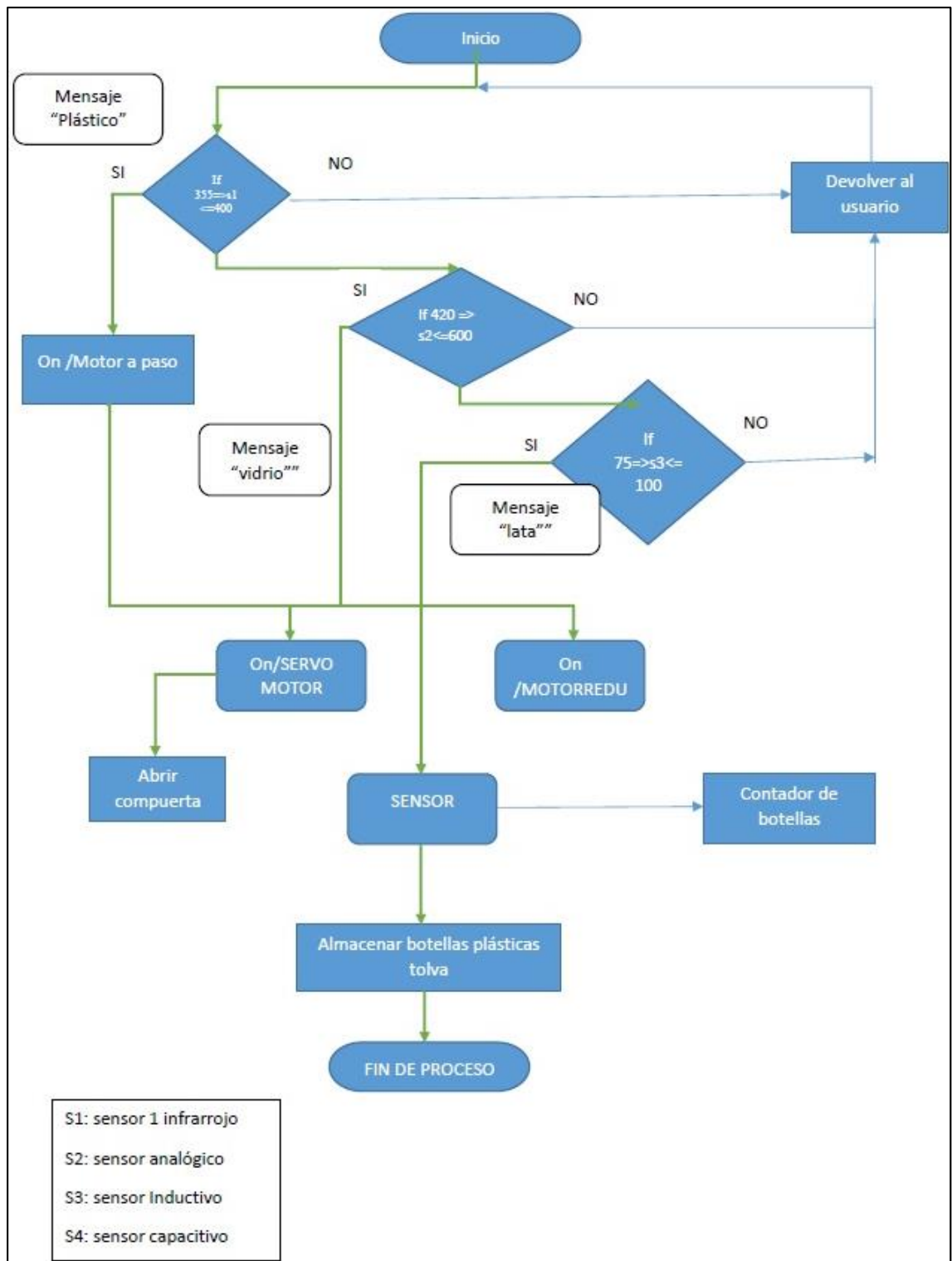


Figura. 54 Diagrama de flujo de proceso

3.1.6.1 Sensor capacitivo

El sensor se encuentra en la parte final del sistema de transportación, su función es el de detectar objetos metálicos y evitar posibles daños en los elementos de compactación. Este elemento de la Figura. 55 utiliza rangos de amplitud de onda para poder detectar el tipo de material, mediante señales eléctricas y transforma en números, estos valores están entre ≥ 75 y ≤ 100 , permitiendo dar una alerta a la pantalla LCD que genere una indicación mediante un mensaje si es un “metal o lata” esto se puede evidenciar con mejor detalle en la programación en el código 3, expuesta en el anexo A.



Figura. 55 Sensor capacitivo

Tabla 17. Características de Sensor Capacitivo.

Características del sensor	
Voltaje	6 - 36 VDC
Sensibilidad	10 cm
Salida máx.	300 mA
Temperatura	-15° a 50° C
Material	Metálico

3.1.6.2 Sensor de distancia analógica

Los sensores de distancia analógica como se observa Figura.56, permiten determinar la distancia exacta a la cual se encuentra un objeto en una distancia de 10 a 80 cm. La salida se encuentra de forma continua no lineal y su valor es actualizado cada 32 ms,

así mediante el uso de estos dispositivos, el equipo puede censar la posición exacta a la cual se encuentra la botella. El código de programación se visualiza en el Anexo A.

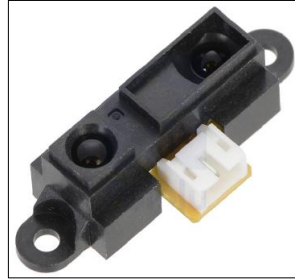


Figura.56 Sensor analógico [57].

Tabla 18. Características de Sensor Analógico.

Características del sensor	
Consumo de corriente promedio	30 mA
Rango de medición	10 cm a 80 cm
Tipo de salida	Voltaje analógico
Diferencia de voltaje de salida	1,9 V
Periodo de actualización	38 ± 10 ms
Tamaño	44,5 mm x 18,9 mm x 13,5 mm
Peso	3,5 g
Tensión de funcionamiento	4,5 a 5,5 V

3.1.6.3 Sensor inductivo

Los sensores inductivos de la Figura.57 permiten la detección de metales mediante la creación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos, de esta manera al igual que el sensor capacitivo tienen la función de determinar materiales que puedan ocasionar el daño de la máquina. En el diseño se optó estas dos versiones de sensores con el fin de garantizar la seguridad del equipo y así, incrementar la precisión y el grado de reconocimiento en los objetos que ingresan [58].

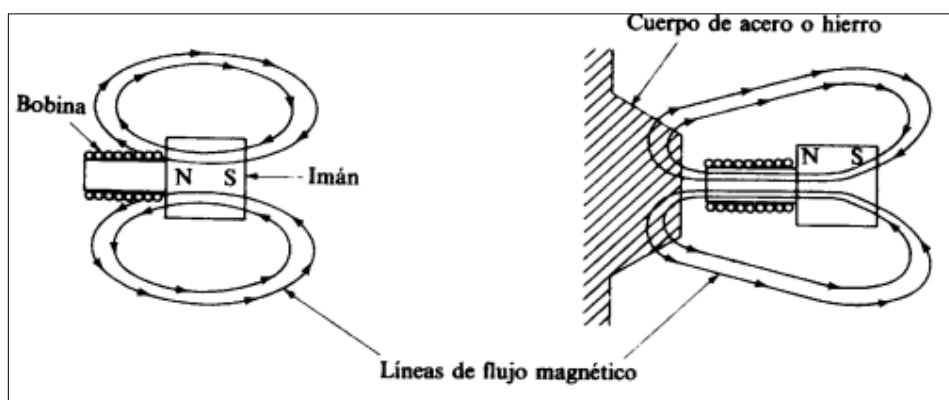


Figura.57 Sensor inductivo [58].

En Tabla 19 se puede observar las características del sensor:

Tabla 19. Características de Sensor Inductivo.

Características del sensor	
Voltaje	5 VDC
Dimensiones	2,3 x 7,3 cm
Peso	57 g
Corriente	200 mA
Material	Plástico
Sensibilidad	30 cm
Temperatura	-25° a 50 ° C

3.1.6.4 Sensores infrarrojos

El sensor infrarrojo permite la medición de distancias mediante la emisión y recepción de señales. Estos dispositivos detectan radiación emitida por los materiales y la transforman en una señal eléctrica analógica que va de 0 - 20 mA. Además, ayuda a encender el motorreductor y llevar un conteo de las botellas recicladas. Por esta razón es recomendable que se ubique al ingreso del material con el fin de arrancar el sistema de procesamiento y salvaguardar la integridad del resto de componentes Si se detecta anomalías u objetos que no sean los adecuados el sistema de transportación no se encenderá [59].

Pantalla LCD

La pantalla visual por cristal líquido (LCD) como se observa en la Figura.58, es un accesorio que permite la interacción hombre-máquina. Este se encuentra en la parte frontal donde facilita su manipulación y visualización . Es donde se observa el proceso que está realizando el equipo y ayuda a guiar a la persona para su correcto funcionamiento.



Figura.58 Pantalla LCD 16 x 2[58].

Tabla 20. Características de la Pantalla LCD

Características de la Pantalla LCD	
Referencia	LCD 1602
modelo	HD44780
Tipo de pantalla	STN, Reflective, Azul Negativo
Voltaje de funcionamiento	5 VDC
Luz de Fondo	Azul
Resolución	16 x 2(caracteres x líneas)
Área de Visualización tamaño	6.5 x 1.5 cm
Dimensiones	8 x 3.6 x 1 cm

3.1.6.5 Servo motor

Un servo motor como se ve Figura 59, posee las características semejantes a un motor convencional de corriente DC, su característica principal le permite ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de trabajo. Este dispositivo se encuentra sujeto

a la tolva de ingreso y su accionamiento se produce mediante la activación producida por el censado de los diferentes sistemas de sensores tanto inductivos como capacitivos.



Figura. 59 Servo motor Hitech

Tabla 21. Características del Servo Motor.

Características del Servo Motor HITECH HS 311	
Dimensiones	39,88 x 19,81 x 36,32 mm
Peso	43 g
Estilo del eje de salida	24 dientes
Voltaje	4,8 - 6 V
Sin velocidad de carga	0,19° sec/60°
Par de parada	3,0 kg/cm
Rango de señal máx.	575-2460 μ sec
Temperatura de operación	-20° a 60° C
Corriente	7,4 mA
Tipo de motor	Húmedo
Material engrane	Nylon
Longitud de cable	300 mm

Este dispositivo permitirá mover una compuerta que será la encargada de impedir el ingreso de objetos al sistema de compactación.

El sistema de pago a través de la emisión de ticket se eliminó, por el alto costo de la impresora térmica y por motivos de ahorro en el presupuesto del prototipo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Pruebas de funcionamiento

Para realizar las pruebas de funcionamiento se tomará en cuenta varios tipos de botellas, y como mínimo 10 de cada una de estas, para un resultado favorable al proyecto.

4.1.1 Pruebas de compactación

Se realiza la compactación de diferentes tipos de botellas, a varias distancias entre los rodillos, para lograr identificar la distancia mínima de separación de estos, dando como resultado 10 mm la distancia para que las púas logren arrastrar la botella hacia el interior, los resultados se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados de compactación a varias distancias.

Tipo de Bebida	COMPACTACIÓN SI/NO		
	Distancia de separación de rodillos		
	8 (mm)	9 (mm)	10 (mm)
Botella Hidratante 750 (ml)	No	No	Si
Botella de Gaseosa 1350 (ml)	No	No	Si
Botella de Agua 1200 (ml)	No	No	Si

Los espesores de las botellas compactadas son variables y dependen de los diferentes fabricantes, sin embargo la distancia entre los rodillos se coloca a 10 mm de separación.

4.1.2 Pruebas en el almacenamiento

Para el almacenamiento de las botellas se toma en cuenta el ancho, el largo y el espesor para sacar un volumen promedio, con el fin de encontrar un número de envases que se puedan almacenar.

Tabla 23. Resultados de compactación de botella hidratante

Botella Hidratante 750 (ml) – Espesor inicial 75 (mm)				
Compactación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Tiempo de compactado (seg)
1	100.00	251.00	28.00	1.53
2	102.00	253.00	21.30	1.45
3	100.00	251.00	25.50	1.15
4	101.00	250.00	30.50	1.47
5	105.00	253.00	22.40	1.25
6	104.00	252.00	17.00	1.32
7	102.00	253.00	18.00	1.16
8	106.00	250.00	13.30	1.52
9	104.00	250.00	15.00	1.57
10	106.00	251.00	22.10	1.35
Promedio	103.00	251.40	21.31	1.38

Tabla 24. Resultados de compactación de botella de gaseosa

Botella de Gaseosa 1350 (ml) – Espesor inicial 84.5 (mm)				
Compactación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor último (mm)	Tiempo de compactado (seg)
1	124.00	315.00	32.00	1.51
2	125.00	320.00	14.50	2.04
3	124.00	310.00	22.50	1.47
4	126.00	316.00	28.00	1.77
5	125.00	315.00	16.00	1.40
6	125.00	315.00	11.50	1.26
7	123.00	308.00	14.00	1.27
8	124.00	310.00	11.00	1.33
9	125.00	315.00	27.00	1.40
10	124.00	314.00	17.00	1.17
Promedio	124.50	313.80	19.35	1.46

Los resultados son favorables, las botellas tienen una reducción más del 70% de su diámetro inicial, recolectando más de estas en la tolva de almacenamiento.

Tabla 25. Resultados de compactación de botella de agua

Botella de Agua 1200 (ml) – Espesor inicial 84.5 (mm)				
Compactación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor último (mm)	Tiempo de compactado (seg)
1	120.00	280.00	17.00	1.21
2	117.00	283.00	15.00	1.28
3	119.00	286.00	21.20	1.27
4	117.00	278.00	10.50	2.10
5	121.00	284.00	11.30	1.19
6	119.00	285.00	17.30	1.77
7	116.00	287.00	12.00	1.62
8	120.00	283.00	10.00	1.22
9	121.00	286.00	10.50	1.62
10	120.00	279.00	13.00	1.73
Promedio	119.00	283.10	13.78	1.50

Siendo las medidas de la tolva de almacenamiento 905x500x500 mm, se tiene un volumen de $226250000 \text{ mm}^3 = 0.22625 \text{ m}^3$, se procede al cálculo de botellas que pueden entrar en la tolva, de los diferentes tipos de bebida.

Tabla 26. Resultado de capacidad de almacenamiento de botellas.

Tipo de Bebida	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Volumen (mm^3)	Número de Botellas Almacenadas
Hidratante (1000 ml)	103.00	251.40	21.31	551805.40	410.02
Gaseosa (1350 ml)	124.50	313.80	19.35	755967.74	299.29
Agua (1200)	119.00	283.10	13.78	464233.04	487.36
				Promedio	398.89

Teniendo como resultado un promedio de 398 botellas que se puedan almacenar, sobre pasa el número que se considera a recolectar diariamente en una unidad educativa, que tienen un periodo de clases que va desde las 7:00 am a 9:00 pm, siendo un total de 14 horas. Suponiendo que por cada hora se recolecta 10 botellas se tiene un total de 140 de estas al día.

4.2 Análisis de costos

Considerando que para la construcción de la máquina no se contaba con ningún elemento, se ha tomado como referencia diferentes materiales necesarios para la realización de la construcción, automatización y funcionamiento.

4.2.1 Costos

Para la realización de análisis de costos de fabricación se toma en cuenta:

- Costos directos.
- Costos indirectos.
- Costo total.

4.2.2 Costos directos

En la Tabla 27 se toman los materiales que sean parte importante del producto terminado y se puedan identificar cuantitativamente dentro del prototipo.

Tabla 27. Costos de Materiales Directos

MATERIALES DIRECTOS				
CANT	UND	DESCRIPCIÓN	VALOR U	VALOR T
1	u	Angulo 40x4 mm	13.90	13.90
1	u	Angulo 30x2 mm	5.00	5.00
24	u	Perno abridado 10x40 Paso 1.5	1.00	24.00
24	u	Tuercas 10x1.5	0.50	12.00
3	u	Perno abridado 10x50 Paso 1.5	1.00	3.00
3	u	Tuercas 10x1.5	0.50	1.50
16	u	Pernos 8x30Alen.Inox	0.60	9.60
16	u	Rodelas Planas M16Inox	0.10	1.60
0.3	kg	Bronce Dulce 13/4"	13.63	4.09
0.1	kg	Bronce Fosfórico 3/4"	22.96	2.30
0.4	kg	Acero de Transmisión 5/6"	2.29	0.92
0.85	kg	Acero 7210 50x50 mm	3.09	2.62
10.85	kg	Acero 7210 180x50 mm	2.60	28.22

3	u	Tol Galvanizado 1/25	22.94	68.82
1	u	Plancha Acero 8 mm	3.00	3.00
4	u	Discos de Acero 185x10 mm	3.75	15.00
15	m	Tubo Cuadrado 40x40x2 mm	1.73	26.00
1	u	Motor Trifásico 220v	380.00	380.00
1	u	Motor a Paso	25.50	25.50
1	u	Acople Flexible 6.6-8	4.50	4.50
90.8	kg	Acero 147M Plus Perforado 180x125 mm	3.63	329.79
0.8	kg	Acero de Transmisión 5/8"x500 mm	2.35	1.88
8	kg	Acero 705 32x600 mm	4.28	34.27
0.5	kg	Grilon35x300 mm	13.84	6.92
4	u	Chumacera NTN Piso 3/4"	22.80	91.19
4	u	Chumacera CMB Piso 1/2"	5.42	21.70
1	u	Arrancador Directo Trifásico	49.29	49.29
3	m	Cable Concéntrico 3x12	2.04	6.11
1	m	Cable Concéntrico 3x10	1.25	1.25
2	u	Tuercas M12 1.5	0.20	0.40
2	u	Tuercas de seguridad M12 1.5	0.50	1.00
1	u	Sensor Capacitivo	16.50	16.50
1	u	Banda FDD1106x120x2mm	20.16	20.16
2	u	Chaveta	1.83	3.66
32	u	Perno 1/2x3.1/2	0.45	14.40
1	lt	Master Pro batida de piedra	4.66	4.66
1	u	Led	0.08	0.08
4	u	Resistencia 1/4w	0.02	0.08
2	u	CE 47UF/25V	0.10	0.20
1	u	PUL EB RO/VE	7.50	7.50
1	u	PUL N/A RED.RJ	1.00	1.00
2	u	Sensor infrarrojo ajustable	14.25	28.50
1	u	Módulo relé 4 canales	7.36	7.36
1	u	LCD 16x2AZ	5.69	5.69
1	u	Board12c LCD	7.49	7.49
1	u	Arduino genérico	13.50	13.50
1	u	Servo HS-311 de 3.7kg	12.70	12.70
1	u	Pul/Tipo hongo RO 18 700	5.64	5.64
1	u	Fuente DC-DC 2A	4.49	4.49
5	u	Born3P-AZ	0.36	1.80
9	u	Born2P-AZ	0.29	2.61
1	u	Con Head male simple	0.40	0.40
1	u	Relé 12V-5P	0.65	0.65
2	u	Sensor de distancia analógico	14.44	28.88
4	u	Cable Flex #22 blanco	0.25	1.00
2	u	Cable Flex #18 azul	0.40	0.80

2	u	Cable 16 hilos-metro	1.25	2.50
50	u	Tornillo autoroscable 1/8x1"	0.10	5.00
10	u	Remache	0.10	1.00
2	u	Manija grande	0.26	0.52
2	u	Codo PVC 45°	0.50	1.00
1	u	Plancha de acrílico 1.20 x 1.80 m	38	38
2	u	Garrucha (Rueda) 5" Cap100kg	4.63	9.26
2	u	Garrucha (Rueda) 3" Cap55kg	2.72	5.44
			SUB-TOTAL	1427.83

En la Tabla 28 se indica los procesos mecánicos que se utilizaron en la construcción del prototipo.

Tabla 28. Costos de procesos de construcción

COSTOS DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN				
PROCESO	COSTO POR OPERACIÓN		NÚMERO DE OPERACIONES	VALOR DE PROCESO
Torno	\$18.00	c/hora	36	648.00
Fresadora	\$14.00	c/hora	8	112.00
Sierra Eléctrica	\$2.00	c/corte	18	36.00
Dobladora Manual	\$0.10	c/dobles	50	5.00
Cortadora Manual	\$0.20	c/corte	25	5.00
Amoladora	\$15.00	c/día	1	15.00
Esmeril	\$8.00	c/día	3	24.00
Suelda SMAW	\$40.00	c/día	2	80.00
			SUB-TOTAL	925.00

En la Tabla 29. Se muestra los rubros por mano de obra, siendo la remuneración de la persona que ejerce el esfuerzo físico para el proceso de transformación de la materia prima.

Tabla 29. Costos de Mano de Obra

MANO DE OBRA		
CANTIDAD	OPERADOR	COSTO TOTAL
1	Uso de equipos varios de metalmecánica	100.00
1	Costos de procesos de construcción	925.00
1	Asesor Electrónico	100.00
	SUB-TOTAL	1125.00

En la Tabla 30 se encuentra el costo directo el cual se establece como aquel que se puede asociar directamente a la inversión fija que se necesita, para la realización del prototipo.

Tabla 30. Costo Total Directo

TOTAL COSTOS DIRECTOS	
DENOMINACIÓN	VALOR
Materiales Directos	1427.83
Mano de Obra	1125.00
Diseño	1100.00
Transporte	50.00
SUB-TOTAL	3702.83

4.2.3 Costos Indirectos

Los materiales indirectos son materiales que no se identifican en el prototipo, y no cumplen una actividad determinada, como se detalla en la Tabla 31.

Tabla 31. Costos de Materiales Indirectos

MATERIALES INDIRECTOS				
CANT	UND	DESCRIPCIÓN	VALOR U	VALOR T
1	kg	Electrodo 6011 [kg]	3.00	3.00
1	kg	Electrodo 6013 [kg]	4.00	4.00
1	u	Disco de Corte	5.00	5.00
2	u	Guantes	4.00	8.00
1	u	Grasa Sintética	5.00	5.00
2	lt	Thinner laca	1.58	3.16
1	lt	Wash primer advance	11.99	11.99
1	lt	Antic stop rojo oxido	4.38	4.38
1	lt	Antic stop gris brillo	4.38	4.38
1	u	Forrado papel vinil	100	100
			SUB-TOTAL	148.91

En la Tabla 32 se detalla gastos no planificados que no intervienen en la realización del prototipo.

Tabla 32. Costos Imprevistos

COSTOS IMPREVISTOS	
DENOMINACIÓN	VALOR
Movilización	30
Gastos Internet	50
Impresión de Documentos	40
Varios	20
SUB-TOTAL	\$ 140

En la Tabla 33. Se detalla los costos que participan en el proceso de fabricación, pero no se incorporan físicamente en la fabricación final.

Tabla 33. Costo Indirecto Total

TOTAL COSTOS INDIRECTOS	
DENOMINACIÓN	TOTAL
Materiales Indirectos	148.91
Costos Imprevistos	140.00
SUB-TOTAL	288.91

4.2.4 Costo Total

El costo total de la inversión es la sumatoria de todo lo empleado para la culminación del prototipo, como muestra la Tabla 34.

Tabla 34. Costo Total de Inversión de prototipo

COMPONENTE DEL COSTO	VALOR
Costos directos	3702.83
Costos Indirectos	288.91
TOTAL	3991.74

4.3 Estudio financiero para la construcción del prototipo

Para determinar la rentabilidad de la construcción a nivel industrial, es necesario hacer un estudio de análisis financiero, tomando en cuenta los parámetros siguientes:

- VAN (Valor Actual Neto)
- TIR (Tasa Interna de Retorno)

Se toma como referencia el reciclaje de botellas en una universidad, como se detalló anteriormente, con un periodo lectivo de 300 días al año. Se considera como consumo una botella de agua de 1 litro.

Tabla 35. Descripción de ingresos por año

Descripción	Día	Año	Peso Botella (kg)	#Botellas x 1 Kg	Cant. c/año	Valor (c/kg)	Valor Total
Botellas	140	42000	0.025	40	1050	0.65	682.50
Tapas	140	42000	-	-	-	0.03	1260.00
						Total	\$ 1942.50

Tabla 36. Flujo de Ingresos

Flujo de Ingresos	
A	
Año	Valor
1	1942.50
2	1942.50
3	1942.50
4	1942.50
5	1942.50
Total	9712.50

Se contrata una persona para la recolección de botellas y revisión de cualquier anomalía que sufra la máquina, quien se le pagará por horas, haciendo un desglose del salario básico como se indica en la Tabla 37.

Tabla 37. Desglose de salario básico

Salario Básico	Pago diario	Pago c/hora
386.00	12.87	1.61

El flujo de egresos son desembolsos o pagos que se realiza para el funcionamiento del prototipo, este detalla en la Tabla 38.

Tabla 38. Desglose de Flujo de Egresos

Flujo de Egresos	
Pago de empleado c/año	482.50
Gastos varios	50.00
Total	532.50

Se toma \$532.50 como un valor aproximado de egresos que se van a realizar cada año, durante los 5 años.

Tabla 39. Flujo de Egresos

Flujo de Egresos	
B	
Año	Valor
1	532.50
2	532.50
3	532.50
4	532.50
5	532.50
Total	2662.50

El flujo neto efectivo describe los movimientos de ingresos y egresos en un periodo determinado, para saber se tiene una pérdida o una ganancia de dinero.

Tabla 40. Flujo de Efectivo Neto

Flujo de Efectivo Neto	
A-B	
Año	Valor
1	1410.00
2	1410.00
3	1410.00
4	1410.00
5	1410.00

Según Guzmán et al. [60] define al VAN como valor actual neto, este permite determinar la rentabilidad de la inversión en un periodo de tiempo, es decir, si el resultado es mayor positivo es conveniente realizar la inversión, y se determina a continuación:

Tabla 41. Datos para el cálculo del VAN

Formulación de Datos	
f1	1410.00
f2	1410.00
f3	1410.00
f4	1410.00
f5	1410.00
n	5 años
i	11.2958% Tasa de interés (0.112958)
Io	3991.74

La tasa de interés del 11.2958%, se obtuvo de la Corporación Financiera Nacional, quien brinda financiamientos para proyectos de industrias básicas, con crédito comercial y pagos mensuales.

$$VAN = \left(\frac{f1}{(1+i)^1} + \frac{f2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{fn}{(1+i)^n} \right) - I_o \quad (50)$$

Donde:

- fn: flujos de efectivo del proyecto
- n: Periodos
- i: Tasa de interés
- Io: Inversión inicial

Según Guzmán et al. [60] al TIR se conoce como tasa interna de retorno, parte de igual manera a través del flujo de efectivo neto y representa del rendimiento futuro que una inversión puede tener. El TIR determina la tasa de descuento con el que el valor presente neto llegará a cero, su fórmula está determinada por la expresión que se visualiza a continuación.

$$VAN = \left(\frac{f1}{(1+TIR)^1} + \frac{f2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{fn}{(1+TIR)^n} \right) - I_o = 0 \quad (51)$$

Donde se reemplaza los valores, despejando la TIR e igualando a 0.

Tabla 42. Resultados de VAN y TIR

RESULTADOS	
V.A.N	\$1180.93
T.I.R	22.54%

Dando como resultado el VAN mayor que cero, por lo tanto, es un proyecto viable, rentable, que permite obtener una tasa interna de retorno del 22.54%, comúnmente la SEMPLADES para el financiamiento de proyectos solicita un valor superior al 15%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El proceso de compactado se realiza por medio de dos rodillos que giran en sentido contrario a una velocidad de 30 RPM, dichos rodillos son de 380 mm de largo y 177.8 mm de diámetro, los cuales utilizan un sistema de transmisión por piñones y engranes. La potencia es obtenida por un moto-reductor trifásico de 2 HP.
- La máquina compactadora tiene un peso aproximado de 400 Kg y sus dimensiones generales son de: 0.58 m de ancho, 0.90 m de profundidad y de altura de 1.40 m, por lo cual es de fácil trasportación hacia los diferentes centros de reciclado.
- Mediante la implementación de púas en los rodillos, con el fin de conseguir agarre y empuje adecuado para las botellas. Se pudo observar que en las pruebas realizadas con una superficie lisa no hubo buenos resultados, las botellas giraban entre los rodillos a distancias menores a 10 mm y no cumplía con el objetivo de una reducción en su volumen.
- El equipo es capaz de reconocer metales, vidrio, aluminio, PET con un porcentaje del 100% de efectividad, con el fin de evitar daños en la máquina y mantener un proceso eficiente de recolección, compactación y almacenamiento de botellas. Así también, el equipo cuenta con una compuerta automática para evitar que ingresen objetos extraños, este dispositivo provee de seguridad para los usuarios, ya que evita posibles cortes o mutilaciones.
- Con una inversión inicial de \$ 3991.74 para la fabricación del equipo, se realiza el estudio para un préstamo en la Corporación Financiera Nacional, a una tasa de interés de 11.2958 % a 5 años, el proyecto es viable y rentable, para su construcción.

RECOMENDACIONES

- Para una mejor identificación de las botellas, una solución es implementar un sistema de visión artificial en la fase de reconocimiento de objetos que ingresan, la cámara brindará una mayor confiabilidad.
- Proporcionadas las características de funcionamiento del prototipo, para mejorar el sistema de compactación y almacenamiento de las botellas, se recomienda considerar la utilización de sistemas neumáticos o hidráulicos, buscando la reducción de ruido.
- Se recomienda cambiar el tipo de motorreductor de un trifásico a un bifásico por complicaciones en los tomacorrientes que en su mayoría son de 220 V, bifásico y estos se encuentra con mayor facilidad en centros comerciales, casas, instituciones.
- Para comercializar la máquina se debe buscar otras opciones de fabricación de los rodillos con el fin de reducir el peso y costo de la misma.
- Para un beneficio del usuario es necesario implementar una impresora de papel térmico en la máquina para que dicho ticket se pueda cambiar por dinero, descuento en compras, y de esta manera fomentar la cultura del reciclaje.
- Se debería buscar patrocinadores para la fabricación del equipo y así abaratar costos de inversión.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] M. Virginie, *Los caminos del reciclaje*, Primera. Barcelona, 2011.
- [2] Ecomain, “Reverse Vending Machine,” 2014. [Online]. Available: www.ecomainn.es. [Accessed: 11-Nov-2016].
- [3] D. Mora, N. Alfaro, and C. Portuquez, “Aporte del agua de bebida a los requerimientos de calcio de la población costarricense,” *Rev. Costarric. Salud Pública*, vol. 9, no. 16, 2000.
- [4] C. Gonzales, “RECICLAJE: PARA LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES,” 2007. [Online]. Available: [http://www.uprm.edu/taubetapi/library/docs/Presentacion Charla de Reciclaje.pdf](http://www.uprm.edu/taubetapi/library/docs/Presentacion%20Charla%20de%20Reciclaje.pdf). [Accessed: 14-Mar-2017].
- [5] R. González, “Reciclado de Plásticos,” *twenergy*, 2012. [Online]. Available: <https://twenergy.com/a/reciclado-de-plasticos-542>. [Accessed: 21-Feb-2017].
- [6] A. Isan, “Definicion de Reciclaje,” *Ecología Verde*, 2013. [Online]. Available: <http://www.ecologiaverde.com/definicion-reciclaje/>. [Accessed: 21-Feb-2017].
- [7] Isabel, “TÉCNICAS DEL PROCESO DEL RECICLADO DEL PLÁSTICO PET,” *RECICLAJE SUSTENTABLE DEL PLASTICO PET*, 2009. [Online]. Available: <http://reciclajepet-isabel.blogspot.com/>. [Accessed: 04-Nov-2016].
- [8] L. F. Roncero, “Tipos de Reciclado,” *Reciclado de plásticos de automoción*, 2007. [Online]. Available: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado_auto/tiposdereciclado.htm. [Accessed: 04-Nov-2016].

- [9] B. Posada, “LA DEGRADACION DE LOS PLÁSTICOS,” *Revista Universidad Eafit*, 2012. [Online]. Available: http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjirrX97I_QAhUU5GMKHcrMAb4QFggzM AQ&url=http%3A%2F%2Fpublicaciones.eafit.edu.co%2Findex.php%2Frevista-universidad-eafit%2Farticle%2Fdownload%2F1408%2F1280&usg=AFQjCN. [Accessed: 04-Nov-2016].
- [10] E. Pascual, “La clasificación de los plásticos,” *ELBLOGVERDE.COM*, 2015. [Online]. Available: <http://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/>. [Accessed: 08-Nov-2016].
- [11] Mariano, “Códigos de los Plásticos,” *Tecnología de los Plásticos*, 2011. [Online]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/codigos-de-los-plasticos.html>. [Accessed: 15-Jan-2017].
- [12] J. A. Corraliza, J. Berenguer, M. Moreno, and R. Martín, “La investigación de la conciencia ambiental. Un enfoque psicosocial,” *Pers. Soc. y medio Ambient. Perspect. la Investig. Soc. la sostenibilidad*, pp. 106–120, 2005.
- [13] A. R. G. A. G. Arcía, “de plástico en México,” *Gac. Ecológica*, vol. 69, pp. 67–82.
- [14] Tecnología del Plástico, “Alemania obtiene un buen balance de botellas PET,” 2015. [Online]. Available: <http://www.plastico.com/temas/Alemania-obtiene->

- buen-balance-en-el-reciclaje-de-botellas-PET+108981. [Accessed: 11-Mar-2017].
- [15] E. Tuyaré, “Reciclaje en Alemania,” *EL ORSERVADOR*, 2016. [Online]. Available: <http://www.elobservador.com.uy/reciclaje-alemania-n986673>. [Accessed: 09-Mar-2017].
- [16] Ecoinventos green Technology, “En Alemania, reciclar botellas PET te da descuentos en las tiendas,” 2015. [Online]. Available: <http://ecoinventos.com/en-alemania-reciclar-botellas-pet-te-da-descuentos-en-las-tiendas/>. [Accessed: 09-Mar-2017].
- [17] S. Hernández, “RECICLAR BOTELLAS,” *Big in Finlandia*, 2012. [Online]. Available: <http://www.biginfinland.com/reciclar-botellas/>. [Accessed: 11-Mar-2017].
- [18] S. Ramirez and A. Araujo, “Recicladores de botellas con más ingresos.,” *EL COMERCIO*, 2012. [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/recicladores-de-botellas-mas-ingresos.html>. [Accessed: 21-Feb-2018].
- [19] D. Gallegos, “Ecuador produjo más de 1.400 millones de botellas plásticas en 2013.,” *El ciudadano*, 2014. [Online]. Available: <http://www.elciudadano.gob.ec/ecuador-produjo-mas-de-1-400-millones-de-botellas-plasticas-en-2013/>. [Accessed: 21-Feb-2018].
- [20] J. Lluís and N. Anglés, “Diseño y Automatizacion de una Compactadora de Residuos Sólidos Urbanos,” Universidad Rovira VIrgili, 2001.

- [21] MONTEQUIPO, “Compactadoras Verticales,” 2009. [Online]. Available: <http://www.montequipo.com/prensasrecicla.html>. [Accessed: 07-Nov-2016].
- [22] C. Renedo, “Neumática e Hidráulica,” *Universidad de Cantabria*, 2007. [Online]. Available: <http://personales.unican.es/reneDOC/TrasparenciasWEB/TraspNeu/T12CILINDROSOK.pdf>. [Accessed: 07-Nov-2016].
- [23] PALVI, “Tratamiento de Residuos,” 2011. [Online]. Available: <http://www.palvi.net/empresa.html>. [Accessed: 07-Nov-2016].
- [24] “Bollegraaf Recycling Machinery,” *Screening & Recycling Solutions*, 2009. [Online]. Available: <http://www.fissoreagency.com/pages/wp-content/uploads/2009/09/Bottle-perforator.pdf>. [Accessed: 06-Nov-2016].
- [25] S. Barrenechea, “DISEÑO DE UNA MAQUINA COMPACTADORA DE BOTELLAS,” *Universidad Católica del Perú*, 2012.
- [26] J. Castro, J. Padilla, and E. Romero, “Metodología para realizar una automatización utilizando PLC,” *Impulso, Revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales*, Obregon, pp. 18–21, Dec-2005.
- [27] H. D. Páez, R. Zamora, and J. Bohórquez, “Programación de Controladores Lógicos (PLC) mediante Ladder y Lenguaje de Control Estructurado (SCL) en MATLAB,” *Fac. Ing.*, vol. 24, no. 39, pp. 109–119, 2015.
- [28] J. M. Diez, R. Montoya, and P. A. Blasco, “Metodología para la elaboración de los programas a implementar en autómatas programables. MEPUS,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 13, no. 3, pp. 322–329, 2016.

- [29] R. Enríquez, *Guía de Usuario de Arduino*, Creative C. San Francisco: Universidad de Córdoba, 2009.
- [30] A. Soriano *et al.*, “PLATAFORMA ROBÓTICA DE BAJO COSTE Y RECURSOS LIMITADOS BASADA EN ARDUINO Y DISPOSITIVOS MÓVILES.” Valencia, 2012.
- [31] A. Soriano *et al.*, “PLATAFORMA ROBÓTICA DE BAJO COSTE Y RECURSOS LIMITADOS BASADA EN ARDUINO Y DISPOSITIVOS MÓVILES.” Valencia, 2012.
- [32] W. Simbaña, J. Caiza, D. Chávez, and G. López, “Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Remoto del Motor de un Vehículo basado en Obd-II y la plataforma Arduino,” *Rev. Politécnica*, vol. 37, no. 1, 2016.
- [33] R. Calero and J. A. Carta, *FUNDAMENTOS DE MECANISMOS Y MÁQUINAS PARA INGENIEROS*, 1st ed. Madrid, 1998.
- [34] A. Riquelme, O. Carrera, and C. Fabiana, “Proposición de un plan de mantenimiento al sistema de correas transportadoras,” Universidad de Bio-Bio, 2013.
- [35] E. Barrera and A. Gutiérrez, “Diseño de un modelo automatizado de producción de válvulas para incrementar la productividad en Extin-Flam S.A. de C.V.,” Instituto Politécnico Nacional, 2016.
- [36] E. Barrera and A. Gutiérrez, “Diseño de un modelo automatizado de producción de válvulas para incrementar la productividad en Extin-Flam S.A. de C.V.,”

Instituto Politécnico Nacional, 2016.

- [37] B. Basurto, “Diseño de Bandas Transportadoras Tubulares,” ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, 2013.
- [38] D. Nishida *et al.*, “Development of Intelligent Automatic Door System,” Tokyo, 14616258, 2014.
- [39] S. Ramirez and A. Araujo, “El ecuatoriano toma casi 50 litros de gaseosas y 18 litros de leche al año | El Comercio,” *EL COMERCIO*, 2016. [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com/datos/ecuador-gaseosa-leche-data-impuestos.html>. [Accessed: 04-Feb-2018].
- [40] B. P. y B. Sur, “Fabricación de envases plásticos.” [Online]. Available: <https://paginas.seccionamarilla.com.mx/botellas-pet-y-derivados-baja-sur/fabricacion-de-envases-de-plastico/baja-california-sur/comondu/-/centro/>. [Accessed: 13-May-2017].
- [41] “Envases en Alimentos,” 2012. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/mhuaringa/envases-15553003>. [Accessed: 13-May-2017].
- [42] L. Portalanza and I. Rodriguez, “Propiedades Mecánicas PET.” [Online]. Available: <http://slideplayer.es/slide/1645628/>. [Accessed: 13-May-2017].
- [43] plasticos y elastómeros Bove-ag, “No Title,” 2017. .
- [44] AcerBrag, *Manual Técnico*. 2011.

- [45] J. C. Bonilla, “Rediseño del sistema de sujeción del cilindro de alimentación de una máquina de devanado para la planta CRISOL TEXTIL S.A. de C.V.,” Universidad de las Américas Puebla, 2003.
- [46] C. Cerind, “C Cerind INOXIDABLE PUNTO COM S.A,” 2017. .
- [47] E. I. Automation, “Belt Drive Monthly,” *Belt Drive*, vol. 22, no. ¿Cómo puedo identificar el tipo y tamaño correcto de banda en V cuando la banda está rota o ya no tiene etiqueta?, p. 2, 2010.
- [48] V. D. López, B. L. Boada, M. J. L. Boada, C. Á. Caldas, and A. G. Babé, “Bandas transportadoras,” Madrid, 2015.
- [49] Siegling, “Cálculo de la banda transportadora,” in *Forbo*, Primera., p. 16.
- [50] E. F. Guatemal Granada and P. D. Pullay Paca, “Diseño y construcción de una máquina semiautomática para la fabricación de bloques vibro-prensados de 15 centímetros con capacidad de cuatro unidades por minuto para la Empresa Mayorga Ponce,” Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [51] R. G. Budynas and K. Nisbert, *Diseño en ingeniería mecánica*, Novena Edi. Mexico, 2012.
- [52] C. Cházaro and O. Alvarez, “EL ACERO HOY,” *Elección del tipo de acero para estructuras*, Mexico, p. 27, 2017.
- [53] B. Richard G and N. J. Keith, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Octava. Mexico: Mc Graw Hill, 2008.

- [54] K. Gieck, *Manual de Fórmulas Técnicas*, 19th ed. Alemania: Alfaomega S.A., 1993.
- [55] “ABRO CATALOGO DE PRODUCTOS,” 2014. [Online]. Available: <http://www.abro.com/>. [Accessed: 30-Jan-2018].
- [56] NTN, “Rodamientos de rodillos cónicos,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ntnamericas.com/es/>. [Accessed: 31-Jan-2018].
- [57] “SENSOR INFRARROJOS SHARP GP2D12.” [Online]. Available: <http://www.superrobotica.com/S320103.htm>. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [58] “Sensores.” [Online]. Available: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [59] E. Jimenez, “Sensores Infrarrojos,” *Proxitron*. [Online]. Available: http://euro-automation.com/files/PR_p21cas_EU.pdf. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [60] M. Eduardo, G. Cesar, and A. Jorge, *MATEMATICAS FINANCIERAS*, CENGAGE LE. 2009.

ANEXO A: PROGRAMACIÓN

CÓDIGO

<pre> #include<Wire.h> #include <LiquidCrystal_I2C.h> LiquidCrystal_I2Clcd(0X3F,16,2); Voidsetup () { // put your setup code here, to run once :} Serial. Begin (115200); PinMode (A3,INPUT); lcd.backlight(); lcd.init(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("INGRESE BOTELLA");} void loop() { // put your main code here, to run repeatedly: int valor = analogRead(A3); Serial.println(valor); delay(200); if((valor>=349 && valor <=355)){ lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); </pre>	<pre> lcd.print("INGRESE BOTELLA");} if((valor>=360 && valor <=375) ((valor>=360 && valor <=375)){ lcd.clear(); lcd.setCursor(3,0); lcd.print("INGRESO DE "); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("BOTELLA CORRECTA"); //Serial.println("plastic o");} if((valor>=420 && valor <=440) ((valor>=515 && valor <=530) ((valor>=580 && valor <=600)){ lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("RETIRE BOTELLA"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("DE VIDRIO"); //Serial.println("vidrio");} </pre>	<pre> If (valor>=75 && valor <=100){ lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("RETIRE BOTELLA"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("DE ALUMINIO"); //Serial.println("lata"); } CODIGO 2 constintdirPin = 3; constintstepPin = 2; constint steps = 200; intstepDelay; voidsetup () { // Marcar los pines como salida pinMode(dirPin, OUTPUT); pinMode(stepPin, OUTPUT);} voidloop() { //Activar una direccion y fijar la velocidad con stepDelay </pre>
--	--	--

```

digitalWrite(dirPin,
HIGH);

stepDelay = 500;

// Giramos 200 pulsos
para hacer una vuelta
completa

For (int x = 0; x < 200;
x++) {

digitalWrite(stepPin,
HIGH);delayMicrosec
onds(stepDelay);digital
Write(stepPin,
LOW);delayMicroseco
nds(stepDelay); }

delay(1000);

//Cambiamos la
direccion y
aumentamos la
velocidad

digitalWrite(dirPin,
LOW);stepDelay =
500;

```

```

// Giramos 400 pulsos
para hacer dos vueltas
completas

For (int x = 0; x < 400;
x++)
{digitalWrite(stepPin,
HIGH);

delayMicroseconds(ste
pDelay);
digitalWrite(stepPin,
LOW);delayMicroseco
nds(stepDelay);}

```

Delay (1000);

CODIGO 3

```

void setup() {

// put your setup code
here, to run once:

Serial.begin(115200);

pinMode(A3,INPUT);
}

void loop() {

```

```

// put your main code
here, to run repeatedly:

int valor =
analogRead(A3);

Serial.println(valor);

delay(200);

if((valor>=355 &&
valor
<=375)||((valor>=390
&& valor <=400)){

Serial.println("plastico
");}

if((valor>=420 &&
valor
<=440)||((valor>=515
&& valor
<=530)||((valor>=580
&& valor <=600)){

Serial.println("vidrio");
}

if(valor>=75 && valor
<=100){

Serial.println("lata");

```

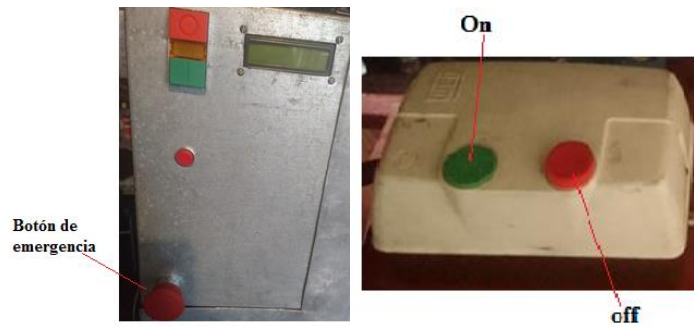
ANEXO B: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MRV							
MAQUINA EXPENDEDORA INVERSA							
PARTE	Anual	Semestral	Trimestral	Bimensual	Mensual	Semanal	Diario
MOTORREDUCTOR						↓	
Nivel de aceite	⬡						○
Grupo motor-reductor	○						
Reductor	○						
los conos	○						
las tazas	➡						
Engranajes y piñones	▽	⬡					
Flechas del reductor		▽					
RODAMIENTOS				⬡			
ENGRANES					⬡		
BUJES			⬡				
BANDA					□		
PERNOS	▽						
PULSADORES			□				
CABLES						○	

- ↓ VERIFICAR FUGAS
- REVISAR
- LIMPIAR
- ▽ AJUSTAR
- ⬡ ENGRASAR O ACEITAR
- ➡ CAMBIAR

Plan de Mantenimiento.

1. Es importante por seguridad que la máquina se encuentre detenida. Presionar el botón de emergencia y presionar off en la botonera del equipo para evitar cualquier accidente.



2. El operario debe utilizar la herramienta adecuada, como destornillador plano y de estrella, llave Stanley 15 mm para calibrar en caso de desalineación de los ejes o piñón libre.



3. El operario deberá utilizar el equipo de seguridad sugerido como: guantes, mandil, lentes de seguridad.



4. Verificar que los componentes electrónicos se encuentren limpios de polvos y los cables en buen estado para que no existan corto circuitos en las placas de control.

5. El operario, para verificar el estado de la máquina es recomendable desmontar un lado de la misma mediante el destornillador estrella, para poder acceder a los elementos internos de la máquina y verificar su estado.



6. Verificar que en los componentes mecánicos de la máquina no se encuentren objetos extraños, líquidos derramados que puedan causar dañar.



7. Asegurarse que el estado de los cables, componentes eléctricos y mecánicos no existan fallas, si es necesario realizar su cambio.



Plan de Operaciones de Usuario.



1. Comprobar que la máquina esté: enchufada, encendida y en la pantalla LCD, indique que se encuentra disponible.
2. Insertar las botellas plásticas y en la pantalla LCD aparecerá en un mensaje del material que se introdujo.
3. Esperar por unos segundos una vez introducido la primera botella, si tiene más botellas introducir cada 3 segundos para que no exista atascamiento.
4. Una vez introducidas todas las botellas de introducir, pulsar el botón rojo para detener el proceso de la máquina.

ANEXO C: TABLAS

Tabla C1 Factor de concentración de esfuerzos[53].

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Tabla C2 Propiedades de esfuerzos-deformaciones[53].

1144	L	DAT	305	1 035	150	25	0.29	200	28.8	1 585	230	-0.09	0.27	-0.53
1541F	L	Fojado $\bar{Y}R$	290	950	138	49	0.68	205	29.9	1 275	185	-0.076	0.68	-0.65
1541F	L	Fojado $\bar{Y}R$	260	890	129	60	0.93	205	29.9	1 275	185	-0.071	0.93	-0.65
4130	L	$\bar{Y}R$	258	895	130	67	1.12	220	32	1 275	185	-0.083	0.92	-0.63
4130	L	$\bar{Y}R$	365	1 425	207	55	0.79	200	29	1 695	246	-0.081	0.89	-0.69
4140	L	$\bar{Y}R$, DAT	310	1 075	156	60	0.69	200	29.2	1 825	265	-0.08	1.2	-0.59
4142	L	DAT	310	1 060	154	29	0.35	200	29	1 450	210	-0.10	0.22	-0.51
4142	L	DAT	335	1 250	181	28	0.34	200	28.9	1 250	181	-0.08	0.06	-0.62
4142	L	$\bar{Y}R$	380	1 415	205	48	0.66	205	30	1 825	265	-0.08	0.45	-0.75
4142	L	$\bar{Y}R$ y deformado	400	1 550	225	47	0.63	200	29	1 895	275	-0.09	0.50	-0.75
4142	L	$\bar{Y}R$	450	1 760	255	42	0.54	205	30	2 000	290	-0.08	0.40	-0.73
4142	L	$\bar{Y}R$ y deformado	475	2 035	295	20	0.22	200	29	2 070	300	-0.082	0.20	-0.77
4142	L	$\bar{Y}R$ y deformado	450	1 930	280	37	0.46	200	29	2 105	305	-0.09	0.60	-0.76
4142	L	$\bar{Y}R$	475	1 930	280	35	0.43	205	30	2 170	315	-0.081	0.09	-0.61
4142	L	$\bar{Y}R$	560	2 240	325	27	0.31	205	30	2 655	385	-0.089	0.07	-0.76
4340	L	HR, A	243	825	120	43	0.57	195	28	1 200	174	-0.095	0.45	-0.54
4340	L	$\bar{Y}R$	409	1 470	213	38	0.48	200	29	2 000	290	-0.091	0.48	-0.60
4340	L	$\bar{Y}R$	350	1 240	180	57	0.84	195	28	1 655	240	-0.076	0.73	-0.62
5160	L	$\bar{Y}R$	430	1 670	242	42	0.87	195	28	1 930	280	-0.071	0.40	-0.57
52100	L	SH, $\bar{Y}R$	518	2 015	292	11	0.12	205	30	2 585	375	-0.09	0.18	-0.56
9262	L	A	260	925	134	14	0.16	205	30	1 040	151	-0.071	0.16	-0.47
9262	L	$\bar{Y}R$	280	1 000	145	33	0.41	195	28	1 220	177	-0.073	0.41	-0.60
9262	L	$\bar{Y}R$	410	565	227	32	0.38	200	29	1 855	269	-0.057	0.38	-0.65
950C af	Ø	Ploca HR	159	565	82	64	1.03	205	29.6	1 170	170	-0.12	0.95	-0.61
950C af	L	Borro HR	150	565	82	69	1.19	205	30	970	141	-0.11	0.85	-0.59
950X af	L	Canal ploca	150	440	64	65	1.06	205	30	625	91	-0.075	0.35	-0.54
950X af	L	Ploca HR	156	530	77	72	1.24	205	29.5	1 005	146	-0.10	0.85	-0.61
950X af	L	Canal ploca	225	695	101	68	1.15	195	28.2	1 055	153	-0.08	0.21	-0.53

Tabla C3 Parámetro en el factor superficial de Marín[53].

Acabado superficial	$k_a = \alpha S_{ut}^b \text{LN}(1, C)$			Coeficiente de variación, C
	kpsi	α MPa	b	
Esmerilado*	1.34	1.58	-0.086	0.120
Maquinado o laminado en frío	2.67	4.45	-0.265	0.058
Laminado en caliente	14.5	58.1	-0.719	0.110
Como sale de la forja	39.8	271	-0.995	0.145

*Debido a la amplia dispersión de los datos de superficie esmerilada, una función alterna es $k_a = 0.878 \text{LN}(1, 0.120)$.

Nota: S_{ut} en kpsi o MPa.

Tabla C4 Factores de confiabilidad[53].

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Tabla C5 Valores del factor de forma de Lewis, ángulo de presión 20°[53].

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

Tabla C6 Dimensiones de chumaceras NTN [56].

Diámetro interior (d)	Denominación NTN	Diámetro exterior	Ancho del anillo interior	Ancho del anillo exterior	Ancho total	Radio máximo de unión con el eje	Radio mínimo de unión con el alojamiento	Peso	Capacidad de carga dinámica C	Capacidad de carga estática Co	Velocidad límite LUB grasa	Velocidad límite LUB aceite
		(D)	(B)	(C)	(T)	(r ₁ max)	(r ₂ min)		kg	kN	T.p.n.	
11,986	4T-A2047/A2126	31,991	10,785	7,938	10,008	0,8	1,3	0,050	10,80	9,45	13000	18000
12,700	4T-A4050/A4138	34,988	10,988	8,730	10,998	1,3	1,3	0,053	12,30	11,60	12000	16000
14,989	4T-A4059/A4138	34,989	10,988	8,730	10,998	0,8	1,3	0,050	12,30	11,60	12000	16000
15,875	4T-L21549/L21511	34,989	10,9	8,712	10,998	1,3	1,3	0,050	14,00	13,70	11000	15000
	4T-03062/03162	41,275	14,681	11,112	14,288	1,3	2,0	0,092	20,30	18,70	10000	13000
	4T-11590/11520	42,862	14,288	9,525	14,288	1,5	1,5	0,103	17,60	17,50	8700	12000
	4T-17580/17520	42,862	16,670	13,495	16,670	1,5	1,5	0,122	26,70	26,00	9800	13000
17,462	4T-05062/05185	47,000	14,381	11,112	14,381	1,5	1,3	0,131	24,00	24,20	8600	11000
	4T-LM11749/LM11710	39,878	14,605	10,668	13,843	1,3	1,3	0,084	23,80	24,20	10000	13000
19,050	4T-A6075/A6157	39,992	11,153	9,525	12,014	1,0	1,3	0,065	12,80	12,80	10000	13000
	4T-LM11949/LM11910	45,237	16,637	12,065	15,494	1,3	1,3	0,128	28,30	28,60	8900	12000
	4T-LM11949/LM11910	45,237	16,637	12,065	15,494	1,3	1,3	0,122	28,30	28,60	8900	12000
	4T-09067/09195	49,225	19,050	14,288	18,034	1,3	1,3	0,179	38,50	39,00	8500	11000
	4T-09074/09195	49,225	21,539	14,288	19,845	1,5	1,3	0,188	38,50	39,00	8500	11000
	4T-09074/09194	49,225	21,539	17,462	21,209	SPC*	3,5	0,200	38,50	39,00	8500	11000
	4T-09074/09196	49,225	21,539	17,462	23,020	SPC*	1,5	0,200	38,50	39,00	8500	11000
20,000	4T-21075/21212	53,975	21,839	15,875	22,225	1,5	2,3	0,248	40,00	39,00	8000	11000
	4T-05079/05185	47,000	14,381	11,112	14,381	1,5	1,3	0,117	24,00	24,20	8600	11000
	4T-05079/05185S	47,000	14,381	11,112	14,381	1,5	1,3	0,117	24,00	24,20	8600	11000
	4T-07079/07196	50,005	14,280	9,525	13,495	1,5	1,0	0,130	26,00	26,00	7500	10000

Tabla C7 Propiedades mecánicas medias [56].

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	205 (400)	1 630 (236)	1 460 (212)	10	41	467
	TyR*	315 (600)	1 500 (217)	1 380 (200)	11	43	435
	TyR*	425 (800)	1 280 (186)	1 190 (173)	13	49	380
	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315
	TyR*	650 (1 200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1 600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1 585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
4140	TyR	205 (400)	1 770 (257)	1 640 (238)	8	38	510
	TyR	315 (600)	1 550 (225)	1 430 (208)	9	43	445
	TyR	425 (800)	1 250 (181)	1 140 (165)	13	49	370
	TyR	540 (1 000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
	TyR	650 (1 200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
	Normalizado	870 (1 600)	1 020 (148)	655 (95)	18	47	302
	Recocido	815 (1 500)	655 (95)	417 (61)	26	57	197
4340	TyR	315 (600)	1 720 (250)	1 590 (230)	10	40	486
	TyR	425 (800)	1 470 (213)	1 360 (198)	10	44	430
	TyR	540 (1 000)	1 170 (170)	1 080 (156)	13	51	360
	TyR	650 (1 200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

ANEXO D: FIGURAS

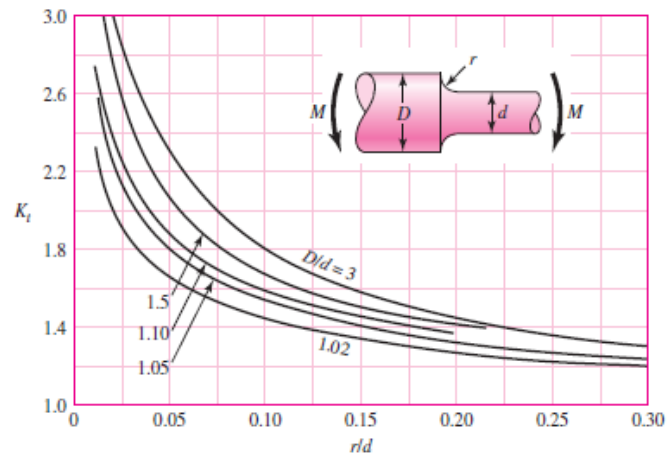


Figura D1 Eje redondo con filete en el hombro en flexión[53]

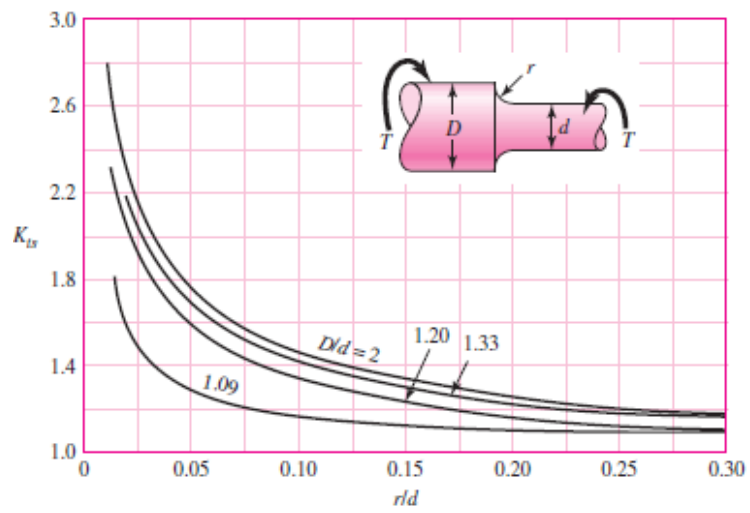


Figura D2 Eje redondo con el filete en el hombro en torsión.

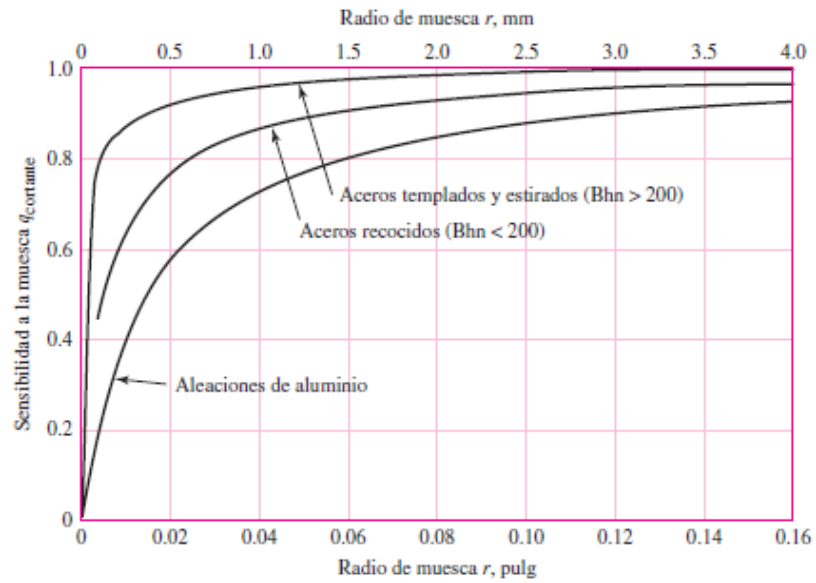


Figura D3 Sensibilidad a la muesca en aceros templados y estirados, recocidos.

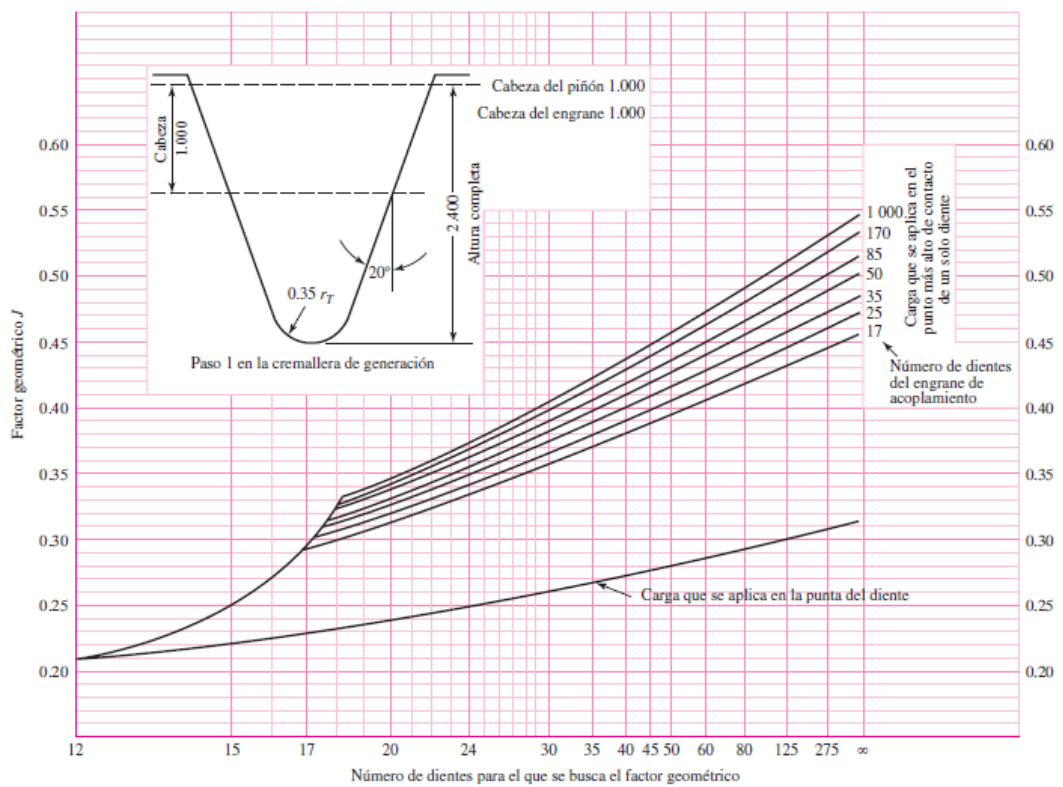
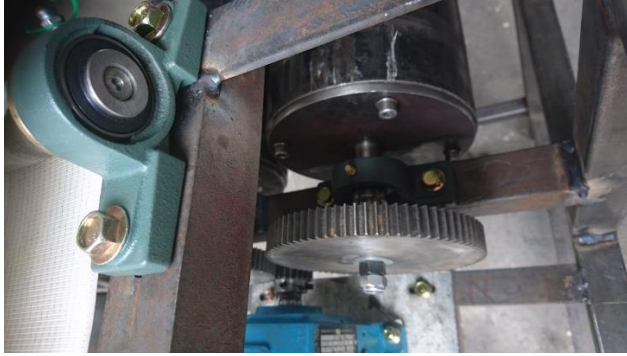


Figura D4 Factores geométricos J de engranes rectos.

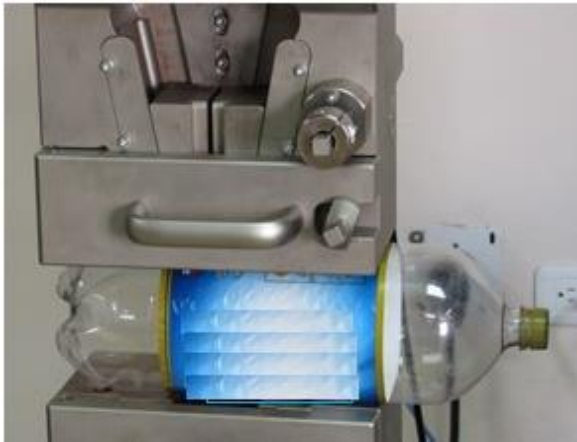
ANEXO E: IMÁGENES

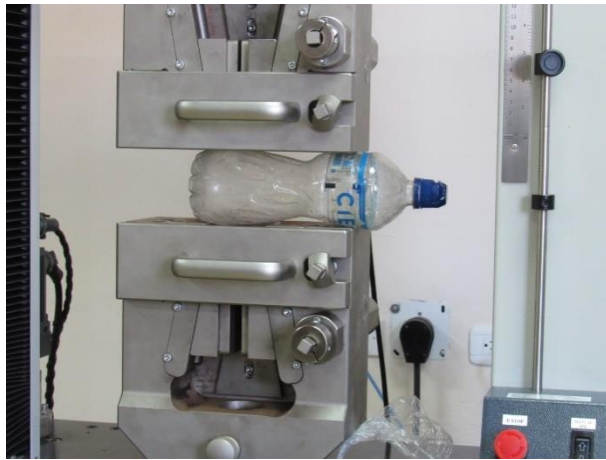
Imágenes donde podemos encontrar de la fabricación y montaje de cada uno de los componentes que tiene la maquina.

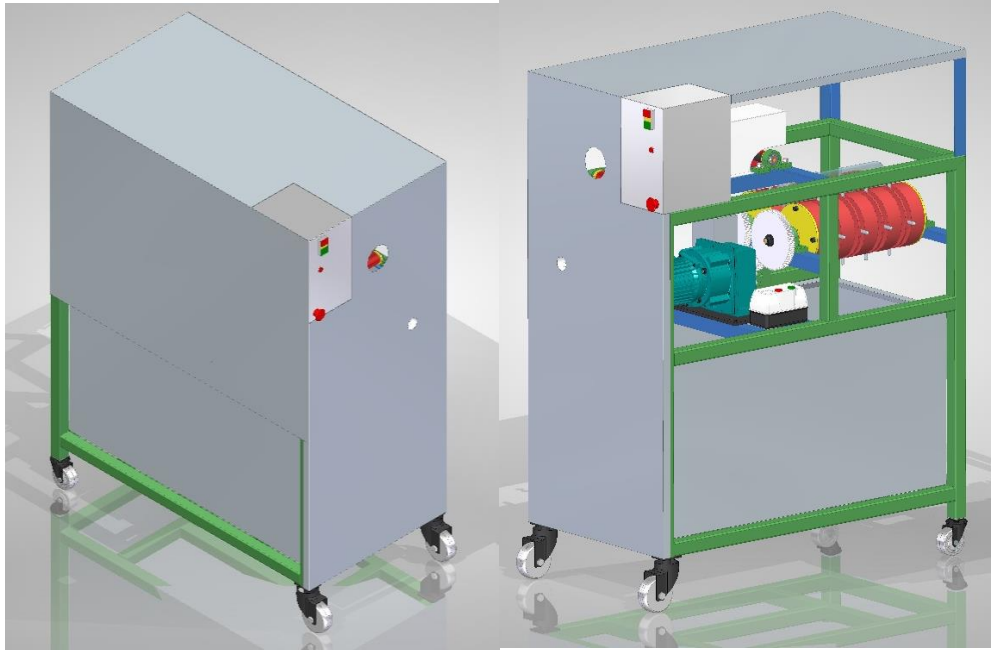






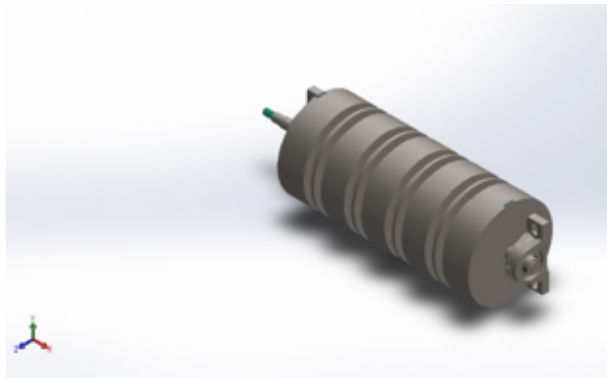






ANEXO F: RESULTADOS DEL SOFTWARE

En el presente resultado se realiza un análisis para asegurar el estado de los componentes a compactar y que no se produzcan fallas o se encuentren mal diseñados y tiendan a fallar en su funcionamiento.



Simulation of eje_01

Date: jueves, 06 de Julio de 2017

Designer: Solidworks

Study name: esfuerzos

Analysis type: Static

Table of Contents

Description.....	1
Assumptions	2
Model Information.....	2
Study Properties.....	4
Units.....	4
Material Properties	5
Loads and Fixtures.....	6
Connector Definitions.....	7
Contact Information.....	7
Mesh information	8
Sensor Details	9
Resultant Forces	9
Beams	9
Study Results	10
Conclusion.....	12

Description

No Data

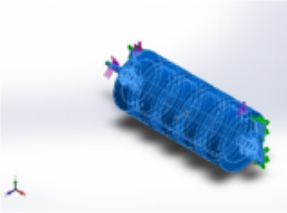
Study Properties

Study name	esfuerzos
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (C:\Alberto\Documentos\Proyectos\maquina recolectora inversa(PET)\Análisis Solidworks\Eje rodillos\eye)

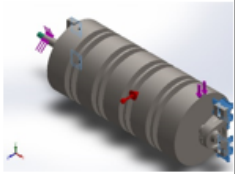
Units

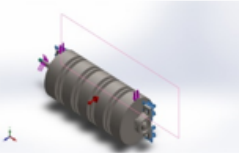
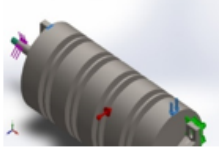
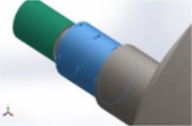
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²

Material Properties

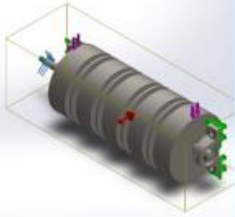
Model Reference	Properties	Components																				
	<table border="1"> <tr> <td>Name:</td> <td>AISI 4340 Steel, normalized</td> </tr> <tr> <td>Model type:</td> <td>Linear Elastic Isotropic</td> </tr> <tr> <td>Default failure criterion:</td> <td>Max von Mises Stress</td> </tr> <tr> <td>Yield strength:</td> <td>7.1e+008 N/m²</td> </tr> <tr> <td>Tensile strength:</td> <td>1.11e+009 N/m²</td> </tr> <tr> <td>Elastic modulus:</td> <td>2.05e+011 N/m²</td> </tr> <tr> <td>Poisson's ratio:</td> <td>0.32</td> </tr> <tr> <td>Mass density:</td> <td>7850 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Shear modulus:</td> <td>8e+010 N/m²</td> </tr> <tr> <td>Thermal expansion coefficient:</td> <td>1.23e-005 /Kelvin</td> </tr> </table>	Name:	AISI 4340 Steel, normalized	Model type:	Linear Elastic Isotropic	Default failure criterion:	Max von Mises Stress	Yield strength:	7.1e+008 N/m ²	Tensile strength:	1.11e+009 N/m ²	Elastic modulus:	2.05e+011 N/m ²	Poisson's ratio:	0.32	Mass density:	7850 kg/m ³	Shear modulus:	8e+010 N/m ²	Thermal expansion coefficient:	1.23e-005 /Kelvin	<p> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(SY 3_4 TF 0-1/ SY 504 U VA228 14_0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(SY 3_4 TF 0-1/ YAR 204-012-2F 0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(SY 3_4 TF 0-2/ SY 504 U VA228 14_0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(SY 3_4 TF 0-2/ YAR 204-012-2F 0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(eje_rodillo_compactador_0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(rod_aaa_0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(tapa_rodillo_0-1),</u> <u>SolidBody</u> <u>1(Imported1)(tapa_rodillo_0-2)</u> </p>
Name:	AISI 4340 Steel, normalized																					
Model type:	Linear Elastic Isotropic																					
Default failure criterion:	Max von Mises Stress																					
Yield strength:	7.1e+008 N/m ²																					
Tensile strength:	1.11e+009 N/m ²																					
Elastic modulus:	2.05e+011 N/m ²																					
Poisson's ratio:	0.32																					
Mass density:	7850 kg/m ³																					
Shear modulus:	8e+010 N/m ²																					
Thermal expansion coefficient:	1.23e-005 /Kelvin																					
Curve Data: N/A																						

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details				
Fixed-1		<table border="1"> <tr> <td>Entities:</td> <td>4 face(s)</td> </tr> <tr> <td>Type:</td> <td>Fixed Geometry</td> </tr> </table>	Entities:	4 face(s)	Type:	Fixed Geometry
Entities:	4 face(s)					
Type:	Fixed Geometry					
Resultant Forces						
Components	X	Y	Z	Resultant		
Reaction force(N)	-65.4077	2047.54	316.339	2072.87		
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0		

Load name	Load Image	Load Details						
Gravity-1		<table border="1"> <tr> <td>Reference:</td> <td>Front Plane</td> </tr> <tr> <td>Values:</td> <td>0 0 -9.81</td> </tr> <tr> <td>Units:</td> <td>m/s^2</td> </tr> </table>	Reference:	Front Plane	Values:	0 0 -9.81	Units:	m/s^2
Reference:	Front Plane							
Values:	0 0 -9.81							
Units:	m/s^2							
Force-1		<table border="1"> <tr> <td>Entities:</td> <td>2 face(s)</td> </tr> <tr> <td>Type:</td> <td>Apply normal force</td> </tr> <tr> <td>Value:</td> <td>2050 N</td> </tr> </table>	Entities:	2 face(s)	Type:	Apply normal force	Value:	2050 N
Entities:	2 face(s)							
Type:	Apply normal force							
Value:	2050 N							
Torque-1		<table border="1"> <tr> <td>Entities:</td> <td>1 face(s)</td> </tr> <tr> <td>Type:</td> <td>Apply torque</td> </tr> <tr> <td>Value:</td> <td>12.5 N.m</td> </tr> </table>	Entities:	1 face(s)	Type:	Apply torque	Value:	12.5 N.m
Entities:	1 face(s)							
Type:	Apply torque							
Value:	12.5 N.m							

Contact Information

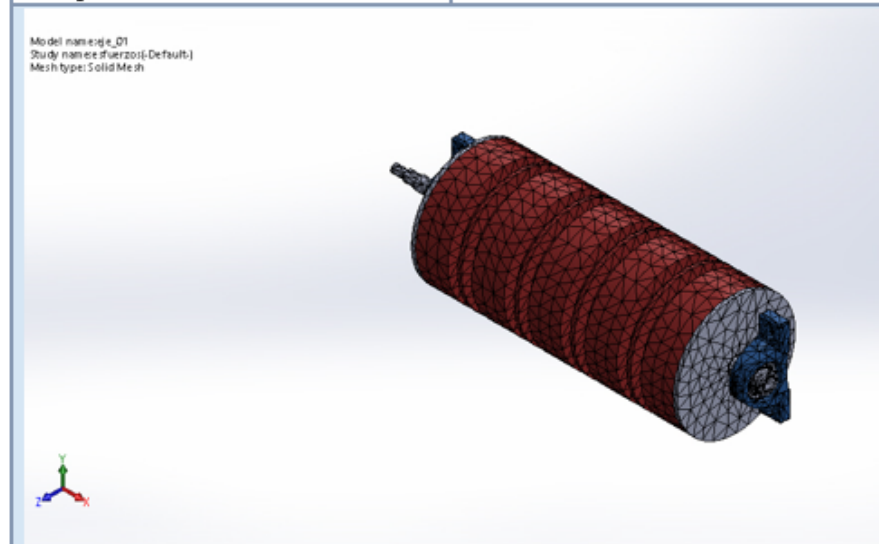
Contact	Contact Image	Contact Properties						
Global Contact		<table border="1"> <tr> <td>Type:</td> <td>Bonded</td> </tr> <tr> <td>Components:</td> <td>1 component(s)</td> </tr> <tr> <td>Options:</td> <td>Compatible mesh</td> </tr> </table>	Type:	Bonded	Components:	1 component(s)	Options:	Compatible mesh
Type:	Bonded							
Components:	1 component(s)							
Options:	Compatible mesh							

Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesh Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	17.9656 mm
Tolerance	0.898278 mm
Mesh Quality Plot	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	On

Mesh information - Details

Total Nodes	25982
Total Elements	13919
Maximum Aspect Ratio	130.25
% of elements with Aspect Ratio < 3	61.6
% of elements with Aspect Ratio > 10	1.98
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:26
Computer name:	DELL



Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-65.4077	2047.54	316.339	2072.87

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0