



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO PARA LA SEPARACIÓN  
Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS DE NEUMÁTICOS  
TRITURADOS”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería en Electromecánica.

**AUTORES:**

Martínez Moreira Jhon Alexis

Paccha Jiménez Klever Vinicio

**TUTOR:**

Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada MS.c

**LA MANÁ-ECUADOR**  
**SEPTIEMBRE-2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Martínez Moreira Jhon Alexis, con C.I 2100576681 y Paccha Jiménez Klever Vinicio, con C.I. 1950054252, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO PARA LA SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS DE NEUMÁTICOS TRITURADOS”, siendo el Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada MSc. tutor del presente trabajo; y eximamos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Martínez Moreira Jhon Alexis  
C.I: 2100576681



Paccha Jiménez Klever Vinicio  
C.I: 1950054252

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO PARA LA SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS DE NEUMÁTICOS TRITURADOS”, de Martínez Moreira Jhon Alexis, con C.I. 2100576681 y Paccha Jiménez Klever Vinicio, con C.I. 1950054252, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, Septiembre 2020



Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada MS.c  
C.I: 175702540-6  
**TUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, las postulantes: Martínez Moreira Jhon Alexis, con C.I: 2100576681 y Paccha Jiménez Klever Vinicio, con C.I.:1950054252, con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO PARA LA SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS DE NEUMÁTICOS TRITURADOS”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, Septiembre 2020

Para constancia firman:



Ing. Guido Gabriel Carrillo Velarde MS.c  
C.I: 0604243303-4  
**LECTOR 3 (PRESIDENTE)**



PhD. Yoandrys Morales Tamayo  
C.I: 175695879-7  
**LECTOR 1 (SECRETARIO)**



Ing. Paco Jovanni Vásquez Carrera MS.c  
C.I: 050175876-7  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

## AGRADECIMIENTO

*Agradecemos a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, carrera Ing. En Electromecánica, que nos permitieron formarnos como profesionales durante estos 5 años.*

*En primera instancia agradecer a nuestro Tutor de tesis por su valiosa orientación para la culminación de nuestro trabajo de investigación y demás docentes quienes formaron parte de nuestra preparación académica, quienes se han esmerado por impartir sus conocimientos.*

*A todas las personas quienes de alguna manera fueron participes de nuestra investigación con la cual se pudo concluir exitosamente.*

***Jhon y Klever***

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo de grado a Dios y a mis padres, hermanos, familiares, mi esposa e hijos, por haberme apoyado durante mi preparación académica quienes supieron darme su apoyo incondicional, no fuera alcanzable este anhelo tan deseado por mis padres y hermano, Ese aliento para seguir adelante y no desmayar.*

**Jhon**

*Quiero dedicar este trabajo de grado a Dios la virgencita de Cisne por darme la sabiduría que siempre necesite de su divina gracia, a mis padres, hermanos, familiares por haberme apoyado durante mi preparación académica quienes supieron darme ese aliento para seguir adelante y culminas mis estudios.*

**Klever**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

Título: “Implementación de una máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados”

**Autores:**

Martínez Moreira Jhon Alexis

Paccha Jiménez Klever Vinicio

**RESUMEN**

El presente proyecto de investigación se basa en “Implementación de una máquina prototipo para separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados”, empleando referencias científicas como antecedentes bibliográficos sobre la separación y remoción de partículas ferro magnéticas en procesos de trituración de neumáticos, se desarrolló a favor de los estudiantes de la Carrera Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, para la construcción de la máquina prototipo, se realizó el modelado del prototipo aplicando el software Autodesk Inventor el cual cumple con los parámetros de modelado y analisis de los elementos , mediante el método de Von Mises y elementos finitos aplicado en los elementos de la máquina prototipo, en la fabricación del tambor magnético se utilizó tubería de 8 pulgadas en acero AISI 304 como material idóneo, dado que las mismas propiedades de este material brindan mayor calidad en el trabajo al ser bajo en conductividad magnética, con la implementación de imanes cerámicos C8 generando un campo magnético que facilitaron la separación y remoción de las impurezas metálicas del producto como es caucho triturado de NFU, el producto final del proceso es usado en la fabricación de pisos sintéticos, impermeabilizantes e inclusive las partículas metálicas tendrán su destino final a las grandes industrias metalúrgicas, el proyecto logró un alto impacto social ya que es una alternativa de generación de empleo creando una cultura social, una vez diseñado el prototipo se procedió a ensamblar el equipo para desarrollar las respectivas pruebas que garanticen la separación y remoción adecuada de las partículas ferromagnéticas.

**Palabras clave:** NFU (Neumáticos fuera de uso), Caucho triturado, máquina prototipo, partículas ferro magnéticas, acero AISI 304, remoción, imanes cerámicos C8, campo magnético.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

TITLE: “Implementation of a prototype machine for the separation and removal of ferromagnetic particles from crushed tires”

**Author:**

Martínez Moreira Jhon Alexis

Paccha Jiménez Klever Vinicio

**ABSTRACT**

This research project is based on an implementation of a prototype machine for the separation and removal of ferromagnetic particles from crushed tires, using scientific references as a bibliographic background on the separation and removal of ferromagnetic particles in tire crushing processes, developed in favor of students of the Engineering Major in Electromechanics of the Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, for the construction of the prototype machine, it was modeled using Autodesk Inventor software which complies with the parameters of modeling and analysis of the elements, using the Von Mises method and finite elements applied to the elements of the prototype machine, in the manufacture of the magnetic drum was used 8-inch pipe in AISI 304 steel as an ideal material, since the same properties of this material provide higher quality at work by being low in magnetic conductivity, with the implementation of C8 ceramic magnets generating a magnetic field that facilitated the separation and removal of metallic impurities from the product such as crushed NFU rubber, the final product of the process is used in the manufacture of synthetic floors, waterproofing and even metal particles will have their final destination to the large metallurgical industries, the project achieved a high social impact since it is an alternative of job creation creating a social culture, once the prototype was designed, the equipment was assembled to develop the respective tests to ensure proper separation and removal of ferromagnetic particles.

**Keywords:** NFU (Out-of-use tires), Crushed rubber, prototype machine, magnetic ferro particles, AISI 304 steel, removal, C8 ceramic magnets, magnetic field.



## CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná; en forma legal CERTIFICO que: La traducción de la descripción del Proyecto de Investigación al Idioma Inglés presentado por las Egresadas de la Carrera de Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Martínez Moreira Jhon Alexis y Paccha Jiménez Klever Vinicio, con el título de proyecto de investigación “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO PARA SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS DE NEUMÁTICOS TRITURADOS”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

La Maná, septiembre del 2020

Atentamente,

Mg. Sebastián Ramón Amores Mg.  
C.I: 050301668-5

**COORDINADOR DEL CENTRO DE IDIOMAS**

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
5.1. Planteamiento del problema.....	4
5.2. Formulación del problema .....	5
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos .....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
Tabla 4: Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	7
8.1. Antecedentes previos .....	7
8.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
8.2.1 El neumático:.....	8
8.2.2 Reciclaje de neumáticos .....	9
8.2.3 Riesgos a la salud de las personas .....	10
8.2.4 Riesgos ambientales .....	10
8.3. Aspectos Generales de la Concentración de Minerales .....	10

8.4.	Magnetismo.....	11
8.5.	Diseños para Separadores Magnéticos.....	11
8.5.1	Clasificación de los Separadores Magnéticos .....	12
8.5.2	Separadores Magnéticos para la Separación de Fragmentos Metálicos .....	12
8.5.3	Placas magnéticas .....	12
8.5.4	Poleas.....	12
8.5.5	Tambores .....	13
8.5.6	Tambores magnéticos con carcasa .....	13
8.5.7	Rodillo magnético con carcasa.....	14
8.5.8	Separadores suspendidos .....	14
8.5.9	Parrillas magnéticas.....	15
8.6.	Definición de motores eléctricos.....	15
8.6.1	Conceptos generales de los motores eléctricos.....	15
8.6.2	Principios de operación de motores eléctricos .....	15
8.6.3	La Ley de Inducción de Faraday .....	16
8.6.4	Potencia y par de un motor eléctrico .....	16
8.6.5	Clasificación de los motores eléctricos .....	17
8.6.6	Máquinas de inducción.....	18
8.6.7	Motores síncronos (synchronous motor).....	18
8.6.8	Características de operación de motores eléctricos .....	18
8.6.9	Torque y Potencia.....	18
8.6.10	Corriente de arranque del motor de inducción .....	19
8.6.11	Tipos de accionamientos .....	20
8.6.12	Polo único con un solo hilo (Single Pole, Single throw) SPST: .....	20
8.6.13	Pulsadores.....	20
8.6.14	Protecciones de motores .....	21

8.6.15	Relés bimetálicos de sobrecarga (bimetallic overload relay) .....	21
8.6.16	Relé automático contra cortocircuito (breaker).....	21
8.7.	Principio de la Separación Magnética.....	22
8.8.	Matriz de selección de separador magnético. ....	22
8.9.	Imán .....	23
8.9.1	Tipos de imanes .....	23
8.9.2	Imanes temporales .....	23
8.9.3	Imanes permanentes .....	23
8.9.4	Imanes cerámicos .....	24
8.9.5	Imanes álnicos .....	24
8.9.6	Imanes de Neodimio.....	24
8.9.7	Imanes de Samario y cobalto.....	24
8.9.8	Matriz de selección de imanes.....	24
8.10.	Clasificación de los materiales por sus características magnéticas.....	25
8.11.	Campo magnético .....	26
8.11.1	Líneas de fuerza.....	26
8.11.2	Intensidad del Campo H .....	27
8.11.3	La inducción o densidad del flujo B.....	27
8.11.4	Reluctancia .....	27
8.12.	Temperatura de CURIE .....	27
8.13.	Propiedades magnéticas .....	28
8.13.1	Tamaño de las partículas .....	28
8.14.	Fundamentación legal .....	29
8.15.	Definición de términos.....	31
9.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	32
9.1.	Localización.....	32

9.2.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN .....	32
9.2.1	Investigación Bibliográfica.....	32
9.2.2	Investigación Descriptiva .....	32
9.2.3	Investigación Experimental .....	33
9.3.	Métodos de investigación.....	33
9.3.1	Método analítico .....	33
9.3.2	Método deductivo .....	33
9.4.	Técnicas e instrumentos .....	33
9.4.1	Calibrador pie de rey .....	34
9.4.2	Descripción del sistema de medición .....	34
9.4.3	Flexómetro.....	34
9.4.4	Escuadra .....	34
9.4.5	Nivel .....	34
9.4.6	Pinza amperimétrica .....	35
9.4.7	Multímetro .....	35
9.5.	Diseño mecánico: ecuaciones y cálculos. ....	36
9.5.1	Calculo para el dimensionamiento del motor .....	36
9.5.2	Calculo de velocidad angular del sistema.....	37
9.5.3	Velocidad periférica del cilindro .....	37
9.5.4	Perímetro del cilindro .....	38
9.5.5	Peso del cilindro vacío.....	38
9.5.6	Peso de la tapa del cilindro .....	38
9.5.7	Peso del eje sujeto del cilindro .....	39
9.5.8	Inercia en el cilindro .....	39
9.5.9	Inercia en el eje motriz .....	40
9.5.10	Datos:.....	40

9.5.11	Inercia total del sistema giratorio .....	40
9.5.12	Aceleración Angular.....	40
9.5.13	Calculo del torque del sistema (T).....	40
9.5.14	Potencia del motor .....	41
9.5.15	Parámetros establecidos para los cálculos mecánicos. ....	41
9.5.16	Cálculo de la velocidad angular.....	41
9.5.17	Cálculo de la velocidad periférica del cilindro.....	42
9.5.18	Cálculo del perímetro del cilindro .....	42
9.5.19	Peso carcasa del tabor en vacío .....	42
9.5.20	Peso de tapas del cilindro .....	43
9.5.21	Peso del eje sujeto del cilindro .....	44
9.5.22	Eje motriz .....	45
9.5.23	Peso de acoples y pernos de sujeción en tapa del cilindro .....	45
9.5.24	Peso total del material a clasificar .....	46
9.5.25	Masas que intervienen en el sistema.....	47
9.5.26	Cálculo de la inercia del sistema giratorio.....	47
9.5.27	Inercia en el cilindro ( $I_{x1}$ ) .....	47
9.5.28	Inercia en la tapa fija .....	48
9.5.29	Inercia en el eje.....	48
9.5.30	Inercia del sistema giratorio .....	48
9.5.31	Aceleración angular.....	49
9.5.32	Cálculo del torque en el sistema .....	49
9.5.33	Calculo de la potencia del motor requerida en el sistema. ....	49
9.5.34	Requerimiento de dimensionamiento del motor.....	50
9.5.35	Características del material de tambor magnético.....	50
9.5.36	Características del eje porta masa magnética .....	50

9.5.37	DISEÑOS DE LA MÁQUINA: .....	51
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	54
10.1.	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS APLICADO A LA ESTRUCTURA DE MAQUINA PROTOTIPO DE SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS. ....	54
10.1.1	Análisis de las condiciones de contorno.....	55
10.1.2	Resultados.....	57
10.2.	Pruebas experimentales.....	59
10.3.	Alimentación del material.....	59
10.4.	Proceso de separación .....	60
10.5.	Analisis de material.....	61
10.6.	OBTENCIÓN DE TENORES DEL PROCESO .....	61
10.6.1	Tenor de alimentación .....	61
10.6.2	Tenor de concentración .....	62
10.6.3	Tenor en material no magnético .....	63
10.6.4	Rendimiento de la maquina .....	63
10.6.5	Resultados.....	64
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	65
11.1.	Impacto ambiental.....	65
11.2.	Impacto social .....	65
11.3.	Impacto económico .....	65
11.4.	Impacto técnico .....	66
11.5.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO .....	66
12.	PROPUESTA .....	67
12.1.1	Título .....	67
12.1.2	DATOS INFORMATIVOS.....	67
	Tabla 9. Datos informativos. ....	67



12.1.3	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA .....	68
12.1.4	JUSTIFICACIÓN .....	68
12.2.	OBJETIVOS .....	68
12.2.1	Objetivo general .....	68
12.2.2	Objetivos específicos .....	68
12.3.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	69
12.3.1	Factibilidad económica.....	69
12.3.2	Factibilidad socio-cultural .....	69
12.4.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	69
12.4.1	Diagnóstico.....	69
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
13.1.1	Conclusiones.....	69
13.1.2	Recomendaciones .....	70
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
15.	ANEXOS.....	74



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición y estructura de un neumático .....	8
Figura 2: Operación de poleas magnéticas. ....	13
Figura 3: Tambor Magnético con carcasa. ....	14
Figura 4: Separadores magnéticos suspendidos. ....	14
Figura 5: formas de onda de corriente continua y alterna. ....	15
Figura 6: Esquema de un alternador trifásico.....	16
Figura 7: Clasificación de motores AC según (NEMA) .....	17
Figura 8: Clasificación de los motores DC según (NEMA).....	17
Figura 9: Curva representativa de velocidad - torque para motor NEMA clase B.....	18
Figura 10: Contacto simple .....	20
Figura 11: Pulsadores .....	20
Figura 12: Relé bimetálico .....	21
Figura 13: Breaker.....	21
Figura 14: Características magnéticas .....	26
Figura 15: Pinza amperimétrica.....	35
Figura 16: Multímetro .....	35
Figura 17: Plano tambor magnético .....	51
Figura 18: Plano carcasa de tambor magnético .....	51
Figura 19: Plano Carcasa inferior.....	51
Figura 20: Plano tolva de alimentación .....	52
Figura 21: Plano motor eléctrico 220v .....	52
Figura 22: Plano caja reductora .....	52
Figura 23: Plano carcasa superior.....	53
Figura 24: Plano bridas de tambor magnético .....	53
Figura 25: Plano eje motriz. ....	53
Figura 26: Planos masa magnética .....	54
Figura 27: Plano ensamble de componentes de la máquina prototipo. ....	54
Figura 28: Aplicación de restricciones .....	55
Figura 29: Posiciones de la fuerza.....	56
Figura 30: Análisis por elementos finitos.....	57
Figura 31: Resultado de desplazamiento.....	58

Figura 32: Analisis de factor de seguridad. ....	59
Figura 33: Alimentación del material.....	60
Figura 34: Proceso de separación.....	60
Figura 35: Partículas ferrosas provenientes del proceso de desmetalizado.....	60
Figura 36: Muestras separadas.....	61
Figura 37: Peso del material procesado grano de caucho triturado.....	61
Figura 38: Peso del Material ferroso procesado.....	62
Figura 39: Resultado de peso final de partículas ferrosas.....	62
Figura 40: Resultado de peso final de caucho triturado libre de partículas ferrosas.....	62
Figura 41: material no magnético granos NFU.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Beneficiarios directos de la institución. ....	3
Tabla 2: Beneficiarios directos del Cantón La Maná.....	4
Tabla 3: Beneficiarios del proyecto.....	4
Tabla 4: Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....	6
Tabla 5: Comparación de estructura de neumáticos de un vehículo liviano y un camión.....	9
Tabla 6: Composición química de un neumático.....	9
Tabla 7: Diferentes Métodos de Concentración de Minerales y Equipos Empleados.....	10
Tabla 8: Valores de KVA/HP.....	20
Tabla 9: Selección de separador magnético.....	22
Tabla 10: Selección de imán para generar el campo magnético.....	24
Tabla 11: Instrumentos de medición.....	36
Tabla 12: Valores en kilogramos de cada uno de los elementos.....	47
Tabla 13: Características físico - mecánicas AISI 1020.....	55
Tabla 14: Masa de los elementos.....	56
Tabla 15: Datos de la malla.....	57
Tabla 16: Condiciones aplicada al estudio.....	57
Tabla 17: Resultados de tenores.....	63
Tabla 18: Presupuesto del Proyecto.....	66



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Hoja de vida del docente tutor .....	74
Anexo 2: Hoja de vida estudiante .....	75
Anexo 3: Hoja de vida estudiante .....	76
Anexo 4: Selección de tuercas. ....	77
Anexo 5: Selección de tuerca. ....	78
Anexo 6: Selección de tuerca. ....	78
Anexo 7: Selección de chumacera. ....	79
Anexo 8: Selección de rodamiento. ....	79
Anexo 9: Características del material del tambor magnético .....	80
Anexo 10: Especificaciones dl material de del eje porta masa magnética .....	80
Anexo 11: Diagrama eléctrico de la maquina .....	81
Anexo 12: Maquinado de masa magnética. ....	81
Anexo 13: Soldadura de la estructura base. ....	81
Anexo 14: Carcasas superior e inferior. ....	82
Anexo 15: Carcasa de tambor magnético .....	82
Anexo 16: Montaje de imanes cerámicos. ....	82
Anexo 17: Ensamblado del tambor magnético. ....	82
Anexo 18: ensamblado de componentes de la máquina. ....	83
Anexo 19: Montaje de componentes de la máquina .....	83
Anexo 20: Finalización de la máquina prototipo. ....	83
Anexo 21: Proceso de separación y remoción. ....	83

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### Título del Proyecto

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO PARA SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS DE NEUMÁTICOS TRITURADOS”

**Fecha de Inicio:** La presente investigación inició el 09 de Abril del 2019

**Fecha de Finalización:** Septiembre del 2020

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná  
Dirección: Av. Los Almendros y Pujilí.

**Unidad Académica que Auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Equipo de trabajo:** Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada Ms.c  
Jhon Alexis Martínez Moreira  
Klever Vinicio Paccha Jiménez

**Área de Conocimiento:** Ingeniería

Industria

Construcción

**Línea de Investigación:** Procesos Industriales

**Sub líneas de investigación:** Diseño, Construcción y Mantenimiento de Elementos, Prototipos y Sistemas Electromecánicos.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

La finalidad de este proyecto se ajusta en la mala disposición de los neumáticos, producidos por la alta demanda de vehículos que existe en el cantón La Maná, una vez acabada su vida utilitaria por efecto del desgaste los NFU, se desechan teniendo como destino calles, cunetas, lagos, ríos, botaderos de neumáticos, etc. Los cuales producen daños al medio ambiente a seres vivos de diferentes ecosistemas en especial al ser humano y un gran problema de contaminación.

La elaboración de esta investigación se basa utilizando una metodología de investigación de carácter bibliográfica, para conocer los diferentes procesos de separación magnética en la industria, producto de esta problemática se tiene como objetivo la implementación de una máquina prototipo mediante tambor magnético para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados fuera de uso (NFU) a través de materiales reciclados para minimizar contaminación y contribuir con el medio ambiente, esto se logrará aprovechando las propiedades magnéticas de las partículas provenientes de los neumáticos. Para el diseño de la máquina se desarrollará en el software CAD Autodesk Inventor, el cual cumple con los parámetros de modelado y análisis de los elementos estructurales, mediante el método esfuerzos combinados de Von Mises y elementos finitos, aplicado en la estructura de la máquina prototipo, para la realización de las pruebas experimentales este equipo contará con dos usos importantes: realizar la separación y remoción de las partículas ferromagnéticas mediante tambor magnético para obtener concentrados de caucho triturado y de fragmentos de alambre que conforman el neumático, el proyecto tendrá un alto impacto social ya que es una alternativa de generación de empleo creando una cultura social, fomentado así la economía del cantón y la del país.

## **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Coexisten métodos para una adecuada disposición de estos neumáticos fuera de uso, pero por la falta de interés política que fortalezcan la recaudación económicamente e implementación de manufacturas, con la tecnología adecuada para reconsiderar estos desechos y convertirlos nuevamente en materia prima útil, ( alfombras, bloques de caucho para parques infantiles, textiles y asfalto, césped sintético etc.), tomando en cuenta que existe la materia prima necesaria para el procedimiento respectivo. (Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H., 2017)

En nuestro país también se buscan nuevas opciones para el reciclaje del caucho. Cada año en el país se desechan más de dos millones de neumáticos, que tardan 500 años en degradarse y contaminan el medio ambiente, generan problemas en la salud de los humanos. (Angel, P., & Aristizabal, V. , 2107)

Es por esta razón que se pretende construir un prototipo de una máquina separadora de partículas ferromagnéticas la cual funciona con un tambor magnético el cual es el encargado de separar las partículas de acero que contienen los granos de caucho una vez triturados, esta máquina será de gran utilidad en el proceso de trituración mecánica de NFU (Neumáticos fuera de uso) dando como resultado final grano de caucho reciclado (GCR) sin partículas de acero.

Mediante el proyecto de investigación se benefician de forma directa estudiantes de la Carrera Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, y también de forma indirecta las personas dedicadas a procesos de reciclaje, la comunidad en general al disponer de una máquina que permite procesar este tipo de materiales separando en partes, lo que va a fortalecer el proceso de mecanización automática dentro de los estándares establecidos como parte del desarrollo temático; tomando en cuenta que es una máquina de uso común su practicidad es inmediata y de fácil manejo contribuyen de manera enfática al desarrollo del sector.

#### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Los beneficiarios Directos del proyecto son los estudiantes de la Carrera Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, los cuales tenemos 368 estudiantes 356 hombres y 12 mujeres podrán demostrar sus conocimientos adquiridos durante su formación académica aplicando métodos de diseño y construcción.

Los beneficiarios Indirectos constituyen los pobladores del Cantón La Maná el total de habitantes tenemos 42.216 contamos con 21.420 hombres y 20.796 mujeres ya que con esto se generara empleo uno de ellos siendo la recolección de los neumáticos, además de poder ser parte de una empresa que se dedique a la trituración de neumáticos fuera de uso (NFU).

**Tabla 1:** Beneficiarios directos de la institución.

<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO INDIRECTOS</b>		
<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total de habitantes</b>
<b>356</b>	<b>12</b>	<b>368</b>

**Elaborado por:** Autores del proyecto (2020).

**Tabla 2:** Beneficiarios directos del Cantón La Maná.

<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO INDIRECTOS</b>		
<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total de habitantes</b>
<b>21,420</b>	20,796	42,216

Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Tabla 3:** Beneficiarios del proyecto.

<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b>		
<b>Institucionales</b>	<b>Cantoniales</b>	<b>Total de habitantes</b>
<b>368</b>	42.216	42.584

Fuente: Autores del proyecto (2020)

## 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 5.1. Planteamiento del problema

Actualmente el tema de la reutilización de los recursos cobra mayor relevancia, tomando en cuenta que es de vital importancia incorporar estrategias para establecer direccionamientos que permitan un sistema integral de actividades. Se ha encontrado una tendencia hacia los materiales reciclados en el país y de esta forma podemos utilizar el material de llantas usadas, para obtener polvo o arena plástica para la elaboración de productos innovadores.

El tratamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos se ha convertido en una oportunidad para lograr que diferentes materiales sean reincorporados a procesos productivos, alargando de esta manera la vida útil y disminuyendo los impactos ambientales negativos generados por los diferentes productos y materiales, Muchos de ellos terminan en los bordes de las carreteras, terrenos baldíos o cuerpos de agua. Para solucionar este problema se presentó, el viernes pasado, el Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados. (Universo, 2018)

La mayoría de los NFU del Cantón La Maná, una vez cumplida su vida útil en los vehículos pasan a formar parte de los vertederos controlados e incontrolados, pues los neumáticos tienen un impacto ambiental negativo, la manufacturación constante de neumáticos y la dificultad para desecharlos después de ser usados, teniendo una inadecuada disposición de desechos sólidos. Son desechados en basureros al aire libre, en los afluentes, rellenos sanitarios, y la quema indiscriminada a cielo abierto ocasionando serios problemas de contaminación del medio y adicional son sitios potenciales de reproducción de los moscos transmisores de la

enfermedades como el dengue, la fiebre amarilla y la encefalitis, que provocando afectaciones en la salud de las personas pero por la

falta de interés política que fortalezcan la recaudación económicamente e implementación de manufacturas, con la tecnología adecuada para reconsiderar estos desechos y convertirlos nuevamente en materia prima útil, tomando en cuenta que existe la materia prima necesaria para el procedimiento respectivo, pueden ser usados como parte de los componentes de las capas asfálticas que se utilizan en la construcción de carreteras, se ha utilizado para la construcción de canchas particulares y públicas de césped sintético, para la protección de laterales de los barcos en pantanales, como aislantes de vehículos, losetas de goma, materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, moquetas, aislantes de vibración y alfombras. (Morales, 2017)

## **5.2. Formulación del problema**

¿Cómo lograr la implementación de una máquina prototipo para la separación de partículas ferromagnéticas pertenecientes a neumáticos triturados?

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo General**

- Implementar una máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación bibliográfica-documental sobre los métodos de separación entre el hule y las partículas ferromagnéticas de los neumáticos triturados.
- Diseñar los componentes que conforman la máquina prototipo mediante un software de diseño asistido por computadora.
- Construir una máquina prototipo para separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados.
- Evaluar el funcionamiento de la máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de los neumáticos triturados.



## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

**Tabla 4:** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LAS ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN (técnicas e instrumentos)
*Realizar una investigación bibliográfica-documental sobre los métodos de separación entre el hule y las partículas ferromagnéticas de los neumáticos triturados.	*Investigar los diferentes métodos de separación.  *seleccionar el método más eficiente para separación de partículas ferromagnéticas.	*Se realizó una matriz para la selección del método de separación de partículas ferromagnéticas.  * Selección del método de tambor magnetizado con imanes de tierras raras.	*Se aplicó un modelo de metodología documental y/o bibliográfica.
*Diseñar los componentes que conforman la máquina prototipo mediante un software de diseño asistido por computadora.	*Investigar los tipos de máquinas para la separación de partículas ferromagnéticas. *Seleccionar los materiales para la construcción del prototipo de máquina. *Modelar los componentes pertenecientes a la máquina prototipo.	*Listado de elementos mecánicos y electrónicos para el ensamblaje de la máquina.  *Un listado de materiales con sus características físicas mecánicas  *Ensamblaje de los componentes modelados de la máquina prototipo.  *Modelado del prototipo de máquina bajo cargas estáticas y dinámicas.	*Se utilizó un software de diseño mecánico para el modelado y ensamblaje de las piezas que conforma la máquina prototipo.  *Se simuló mediante un software de elementos finitos el funcionamiento de la máquina prototipo bajo cargas estáticas y dinámicas.
*Construir una máquina prototipo para separación y remoción de partículas ferro magnético de neumáticos triturados.	*Revisar planos mecánicos, eléctricos.  *Desarrollar la tecnología de construcción de la máquina prototipo.  *Ensamblar el prototipo de máquina.	*Verificación de medidas de la máquina prototipo.  *Ficha con el proceso tecnológico para la construcción de la maquina prototipo. *Piezas terminadas *Ensamblaje de la máquina prototipo. *verificación de ajuste de cada una de las piezas de la máquina prototipo.	*Se aplicó un modelo de metodología experimental bajo normativas de diseño y construcción.
*Evaluar el funcionamiento de la máquina	Comprobar el funcionamiento del prototipo (Tambor	Evaluación del método de separación aplicado para la separación y	Se aplicó una metodología

prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de los neumáticos triturados.	Magnético con carcasa).	remoción de partículas ferromagnéticas	experimental para comprobar el funcionamiento.
---	-------------------------	--	--

Fuente: Autores del proyecto (2020)

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 8.1. Antecedentes previos

El reciclaje de neumáticos es un tema que genera inquietud a escala global. En Ecuador se estima que anualmente se desechan 2'400.000 millones de neumáticos, un neumático puede demorar 500 años en degradarse. Estos neumáticos no siempre son desechados adecuadamente y acaban convirtiéndose en desecho común que se almacena en vías, propiedades abandonadas, bordes de riveras. Pensando en dar una solución a este problema un grupo de empresarios creó el Sistema ecuatoriano de gestión integral de neumáticos usado. (EL UNIVERSO, 2018)

En Ecuador existen varias plantas recicladoras de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) una de ellas es PRONEUMACOSA - Recicladora de Neumáticos en Ecuador ubicada E30, ubicada en la vía Zumbahua, Sigchos y Quilotoa, en la carretera Panamericana/Troncal de la Sierra/E35, es una de las empresas con la planta más grande a nivel nacional que se encarga de recibir neumáticos para transformarlos en polvo de caucho con una granulometría de 0,5 – 3 milímetros (mm), aplicado en canchas sintéticas, adoquines, suelas y botas, el acero es utilizado en la mezcla de concreto que le dan más resistencia y flexibilidad, los neumáticos son tratados para contribuir con el medio ambiente y mitigar la contaminación que estos producen, brindando Servicio de recolección, transporte y disposición final (NFU. (Aiyellow, 2020)

INDUSTRIA RECICLADORA DE CAUCHO ECOCAUCHO S. A, surge el 13 de junio del 2013, es una empresa Ecuatoriana localizada en la ciudad de Guayaquil y Quito, dedicada a la elaboración de productos conformados a base de caucho reciclado, mediante la gestión de neumáticos fuera de uso. Dicha gestión tiene como objetivo cerrar el círculo del neumático, asegurando la reutilización máxima de todos y cada uno de sus componentes en las distintas aplicaciones. ECOCAUCHO contribuye de manera activa y voluntaria al mejoramiento social y medioambiental de la comunidad aportando a reducir la emisión de millones de toneladas de monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, equivalente a plantar 500.000 mil hectáreas de

árboles y ahorrando millones de barriles, y la contaminación de la naturaleza. (Eco Caucho, 2018)

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEPARADOR MAGNÉTICO PARA MINERALES” Esta tesis se realizó en la Universidad de Azuay, Cuenca-Ecuador-2018, menciona ( Carrera Edison y Estrella Angel, 2018), la finalidad de esta tesis se basa en el diseño y construcción de una máquina de tambor vía seca para liberar partículas magnéticas (paramagnéticas y ferromagnéticas), de las diamagnéticas aprovechando las propiedades magnéticas de los minerales provenientes de las menas. Este equipo cuenta con dos usos importantes: realizar la purificación o separación del mineral y obtener concentrados con afinidad magnética.

## 8.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 8.2.1 El neumático:

Los neumáticos son productos complejos ya que están compuestos de polímeros, aditivos, cargas minerales y alambres metálicos, como se detalla en la Figura 1 a continuación:

**Figura 1:** Composición y estructura de un neumático



**Fuente:** Tomado de (<http://www.tnu.es/w/138/-como-es-un-neumatico->)por Autores del proyecto (2020)

Los porcentajes presentados en la Figura (1), son indicativos y sirven para darse una idea de la complejidad de un neumático. Según el tipo de vehículo, el neumático tiene una estructura diferente para cumplir con la función deseada y las condiciones de utilización impuestas. La Tabla 5 muestra un ejemplo de las diferencias de composición que existen entre un vehículo liviano y un camión:

**Tabla 5:** Comparación de estructura de neumáticos de un vehículo liviano y un camión.

<b>Componentes</b>	<b>Automóvil liviano [% de masa ]</b>	<b>Camión [% de masa]</b>	<b>Función</b>
<b>Cauchos Negro de humo</b>	48	45	Estructural – deformación
<b>Óxido de zinc</b>	22	22	Resistencia oxidación
<b>Material textil</b>	1,2	2,1	Catalizador
<b>Acero</b>	5	0	Esqueleto estructural
<b>Azufre</b>	15	25	Esqueleto estructural
<b>Otros</b>	1	1	Vulcanización
	12	-	-

Fuente: tomada de (Cano, Cerezo, & Fraile, 2007), por autores del proyecto (2020).

En la siguiente tabla se muestra la composición química de los elementos que componen al neumático para entender su complejidad:

**Tabla 6:** Composición química de un neumático.

<b>Elementos</b>	<b>Proporción [%]</b>
<b>Carbono</b>	70-83
<b>Hidrógeno</b>	5-7,5
<b>Azufre</b>	1,2-1,9
<b>Cloro</b>	0,1-0,8
<b>Nitrógeno</b>	1,5
<b>Oxígeno</b>	5
<b>Zinc</b>	1,2-2,7
<b>Hierro</b>	5-18
<b>Otros</b>	5

Fuente: tomada de (Cano Serrano, Cerezo García, & Fraile Urbina, 2007) por autores del proyecto (2020)

Entonces, por su composición compleja, los neumáticos fuera de uso (NFU) son objetos en los cuales su reciclado es muy complicado. (Tirel, 2017)

### 8.2.2 Reciclaje de neumáticos

El reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) es una alternativa estudiada globalmente y que ha llevado a encontrar tecnología conocida a nivel mundial, ya que están compuestas principalmente de caucho que contiene aire para soportar al vehículo y su carga. (Cardona - Urrutia, Patricia Del Pilar, 2016)

Por fortuna con los programas de modernizar la infraestructura vial, la creciente cultura y legislación ambiental, la experiencia internacional, la tecnología de reciclaje de neumáticos de caucho sus bondades sociales y ventajas técnicas; tenemos en nuestras manos la posibilidad de contribuir en el cuidado de nuestro planeta. Esto si hacemos un uso inteligente de los recursos naturales. Las diferentes tecnologías son mundialmente conocidas y comprobadas y el GCR es

usado tanto en pavimentación de vías como en pistas atléticas, pisos, paredes y techos e incluso el uso textil para fabricar suelas de zapatos, guantes. (Cardona - Urrutia, Patricia Del Pilar, 2016)

### 8.2.3 Riesgos a la salud de las personas

Los neumáticos son un potencial criadero de roedores los cuales anidan dentro de los neumáticos viejos, la leptospirosis, la salmonelosis y la fiebre por mordedura de roedores son algunas de las enfermedades transmitidas por las ratas, además dentro de los neumáticos producto de lluvias se forman pozas artificiales en su interior lugar ideal para la proliferación del mosquito (*Aedes aegypti*) que es el principal agente transmisor del dengue, la fiebre amarilla, el virus zika y el virus del Nilo Occidental, entre otras enfermedades. Ambas plagas pueden aumentar la propagación de la enfermedad en una comunidad. (ECOGREEN EQUIPMENT, 2017)

### 8.2.4 Riesgos ambientales

(Karina Proaño y Eduardo Stacey, 2011) Menciona “En términos generales sobre los posibles riesgos ambientales relacionados con los neumáticos se trata la eco toxicidad, la lixiviación y las emisiones incontroladas y los incendios accidentales”. (p.47)

## 8.3. Aspectos Generales de la Concentración de Minerales

Según los autores ( Carrera Edison y Estrella Angel, 2018), para crear una adecuada separación debe existir entre los minerales al menos una propiedad con valores relativamente diferentes, como la gravedad específica, susceptibilidad magnética, conductividad eléctrica o un resultado fisicoquímico superficial diferente. A esta característica se le conoce como Propiedad Diferencial.

**Tabla 7:** Diferentes Métodos de Concentración de Minerales y Equipos Empleados.

Nombre del Método	Propiedades que se emplea para separar	Principales aparatos
<b>Concentración Gravitacional</b>	Diferencia de velocidad de sedimentación de los minerales	Sedimentador, Hidrociclón, Jig, Canalón Canaletas, Mesa Vibratoria, Espiral, Conos de Separación Centrifugas, entre otros
<b>Concentración Magnética</b>	Susceptibilidad magnética (atracción o no frente a un magneto o imán)	Separador magnético de tambor, rodillos magnéticos, separador magnético tipo carrusel, etc.

<b>Concentración Eléctrica</b>	Conductividad eléctrica	Separador eléctrico de alta intensidad
<b>Flotación espumante</b>	Hidrofobicidad y/o hidrofiliidad del mineral (mojamiento o no)	Celdas de flotación y columnas de flotación
<b>Flotación selectiva</b>	Adsorción específica de un polímero y formación de flóculo	Sedimentador
<b>Coagulación selectiva</b>	Adsorción específica de iones inorgánicos y formación de un coágulo	Sedimentador

Fuente: tomada de (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2007), por autores del proyecto (2020)

#### 8.4. Magnetismo

El magnetismo no es más que el fenómeno físico relacionado con la atracción de determinados materiales; por medio del cual los materiales ejercen fuerza de atracción o de repulsión sobre diferentes materiales. Las fuerzas magnéticas son producidas por el movimiento de partículas como los electrones, donde muestran la relación íntima entre electricidad y magnetismo. El marco relacionado para estas dos fuerzas se llama la teoría electromagnética. (Morales, 2017)

Estos dos lugares, donde la fuerza es intensa, son llamados los polos del imán. Cuando la barra es usada como una brújula, uno de los extremos indica el Norte y este extremo es llamado Polo Norte. El otro es el Polo Sur. Los Polos magnéticos existen en pares. No ha sido posible originar un polo magnético sin el acompañamiento de un polo opuesto, y cuando se quiebra un imán instantáneamente se originan polos en los extremos quebrados. Entre los polos magnéticos se ejecutan fuerzas. Polos de igual nombre se repelen y polos de distinto nombre se atraen. La intensidad del polo magnético se puede cotejar con la magnitud de estas fuerzas. (Morales, 2017)

#### 8.5. Diseños para Separadores Magnéticos

Los separadores magnéticos se pueden presentar o diseñar de dos maneras, pueden ser de tipo electroimanes o imanes permanentes, según el uso y disponibilidad que vaya a presentar el equipo. Para permitir el tratamiento de varios materiales en el equipo se deberá incorporar medidas necesarias para regular la intensidad del campo magnético. (Carrera Edison y Estrella Angel, 2018).

### **8.5.1 Clasificación de los Separadores Magnéticos**

Existe una gran variedad de equipos magnéticos para la concentración de minerales los cuales se definen a continuación.

- Separadores Magnéticos para la Separación de Fragmentos Metálicos
- Separadores magnéticos por vía seca
- Separadores magnéticos por vía húmeda

Se realizara una descripción de los Separadores Magnéticos para la Separación de Fragmentos Metálicos siendo estos el objeto de estudio para la elección del modelo a construirse. (Duarte, 2017)

### **8.5.2 Separadores Magnéticos para la Separación de Fragmentos Metálicos**

Se pueden encontrar un amplio grupo de equipos magnéticos para realizar la separación de fragmentos metálicos como:

#### **8.5.3 Placas magnéticas**

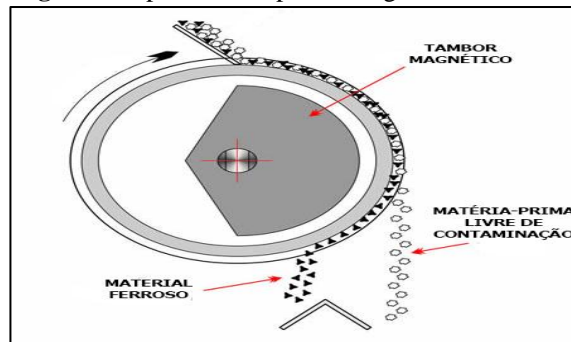
Las placas magnéticas proceden a eliminar fracciones y pedazos que se despliegan por conductos y canaletas inclinadas, estas se adhieren en una placa magnética a razón que el material se va deslizando por un canal o conducto, a este equipo se le debe limpiar periódicamente. (Pávez, 2005)

#### **8.5.4 Poleas**

Las poleas se utilizan para separar impurezas ferrosas que están contaminando productos que se transportan a través de cintas transportadoras u otros medios. Las poleas cuentan con una gran capacidad de atracción por lo mismo se encargan de proteger molinos, trituradoras, las mismas cintas transportadoras. (Pávez, 2005).

Las poleas se articulan en un cilindro de acero inoxidable que tiene buena resistencia mecánica y en su interior se instala la bobina en el caso de ser poleas electromagnéticas, o en el conjunto de imanes permanentes, o en el caso de las poleas magnéticas. (Carrera Edison y Estrella Angel, 2018)

**Figura 2:** Operación de poleas magnéticas.



Fuente: Tomada de (Pávez, 2005), por autores del proyecto (2020)

### 8.5.5 Tambores

Por lo que se refiere a un equipo completo, automático y muy eficiente, los tambores magnéticos se utilizan en diversos tipos de industrias incluyendo plásticos, gomas, metales, minería, procesamiento de alimentos y embalajes, productos farmacéuticos, químicos, etc.

La preocupación mundial crece cada día con el reciclaje de materiales y residuos, el separador magnético de tambor tiene gran importancia en este proceso, separación de materiales ferrosos en aluminio, residuos de construcción, plásticos, papeles.

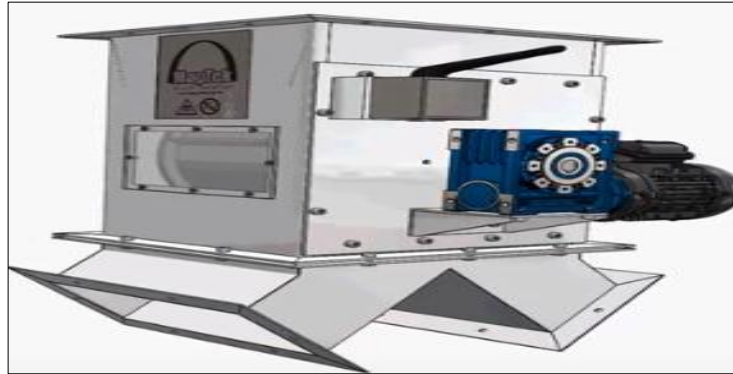
Los tambores a diferencia de las poleas se instalan exteriormente a la correa transportadora, se emplean para limpiar de manera automática los productos que son transportados por cintas o en caída libre, de manera semejante que en el caso de las poleas en la generación del campo magnético se puede presentar de las dos razones: por medio de una bobina electromagnética o a su vez por un conjunto de imanes permanentes en su interior tiene una estructura de 1/2 luna con imanes, la cual se calibra la altura para la sujeción y el soltado del material; se recomienda el Tambor Magnético en diámetros mayores de su (Centro magnético). (Pávez, 2005)

### 8.5.6 Tambores magnéticos con carcasa

Los tambores magnéticos con carcasa proporcionan una buena separación en aplicaciones donde hay una alta concentración de contaminación por metales. También dónde otro tipo de imán no es adecuado por el tipo de flujo del producto.



**Figura 3:** Tambor Magnético con carcasa.



**Fuente:** Tomado de (Tambores Magnéticos con Carcasa, 2018) por autores del proyecto.

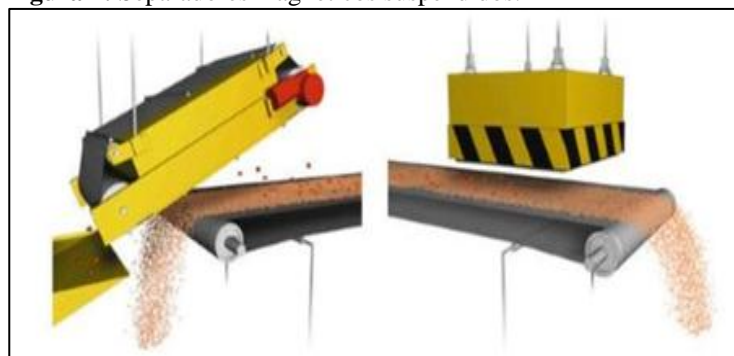
### 8.5.7 Rodillo magnético con carcasa

El rodillo magnético es protegido por una carcasa, diseñado para la eliminación continua de piezas de hierro y de partículas finas de hierro en materiales secos a granel utilizados en el procesamiento de alimentos, productos químicos, minerales y otros productos. La carcasa del rodillo tiene rodamientos sellados de alta calidad que proporcionan un giro suave y fiable alrededor del elemento magnético, este a su vez recibe alimentación de un bloque de motor de gran calidad con potencia monofásica o trifásica. (Tambores Magnéticos con Carcasa, 2018)

### 8.5.8 Separadores suspendidos

Este conjunto tiene como objetivo separar piezas ferrosas o impurezas del material no magnético transportado por alimentadores vibratorios y correas. Este tipo de separador se instala externamente al transportador y de esa manera atraen el material ferroso que pasa sobre o bajo el separador. El campo magnético se puede generar de dos maneras: mediante imanes permanentes o electroimanes (bobina energizada). (Pávez, 2005)

**Figura 4:** Separadores magnéticos suspendidos.



**Fuente:** Toma de (Pávez, 2005) por autores del proyecto (2020).

### 8.5.9 Parrillas magnéticas

El uso primordial de las parrillas magnéticas es eliminar las partículas finas de hierro como también fragmentos metálicos y este sistema consiste en un conjunto de barras magnetizadoras, a este equipo se debe brindar limpieza periódica. Este equipo se puede encontrar en el mercado con imanes de tierras raras o mediante imanes convencionales, estos son de gran intensidad y pueden extraer del producto las contaminaciones ferrosas finas y las débilmente magnéticas. (Carrera Edison y Estrella Angel, 2018)

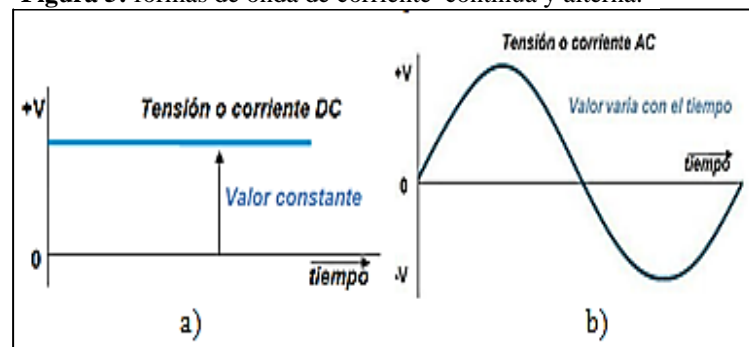
### 8.6. Definición de motores eléctricos

Motor es la máquina que transforma la energía eléctrica en mecánica la acción se desarrolla introduciendo una corriente en la maquina por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la maquina; aparece una f.e.m. (fuerza contra electromotriz inducida) que se opone al flujo de la corriente. (FRAILE Mora, Jesús., 2003)

#### 8.6.1 Conceptos generales de los motores eléctricos

**Corriente Eléctrica AC:** Se determina porque su sentido de circulación varía periódicamente, ya que su polaridad se altera continuamente, es un arquetipo de corriente bidireccional, al inverso de la DC que es unidireccional. El balance de la forma de onda de estas dos características de corriente se muestra en la figura (5). (FRAILE Mora, Jesús., 2003)

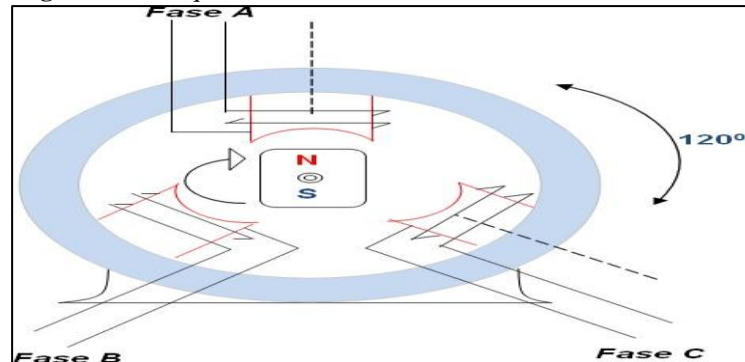
**Figura 5:** formas de onda de corriente continua y alterna.



Fuente: Tomado de rolando Sánchez Contreras Autores del proyecto (2020)

#### 8.6.2 Principios de operación de motores eléctricos

El principio de operación de los motores eléctricos depende también de la interacción de los campos magnéticos. Para especificar cómo opera un motor, se deben definir la sistemática del magnetismo, así como la relación que existe entre el flujo de corriente y el campo magnético.

**Figura 6:** Esquema de un alternador

Fuente: Tomado de rolando Sánchez Contreras Autores del proyecto (2020)

### 8.6.3 La Ley de Inducción de Faraday

En 1831 Joseph Faraday hizo uno de los descubrimientos más significativos del electromagnetismo que presentemente se conoce como: La ley inducción electromagnética de Faraday, que concierne fundamentalmente el voltaje y el flujo en el circuito. El enunciado de la ley es: (FRAILE Mora, Jesús., 2003)

- Si se tiene un flujo magnético que eslabona a una espira y, además, varía con el tiempo, se induce un voltaje entre los terminales.
- El valor del voltaje inducido es proporcional al índice de cambio del flujo.

De acuerdo al (SI) Sistema Internacional de Unidades, cuando el flujo varía en 1 weber por segundo, se excita un voltaje de 1 voltio (V) entre sus terminales; en consecuencia si el flujo varía entre una bobina de N (Número de espiras), el voltaje inducido se da por la expresión

**Dónde:** 
$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta T}$$

$\Delta\phi$  = cambio de flujo dentro de la espira o bobina

$\Delta T$  = intervalo de tiempo durante el cual el flujo cambia

$E$  = voltaje inducido

$N$  = numero de espiras en la bobina

La ley de Faraday, constituye las bases para los estudios prácticos en el estudio de motores de corriente AC, transformadores, generadores.

### 8.6.4 Potencia y par de un motor eléctrico

La potencia mecánica de los motores se según se enuncia el sistema internacional (SI), en caballos de fuerza (HP) o Kilowatts (KW), medidas que miden la cantidad de trabajo que un motor eléctrico es capaz de efectuar en un periodo específico de tiempo. Dos factores

importantes que establecen la potencia mecánica en los motores son: la velocidad de rotación. Y el par. (NEMA, NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION., 2006) El par es una medida de la fuerza que tiende a producir la rotación, se mide el Libras-pie (Lb/p) o Newton-metro (Nm). La velocidad del motor se establece comúnmente en revoluciones por minuto (RPM). La relación entre la potencia, el par y la velocidad se da por la siguiente expresión:

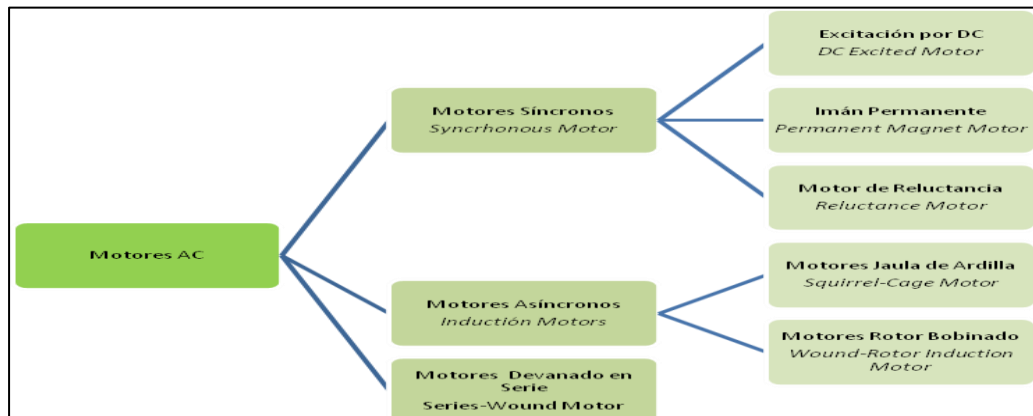
$$Potencia = Velocidad * Par$$

### 8.6.5 Clasificación de los motores eléctricos

Dependiendo los tipos de corriente eléctrica existen dos tipos de motores eléctricos reconocidos por NEMA (National Electrical Manufacturers Association): motores de corriente directa (DC) y motores de corriente alterna (AC).

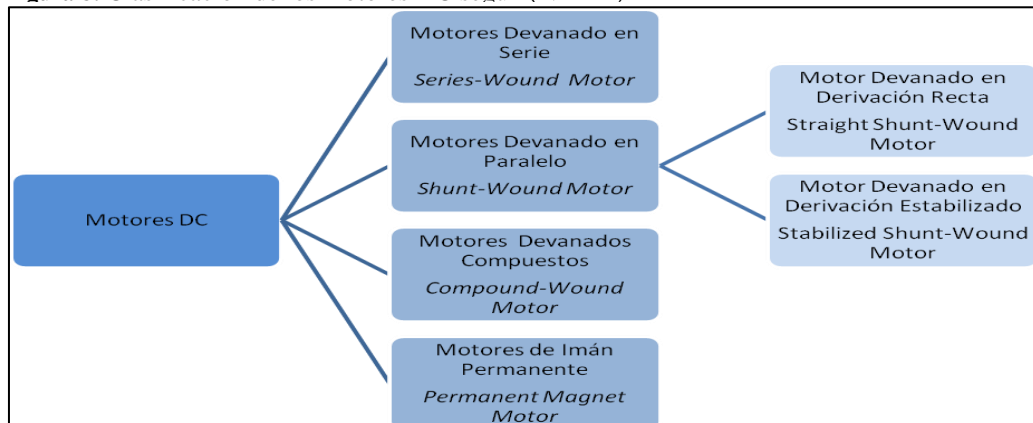
En las figuras 16 y 17, se muestra la clasificación según la naturaleza de la corriente eléctrica acorde con NEMA, de los motores eléctricos DC y AC respectivamente.

**Figura 7:** Clasificación de motores AC según (NEMA)



**Fuente:** Tomado de (NEMA) por, Autores del proyecto (2020)

**Figura 8:** Clasificación de los motores DC según (NEMA)



**Fuente:** Tomado de (NEMA) por, Autores del proyecto (2020)

### 8.6.6 Máquinas de inducción

También reconocidas por el seudónimo de máquinas asíncronas debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesto por la frecuencia de la red. La característica de los motores asíncronos se debe a su bastimento simple y robusto, sobre todo en el caso del rotor en forma de jaula, que les hace trabajar en las condiciones más adversas, dando un excelente servicio de trabajo con un pequeño mantenimiento dado. (HARPER, 2005)

### 8.6.7 Motores síncronos

Son fabricados ya sean con tensión de alimentación monofásica o trifásica, totalmente son usados sin carga, debido a que consiguen corregir el factor de potencia. Son más costosos que otros tipos en los índices pequeños de potencia, pero probablemente pueden ser más económicos para los 100 HP o más elevados. (HARPER, 2005)

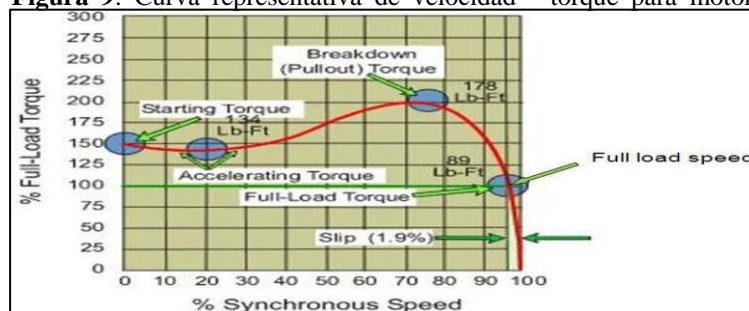
### 8.6.8 Características de operación de motores eléctricos

#### 8.6.9 Torque y Potencia

Estas dos características establecen el tamaño específico del motor para realizar un trabajo exclusivo, la figura (9), muestra las características de la curva de Torque contra velocidad de un motor NEMA clase B. (NEMA, NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION., 2006)

- **Full Load Torque:** Es el torque a carga nominal, es el 100%, 89 libras – pies (Lb-Ft) y es la referencia dada para los remanentes valores de torque.
- **Starting Torque:** Además conocido como Locke Rotor Torque. Un motor de inducción está hecho para desarrollar una aumento extra de torque para realizar el arrancar la carga.

**Figura 9:** Curva representativa de velocidad - torque para motor NEMA



Fuente: Tomado de (NEMA) por, Autores del proyecto (2020).

En la figura (9) el 150 % del torque nominal (full load torque) de operación a carga plena 100%.

- **Break Down Torque:** Existe sobrecarga en el motor, por lo que el motor brinda un valor de torque de operación alto, pero al momento de operar el motor en este punto por intervalos grandes de tiempo causara un calentamiento excesivo en el motor y puede provocar daños severo en el mismo.
- **Accelerating torque:** Cuando el motor se acelera de manera que, disminuye de forma rápida el par, pero este continúa en crecimiento hasta llegar al punto máximo de un 200% del torque nominal en este caso.
- **Slip:** Es el Deslizamiento producido por la carga externa que está sometida el rotor del motor de inducción, por lo cual es la divergencia entre la velocidad de sincronismo del motor y la velocidad específica de operación a plena carga en el rotor.
- **Full Load Speed:** Corresponde a la velocidad de trabajo real del motor sometido a carga plena y es menor que la velocidad de sincronismo.

#### 8.6.10 Corriente de arranque del motor de inducción

Existe un código NEMA (National Electrical Manufacturers Association), de letras que dispone a la corriente de arranque directa de un motor eléctrico corriente alterna (AC), esta codificación se conoce como locked rotor code, pone en particular las letras y en cuanto esta letra se sitúa en el abecedario desde la A hasta la Z, el consumo de corriente es mayor.

Es posible estimar la corriente de arranque en Amperes mediante el uso de la siguiente expresión:

$$\text{corriente de arranque} = \frac{1000 * \text{HP} * \text{KVA/HP}}{1.73 * \text{volts}}$$

En la figura 35 se dan a conocer los valores de KVA/HP, dependiendo de la designación por código (locked rotor code).

**Tabla 8:** Valores de KVA/HP

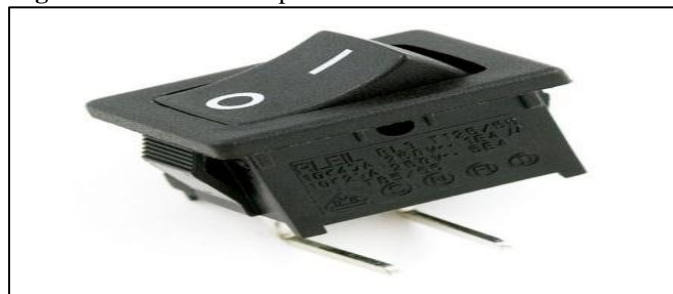
Cod	KVA/HP	Cod	KVA/HP	Cod	KVA/HP	Cod	KVA/HP
A	0-3.15	F	5.00 -5.60	L	9.00-10.0	S	16.0-18.0
B	3.15-3.55	G	5.60-6.30	M	10.0-11.2	T	18.0-22.0
C	3.55-4.00	H	6.30-7.10	N	11.2-12.5	U	20.0-22.4
D	4.00-4.50	J	7.10-8.00	P	12.5-14.0	V	22.4- más
E	4.50-5.00	K	8.00-9.00	R	14.0-16.0		

**Fuente:** Tomada de MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control, Por autores del proyecto (2020)

### 8.6.11 Tipos de accionamientos

### 8.6.12 Polo único con un solo hilo (Single Pole, Single throw) SPST:

Es el contacto más simple, es un contacto con direccionamiento ON/OFF, un ejemplo es el interruptor para apagar y encender las que tenemos en las casas. (SIEMENS, 2010)

**Figura 10:** Contacto simple

**Fuente:** Tomada de SIEMENS. Motors and Control, por Autores del proyecto (2020)

### 8.6.13 Pulsadores

Los pulsadores son mecanismos que actúan directamente con los contactos eléctricos normalmente abiertos (NO) o normalmente cerrados (NC) y que nos permiten conectar o desconectar momentáneamente parte de un circuito del sistema. (SIEMENS, 2010)

**Figura 11:** Pulsadores

**Fuente:** Tomada de SIEMENS, por Autores del proyecto (2020)

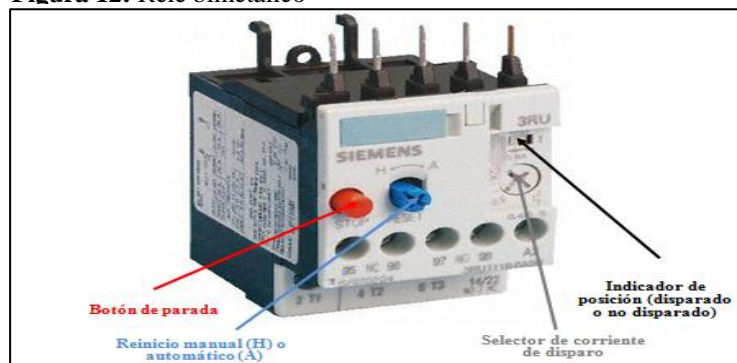
### 8.6.14 Protecciones de motores

El uso de motores eléctricos en los procesos ingenieriles, sobrelleva la necesidad de diseñar formas de proteger el motor y la red de suministro de las eventuales fallas y sobrecorrientes que puedan generarse debido a situaciones internas y externas al motor.

### 8.6.15 Relés bimetálicos de sobrecarga.

Varios tipos de relés de sobrecarga traen una cinta bimetálica para divisar una condición de sobrecarga. Un relé de sobrecarga bimetálico incorpora un pequeño calentador conectado serie con el motor y una tira bimetálica que trabaja como una palanca de disparo. (SIEMENS, 2010)

**Figura 12:** Relé bimetálico



Fuente: Tomada de SIEMENS. Motors and Control, por Autores del proyecto (2020)

### 8.6.16 Relé automático contra cortocircuito (breaker).

Es un dispositivo de disparo automático e instantáneo, reacciona ante elevaciones de sobrecorriente arriba del rango establecido, estas elevaciones sobrecorriente se deben a cortocircuitos debido a malas conexiones o fallas a tierra a través del circuito.

**Figura 13:** Breaker



Fuente: Tomada de SIEMENS, por Autores del proyecto (2020)



## 8.7. Principio de la Separación Magnética

La selectividad de la separación magnética se encuentra determinada por el balance de las fuerzas que interactúan sobre cada una de las partículas a separar. Se puede determinar las siguientes fuerzas:

- Fuerza magnética
- Fuerza de gravedad
- Fuerza centrífuga
- Fuerzas hidrodinámicas
- Fuerzas interparticulares

Se empleó el principio de separación a través de fuerza magnética mediante un tambor magnético el cual se encargara de separar las partículas ferromagnéticas del GCR.

## 8.8. Matriz de selección de separador magnético.

**Tabla 9:** Selección de separador magnético

Separadores Magnéticos	Factibilidad económica	Facilidad de operación y mantenimiento	Facilidad de Diseño y construcción	Mayor Capacidad para desmetalizar	Total (/20)
Separadores Magnéticos para la Separación de Fragmentos Metálicos	4	4	3	4	15
Separadores magnéticos por vía seca	2	3	3	4	12
Separadores magnéticos por vía húmeda	3	3	2	3	11

**Fuente:** Autores del proyecto. (2020) Calificación: 5 Muy alto, 4 Alto, 3 Medio, 2 Bajo, 1 Muy bajo Tomando en cuenta parámetros como costos, facilidad de operación y mantenimiento, capacidades de producción y capacidad para desmetalizar, se ha llegado a elegir la alternativa para el proceso de separación de las partículas ferro magnético, aplicando un Tambor magnético con carcasa.

Este tipo de tambor tiene las cualidades que se requiere para el presente proyecto, ya que va dirigido a usos industriales y/o artesanales, es decir, la tecnología de manejo y la estructura

que presenta para su mantenimiento, sugieren una gran versatilidad para los diferentes operadores.

Se ha optado el diseño y construcción del separador con tambor magnético con carcasa por las siguientes razones:

- Facilidad en la construcción del separador.
- Costo accesible para su ejecución.
- Accesibilidad en la obtención de materiales en el mercado.
- Un equipo que garantiza resultados óptimos.
- Seguridad en la ejecución del trabajo.

## **8.9. Imán**

Según el autor. (Villacís, 2011). Todo aquel cuerpo que tenga la propiedad de atraer otras sustancias llamadas ferromagnéticas. Esa característica de atracción se llama magnetismo, y se debe a un efecto de inducción magnética ejercido por el imán sobre el otro cuerpo, al que transforma momentáneamente en un imán.

### **8.9.1 Tipos de imanes**

Según su origen, los imanes pueden ser naturales, como la magnetita óxido ferroso-diferrico ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), un óxido de hierro que da nombre al fenómeno, o artificiales. Estos últimos pueden ser permanentes o temporales:

### **8.9.2 Imanes temporales**

Los imanes temporales sólo se comportan como tales por inducción de un campo magnético creado por otro imán o por la corriente eléctrica. Se construyen de hierro dulce (hierro con menos del 0,1% de carbono). El material empleado para fabricar este tipo de imanes es una aleación de hierro y silicio. (Rodríguez, 2016)

### **8.9.3 Imanes permanentes**

Los imanes permanentes conservan sus propiedades magnéticas al cesar la acción externa. Se fabrican con acero y con aleaciones entre el hierro y otros metales ferromagnéticos (Ni y Co). Los materiales que se emplean para la fabricación de imanes permanentes son el acero y diversas aleaciones, como la de acero-tungsteno-cobalto. (Rodríguez, 2016)

#### 8.9.4 Imanes cerámicos

Elaborados con partículas de hierro, son los más utilizados dados su relación calidad precio. Son de bajo coste y ofrecen un buen comportamiento a elevadas temperaturas (hasta 250 °C) y una buena resistencia a la desmagnetización, aunque no son especialmente potentes y son frágiles.

#### 8.9.5 Imanes álnicos

Están compuestos por una aleación de Aluminio Níquel y Cobalto (de ahí su nombre). Son muy económicos y se caracterizan porque resisten muy bien a altas temperaturas (hasta 425 °C) aunque sin embargo su fuerza de atracción es muy débil.

#### 8.9.6 Imanes de Neodimio

Están compuestos de Neodimio, Hierro y Boro (NdFeB), están considerados como los imanes más potentes del mercado. Son bastante más caros que los anteriores, pero son ideales para trabajar en espacios reducidos donde se necesitan mucha fuerza de atracción. Trabajan muy bien a temperaturas ambiente o equipos que no superen los 80 °C - 200 °C.

#### 8.9.7 Imanes de Samario y cobalto

Están compuestos de Samario y Cobalto. Al igual que los anteriores son muy potentes con la diferencia de que su precio es aún mayor dado que pueden resistir la oxidación hasta temperaturas de 250 °C - 350 °C.

#### 8.9.8 Matriz de selección de imanes

**Tabla 10:** Selección de imán para generar el campo magnético

Separadores Magnéticos	Costo	Capacidad de Gauss (remanencia)	Valores de propiedad de referencia (Nivel de electromagnetismo)	Temperatura de operación máxima	Total (/20)
<b>Imanes de ferrita (cerámica)</b>	Ferrita Anisotropía $\Phi$ 50mmX25 mm \$ (\$24.00-50*50*25)	3700	Presenta un nivel de magnetismo débil	250°C	
	4	4	4	4	16
<b>Imanes álnicos (grado 5)</b>		6500-12500	Presenta un nivel de magnetismo	425°C	

	4	4	superior a la ferrita pero sigue aun siendo débil.	5	4	17
<b>Imanes de neodimio (N42)</b>	Neodimio Φ50mmXΦ1 5 mmX20mm/ M1.4 N-pole \$0.25	10500- 11500	Nivel de electromagnetismo fuerte.	80°C		
	4	5	5	5	5	19
<b>Imanes de Samario y cobalto (2:17)</b>	Samario Cobalto Φ20mmX10 mm \$0.69	9000-10500	Nivel de electromagnetismo próximo a fuerte, pero más bajo que el neodimio.	350°C		
	5	4	4	4	4	17

**Fuente:** Autores del proyecto (2020). Calificación: 5 Muy alto, 4 Alto, 3 Medio, 2 Bajo, 1 Muy bajo

### **Análisis:**

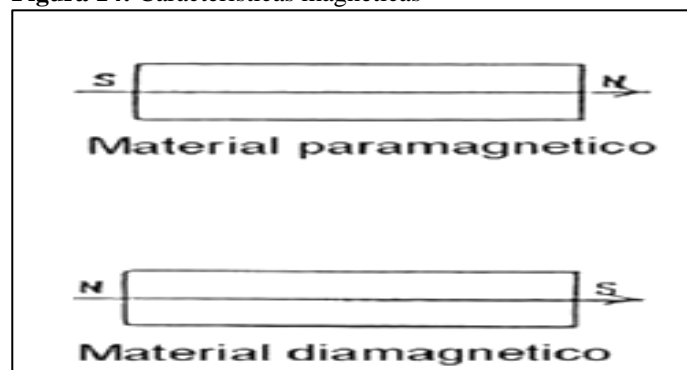
Tomando en cuenta parámetros como costos, capacidad de Gauss, valores de propiedad de referencia, capacidad para desmetalizar y temperatura de operación máxima, se opta los imanes cerámicos C8 por sus características que aportan en el proceso de separación y remoción, son de tipo permanentes y tienen buenas propiedades de mecanizado, ayuda a la optimización de recursos económicos y es de mayor acceso en nuestra localidad, presenta un óptimo campo magnético de 3600 Gauss a determinadas temperaturas de operación para el presente proyecto de investigación encaminado a la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados.

### **8.10. Clasificación de los materiales por sus características magnéticas**

Los materiales en algún grado son afectados por los campos magnéticos, este hecho es resultado que los átomos cuentan de núcleos con carga eléctrica positiva los cuales están rodeados por un campo de electrones cargados negativamente, tales electrones se encuentran en continuo movimiento girando en torno al núcleo, a tendiendo al grado de distorsión y cambio de las características magnéticas que sufren los materiales cuando están sujetos a un campo magnético externo, los materiales se clasifican en tres grupos: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos cuando un material se encuentra sometido a un campo magnético la órbita del electrón es aturdida en alguna medida. (Villacís, 2011)

- a) **Ferromagnéticos:** son fuertemente atraídos por un imán (Son ferromagnéticos, elementos como el hierro, níquel, cobalto y gadolinio, óxidos como la magnetita, y algunas aleaciones como Heusler (30% de Mn y 70% de Cu) y Permalloy (22% Fe, 78% Ni), casi todos los aceros.
- b) **Paramagnéticos:** son levemente atraídos por un imán (platino, aluminio, cromo, potasio, estaño), etc.
- c) **Diamagnéticos:** son levemente repelidos por un imán (plata, plomo, cobre, mercurio, etc. (Villacís, 2011)

**Figura 14:** Características magnéticas



Fuente: Tomado de (Villacís, 2011). Por autores del proyecto.

## 8.11. Campo magnético

Espacio donde se ejerza el efecto de inducción, el campo magnético está constituido por el conjunto de todas las líneas de fuerza, cuyo número y forma dependen del foco magnético o fuente que generó el campo. Esto también es de aplicación cuando se trata de un conductor por el que circula una corriente eléctrica. La unidad de medida de la magnetización en el Sistema Internacional es amperio/metro. (Villacís, 2011).

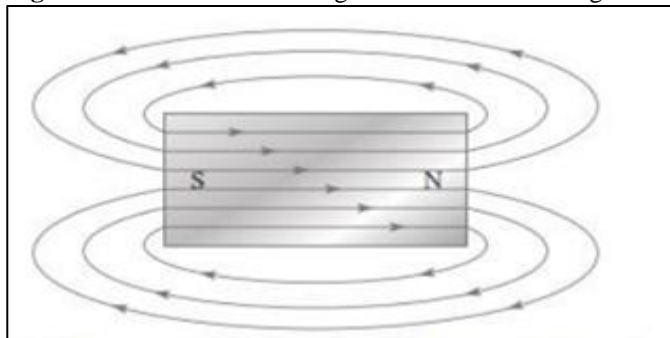
### 8.11.1 Líneas de fuerza

En electromagnetismo, se conoce como la curva cuya tangente provee la dirección del campo tal que en cada uno de sus puntos, las fuerzas de Atracción o de Repulsión se muestran en aquellas zonas donde entran o salen líneas de fuerza, o sea en las denominadas polos del imán. Las líneas de fuerza tienen asignadas propiedades importantes tales como:

Son líneas continuas y cerradas que nunca se rompen; no se cruzan unas con otras; se les atribuye una dirección, salen del polo norte y, viajando a través del espacio, entran por el polo sur donde entran dentro del imán y vuelven al polo norte a través del imán; su densidad

decrece al aumentar la distancia entre los polos; buscan el camino de menos resistencia o reluctancia magnética. (Torres L. , 2017)

**Figura 6:** Líneas de fuerza magnética en una barra magnética.



**Fuente:** Tomado (Torres L. , 2017) por autores del proyecto.

### 8.11.2 Intensidad del Campo H

La intensidad del campo es la fuerza que actúa sobre un polo norte magnético unitario, colocado dentro de un campo magnético o sea es la fuerza que tiende a establecer un flujo magnético en un circuito magnético. Se mide en OERSTEDS. Su unidad de medida es amperios/metro (S.I.) y Oersted. (c.g.s.)  $1 \text{ amperio/metro} \approx 1,310^{-2} \text{ Oersted}$  o Gauss de inducción magnética. (Carreño, 2016)

### 8.11.3 La inducción o densidad del flujo B

Es una relación entre la cantidad de flujo unidad de área, perpendicular al campo magnético, tomada en ángulo recto a la dirección del flujo. siendo actualmente la unidad medida en el Sistema Internacional el tesla (T), que es igual a un weber por metro cuadrado  $1 \text{ tesla} = \text{Wb/m}^2$  (Torres R. , 2018)

### 8.11.4 Reluctancia

Se define como la resistencia del material a magnetizarse bajo los efectos de un campo magnético. Las propiedades magnéticas de un material tienen gran importancia debido al efecto que éstas tienen en el comportamiento de los materiales cuando se hallan bajo el efecto de un campo magnético externo es decir bajo una excitación activa o cuando el campo externo es desactivado magnetismo residual. (Baltomero, 2017)

## 8.12. Temperatura de CURIE

Se define el punto de Curie, como aquella temperatura en la cual los materiales ferromagnéticos no pueden ser magnetizados por fuerzas externas y en la cual pierden su

magnetismo residual; Todos los materiales ferromagnéticos que posean flujo magnético pueden desmagnetizarse calentándolos a una temperatura igualo superior a la del punto de Curie y dejándolo enfriar a temperatura ambiente. El cambio de material ferromagnético a paramagnético en el punto de Curie se invierte cuando se enfría el material y vuelve a ser ferromagnético, habiéndose perdido su magnetismo residual. La mayoría de los metales presentan un punto de Curie comprendido entre 650 y 870° C. (Tenet, 2017)

### **8.13. Propiedades magnéticas**

Teóricamente la permeabilidad de las partículas empleadas en este método de ensayo, debe ser lo más alta posible. Cuanto mayor sea la permeabilidad tanto más fácilmente capturarán las líneas de fuerza en los campos de fuga ocasionados por las discontinuidades que puedan estar presentes y, en su consecuencia, las indicaciones serán más claras y se producirán más rápidamente. Sin embargo, en la práctica, la importancia de la permeabilidad magnética por ser uno de los factores que intervienen en el conjunto de propiedades que deben tener estas partículas, motiva que su influencia no sea tan decisiva como a primera vista pudiera parecer. (Moreno, 2016)

#### **8.13.1 Tamaño de las partículas**

La influencia que el tamaño de las partículas pueda ejercer en la obtención de las indicaciones, es algo que resulta evidente. (Villacís, 2011), afirma lo siguiente;

Si su tamaño es grande, lógicamente para conseguir sus desplazamientos serán necesarias fuerzas relativamente grandes que solo los campos de fuga de gran intensidad podrían proporcionar, mientras que las pequeñas discontinuidades no darían ninguna indicación. Por el contrario, si las partículas fuesen de tamaño pequeñas o muy finas, es posible que se produzcan falsas indicaciones.

El problema del tamaño de las partículas magnéticas no debe ser estudiado aisladamente debido, principalmente, a la necesidad de tener que considerar conjuntamente el método de aplicación de las mismas. Cuando se trate del método de aplicación por vía seca, la sensibilidad 31 para las discontinuidades de pequeño tamaño aumenta, al menos de una forma general, al disminuir el tamaño de las partículas. Sin embargo, cuando las partículas son muy finas, pueden, aun en piezas con acabado fino, acumularse en las irregularidades superficiales dando lugar a falsas indicaciones que, incluso, pueden llegar a formarse por la presencia de

huellas digitales o zonas ligeramente engrasadas. Por tanto, en este método de aplicación no es aconsejable el empleo de partículas finas, ya que pueden dar lugar a problemas de interpretación en el proceso de separación. (Moreno, 2016)

#### **8.14. Fundamentación legal**

El Real decreto 1619/2005, del 30 de diciembre, que trata sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Mencionando en el Art. 1.- Este real decreto tiene por objeto prevenir la generación de neumáticos fuera de uso, establecer el régimen jurídico de su producción, gestión y fomentar, por este orden su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente. Art. 2.a) Neumáticos fuera de uso: Los neumáticos que se han convertido en residuo de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril. Art. 4.1. El productor de neumáticos está obligado individualmente a recibir los neumáticos fuera de uso, hasta la cantidad puesta por él en el mercado nacional de reposición. Art. 5.2. Los generadores y poseedores de neumáticos fuera de uso están obligados a entregarlos al productor de neumáticos o a un centro autorizado o gestor. Art. 8.1. Los sistemas integrados de gestión garantizarán la recolección de los neumáticos fuera de uso y su correcta gestión. (Chimborazo Azogue , Caisa Yucailla, & Miranda López, 2017)

**Art. 395.-** La Constitución reconoce el siguiente principio ambiental: El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales. (Constitución del Ecuador, 2008)

De igual forma se toma en cuenta como sustento legal la ley de gestión ambiental del Ecuador de 2004. **Art. 2.-** La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales. (Ley de Gestión Ambiental, 2004)

#### **Acuerdo No. 098 “Objetivo y Ámbito”**

**Art. 1.-** Objeto.- El presente instructivo tiene por objeto establecer los requisitos, procedimientos y especificaciones ambientales para la elaboración, aplicación y control del Plan de Gestión Integral de los Neumáticos Usados, a fin de fomentar la reducción, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el ambiente.



**Art. 2.-** **Ámbito de aplicación.-** Se hallan sujetos al cumplimiento y aplicación de las disposiciones de este instructivo toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que dentro del territorio nacional participen en la fabricación/importación de neumáticos, siendo la comercialización, distribución y uso final corresponsables de la implementación y ejecución de los Planes de Gestión Integral Neumáticos Usados.

**Art. 3.-** Los neumáticos usados son considerados desechos especiales según el Acuerdo Ministerial No. 142 de 11 de octubre del 2012, publicado en el Registro Oficial No. 856 de 21 de diciembre de 2012.

### **Del programa de gestión integral**

**Art. 6.-** Toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que fabrique y/o importe neumático debe presentar un Plan de Gestión Integral de Neumáticos Usados, bajo los lineamientos establecidos en el presente instructivo.

**Art. 7.-** El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados deberá asegurar que la gestión de los neumáticos usados se realice de forma técnica, con el menor riesgo posible; procurando la mayor efectividad económica, social y ambiental, en el marco de la política y las regulaciones sobre el tema.

**Art. 8.-** Los distribuidores, comercializadores y los usuarios finales, serán corresponsables de la implementación y ejecución de los Programas de Gestión Integral de Neumáticos Usados en el ámbito de sus obligaciones de acuerdo a sus actividades.

**Art. 9.-** El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados deberá contener los procedimientos, actividades y acciones necesarias de carácter técnico, administrativo y económico.

**Art. 10.-** El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados definirá las estrategias de incentivos para lograr la mayor devolución por parte del usuario final y cumplir con las metas de recolección fijadas en la primera disposición transitoria del presente Acuerdo.

**Art. 11.-** El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados deberá describir y presentar los mecanismos que permitan realizar el control y seguimiento del desempeño ambiental que el fabricante o importador ha previsto para evaluar su plan en las diferentes etapas.

**Art. 12.-** El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados contendrá un programa de capacitación y prevención de riesgos con su respectivo manejo de contingencias conforme las diferentes fases o actividades del plan.

**Art. 13.-** El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados, podrá ser ejecutado mediante acuerdos voluntarios o mediante convenios de colaboración suscritos entre los diferentes participantes del plan de gestión, gremios y gobiernos autónomos descentralizados, entre otros.

**Art. 17.-** Toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que maneje neumáticos usados debe cumplir lo que establece la Normativa Técnica INEN y Normativa Ambiental aplicable. (Ministerio del Ambiente, 2015)

#### **8.15. Definición de términos**

1. **Caucho:** Sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica.
2. **Contaminación Ambiental:** Introducción de sustancias o materiales contaminantes en el ambiente que puedan ser nocivos para la salud, por lo general se generan como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental, dejando como consecuencia enfermedades y daños en el medio ambiente.
3. **GCR:** Es el material obtenido a partir de la trituración del caucho de los neumáticos fuera de uso de vehículos de transporte se le conoce como grano de caucho reciclado GCR está compuesto por caucho vulcanizado proveniente de la trituración mecánica.
4. **NFU:** El termino NFU significa neumáticos fuera de uso esto quiere decir que es todo neumático que ha finalizado su vida útil y se ha convertido en residuo sólido y potencial de materia prima para el reciclaje.
5. **Reciclaje:** Proceso mediante el cual se recupera una cantidad de material convertido en residuos o desechos, para ser aprovechados y convertidos en materia prima no virgen reincorporándolos en el proceso de producción para generar un nuevo producto.

## CAPITULO III

### 9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 9.1. Localización.

La Maná, es uno de los siete cantones de la Provincia de Cotopaxi. Tiene una superficie total de 66.258 hectáreas. Es el sexto cantón de la provincia de Cotopaxi. La Maná era un recinto que perteneció a la parroquia El Tingo del cantón Pujilí por varios años. El cantón La Maná está localizado en las estribaciones de la cordillera occidental de Los Andes, en la provincia de Cotopaxi. Morfológicamente se ubica sobre una llanura de pie de cordillera formada por depósitos aluviales cubiertas de cenizas y arenas volcánicas de origen desconocido. La cabecera cantonal se asienta sobre una terraza aluvial antigua del río San Pablo (Ubicación geográfica WGS 84: Latitud S0° 56' 27" Longitud W 79° 13' 25", altitud 220 msnm). Tiene varios pisos climáticos que varían de subtropical a tropical (altura variable de 200 y 1150 msnm). Está situada a unos 150 kilómetros (km) de Latacunga, capital de la provincia.

#### 9.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

##### 9.2.1 Investigación Bibliográfica

Se empleó la investigación bibliográfica para su desarrollo fue necesario la indagación previa en libros, revistas y páginas webs relacionadas con el tema de implementación de una máquina prototipo, por el método de separación magnética mediante tambor magnético por vía seca de auto limpieza que beneficiara de forma directa e indirecta a la localidad.

##### 9.2.2 Investigación Descriptiva

Se empleó este tipo de investigación por la problemática de los NFU y que tan impórtate es el método de separación magnética para el proceso de los neumáticos, los resultados obtenidos en las distintas etapas que componen el presente proyecto, su uso se evidencio durante la construcción del prototipo siendo desde la investigación bibliográfica, elección del modelo a diseñar y construir, identificación de materiales para su ejecución y corroboración de resultados.

### **9.2.3 Investigación Experimental**

Tomando en cuenta la naturaleza de la investigación que es la de construir un prototipo funcional, se emplean parámetros experimentales para estructurar funciones de acuerdo a la temática establecida, esto fomenta una actividad practica experimental hasta generar un proceso estructurado de acuerdo a las funciones proporcionadas.

## **9.3. Métodos de investigación**

### **9.3.1 Método analítico**

A través del método analítico se planteó la problematización que generan los neumáticos fuera de uso (NFU) en el medio ambiente y la salud pública, además se analizó los contenidos de la información teórica del proceso de separación magnética del grano de caucho reciclado (GCR), resultado de la trituración mecánica NFU y mediante ello se optó por el método de separación y remoción de partículas ferromagnéticas mediante tambor magnético por vía seca de auto limpieza y su justificación respectiva.

### **9.3.2 Método deductivo**

A través del método deductivo se partió de fundamentos y principios de métodos de separación, partiendo así del diseño, la construcción y implementación de la máquina prototipo de tambor magnético para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas, mediante la selección de materiales, sus respectivos dimensionamientos y granulometría correspondiente de 0,5 milímetro (mm), lo cual es una gran ayuda para obtener los cálculos necesarios.

## **9.4. Técnicas e instrumentos**

Un instrumento de medición es aquel que registra datos que pueden ser del mundo real o del mundo conceptual, observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente. (Grinnell, 2009).

Es un instrumento para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros, dentro proyecto se empleó para la toma de medidas con exactitud en cada una de las piezas que se acoplaron para estructuras una máquina funcional. Es importante destacar que en el proyecto de elaboración del prototipo se utilizó medidas exactas para cada uno de los componentes, pues de ello depende su funcionamiento adecuado dentro de las actividades establecidas.

#### **9.4.1 Calibrador pie de rey**

Es un instrumento muy difundido en la industria, con él se miden características de longitud: exteriores, interiores o de profundidad. Esto lo hace un instrumento muy empleado para mediciones preliminares y, si las tolerancias lo permiten, para el control de ciertas longitudes.

#### **9.4.2 Descripción del sistema de medición**

Para (Hector González Muñoz , 2001) El calibrador tipo vernier consta de: una estructura soporte en forma de L, que cuenta en su lado mayor con superficies guía donde desliza un cursor, este cuenta con puntas para mediciones externas e internas, y en él está, además, el sistema de lectura este puede ser una escala vernier, un indicador de carátula o una pantalla digital. Existen gran número de variaciones a este diseño, ofrecidas por los distintos fabricantes de instrumentos.

#### **9.4.3 Flexómetro**

El Flexómetro es un instrumento de medición. Su principal función es para medir longitudes, sin embargo es más conocido como metro en varios países de habla hispana, con la particularidad de que está construido por una delgada cinta de metal flexible, está dividida en unidades de medición, y se enrolla dentro de una carcasa metálica o de plástico.

#### **9.4.4 Escuadra**

La escuadra de cartabón tiene un resistente mango de metal y de madera que se ha concebido para servir como guía de ángulo recto. La hoja tiene graduaciones en pulgadas y fracciones de pulgadas. Por lo general se usa la escuadra de cartabón para estas tres labores: Comprobar una superficie o borde para determinar si tiene un espesor idéntico a todo su largo, comprobar un borde o superficie para determinar si está a escuadra con la superficie o el borde adyacente.

#### **9.4.5 Nivel**

Un nivel es un instrumento de medición que se utiliza para determinar la horizontalidad o verticalidad de un elemento. En el proyecto para la construcción era prescindible que cada pieza conectara alineación exacta con la superficie, de esta forma se determina que existe congruencia entre los componentes del desarrollo mecánico.

#### 9.4.6 Pinza amperimétrica

Según Alcalde la pinza amperimétrica mide intensidades de corriente dentro de un conductor energizado sin realizar contactos eléctricos. Para realizarla medida basta con abrazar con la pinza el conductor eléctrico aislado, la medida aparece directamente en el amperímetro digital. (Alcalde, 2010)

**Figura 15:** Pinza amperimétrica



**Fuente:** Tomada de (electrónica aplicada) por autores del proyecto (2020).

#### 9.4.7 Multímetro

El multímetro es un instrumento que permite verificar el perfecto estado de los circuitos eléctricos, con respecto a sus tensiones alternas y continuas.

- **Clasificación de los multímetros:** Existen dos tipos de multímetros los analógicos y digitales, haremos dicha referencia al multímetro digital, instrumento que formo parte de los equipos a implementar en el trabajo.
- **Multímetro digital:** Es un instrumento de medida que nos permite configurarlo como óhmetro, amperímetro y multímetro, además incorporan funciones de frecuencímetro y capacímetro, de medición de termocúpulas para medir temperaturas de superficies, de transistores, comprobación de continuidad eléctrica y verificación de diodos. (BENCHIMOL, 2011)

**Figura 16:** Multímetro



**Fuente:** Tomado de (Benchimol 2011), por autores del proyecto (2020).

**Tabla 11:** Instrumentos de medición

Equipo de medición	Unidad de medida
<b>Pie de rey</b>	0.01 mm (enteras y fracciones)
<b>Flexómetro</b>	1/16 pulgada
<b>Escuadra</b>	mm /cm
<b>Nivel</b>	Graduación
<b>Multímetro</b>	Amperios

Fuente: Autores del proyecto (2020)

### 9.5. Diseño mecánico: ecuaciones y cálculos.

En base a lo pretendido y conseguido de la investigación bibliográfica se determina que la velocidad de rotación del tambor debe estar dentro de los parámetros entre 30 a 50 revoluciones por minuto (rpm). Como se encuentra a disposición un moto reductor de ¼ caballos de fuerza (HP), que gira a una velocidad de 1426 revoluciones por minuto (rpm), es necesario acoplar un sistema reductor con una relación de transmisión 1:80 el cual genera una velocidad en la salida de 35 revoluciones por minuto (rpm), siendo esta velocidad correcta por estar dentro de los parámetros investigados anteriormente.

Para la determinación del tamaño del tambor magnético se ha tenido en consideración el tamaño de la tolva de alimentación es de: 31 centímetros (cm) \* 28 centímetros (cm) \* 23.7 centímetros (cm), las dimensiones de la zona de dosificación son de: 11,2 centímetros (cm) \* 7,6 centímetros (cm), por lo que se decide elaborar un tambor de dimensiones de 27.6 centímetros (cm) \* 24 centímetros (cm), el proceso consiste en que el material caiga por medio de su dinámica y el campo magnético producido por la masa de imanes atraerá las partículas ferromagnéticas produciéndose la separación y clasificación del material.

#### 9.5.1 Cálculo para el dimensionamiento del motor

- **Datos del motor bifásico (220 V)**

Numero de rotaciones por minutos = 1426 revoluciones por minutos (rpm)

Sistema moto- reductor

Relación de moto – reductor= 1:40

Reducción salida = Numero de rotaciones por minutos \* relación de motoreductor

Reducción de salida =  $1426 \text{ revoluciones por minutos (rpm)} \times \frac{1}{40}$

Reducción a la salida=35 revoluciones por minutos (rpm)

Reducción a la salida en el tambor magnético = es de 35 revoluciones por minuto (rpm)

#### **Sistema de transmisión del sistema**

Eje del motor a caja reductora

### 9.5.2 Cálculo de velocidad angular del sistema

La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega  $\omega$ . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

$$1(\text{rev/s}) = 2\pi (\text{rad/s}) \quad \text{Ecu.(1)}$$

$$\frac{1 \text{ rev/s}}{\text{rev/s}} = \frac{2\pi \text{ rad/s}}{\omega}$$

$$\omega = \frac{(\emptyset) \times 2\pi \text{ rad/s}}{1 \text{ rev/s}}$$

#### Datos:

- Diámetro exterior del tambor ( $\emptyset$ ) = 200 milímetros (mm)
- Reducción de la salida del cilindro = 35 revoluciones por minuto (rpm)
- Velocidad angular ( $\omega$ ) = radianes por segundo *rad/s*

### 9.5.3 Velocidad periférica del cilindro

Para el cálculo de la velocidad se empleará los siguientes términos ya que se conoce que los separadores además de emplear fuerza magnética y la fuerza de gravedad, utilizan un efecto de centrifugación, para la magnetización del material ferromagnético con una mejor separación, por lo que es necesario conocer la velocidad periférica del equipo.

$$V = \omega * r \quad \text{Ecu.(2)}$$

#### Datos:

- Velocidad angular ( $\omega$ ) = radianes por segundo (rad/s)
- Radio (r) = metros (m)
- Velocidad periférica (v) = revoluciones por minuto (rpm)

Al girar el eje se produce una fricción entre este y el retén, desarrollándose calor. Cuando más rápido gira el eje mayor será el calor producido por la fricción. Cuando se alcanza la temperatura máxima admisible del labio se ha llegado a la velocidad periférica máxima permitida del eje. Por tal razón, puede decirse en términos generales que cuando mayor



sea la resistencia al calor del material de reten, mayor será la velocidad periférica admisible. También deberá tomarse en consideración la temperatura ambiente.

#### 9.5.4 Perímetro del cilindro

Para obtener este dato se requiere conocer el diámetro del cilindro (200 mm). El perímetro es la suma de las longitudes de los lados de una figura geométrica plana. Un cilindro es el cuerpo geométrico generado por el giro de una región, en torno a uno de sus ejes de simetría.

$$P = \pi * \emptyset \quad \text{Ecu.(3)}$$

#### Datos:

Diámetro exterior del cilindro ( $\emptyset$ ) = 200 milímetro (mm)

Plancha de acero inoxidable autentico modelo AISI – 304

#### 9.5.5 Peso del cilindro vacío

El peso específico de un cuerpo, es la relación que existe entre el peso y el volumen que ocupa un sólido. Es una constante en el sentido de que es un valor que no cambia a medida que aumenta su peso también aumentara su volumen ocupado, al igual que sucede con la densidad.

$$P_1 = V * p \quad \text{Ecu.(4)}$$

#### Datos:

- Densidad del acero inoxidable ( $p$ ) = kilogramos por metros cúbicos (kg/m<sup>3</sup>)
- Longitud del cilindro ( $l$ ) = metros (m)
- Espesor de la plancha ( $e$ ) = espesor (mm)
- Volumen del cilindro ( $v$ )= masa(m)
- Peso del cilindro vacío= kilogramos (Kg)

$$V = \text{perímetro} \times \text{longitud del cilindro} \times \text{espesor} \quad \text{Ecu.(5)}$$

#### 9.5.6 Peso de la tapa del cilindro

$$P_2 = A * e * p \quad \text{Ecu.(6)}$$

$$A = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} \quad \text{Ecu.(7)}$$

**Datos:**

- Diámetro de tapa( $\emptyset$ )= milímetros (mm)
- Densidad del acero (p)= kilogramos por metros cúbicos (kg/m<sup>3</sup>)
- Espesor de la plancha (e)=milímetros(mm)
- Área de las tapas(A) =metros cuadrado (m<sup>2</sup>)

**9.5.7 Peso del eje sujeto del cilindro**

Mediante la ecuación se determinara cada uno de los componentes generales que intervienen dentro del peso del eje del sujeto del cilindro, tomando en cuenta que cada componente es esencial para desarrollar actividades específicas dentro de la máquina.

$$P_3 = v * p \quad \text{Ecu.(8)}$$

**Área de eje central**

$$A = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} \quad \text{Ecu.(9)}$$

**Volumen del eje central**

$$V = A * L \quad \text{Ecu.(10)}$$

**Datos:**

- Diámetro del eje central ( $\emptyset$ )=milímetros (mm)
- Longitud del eje (L)= metros (m)
- Material del eje: Acero de transmisión
- Densidad del Acero (p)= kilogramos por metros cúbicos (kg/m<sup>3</sup>)
- Área del eje central (A) = metro cuadrado(m<sup>2</sup>)

**9.5.8 Inercia en el cilindro**

$$IX_1 = \left(\frac{m}{8}\right) [(d_o^2) - (d_1^2)] \quad \text{Ecu.(11)}$$

**Datos:**

- Masa del cilindro (m)= kilogramos (Kg)
- Diámetro mayor (d<sub>o</sub>)= longitud (l)
- Diámetro menor (d<sub>1</sub>)=longitud (l)

### 9.5.9 Inercia en el eje motriz

**Datos:**

- Masa del eje (m)= kilogramo (Kg)
- Diámetro del eje (d)= longitud (l)

$$I_{x_2} = \frac{md^2}{8} \quad \text{Ecu.(12)}$$

### 9.5.10 Inercia total del sistema giratorio

$$I_t = X_1 + X_2 \quad \text{Ecu.(13)}$$

### 9.5.11 Aceleración Angular

La aceleración angular está representada por la velocidad angular del tambor magnético en relación al tiempo de arranque para encender.

**Datos:**

- Velocidad angular ( $\omega$ )=radianes por segundo (rad/s)
- Tiempo (t)= segundos (s)

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad \text{Ecu.(14)}$$

### 9.5.12 Calculo del torque del sistema (T)

La fuerza para hacer girar un cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos torque o momento de fuerza. Es preferible usar el nombre torque y no momento, porque es empleado para referirse al momento lineal, al momento angular o al momento de inercia, que son todas magnitudes físicas diferentes para las cuales se usa el mismo término.

**Datos:**

- Inercia total ( $I_T$ ):
- Aceleración angular ( $\alpha$ ): radianes por segundo (rad/s)

$$\sum M = I_T * \alpha \quad \text{Ecu.(15)}$$

### 9.5.13 Potencia del motor

$$Pot = T \times \omega \quad \text{Ecu.(16)}$$

#### Datos

- Torque (T)=newton por metros (N/m)
- Velocidad angular ( $\omega$ ): radianes por segundo (rad/s)
- 1vatio (W)= 0.001341 caballos fuerza (HP)

### 9.5.14 Parámetros establecidos para los cálculos mecánicos.

#### Motor bifásico

- Potencial eléctrico (v): 220 voltios (V)
- Número de rotaciones por minuto: 1426 revoluciones por minutos (rpm)

#### Sistema moto-reductor

- Relación moto-reductor = 1:40
- Reducción a la salida = revoluciones por minutos (rpm) \* Relación moto-reductor
- Reducción a la salida = 1456revoluciones por minutos (rpm)  $\times \frac{1}{40}$
- Reducción a la salida = 35 revoluciones por minutos (rpm)
- Reducción a la salida = 35 revoluciones por minutos (rpm) en el tambor magnético.

### 9.5.15 Cálculo de la velocidad angular

#### Datos:

- Diámetro del tambor ( $\emptyset$ ): 20 centímetros (200 mm)
- Reducción a la salida del cilindro: 35 revoluciones por minutos (rpm)

$$35 \left( \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) \times \frac{1}{60} \left( \frac{\text{min}}{\text{s}} \right) = 0,58 \left( \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right)$$

$$1(\text{rev/s}) = 2\pi (\text{rad/s})$$

$$\frac{1 \text{ rev/s}}{0,58 \text{ rev/s}} = \frac{2\pi \text{ rad/s}}{\omega}$$

$$\omega = \frac{0,58 \text{ rev/s} \times 2\pi \text{ rad/s}}{1 \text{ rev/s}}$$

$$\omega = 3,64 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

### 9.5.16 Cálculo de la velocidad periférica del cilindro

Para el cálculo de la velocidad periférica se empleará los siguientes términos:

- Velocidad angular ( $\omega$ ) = 3,64 radianes por segundo (rad /s)
- Radio (r.) = 10 cm = 0,1 metros (m)
- Velocidad periférica = v metros por segundo (m/s)

$$V = \omega * r$$

$$V = 3,64 \text{ rad/s} * 0,1 \text{ m}$$

$$V = 0,36 \text{ m/s}$$

### 9.5.17 Cálculo del perímetro del cilindro

Para obtener este cálculo se requiere conocer el diámetro del cilindro 200 (mm), los cálculos se detallan a continuación:

#### Datos:

- Diámetro exterior del cilindro = 200 milímetros (mm) = 0,2 metros (m)
- Plancha de acero inoxidable autentico modelo AISI-304

$$\text{Perímetro} = \pi * \emptyset$$

$$\text{Perímetro} = \pi * 200 \text{ (mm)}$$

$$\text{Perímetro} = 628.32 \text{ (mm)}$$

$$\text{Perímetro} = 0.628 \text{ (m)}$$

### 9.5.18 Peso carcasa del tabor en vacío

#### Datos:

- Densidad del acero inoxidable ( $\rho$ ) = kilogramos por metros cúbicos 7930 ( $\text{kg/m}^3$ )
- Longitud del cilindro (l) = 263 milímetros (mm) = 0,263 (m)
- Espesor de plancha (e) = 1,25 milímetros (mm)
- Volumen del cilindro (V): masa (m)

$V = \text{Perímetro} * \text{longitud del cilindro} * \text{espesor}$

$$V = 0,628 \text{ m} * 0,263 \text{ m} * 0,00125 \text{ m}$$

$$V = 2,06455 \times 10^{-4} (\text{m}^3)$$

$$V = 206,455 (\text{cm}^3)$$

- Peso del cilindro vacío (Kg) =  $P_1$

$P_1 = \text{Volumen del cilindro} * \text{densidad del acero}$

$$P_1 = 2,06455 \times 10^{-4} (\text{m}^3) * 7930 \text{ kg/m}^3$$

$$P_1 = 1,63 (\text{Kg})$$

### 9.5.19 Peso de tapas del cilindro

#### Datos:

- Diámetro de la tapa ( $\phi$ ) = 224 milímetros (mm) = 0,224 metros (m)
- Densidad del acero ( $\rho$ ) = kilogramos por metros cúbicos 7860 (Kg/m<sup>3</sup>)
- Espesor de la plancha (e) = 7 milímetros (mm)
- Área de las tapas ( $m^2$ ) = A metros cuadrado ( $m^2$ )

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0,224 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,0394 (\text{m}^2)$$

Peso de una tapa (Kg) =  $P_2$

$P_2 = \text{Área} * \text{espesor} * \text{densidad del acero}$

$$P_2 = 0,0394 \text{ m}^2 * 0,007 \text{ m} * 7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_2 = 2,16 \text{ kg}$$

El cilindro cuenta con dos tapas las cuales van sujetas al cilindro, por tanto el peso que interviene en el cilindro es el siguiente:

$$P_2 = 2 * 2,16 \text{ kg}$$

$$P_2 = 4,32 \text{ kg}$$

### 9.5.20 Peso del eje sujeto del cilindro

Tomando en cuenta el eje sujeto del cilindro, este se obtiene entre la relación de diámetro del eje central, longitud del eje central, material del eje central, densidad del acero tomando en cuenta que es el material base del que se está realizando y el área del eje central como medio de apoyo para el desarrollo del prototipo de acuerdo a las acciones que se han encomendado.

Cave recalcar que el peso de cada imán de cerámica es de 298 (gr).

Datos para el cálculo del eje sujeto del cilindro.

- Numero de imanes = 18
- Peso de los magnetos = 298 gramos (gr) = 18 \* 298 = 5364 gramos (gr) = 5.364 kilogramos (kg)
- peso de porta magnetos = 2.59 kilogramos (kg)
- Diámetro del eje central ( $\emptyset$ ) = 25 milímetros (mm) = 0,025 metros (m)
- Longitud total del eje (l) = 364 milímetros (mm) = 0,364 metros (m)
- Material del eje central: Acero de dulce
- Densidad del acero ( $\rho$ ) = 7860 kilogramos por metros cúbicos ( $\text{kg/m}^3$ )
- Área del eje central ( $\text{m}^2$ ) = A metros cuadrado ( $\text{m}^2$ )

Eje estático porta masa magnética

$$A = \frac{\pi * D}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0.025 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0.000490625 (\text{m}^2)$$

$$A = 4.91 \times 10^{-4} (\text{m}^2)$$

- Volumen del eje central ( $\text{m}^3$ ) = V masa (m)

V = Área del eje central x longitud del eje

$$V = 4.91 \times 10^{-4} (\text{m}^2) * 0.364 \text{ m}$$

$$V = 0,0001785875 (\text{m}^3)$$

$$V = 1.79 \times 10^{-4} (\text{m}^3)$$

- Peso del eje central (kg) =  $P_3$

$P_3 = \text{volumen} * \text{densidad del acero}$

$$P_3 = 1.79 \times 10^{-4} \text{ m}^3 * 7860 \text{ Kg/ m}^3$$

$$P_3 = 1,40 \text{ (Kg)}$$

$P_{t3} = \text{peso eje central} + \text{peso de magnetos} + \text{peso de porta magnetos} + \text{carcasa del tambor}$

$$P_{t3} = 1,40 \text{ (kg)} + 5,364 \text{ (kg)} + 2,59 \text{ (kg)} + 1,63 \text{ (kg)} = 10,984 \text{ kilogramos (kg)}$$

### 9.5.21 Eje motriz

$D_m$  es el diámetro medio que vienen dado por:

$$D_m = \frac{D_1 + D_f}{2} = \frac{25 + 18}{2} = 21,5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi * D}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0.0215 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 3.63050301 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}$$

- Volumen del eje central ( $\text{m}^3$ ) =  $V$  masa (m)

$V = \text{Área del eje central} \times \text{longitud del eje}$

$$V = 0.0363 \text{ (m}^2\text{)} * 0.15 \text{ m}$$

$$V = 0,0005445 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V = 5.445 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}$$

- Peso del eje motriz (kg) =  $P_3$

$P_3 = \text{volumen} * \text{densidad del acero}$

$$P_3 = 5.445754515 \times 10^{-5} \text{ (m}^3\text{)} * 7860 \text{ kg/ m}^3$$

$$P_3 = 0.43 \text{ (Kg)}$$

### 9.5.22 Peso de acoples y pernos de sujeción en tapa del cilindro

Se ha considerado en este punto todos los pernos y acoples que se han integrado al equipo, se han usado 20 conjuntos, considerando dentro de cada conjunto a los pernos, arandelas y tuercas, se detalla de la siguiente manera:

**Datos:**



- Peso total de acoples de sujeción de las chavetas kilogramos (kg)
  - Diámetro de pernos = 3/8 pulgadas (in)
  - Diámetro de arandelas = 3/8 pulgadas (in)
  - Dimensión de tuercas = 3/8 pulgadas (in)
  - Cantidad a usar = 6 pernos, 12 arandelas y 12 tuercas
  - Peso unitario de un conjunto de sujeción (P4) = 0,02 kilogramos (kg)
  - Peso total del conjunto de sujeción (P4) = 6 \* 0,02 (kg) = 0,12 kilogramos (kg)
  - Peso total de acoples de la tolva y carcasa kilogramos (kg)
  - Diámetro de pernos = 2/8 pulgadas (in)
  - Diámetro de arandelas = 2/8 pulgadas (in)
  - Dimensión de tuercas = 2/8 pulgadas (in)
  - Cantidad a usar = 10 pernos, 20 arandelas y 10 tuercas
  - Peso unitario de un conjunto de sujeción (P5) = 0,026 (kg)
  - Peso total del conjunto de sujeción (P5) = 10 \* 0,026 (kg) = 0,26 kilogramos (kg)
  - Peso total de acoples de los anillos del tambor kilogramos (kg)
  - Diámetro de pernos = 8/8 pulgadas (in)
  - Dimensión de tuercas = 8/8 pulgadas (in)
  - Cantidad a usar = 4 pernos y 4 tuercas
  - Peso unitario de un conjunto de sujeción (P6) = 0,181 kilogramos(kg)
  - Peso total del conjunto de sujeción (P6) = 4 \* 0,181 kilogramos (kg) = 0,724 kilogramos (kg)
- Peso total de acoples
- $Pt = 0,12(\text{kg}) + 0,26(\text{kg}) + 0,112(\text{kg}) = 0,492 \text{ kilogramos (kg)}$

### 9.5.23 Peso total del material a clasificar

Para el proceso de separación de partículas ferromagnéticas de los neumáticos se pretende realizar el proceso de pruebas con un peso 800 (gr), que en nos da un total de 0,5(kg), es importante tomar en cuenta que este valor no ingresa totalmente al cilindro, debido a que la caída del material al tambor es de forma sincronizada, de la misma forma se considera que el valor de la masa que interviene es de forma constante y esta expresada en kilogramos, de acuerdo a estos valores, se obtienen los siguientes elementos:

- Peso total = 0.5 (kg)

- Peso que interviene en la caída al cilindro (P7) = 0,5 (kg)

### 9.5.24 Masas que intervienen en el sistema

Conforme a lo valores que se han hallado de acuerdo a los cálculos realizados se establecen los siguientes valores:

**Tabla 12:** Valores en kilogramos de cada uno de los elementos.

Componente	Cantidad	masa unitario (kg)	masa total (kg)
<b>Carcasa</b>	1	1,63	<b>1,63</b>
<b>Tapas de cilindro giratorio</b>	1	4,32	<b>4,32</b>
<b>Eje porta masa magnética</b>	1	10,984	<b>10,984</b>
<b>Eje motriz</b>	1	0,43	<b>0,43</b>
<b>Pernos de sujeción total</b>	20	0,492	<b>0,492</b>
<b>Material a clasificar</b>	1	0,5	<b>0,5</b>
<b>Total</b>			<b>17,136</b>

Fuente: Autores del proyecto (2020)

### 9.5.25 Cálculo de la inercia del sistema giratorio

Para el cálculo de este indicador tomando en cuenta que la resistencia se trata de imponer, en cada uno de los elementos al movimiento rotatorio que intervienen en el prototipo que se van desarrollando.

### 9.5.26 Inercia en el cilindro (Ix1)

En mecánica rotacional, la inercia rotacional desempeña un papel similar al de la masa en la mecánica lineal. De hecho, la inercia rotacional de un objeto depende de su masa. También depende de la distribución de esa masa respecto al eje de rotación.

#### Datos:

- Masa del cilindro (m) = 1,63 kilogramos (kg)
- Diámetro mayor (d<sub>0</sub>) = 0,2 metros (m)
- Diámetro menor (d<sub>1</sub>) = 0,18 metros (m)
- Inercia (Ix1) = kilogramos sobre metros cuadrado (Kg. m<sup>2</sup>)

$$X1 = \left(\frac{m}{8}\right) (d_0^2) - (d_1^2)$$

$$X1 = \left(\frac{1,63Kg}{8}\right) (0,2m)^2 - (0,18m)^2$$

$$X1 = 0,0015 \text{ Kg. } m^2$$

### 9.5.27 Inercia en la tapa fija

El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme.

#### Datos

- Masa de la tapa (m) = 2,16 (kg)
- Diámetro de la tapa (d) = 0,224 (m)

$$X_3 = (m \cdot d^2)/8$$

$$X_3 = \frac{(2.16\text{kg}) \cdot 0.224\text{m}^2}{8}$$

$$X_3 = 0.060 (\text{Kgm}^2)$$

### 9.5.28 Inercia en el eje

El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme.

#### Datos

- Masa del eje (m) = 0,43 kilogramo (kg)
- Diámetro del eje (d) = 0,0254 metros (m)

$$X_3 = (m \cdot d^2)/8$$

$$X_3 = \frac{(0.43\text{kg}) \cdot 0.0254\text{m}^2}{8}$$

$$X_3 = 1.36525 \cdot 10^{-3} (\text{Kg} \cdot \text{m}^2)$$

### 9.5.29 Inercia del sistema giratorio

La inercia es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo relativo o movimiento relativo. Dicho de forma general, es la resistencia que opone la materia al modificar su estado de movimiento, incluyendo cambios en la velocidad o en la dirección del movimiento.

$$I_t = X_1 + X_2 + X_3$$

$$I_t = (0.0015 \text{ Kgm}^2 + 0.060 \text{ Kgm}^2 + 1.36525 \cdot 10^{-3} \text{ Kgm}^2) =$$

$$I_t = 0.062 \text{ Kgm}^2$$

### 9.5.30 Aceleración angular

La aceleración angular en el movimiento circular uniformemente acelerado es constante. Se representa como el incremento de velocidad angular  $\omega$  desde el instante inicial hasta el final partido por el tiempo. La expresamos en  $m^2$  que representa los radianes por segundo al cuadrado y esto es porque el radián es adimensional. Por ende la aceleración angular mantiene el eje de rotación que se mantiene en una dirección constante en el espacio.

#### Datos

- Velocidad angular ( $\omega$ ) = 3,64 (rad/S<sup>2</sup>)
- Tiempo (t) = 4 \* 10<sup>-3</sup>(s)

$$\alpha = \omega / t$$

$$\alpha = \frac{3,64 \text{ rad/seg}}{4 * 10^{-3} \text{ s}}$$

$$\alpha = \frac{910 \text{ rad}}{\text{s}^2}$$

### 9.5.31 Cálculo del torque en el sistema

Datos:

- Inercia total (IT) = 0,062 kilogramos por metros cuadrado (Kg\* m<sup>2</sup>)
- Aceleración angular ( $\alpha$ ) = 910 radianes por segundo cuadrado ( rad/s)

$$\sum M = IT \times \alpha$$

$$\sum M = 0,062 \text{ (kgm}^2\text{)} \times 910 \text{ rad/s}^2$$

$$\sum M = 56,42 \text{ newton por metros (Nm)}$$

$$\sum M = T$$

$$T = 56,42 \text{ newton por metros (Nm)}$$

### 9.5.32 Calculo de la potencia del motor requerida en el sistema.

Se procede a realizar el cálculo de la potencia del motor mediante el momento torsor que ejerce el eje sometido a cargas externas, para determinar que el equipo trabaje sin sobre esfuerzos producidos por la cargas que interactúan en el eje, los cálculos se detallan a continuación:

Datos:

- Torque (T) = 56,42 newton metros(Nm)

- Velocidad angular ( $\omega$ ) = 3,64radianes / segundos (rad/s)
- 1 Watt (W) = 0,001341 caballos fuerza ( HP)

$$\text{Pot} = T \times \omega$$

$$\text{Pot} = 56,42 \text{ (Nm)} \times 3,64 \text{ (rad/s)}$$

$$\text{Pot} = 205,36 \text{ watt (W)}$$

$$\text{Pot} = 205,36 \text{ (W)} \times \frac{(0.001341\text{Hp})}{1\text{Hp}}$$

$$\text{Pot} = 0,27 \text{ (HP)}$$

Potencia del motor requerida para realizar el proceso de separación y remoción de la maquina prototipo.

### 9.5.33 Requerimiento de dimensionamiento del motor

Mediante los cálculos realizados de acuerdo a las características de cada uno de los elementos se puede sintetizar lo siguiente: se requiere de un motor con una potencia de 0,27 HP, en vista que en el mercado no se encuentran motores con estas características, se decide adquirir un motor de 0,5 HP con una velocidad de rotación de 1425 (rpm), y una caja reductora mediante tornillo sin fin, con el objetivo de cumplir con los parámetros de trabajo de 36 revoluciones por minuto (rpm) que se requiere en el sistema.

### 9.5.34 Características del material de tambor magnético

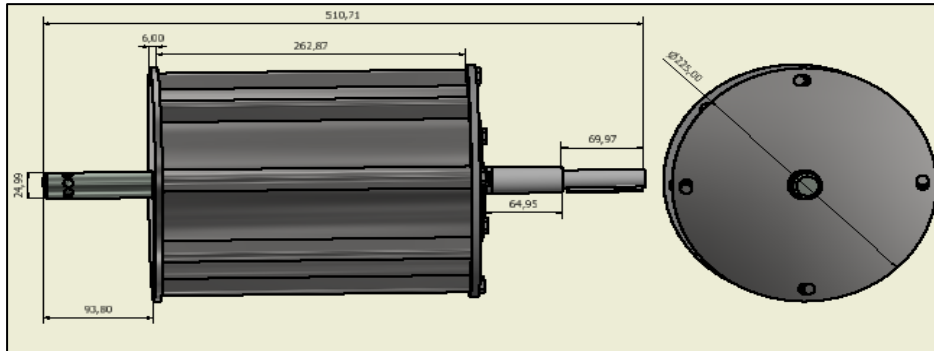
La característica del material con que está fabricado el tambor magnético es de la serie de aceros auténticos de serie AISI 304 inoxidable aleado de cromo níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio. **Ver anexo (6).**

### 9.5.35 Características del eje porta masa magnética

Las características del material del eje del masa magnética cuenta con las características del acero al carbono SAE 1020 acero medio carbono bajo la norma SAE por su contenido de carbono estos aceros se utilizan piezas de mediana resistencias. **Ver anexo (7).**

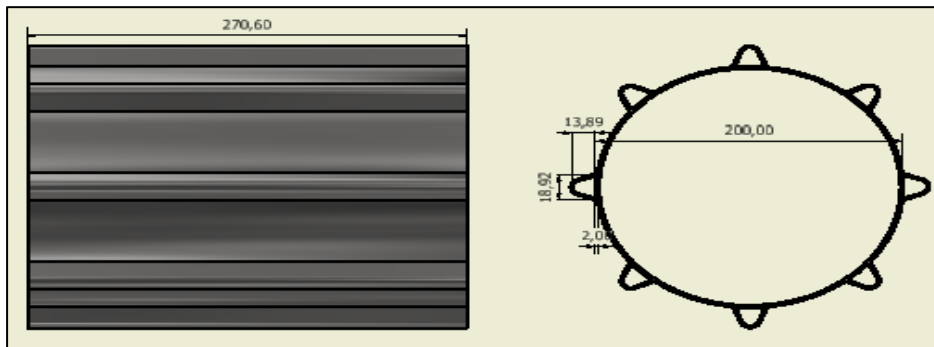
### 9.5.36 DISEÑOS DE LA MÁQUINA

**Figura 17:** Plano tambor magnético



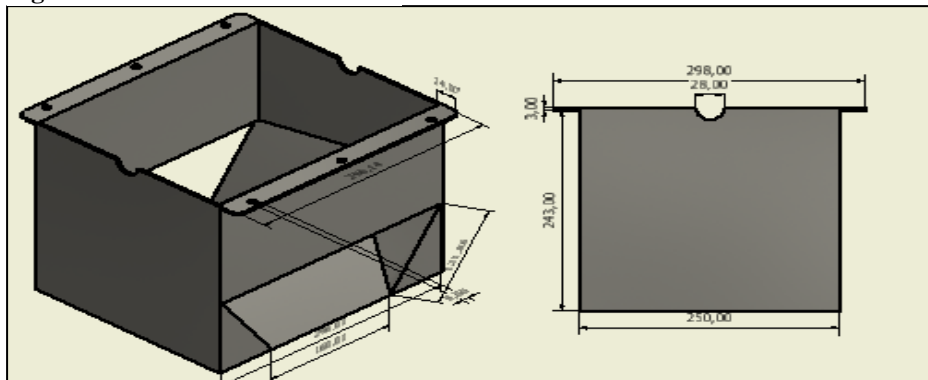
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 18:** Plano carcasa de tambor magnético



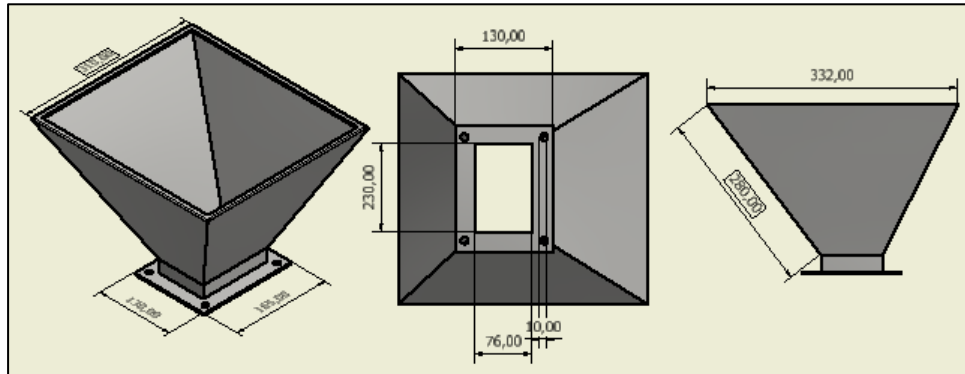
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 19:** Plano Carcasa inferior



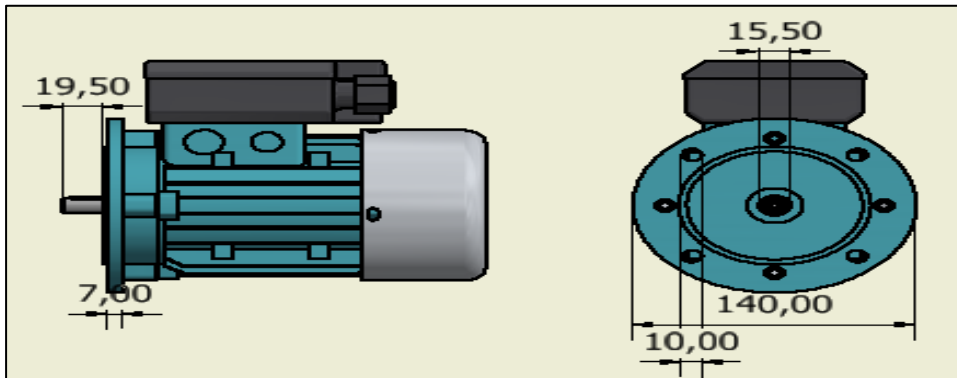
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 20:** Plano tolva de alimentación



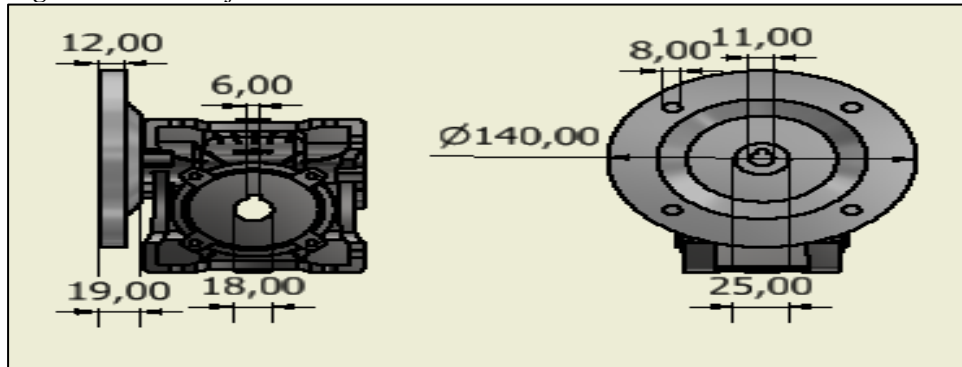
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 21:** Plano motor eléctrico 220v



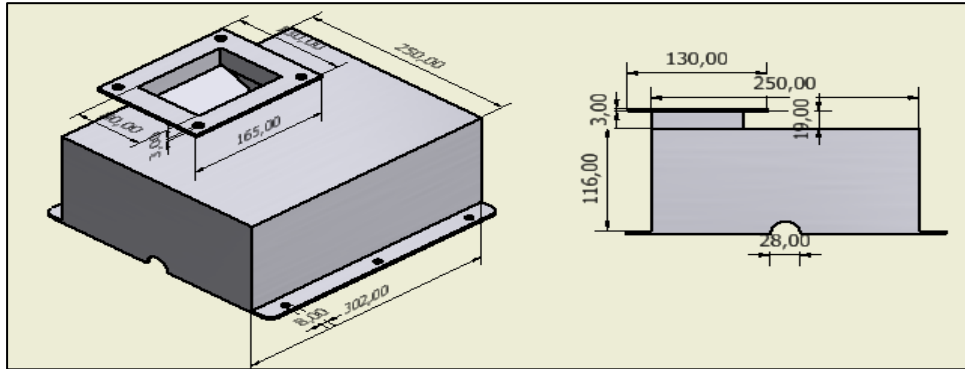
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 22:** Plano caja reductora



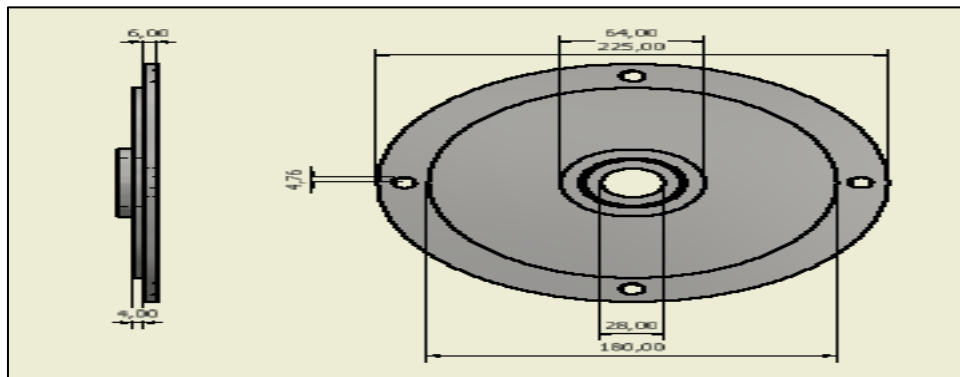
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 23:** Plano carcasa superior



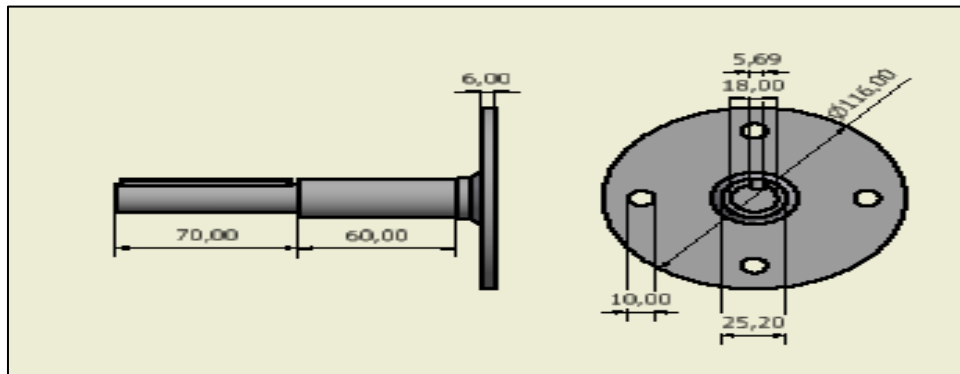
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 24:** Plano bridas de tambor magnético



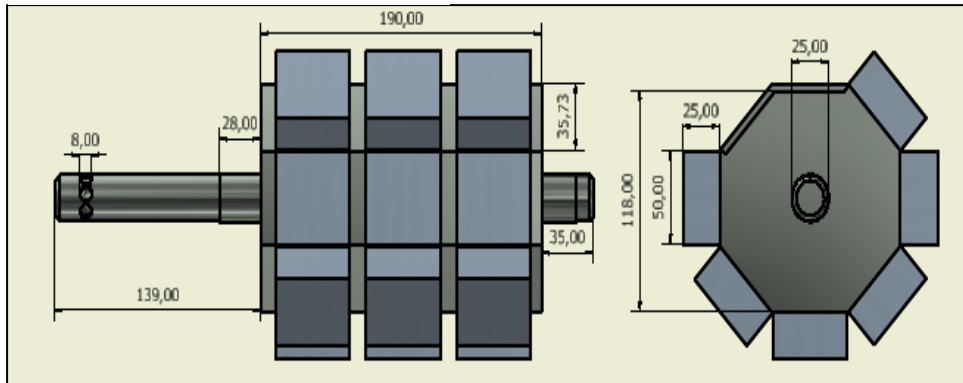
Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 25:** Plano eje motriz.

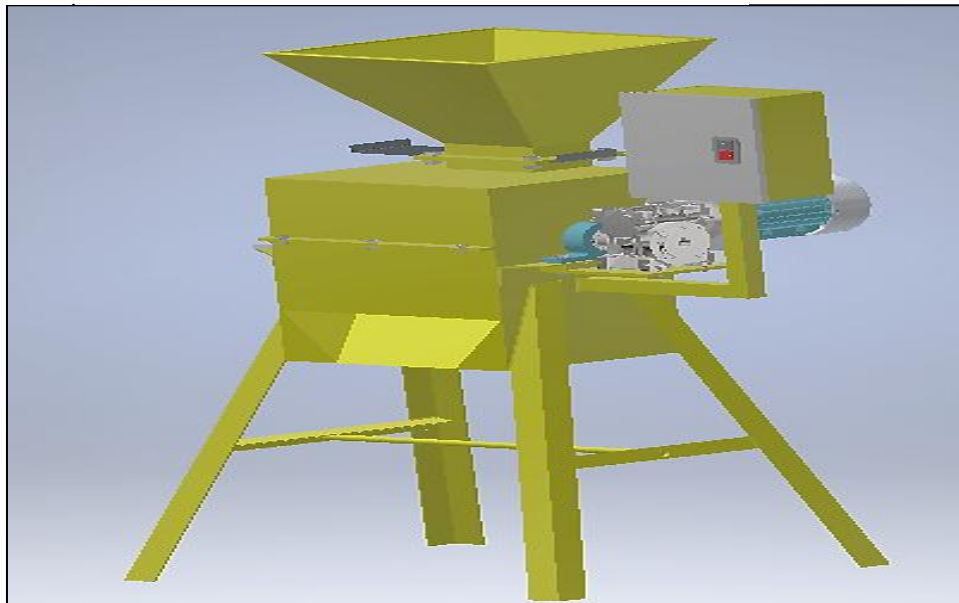


Fuente: Autores del proyecto (2020)



**Figura 26:** Planos masa magnética

Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 27:** Plano ensamble de componentes de la máquina

Fuente: Autores del proyecto (2020)

## 10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 10.1. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS APLICADO A LA ESTRUCTURA DE MAQUINA PROTOTIPO DE SEPARACIÓN Y REMOCIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

El estudio del modelo del prototipo de máquina para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas es necesario para conocer el comportamiento estructural de la misma. El análisis se lleva aplicando el método de elementos finitos a través del software CAD Inventor. El estudio que se realiza es un análisis de tensiones estático, aplicado a la estructura inferior de la máquina prototipo. Según las condiciones del modelo, la parte inferior soporta las cargas de

los elementos que componen el sistema rotatorio para la separación de las partículas ferromagnéticas, así como la parte superior.

### 10.1.1 Análisis de las condiciones de contorno.

El material utilizado para el modelo del prototipo de máquina fue el acero AISI 1020, el cual es un acero de bajo contenido de carbono que puede ser mecanizado y de gran soldabilidad, además puede ser utilizado en la fabricación de maquinaria y construcción de piezas estructurales. En la tabla tal se pueden observar las características físico-mecánicas del mismo.

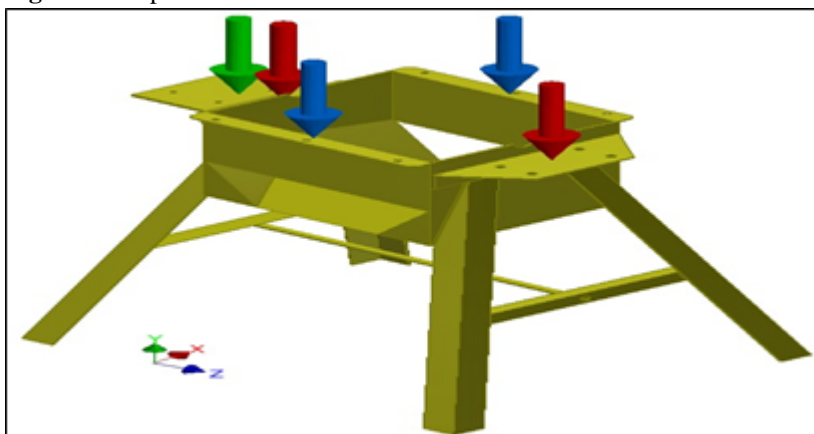
**Tabla 13:** Características físico - mecánicas AISI 1020

Nombre	Acero AISI 1020 107 LC	
<b>General</b>	Densidad de masa	7870 kg·m <sup>-3</sup>
	Límite de elasticidad	260 MPa
	Resistencia máxima a tracción	441 MPa
	Módulo de Young	207000 MPa
<b>Tensión</b>	Coefficiente de Poisson	0,33
	Módulo cortante	77819,5 MPa

**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

Las restricciones son necesarias para el estudio porque permiten colocar condiciones de fijación en algunos elementos que así se comporten, teniendo en cuenta, el tipo de análisis que se realiza. En el estudio se aplicaron restricciones de tipo fijas, la primera en la superficie inferior de las estructuras que soportan el prototipo. En la segunda se fijan la base del motor-reductor, la base de una chumacera y el elemento separador entre ellas debido a que están sujetas entre sí. En la figura (28) se pueden visualizar donde se posicionan las restricciones del modelo.

**Figura 28:** Aplicación de restricciones



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)

Las cargas que soporta el diseño permiten conocer el comportamiento del material y a su vez de las estructuras o elementos que lo componen. En el presente trabajo se aplicaron las cargas teniendo en cuenta, la fuerza que ejercen los elementos superiores. En la tabla (14) se pueden observar los valores obtenidos de las masas de los elementos.

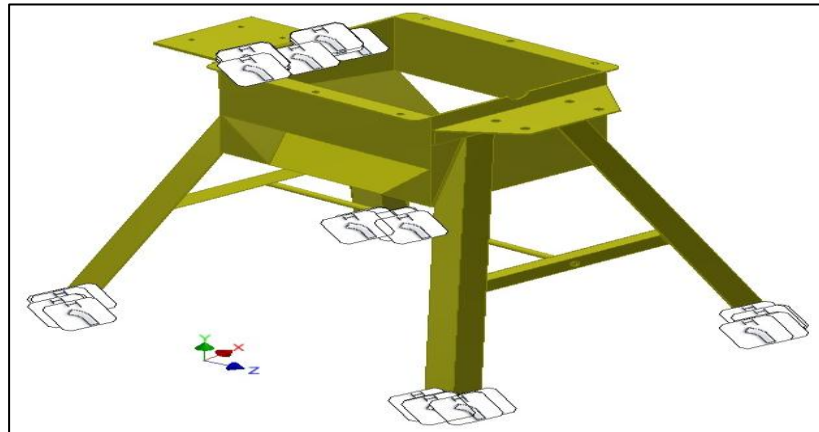
**Tabla 14:** Masa de los elementos.

Tipo de carga	Magnitud
Fuerza 1	98,96 N
Gravedad	9,81 N
Fuerza 2	189,483 N
Fuerza 3	42,052 N

Fuente: Autores del proyecto (2020).

En la figura (29) se pueden observar las posiciones de las fuerzas simuladas en el modelo del prototipo de máquina separadora de partículas ferromagnéticas. La Fuerza 1 se puede ver en color azul, la misma simula el peso de la parte superior que incluye solamente la tapa y la tolva de alimentación. La Fuerza 2, color rojo, se aplica sobre los soportes laterales de las chumaceras. La Fuerza 3, color verde, se aplica en la base del moto-reductor teniendo en cuenta la masa del mismo. Por otra parte, está la gravedad que se aplica teniendo en cuenta la posición del modelo como fuerza natural.

**Figura 29:** Posiciones de la fuerza.



Fuente: Autores del proyecto (2020).

El proceso de mallado se hace necesario para el cálculo el análisis por elementos finitos, de la calidad de la malla y del modelo depende el resultado del estudio. El software solamente propone un tipo de malla tetra 10 que tiene 4 puntos físicos y 10 nodos para la interpolación, además sus elementos son volumétricos. En la tabla (15) se muestran los datos de la malla utilizada en los cálculos.

**Tabla 15:** Datos de la malla.

Configuraciones	Magnitud
Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60°
Cantidad de nodos	251229
Cantidad de elementos	124149

**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

Además del proceso de creación de la malla, existe la convergencia del mallado, dicho factor es importante pues permite obtener una solución precisa, adaptando la malla con diferentes densidades y comparando los resultados. El procedimiento se puede realizar manual pero el software tiene la opción de configuración de convergencia donde se aplica el método h adaptativo. Las condiciones aplicadas al estudio se pueden observar en la tabla (16).

**Tabla 16:** Condiciones aplicada al estudio.

Configuraciones	Magnitud
Número máximo de refinados h	10
Criterio de paradas	5 %
Umbral de refinado h	0,750

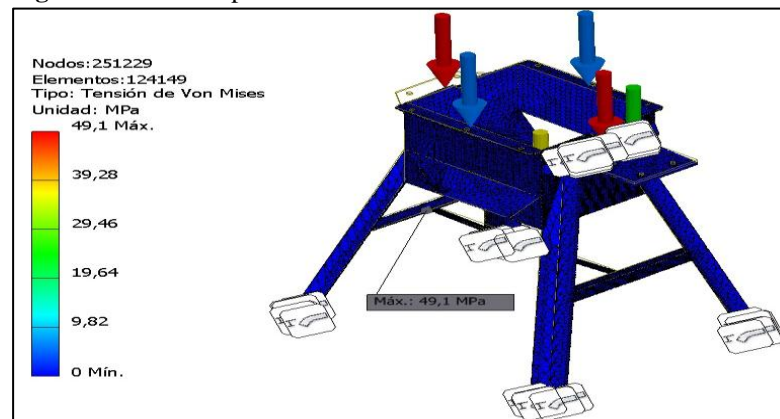
**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

### 10.1.2 Resultados

En el presente epígrafe se muestran los resultados del análisis por elementos finitos del prototipo de máquina de separación de partículas ferromagnéticas.

En la figura (30) se muestran los resultados del cálculo de las tensiones de Von Mises donde se obtuvieron valores máximos de 49,1 N muy inferiores al valor del límite elástico del material.

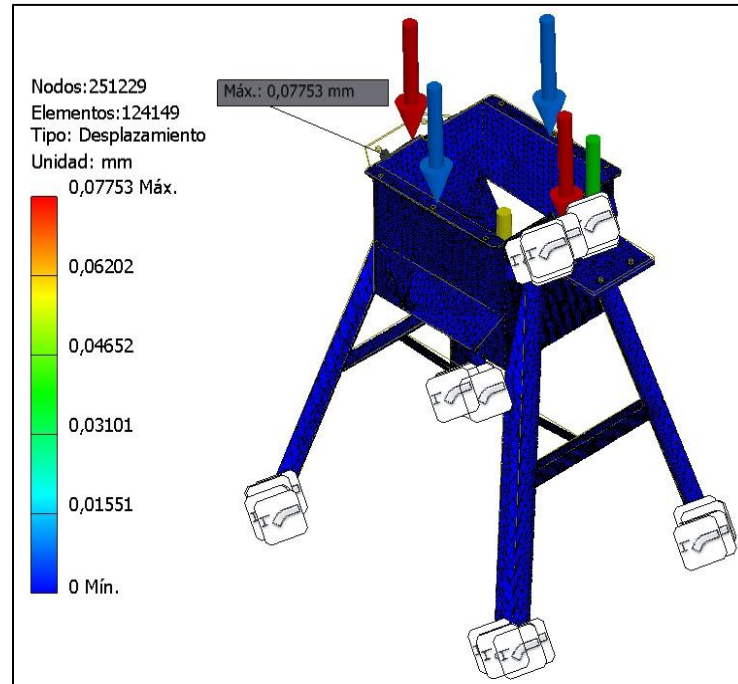
Lo anterior refiere a que el material utilizado soporta las cargas simuladas.

**Figura 30:** Análisis por elementos finitos.

**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

Además, se obtuvieron los resultados para el desplazamiento resultante que como se observa en la figura (31), el máximo valor se encuentra en el soporte de las chumaceras con  $7,7 \cdot 10^{-5}$  m de desplazamiento. Los resultados demuestran que no existen deformaciones debido a que son valores pequeños que no se detectan a simple vista.

**Figura 31:** Resultado de desplazamiento.



**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

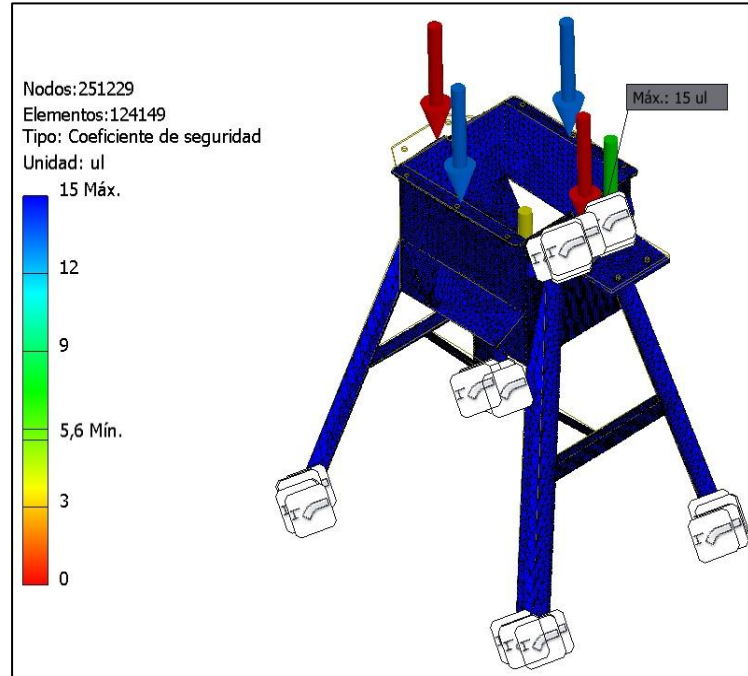
Por último, se obtuvieron los resultados del coeficiente de seguridad. En la figura (32), se puede observar que los valores están entre 5,6 y 15, esto demuestra que la relación entre tensión última y tensión admisible están distantes.

Los valores de coeficiente de seguridad permiten conocer que los elementos diseñados y construidos son seguros, para ello los resultados deben ser mayores o iguales que 1, quizás cercanos. Sin embargo, en el presente trabajo se puede deducir que el material utilizado está sobredimensionado ya el índice de resistencia a la tracción es de 441 Mega Pascales (MPa) y límite elástico 196 Mega Pascales (MPa), de acuerdo a los resultados del cálculo de las tensiones de Von Mises, donde se obtuvieron valores máximos de 4.91 Mega Pascales (MPa) dado como esfuerzo último que actúa en la estructura dicho valor está muy por debajo del límite elástico del material para poder formar una deformación plástica y poder fracturar la estructura.

Esto no quiere decir que el estudio se encuentre incorrecto, sino que con la aplicación del acero AISI 1020 se podría estar realizando un gasto excesivo. Por lo tanto, se puede realizar el

mismo estudio aplicando otro tipo de material que permita una comparación del comportamiento mecánico en ambos.

**Figura 32:** Analisis de factor de seguridad.



Fuente: Autores del proyecto (2020).

## 10.2. Pruebas experimentales

El material que se utilizó para efectuarse las pruebas con el equipo separador de tambor magnético, no obstante la composición de los neumáticos pueden variar de un continente a otro, de acuerdo con las especificaciones de granulometría de 0,05 milímetros (mm) correspondientes, lo cual se puede visualizar la presencia de partículas ferromagnéticas las cuales son productos de la composición y fabricación de los neumáticos, de dimensiones 2 milímetros (mm), la composición de las partículas metálicas ferrosos están compuesta de material de alambre de acero al carbono maleable, con un alto grado de tenacidad y con gran valor de resistencia a las deformaciones producidas por tracción y desgaste.

## 10.3. Alimentación del material

En la alimentación del el grano de caucho reciclado de la Granuladora se procedió a pesar 800 gramos (gr) de la muestra y 120 gramos (gr) de material metálico, el total del material a procesar es de 920 gramos (gr), todo el material que se va a trabajar es añadido a la tolva, la cual por la dinámica del material y su peso genera la caída del material directamente por el tambor magnético para separar las partículas ferromagnéticas.

**Figura 33:** Alimentación del material

Fuente: Autores del proyecto (2020)

#### 10.4. Proceso de separación

El material es depositado en la tolva de entrada la cual se encarga de alimentar al separador con un flujo constante de muestra, el cae directamente en el tambor el cual mantiene un campo magnético de atracción hacia las partículas ferromagnéticas, las mismas se pegan en el tambor magnetizado por medio de imanes cerámicos y se desprende del mismo por medio de la gravedad y el del debilitamiento del campo magnético.

Existen dos compartimientos en el sistema uno para el material ferroso y la otra para el material no magnético quedando de esta manera el material libre de impurezas.

**Figura 34:** Proceso de separación

Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 35:** Partículas ferrosas provenientes del proceso de desmetalizado.

Fuente: Autores del proyecto (2020)

## 10.5. Analisis de material

Una vez finalizado el proceso alimentación, separación y remoción, se procede a realizar el analisis de las muestras para determinar el contenido del material receptado en cada uno de los depósitos.

**Figura 36:** Muestras separadas



Fuente: Autores del proyecto (2020)

## 10.6. OBTENCIÓN DE TENORES DEL PROCESO

### 10.6.1 Tenor de alimentación

Para realización de la cantidad de partículas presente en la muestra de alimentación se procedió realizar las medidas de peso de cada una de los materiales de ya procesados, el mismo que nos facilitó la cantidad exacta de material magnético y no magnético en la muestra de alimentación.

**Figura 37:** Peso del material procesado grano de caucho triturado



Fuente: Autores del proyecto (2020)



**Figura 38:** Peso del Material ferroso procesado



Fuente: Autores del proyecto (2020)

### 10.6.2 Tenor de concentración

Se realizó el peso para valorizar la cantidad de partículas ferromagnéticas que se obtuvo después del proceso de separación y remoción se obtuvo la cantidad de 180 gramos (gr), la máquina tuvo un rendimiento de separación excelente, ya que logró separar la cantidad propuesta de partículas ferromagnéticas.

**Figura 39:** Resultado de peso final de partículas ferrosas.



Fuente: Autores del proyecto (2020)

**Figura 40:** Resultado de peso final de caucho triturado libre de partículas ferrosas.



Fuente: Autores del proyecto (2020)

### 10.6.3 Tenor en material no magnético

Se determinó el peso volumétrico del material no magnético realizado después del proceso de separación y remoción de partículas ferromagnéticas con que obtuvo la cantidad de 780 gramos (gr) material ya procesado,

**Figura 41:** material no magnético granos NFU



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)

**Tabla 17:** Resultados de tenores

Datos	Tenor de alimentación		Tenor de concentrado		Tenor no magnético	
	Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)
Muestra	920	100	180	100	780	100
Material magnético	180	20	180	100	0	0
Material no magnético	800	80	0	0	780	100

**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

### Rendimiento de la maquina

El rendimiento de la maquina se efectuó mediante los parámetros de potencia mecánica suministrada y la potencia eléctrica nominal del motor.

#### Datos:

- Potencia absorbida vatios (w)=180 vatios (w)
- Potencia suministrada vatios (w) = 205,36 vatios (w)
- Rendimiento porcentaje (%) = ?

$$R = \frac{P_{absorbida}}{P_{suministrada}} \times 100\% = \frac{180 \text{ watt}}{205.36 \text{ watt}} = 0,88 \times 100\% = 88\%$$

## Resultados

- De acuerdo a la investigación bibliográfica para su desarrollo fue necesario la indagación previa en libros, revistas y páginas webs relacionadas con el tema de implementación de un máquina prototipo, por el método de separación magnética mediante tambor magnético de imanes permanentes por vía seca de auto limpieza que beneficiara de forma directa e indirecta a la localidad.
- El equipó aquí construido es de proporciones mucho menores que el de los equipos industriales, debido a que es un equipo de pruebas de laboratorio, lo cual es ventajoso en términos de espacios pues no ocupa mucho espacio, lo cual cumple con el objetivo de diseño construcción de un prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas mediante tambor magnético, pero si surge las exigencias de procesamiento y el tiempo de funcionamiento a nivel industrial, su fabricación demandara a escalas industriales.
- Para el diseño de la maquina prototipo se realizó mediante el CAD Autodesk Inventor, lo cual ayuda en gran medida al diseño de sus elementos que lo conforman, pues nos da la facilidad de visualizar cada elementó, su tamaño y la forma que lo asocia con cada una de sus partes, posibilitando de forma fácil realizar cualquier modificación del mismo, lo que se verá reflejado en la construcción del prototipo, pues disminuye las pérdidas de por elementos imperfectos y refutados.
- El material utilizado en la construcción del tambor magnético es acero AISI 304 por ser una acero aliado al cromo y al níquel, además posee un resistencia la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente.
- Para el proceso de separación y remoción de partículas ferromagnéticas, se optó por utilizar imanes cerámicos C8, por su aportación de campo magnético de 3600 Gauss que permite una adecuada atracción de las impurezas metálicas de NFU y su factor económico es accesible en el medio.
- Para el proceso de separación y remoción de partículas ferromagnéticas se efectuó el dimensionamiento del motor mediante el cálculo del momento torsor, por tanto se eligió un motor de ½ hp con una caja reductora de 36 revoluciones por minuto (rpm), los parámetros de giro del tambor magnético no deben exceder de 27 a 40 revoluciones por minuto (rpm), si excede a más de 40 revoluciones por minuto (rpm) esto conllevaría a una ineficiente separación de las impurezas metálicas de NFU.

- El material triturado NFU deben cumplir con las especificadores de granulometría adecuadas de 0,5 milímetros (mm) – 2 milímetros (mm), 2 milímetros (mm)-7 milímetros (mm), 7 milímetros (mm) – 15 milímetros (mm), de acuerdo a la aplicación a utilizar en procesos de reutilización de NFU.

## **11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **11.1. Impacto ambiental**

Este proyecto genera un impacto ambiental positivo, además ambientalmente, la transformación de los neumáticos fuera de uso (NFU) por medio de la trituración es factible, lo cual demuestra que es una alternativa para solucionar las posibles externalidades que se presentan por los impactos ambientales relacionados a la inadecuada disposición final de los neumáticos fuera de uso (NFU) el cual es un residuo que por sus propiedades físicas y químicas no se descomponen fácilmente los cuales generan un daño ambiental irreversible como es la contaminación de suelos y ríos por su inadecuada disposición además al ser quemados a cielo abierto estos producen gases tóxicos dañinos que afectan la capa de ozono provocando el llamado efecto invernadero más conocido como calentamiento global estos gases producen la lluvia ácida lo cual afecta el agua y suelo cambiando así su PH y cabe mencionar problemas en la salud de las personas al ser potenciales criaderos del mosquito transmisor del dengue y potencial criaderos de roedores.

### **11.2. Impacto social**

Genera un alto impacto social creando una cultura social de rechazo de los materiales y productos fuera de uso, existen empresas que se dedican al aprovechamiento y transformación de Neumáticos Fuera de Uso dándoles una segunda vida útil, solucionando la problemática relacionada a la disposición final de este residuo, de tal forma que ayudan positivamente a la mejora en la calidad de vida de la sociedad no solo en temas ambientales, sino que por medio de estímulos gubernamentales y estrategias de generación de empleo suman impactos benéficos financieramente.

### **11.3. Impacto económico**

Genera un gran impacto económico ya que el material resultante de este proceso se puede comercializar, con esto las empresas obtienen materia prima de excelente calidad, a menor

costo y un alto ahorro de energía. Además de la generación de una cultura recicladora de neumáticos los cuales podrán comercializarlos directamente en una zona de acopio o planta recicladora. El polvo de neumático triturado podrá ser utilizado en varias actividades como la construcción de bloques, tejas, baldosas de caucho además siendo utilizadas para la construcción de carreteras además para la utilización en el césped sintético lo que influye un ahorro en la materia prima ya que es reciclada, económicamente quiere decir que esto genera ingresos financieros tanto para las empresas que producen el grano de caucho reciclada como también para los proveedores de los neumáticos fuera de usa en este caso siendo personas dedicadas al acopio de estos.

#### 11.4. Impacto técnico

Técnicamente ya existe este tipo de máquinas en el mercado pero cabe recalcar que en este proyecto principalmente se busca innovar mediante la creación de un prototipo a través de materiales reciclados de esta manera reduciendo la contaminación de desechos sólidos y generando un prototipo el cual podrá ser usado en la separación magnética pudiendo ser comparado con máquinas del mercado tanto en costos e índices de rendimiento.

#### 11.5. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se aprecian los materiales y presupuesto empleados en la ejecución de la construcción del prototipo.

**Tabla 18:** Presupuesto del Proyecto.

LISTA DE MATERIALES			
UNIDAD	DETALLES	VALOR/U	VALOR/T
1	Angulo de 50x50x3mm	19.00	19.00
1/4	Plancha de Acero AISI 304 1/20"	20.00	20.00
2	Chumaceras de 5/8" de diámetro	8.00	16.00
1	Eje de diámetro 16mmx25.4mm	10.00	10.00
1/2	Plancha de acero 3mm de espesor	50.00	50.00
1	Motor Reductor ¼ hp	250.00	250.00
18	Imanes de cerámicos C8	24.00	432.00
1	Fondo anticorrosivo	7.00	7.00
1	Litro de pintura anticorrosiva	4.50	4.50
3	Litros de tiñer	1.75	5.25
2	Lija N°100	1.00	2.00
6	Pernos de M8x1,5.	0.25	1.50

4	Pernos de M10x1,5.	14.00	14.00
4	pernos de acero AISI 304 de 6mm	2.00	8.00
3	Libra de electrodos 6011	1.50	4.50
3	Metros de cable concéntrico de cu n°10 Awg	1.50	4.50
3	Metros de cable unilay N° 12	0.80	2.40
1	Enchufe	1.75	1.75
3	Disco de corte de 7 plg.	2.25	6.75
1	Pulsador combinado.(on/off) tipo	10.00	10.00
1	Enrolado de cilindro	40.00	40.00
1	Maquinado en fresadora	155.00	160.00
1	Maquinado en Torno	150.00	150.00
1	Taladro pedestal	15.00	15.00
1	Soldadora	130.00	130.00
1	Oxicorte	30.00	30.00
1	Mano de Obra	550.00	550.00
<b>VALOR TOTAL</b>			<b>1, 994.15 \$</b>

Fuente: Autores del proyecto (2020)

## 12. PROPUESTA

### 12.1.1 Título

Implementación de una máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados.

### 12.1.2 DATOS INFORMATIVOS

Tabla 9: Datos informativos.

Lugar	Cantón La Maná
<b>Beneficiarios</b>	Ciudadanos
<b>Provincia</b>	Cotopaxi
<b>Cantón</b>	La Maná
<b>Parroquia</b>	La Maná
<b>Tiempo de ejecución</b>	6 meses
<b>Responsables</b>	Jhon Alexis Martínez Moreira Paccha Jiménez Klever Vinicio

Elaborado por: Autores del proyecto (2020).

### **12.1.3 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

La presente propuesta está enfocada en la implementación de una máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados. En la actualidad la contaminación en la tierra cada vez es más abundante y cada día que pasa se observan los problemas que trae la degradación ambiental, no solo en el cambio climático sino, en la salud de las personas provocando diferentes clases de problemas.

Al analizar el problema para la construcción de la máquina para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados, es necesario debido a que en la actualidad en el entorno social los neumáticos fuera de uso representan un gran problema ambiental ya que una vez terminada su vida útil en los vehículos pasan a formar parte de los vertederos controlados e incontrolados, pues los neumáticos tienen un impacto ambiental negativo, la manufacturación constante de neumáticos y la dificultad para desecharlos después de ser usados, constituye uno de los problemas más serios medio ambiental.

### **12.1.4 JUSTIFICACIÓN**

El proyecto tiene como finalidad ayudar a muchas empresas que se dedican al reciclaje de llantas usadas, haciendo que puedan reciclar más llantas, es por eso que este proyecto busca reusar el caucho y dar una solución viable al reciclado de llantas usadas y así ayudar con la disminución de la contaminación del medio ambiente y proliferación de enfermedades.

## **12.2. OBJETIVOS**

### **12.2.1 Objetivo general**

- Implementación de una máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados.

### **12.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar una investigación bibliográfica-documental sobre los métodos de separación entre el hule y las partículas ferromagnéticas de los neumáticos triturados.
- Diseñar los componentes que conforman la máquina prototipo mediante un software de diseño asistido por computadora.

- Construir una máquina prototipo para separación y remoción de partículas ferro magnético de neumáticos triturados.
- Evaluar el funcionamiento de la máquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de los neumáticos triturados.

### **12.3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

#### **12.3.1 Factibilidad económica**

El diseño e implementación de la maquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados, está dentro de las capacidades para solventar los costos que implica ejecutar su construcción. Los autores del presente proyecto de investigación formativo asumiremos en su totalidad los costos de producción.

#### **12.3.2 Factibilidad socio-cultural**

Para los ciudadanos del cantón La Maná, es muy importante contar con una maquina prototipo para la separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados, mismas que causará un impacto significativo en los ciudadanos del cantón, siendo necesaria que la ciudadanía conozca sus servicios y beneficios que brinda al implantar estas máquinas.

### **12.4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **12.4.1 Diagnóstico**

Una vez realizado la investigación se pudo diagnosticar que los factores que se deben considerar para la propuesta que corresponde a la construcción de la maquina prototipo son: diseño del eje, cálculo de magnetización, rodillo magnético, mesa base, tolva, y rampa de separación.

## **13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **13.1.1 Conclusiones**

- Mediante la revisión bibliográfica de los diferente métodos de separación y remoción de partículas ferromagnéticas, se adoptó por la técnica de separación magnética de tambor, porque nos permite realizar realizara el trabajo mediante vía seca y su auto limpieza.



- El diseño de la maquina prototipo fue realizado mediante el software Autodesk Inventor realizando las simulaciones estáticas del equipo mediante el método de Von Mises de esfuerzos combinados y elementos finitos, consiguiendo un factor de seguridad de la estructura de la máquina prototipo de 5.2, para ello los resultados deben ser mayores o iguales que 1, lo cual nos permite conocer que la estructura es segura.
- Las cálculos analíticos de algunas de las piezas constituyentes de la maquina fueron comprobados por la simulación realizada en Autodesk Inventor, además se efectuaron simulaciones en la estructura para determinar su correcto funcionamiento y establecer los espesores de los materiales idóneos para el trabajo que estarán sometidos, obteniéndose factores de seguridad adecuados.
- La construcción del tambor magnético se basa en sistema de media luna dentro del mismo, lo que permite crear un campo magnético directo en la zona de caída, llevando consigo las partículas ferromagnéticas a una zona de menor campo magnético en donde caen por la interacción de su peso y producto de la gravedad, realizando así su auto limpieza.
- Al realizar las pruebas experimentales se concluye que la maquina prototipo de tambor magnético, cuenta con buenos resultados en la separación y remoción de las partículas ferromagnéticas, ya que el material utilizado en las pruebas presenta un alto índice de contaminación e impurezas ferromagnéticas.

### **13.1.2 Recomendaciones**

- En el diseño a implementar se puede sugerir que se realice una combinación con imanes de neodimio, lo cual permitiría elevar la fuerza de magnetización dentro del tambor y por tal razón obtener un mayor beneficio en la concentración de las Partículas ferromagnéticas.
- Si queremos obtener una separación más eficiente a la del sistema se recomienda implementar un circuito de tambores magnéticos en serie, elaborados con imanes permanentes para una mejor eficiencia de separación.
- Se recomienda trabajar con cintas transportadoras para automatizar el proceso de separación ya que la maquina trabaja de forma ininterrumpida así se lograra una mayor eficiencia en cuanto al rendimiento.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- Ley de Gestión Ambiental. (10 de 09 de 2004). Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- Constitución del Ecuador. (20 de 10 de 2008). Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- ECOGREEN EQUIPMENT. (09 de febrero de 2017). Obtenido de ECOGRREEN EQUIPMENT: <http://ecogreenequipment.com/es/trituracion-de-neumaticos-la-mejor-alternativa/>
- Tambores Magnéticos con Carcasa. (Enero de 2018). Obtenido de <http://rccindustrial.com/tambores-magneticos-con-carcasa/>
- Alarcón, I. (15 de Julio de 2018). Las llantas tienen más opciones de reciclaje. EL COMERCIO.
- Alarcón, I. (15 de JULIO de 2018). Las llantas tienen más opciones de reciclaje. EL COMERCIO.
- Álvarez, S. (23 de Junio de 2015). 3DCadPortal. Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor-un-sistema-de-diseno-mecanico-inteligente-con-modelado-3d.html>
- Bustamante, Gaviria, & Restrepo. (Febrero de 2007). Concentración de minerales. Obtenido de Concentracion de minerales: [minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/.../24\\_5a1004a32dcbd619453c3eed562725](http://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/.../24_5a1004a32dcbd619453c3eed562725)
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L., & Fraile Urbina, M. (2007). Valorización Material y Energética de Neumáticos Usados. España: Vigilancia Tecnológica.
- Cardona Urrutia, P. D. (2016). Estudio de Factibilidad para la creación de una Planta de Producción de Granos de Caucho (GCR) mediante el reciclaje de llantas fuera de uso. Tesis. Pereira, Risaralda: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Cardona, L., & Sanchez, L. (2011). Universidad de Medellín. Obtenido de <http://repository.udem.edu.co:8080/bitstream/handle/11407/375/Aprovechamiento%20de%20llantas%20usadas%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20pisos%20decorativos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrera Vele , E., & Estrella Córdova, A. (martes de octubre de 2018). Diseño y Construcción de un Separador Magnético para Minerales. Tesis. Cuenca Ecuador: Universidad del Azuay .

- Castro, G. (Diciembre de 2007). Obtenido de pdf: [http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Reutilizacion\\_Reciclado\\_y\\_Disposicion\\_final\\_de\\_Neumatico.pdf](http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf)
- Centro magnético. (s.f.). Obtenido de <https://centromagnetico.com/separadores-magneticos/>
- Cevallos, C., & López, A. (26 de Junio de 2018). Lente Periódico. Obtenido de Lente Periódico: <http://www.lenteperiodistico.com/2018/06/26/partir-julio-2018-ecuador-se-pagara-dolar-neumatico-reciclaje/>
- Chimborazo Azogue, L. E., Caisa Yucailla, E. D., & Miranda López, R. F. (2017). Trituración de neumáticos reciclados como desencadenantes en los procesos industriales en la Provincia de Tungurahua. Revista Publicando, 4 No 12. (2). 427-439. ISSN 1390-93, 429.
- Cordova, A. (Viernes de Junio de 2010). UNAM. Recuperado el LUNES de OCTUBRE de 2018, de Procesos de Aeparación: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7672/1/13501.pdf>
- Eco caucho. (10 de noviembre de 2018). La Maná, Cotopaxi, Ecuador. Obtenido de <https://www.ecocaucho.com.ec/empresa>
- ECOEPET. (s.f.). Obtención de Grano de Caucho Rrciclado. La Pampa – Argentina: Escuela Provincial de Educación Técnica N°6.
- El Comercio. (10 de julio de 2018). LÍDERES. Un grupo de empresas que recicla llantas. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/grupo-empresas-recicla-llantas-estrategias.html>
- La Hora. (28 de abril de 2018). Nuevas opciones para el destino final de las llantas. Obtenido de [https://issuu.com/la\\_hora/docs/28\\_de\\_abril/1?ff&e=1573092/60705916](https://issuu.com/la_hora/docs/28_de_abril/1?ff&e=1573092/60705916)
- Lopez, A. (jueves de enero de 2008). CENIM. Recuperado el LUNES de OCTUNBRE de 2018, de Principio de la Separación Magnética: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/18820/1/ALD\\_60ANIV.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/18820/1/ALD_60ANIV.pdf)
- Lund, H. (1998). Manual McGraw-Hill de Reciclaje 1era edicion. Italia.
- Ministerio del Ambiente. (06 de agosto de 2015). Ministerio del Ambiente. INSTRUCTIVO PARA LA GESTION INTEGRAL DE NEUMATICOS USADOS. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/255073/A.M.+098+Instructivo+para+la+>

GI+de+neum%C3%A1ticos+usados+06.08.2015.pdf/47b2c204-434a-4f90-a6eb-02c1c62c2e44

- Pávez, O. (2005). Apuntes de Concentración de Minerales II. Obtenido de Apuntes de Concentración de Minerales II: [http://www.mineriacatamarca.gob.ar/LinkEducativo/InformacionAcademica/AreaProcesamiento\\_Minerales/Apuntes\\_de\\_Concentracion\\_de\\_Minerales.pdf](http://www.mineriacatamarca.gob.ar/LinkEducativo/InformacionAcademica/AreaProcesamiento_Minerales/Apuntes_de_Concentracion_de_Minerales.pdf)
- Proaño Jiménez, K. L., & Stacey Albán, E. F. (2011). Estudio de factibilidad Técnico – Económico del reciclado del caucho y sus aplicaciones en la ciudad de Quito. Tesis. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ramírez, V. (2012). Obtenido de pdf: [file:///C:/Users/LUIS/Downloads/creacion\\_empresa\\_reciclaje\\_llantas\\_trituracion.pdf](file:///C:/Users/LUIS/Downloads/creacion_empresa_reciclaje_llantas_trituracion.pdf)
- Scrap Tyres. (diciembre de 2010). Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Obtenido de <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/8496201A-DDA1-43E1-BE04-D31F308A12E3/119956/NEUMATICOSFUERADEUSO1.pdf>
- Tirel, K. (2017). Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU). Santiago de Chile: Universidad de Chile.

## 15. ANEXOS

Anexo 1: Hoja de vida del docente tutor

### CURRÍCULUM VITAE

#### DATOS PERSONALES:

**Nombres** : Joao lazaro  
**Apellidos** : Barzaga Quesada  
**Estado Civil** : Casada  
**Cédula de Ciudadanía** : 175702540-6  
**Lugar de Nacimiento** : Cuba  
**Dirección Domiciliaria** : Calle 27 de noviembre y calle Carlos Lozada, La Maná.  
**Celular** : 0995776393  
**Correo Institucional** : joao.barzaga5406@utc.edu.ec



#### ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS:

NIVEL	TITULO	UNIVERSIDAD	AÑO DE GRADUACIÓN
POST-GRADO	Máster en Maquinaria Agrícola	Universidad de Granma	2019
TERCER	Ingeniero Mecánico	Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya	2009
SECUNDARIA	Ciencias Técnicas	-	2003

#### EXPERIENCIA LABORAL

INSTITUCIÓN	CARGO	RESPONSABILIDADES	PERIODO	RAZÓN DE SALIDA
Universidad de Granma	Docente-investigador	Docente-investigador del departamento de Ingeniería Mecánica en Universidad de Granma	2009-2015	Contrato ocasional
Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga.	Docente SNNA	Docente SNNA Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga	2015-2016	Contrato ocasional
Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná	Docente SNNA	Docente SNNA Ingeniería Electromecánica en Universidad Técnica de Cotopaxi extensión	Actualmente	Contrato ocasional

Anexo 2: Hoja de vida estudiante

## CURRÍCULUM VITAE

### **DATOS PERSONALES:**

**Nombres** : Jhon Alexis  
**Apellidos** : Martínez Moreira  
**N° cedula** : 2100576681  
**Fecha de nacimiento** : 19/05/1993  
**Correo electrónico** : Jhon99martinez@hotmail.com  
**Lugar de nacimiento** : Guayaquil  
**Nacionalidad** : Ecuatoriana  
**Estado civil** : Casada  
**Celular** : 0959595213  
**Dirección domiciliaria** : Sucumbíos



### **ESTUDIOS REALIZADOS**

**Instrucción Primaria** : Escuela Fiscal Mixta Antonio Borrero  
**Instrucción Secundaria** : Unidad Educativa Pacayacu  
**Instrucción Superior** : Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná

### **TÍTULOS OBTENIDOS:**

Bachiller industrial electromecánica

### **EXPERIENCIA LABORAL:**

Obrero de registro ( AREASURVEY)

### **FORMACIONES ADICIONALES E INTERESES:**

**CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIA LABORALES.** Prevención en Riesgos Laborales  
 (Secretaria Técnica del Sistema Nacional de Cualificaciones Profesionales.)

### **REFERENCIAS PERSONALES:**

Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada      Cel. 0995776393

**Anexo 3:** Hoja de vida estudiante**CURRÍCULUM VITAE**

**DATOS PERSONALES:**

**Nombres** : Klever Vinicio  
**Apellidos** : Paccha Jiménez  
**N° cedula** : 1950054252  
**Fecha de nacimiento** : 13/12/1996  
**Correo electrónico** : pacchaklevert@gmail.com  
**Lugar de nacimiento** : Chinchipe\_Zumba  
**Nacionalidad** : Ecuatoriana  
**Estado civil** : Soltero  
**Celular** : 0999525420  
**Dirección domiciliaria** : Yantzaza\_ Zamora Chinchipe



**ESTUDIOS REALIZADOS**

**Instrucción Primaria** : Escuela Fiscal Mixta Moraima Carvajal  
**Instrucción Secundaria** : Unidad Educativa Martha Bucaram de Roldós  
**Instrucción Superior** : Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná

**TÍTULOS OBTENIDOS:**  
 Técnico Industriales Mecanizados y Construcciones Metálicas.

**EXPERIENCIA LABORAL:**  
**FERRETERÍA BONILLA.** Atención al cliente en artículos de construcción. La Maná-Cotopaxi

**FORMACIONES ADICIONALES E INTERESES:**

**CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIA LABORALES.** Prevención en Riesgos Laborales (Secretaría Técnica del Sistema Nacional de Cualificaciones Profesionales.)

**CURSO DE SOLDADOR EN MANTENIMIENTO.** Servicio ecuatoriano de Capacitación Profesional.

**REFERENCIAS PERSONALES:**

Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada      Cel. 0995776393  
 Ing. Ludys Geomara Rojas Parraga      Cel. 0969742377

Anexo 4: Selección de tuercas.

**CHAVETAS PRATT AND WHITNEY Y DIMENSIONES DE SUS RESPECTIVOS CHAVETEROS**

b	h	l Desde - hasta
4	3	8 - 25
4	4	10 - 30
5	3	10 - 40
5	5	10 - 40
6	4	12 - 50
6	6	12 - 50
7	7	15 - 60
8	5	20 - 70
8	7	20 - 70
10	6	25 - 90
10	8	25 - 90
12	8	30 - 120
14	9	35 - 140
16	10	45 - 180
18	11	50 - 200
20	12	60 - 220
24	14	70 - 280
28	16	80 - 300
28	17	80 - 300
32	18	90 - 350
32	20	90 - 350
36	20	100 - 400
36	23	100 - 400
40	22	120 - 400
40	26	120 - 400
45	25	160 - 400

Diámetro del árbol Desde - hasta	Chaveta b x h	Chaveteros		
		b	t	t <sub>1</sub>
10 - 12	4 * 4	4	2,5	D + 1,7
12 - 17	5 * 5	5	3	D + 2,2
17 - 22	6 * 6	6	3,5	D + 2,7
22 - 30	8 * 7	8	4	D + 3,2
30 - 38	10 * 8	10	4,5	D + 3,7
38 - 44	12 * 8	12	4,5	D + 3,7
44 - 50	14 * 9	14	5	D + 4,2
50 - 58	16 * 10	16	5	D + 5,2
58 - 68	18 * 11	18	6	D + 5,3
68 - 78	20 * 12	20	6	D + 6,3
78 - 92	24 * 14	24	7	D + 7,3
92 - 110	28 * 16	28	8	D + 8,3
110 - 130	32 * 18	32	9	D + 9,3
130 - 150	36 * 20	36	10	D + 10,3
150 - 170	40 * 22	40	11	D + 11,3
170 - 200	45 * 25	45	13	D + 12,3

b □ Ancho de la chaveta y de los chaveteros en mm  
 h □ Altura de la chaveta en mm  
 l □ Longitud de la chaveta en mm  
 d □ Diámetro del eje en mm  
 t □ Profundidad del chavetero en el eje en mm  
 t<sub>1</sub> □ Medida de la verificación de la profundidad del chavetero en el cubo en mm

Fuente: tomado de <http://proyesa.com>. Manual-t%C3%A9cnico-de-ernos.pdf, por autores del proyecto (2020).

Anexo 2: Selección de arandela plana.

**FICHA TÉCNICA**

**TORNILLOS ROSCA MÉTRICA**

Denominación: TORNILLOS ROSCA MÉTRICA Códigos: T084, T963, T965, T985, D931, D933, D933I, D6921 D912, D603, D608, D934, D934I, D985, D985I, D1587, D6923, D315, D125, D125I, D127, D9021, D9021I, D6798A

Referencia: FT MET-es Fecha: 23/01/20 Revisión: 7 Página: 19 de 23

**2.20 DIN-125 A2** Arandela plana A2

**Propiedades**

A Acero A2 INOX AISI 304 Inoxidable A2 (AISI 304)

M	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24
∅d1: diámetro interior	4,3	5,3	6,4	8,4	10,5	13,0	15,0	17,0	19,0	21,0	23,0	25,0
∅d2: diámetro exterior	9	10	12	16	20	24	28	30	34	37	39	44
h: espesor	0,8	1	1,6	1,6	2	2,5	2,5	3	3	3	3	4

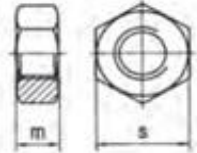
Fuente: Tomado de [https://indexfix.com/docs/FT\\_MET\\_es.pdf](https://indexfix.com/docs/FT_MET_es.pdf), por aautores del proyecto (2020).



## Anexo 5: Selección de tuerca.

**DIN 934**

	<b>M 1</b>	<b>M 1,2</b>	<b>M 1,4</b>	<b>M 1,6</b>	<b>M 1,7*</b>	<b>M 2</b>	<b>M 2,3*</b>	<b>M 2,5</b>	
$m_{DIN/ISO}$	0,8	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2	
$S_{DIN/ISO}$	2,5	3	3	3,2	3,5	4	4,5	5	
	<b>M 2,6</b>	<b>M 3</b>	<b>M 3,5</b>	<b>M 4</b>	<b>M 5</b>	<b>M 6</b>	<b>M 7</b>	<b>M 8</b>	
$m_{DIN/ISO}$	2	2,4	2,8	3,2	4/4,47	5/5,2	5,5	5,5/6,8	
$S_{DIN/ISO}$	5	5,5	6	7	8	10	11	13	
	<b>M 10</b>	<b>M 12</b>	<b>M 14</b>	<b>M 16</b>	<b>M 18</b>	<b>M 20</b>	<b>M 22</b>	<b>M 24</b>	
$m_{DIN/ISO}$	8/8,4	10/10,8	11/12,8	13/14,8	15/15,8	16/18	18/19,4	19/21,5	
$S_{DIN/ISO}$	17/16	19/18	22/21	24	27	30	32/34	36	
	<b>M 26*</b>	<b>M 27</b>	<b>M 30</b>	<b>M 33</b>	<b>M 36</b>	<b>M 39</b>	<b>M 42</b>	<b>M 45</b>	
$m_{DIN/ISO}$	22	22/23,8	24/25,6	26/28,7	29/31	31/33,4	34	36	
$S_{DIN/ISO}$	41	41	46	50	55	60	65	70	
	<b>M 48</b>	<b>M 52</b>	<b>M 56</b>	<b>M 60</b>	<b>M 64</b>	<b>M 68</b>	<b>M 72</b>	<b>M 76</b>	
$m_{DIN/ISO}$	38	42	45	48	51	54	58	61	
$S_{DIN/ISO}$	75	80	85	90	95	100	105	110	
	<b>M 80</b>	<b>M 85</b>	<b>M 90</b>	<b>M 95*</b>	<b>M 100</b>	<b>M 105</b>	<b>M 110</b>	<b>M 2,5</b>	
$m_{DIN/ISO}$	64	68	72	75	80	82	88	95	
$S_{DIN/ISO}$	115	120	130	135	145	150	155	175	



Fuente: Tomado de [https://upcommons.upc.edu/handle-Normativa\\_Fijaciones.pdf](https://upcommons.upc.edu/handle-Normativa_Fijaciones.pdf), por autores del proyecto (2020).

## Anexo 6: Selección de tuerca.

**INFORMACIÓN TÉCNICA TORNILLERÍA**

**DIN 933-961-931-960**

	<b>M 2</b>	<b>M 3</b>	<b>M 4</b>	<b>M 5</b>	<b>M 6</b>	<b>M 7</b>	<b>M 8</b>	<b>M 10</b>	
$S_{DIN/ISO}$	4	5,5	7	8	10	11	13	17 / 16	
$k$	1,4	2	2,8	3,5	4	4,8	5,3	6,4	
$a_{max}$	1,2	1,5	2,1	2,4	3	3	3,75	4,5	
$b_1$	10	12	14	16	18	20	22	26	
$b_2$	-	-	-	22	24	26	28	32	
$b_3$	-	-	-	-	-	-	-	45	
	<b>M 12</b>	<b>M 14</b>	<b>M 16</b>	<b>M 18</b>	<b>M 20</b>	<b>M 22</b>	<b>M 24</b>	<b>M 27</b>	
$S_{DIN/ISO}$	19/18	22 / 21	24	27	30	32 / 34	36	41	
$k$	7,5	8,8	10	11,5	12,5	14	15	17	
$a_{max}$	5,25	6	6	7,5	7,5	7,5	9	9	
$b_1$	30	34	38	42	46	50	54	60	
$b_2$	36	40	44	48	52	56	60	66	
$b_3$	49	53	57	61	65	69	73	79	
	<b>M 30</b>	<b>M 33</b>	<b>M 36</b>	<b>M 39</b>	<b>M 42</b>	<b>M 45</b>	<b>M 48</b>		
$S_{DIN/ISO}$	46	50	55	60	65	70	75		
$k$	18,7	21	22,5	25	26	28	30		
$a_{max}$	10,5	10,5	12	12	13,5	13,5	15		
$b_1$	66	72	78	84	90	96	102		
$b_2$	72	78	84	90	99	102	108		
$b_3$	85	91	97	103	109	115	121		



DIN 933-961



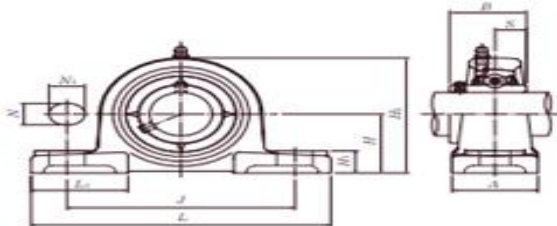
DIN 931-960



b.) Para  $L \leq 125$  mm.  
 b.) Para  $125$  mm  $< L \leq 200$  mm  
 b.) Para  $L > 200$  mm.

Fuente: Tomado de [https://upcommons.upc.edu/handle-Normativa\\_Fijaciones.pdf](https://upcommons.upc.edu/handle-Normativa_Fijaciones.pdf), por autores del proyecto (2020)

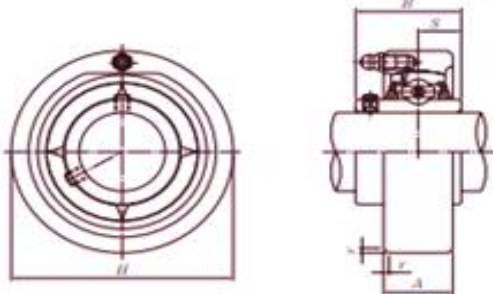
Anexo 7: Selección de chumacera.



Shaft dia. mm inch	Unit number <sup>11</sup>	Nominal dimensions											Bolt size mm inch	Bearing number
		mm												
		inch												
12 1/2	UCP201D1 UCP201-008D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1
15 9/16 5/8	UCP202D1 UCP202-009D1 UCP202-010D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1
17 1 1/16	UCP203D1 UCP203-011D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1
20 3/4	UCP204D1 UCP204-012D1	33.3 1 5/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	65 2 9/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1
25 7/16 3/4 15/16 1	UCP205D1 UCP205-013D1 UCP205-014D1 UCP205-015D1 UCP205-100D1	36.5 1 7/16	140 5 1/2	105 4 1/8	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	15 19/32	71 2 29/32	42 1 21/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M10 3/8	UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1 UC205-015D1 UC205-100D1

Fuente: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/Anexo3\\_Normativa\\_Fijaciones.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/Anexo3_Normativa_Fijaciones.pdf) Autores del proyecto (2020)

Anexo 8: Selección de rodamiento



Shaft dia. mm inch	Unit number <sup>11</sup>	Nominal dimensions					Bearing number	Housing number <sup>11</sup>	Mass (approx.) kg lb
		mm							
		inch							
12 1/2	UCC201D1 UCC201-008D1	72 2.8346	20 25/32	2 0.079	31 1.2205	12.7 0.500	UC201D1 UC201-008D1	C204D1 C204D1	0.5 1.1
15 9/16 5/8	UCC202D1 UCC202-009D1 UCC202-010D1	72 2.8346	20 25/32	2 0.079	31 1.2205	12.7 0.500	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1	C204D1 C204D1 C204D1	0.5 1.1 1.1
17 1 1/16	UCC203D1 UCC203-011D1	72 2.8346	20 25/32	2 0.079	31 1.2205	12.7 0.500	UC203D1 UC203-011D1	C204D1 C204D1	0.5 1.1
20 3/4	UCC204D1 UCC204-012D1	72 2.8346	20 25/32	2 0.079	31 1.2205	12.7 0.500	UC204D1 UC204-012D1	C204D1 C204D1	0.5 1.1
25 7/16	UCC205D1 UCC205-013D1	80	22	2	34.1	14.3	UC205D1 UC205-013D1	C205D1 C205D1	0.6

Fuente: Tomado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream-Normativa\\_Fijaciones.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream-Normativa_Fijaciones.pdf), por autores del proyecto (2020).

Anexo 9: Características del material del tambor magnético

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE				
TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300	
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno
DESIGNACIÓN	TIPO AISI			
	COMPOSICIÓN QUÍMICA			
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398-1454	1371-1398
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO	AMAGNÉTICO
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45	
	RESILIENCIA KCVL / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180

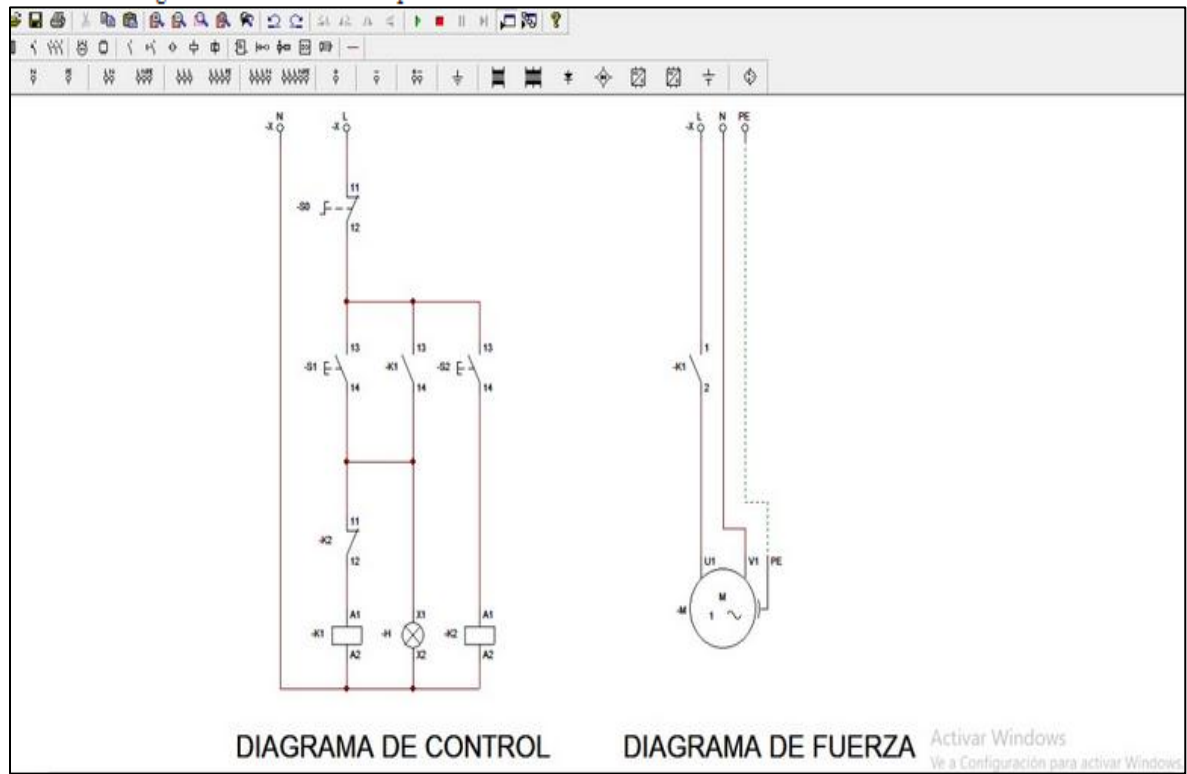
Fuente: tomado de <https://www.empresascarbhone.com/ficha-del-acero-inoxidable.pdf>, por autores del proyecto (2020)

Anexo 10: Especificaciones dl material de del eje porta masa magnética

Especificación SAE 1020																			
Grado de Acero	Composición Química (% en peso)											Espesor		Requerimientos Físicos (Típicos)					
	C Máx.	Mn	P Máx.	S Máx.	Si Máx.	Cu	Cb	V	Ni	Cr	Mo	Pulg.	mm	Límite de Fluencia Min.		Resistencia a la Tensión Min.		Elongación % Min.	
														KSI	MPA	KSI	MPA	EN 8"	EN 2"
	SAE 1020	0.17 - 0.23	0.30 - 0.60	0.030	0.035	(*)	---	---	---	---	---	---	0.187 - 2.500	4.7 - 63.5	30	210	55	380	N/A
Prueba de Impacto CVN					Prueba de Dobleces					Dureza (RB)	Grados equivalentes: <b>AISI 1020</b>								
Espesor Pulg. (mm)	Temperatura de Prueba °F °C		Promedio Min. en 3 Probetas Ft-Lb (Joules)	Promedio Min. Individual Ft-Lb (Joules)	Espesor Pulg. mm		Angulo Longit. Transv.												
NO APLICA																			

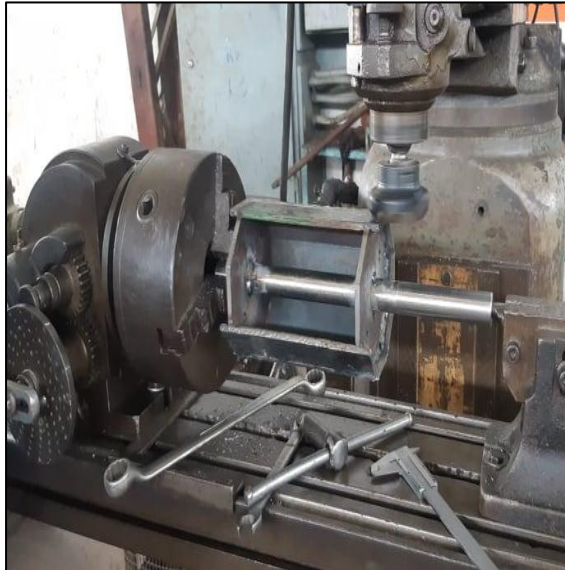
Fuente: tomado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/pdf?sequence=14&isAllowed=y>, por autores del proyecto (2020).

### Anexo 11: Diagrama eléctrico de la maquina



Fuente: Autores del proyecto (2020)

### Anexo 12: Maquinado de masa magnética



Fuente: Autores del proyecto (2020).

### Anexo 13: Soldadura de la estructura base..



Fuente: Autores del proyecto (2020).

**Anexo 14:** Carcasas superior e inferior



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)

**Anexo 15:** Carcasa de tambor magnético



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)

**Anexo 16:** Montaje de imanes cerámicos.



**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

**Anexo 17:** Ensamblado del tambor magnético.



**Fuente:** Autores del proyecto (2020).

**Anexo 18:** ensamblado de componentes de la máquina. **Anexo 19:** Montaje de componentes de la máquina



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)

**Anexo 20:** Finalización de la máquina prototipo.



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)

**Anexo 21:** Proceso de separación y remoción



**Fuente:** Autores del proyecto (2020)