



**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y**

**LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TÍTULO:** Diseño y construcción de un prototipo clasificador de muestras de café por tamaño de grano.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

**AUTOR:** Daniel Alfredo Merino Burbano

*LOJA - ECUADOR*

2025

## Certificación

Loja, 25 de febrero de 2025

Ing. Mg. Byron Agustín Solorzano Castillo

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **Certifico:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de Integración Curricular titulado: “**Diseño y construcción de un prototipo clasificador de muestras de café por tamaño de grano**” de autoría del señor **Daniel Alfredo Merino Burbano**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Mg. Byron Agustín Solorzano Castillo

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## Autoría

Yo, **Daniel Alfredo Merino Burbano**, declaro ser autor del presente trabajo de integración curricular o de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de integración curricular o de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de Identidad:** 1720409802

**Fecha:** actualizada al día, mes y año de entrega en la biblioteca.

**Correo electrónico:** [daniel.merino@unl.edu.ec](mailto:daniel.merino@unl.edu.ec)

**Teléfono o Celular:** 0967246080

## Carta de autorización

Yo **Daniel Alfredo Merino Burbano** declaro ser autor del trabajo de integración curricular o de titulación titulado “**Diseño y construcción de un prototipo clasificador de muestras de café por tamaño de grano**” como requisito para optar el título de **Ingeniero Electromecánico** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de integración curricular o de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diez días del mes de febrero del dos mil veinticinco.

Firma: 

**Autor:** Daniel Alfredo Merino Burbano

**Cédula:** 1720409802

**Dirección:** Esteban Godoy

**Correo electrónico:** [daniel.merino@unl.edu.ec](mailto:daniel.merino@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 2548615

**Celular:** 0967246080

### DATOS COMPLEMENTARIOS:

**Director del trabajo de integración curricular:** Ing. Mg. Byron Agustín Solorzano Castillo

## **Dedicatoria**

La finalización de este proyecto está dedicado a toda mi familia en especial a mi padre, hermana por haberme brindado un apoyo incondicional en el transcurso de mi vida diaria al igual que en mi preparación condicional, ya que siempre han estado conmigo en los momentos más difíciles, a Dios por haberme brindado salud, fuerza y sabiduría para salir adelante, ya que sin todos ellos no hubiese podido culminar una meta más en mi vida, ayudándome así a tener un buen futuro en el campo laboral.

**Daniel Alfredo Merino B.**

## Agradecimiento

En primer lugar, un agradecimiento a la **Universidad Nacional de Loja**, al personal Docente y Administrativo de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias en cada uno de sus campos de trabajo en beneficio de nuestra formación académica y profesional, al igual por el extenso trabajo que realizan para brindar una educación de calidad para cada uno de los estudiantes, entregando todos los días lo mejor de cada uno de ellos.

Mi especial agradecimiento al docente y director de mi tema de tesis **Ing. Mg. Byron Agustín Solorzano Castillo**, por la paciencia, su ética y sus conocimientos, con los que supo guiarme en el transcurso del desarrollo y culminación del presente trabajo de titulación.

## Tabla de Contenido

CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA.....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
SIMBOLOGÍA .....	XV
<b>1. TÍTULO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
ABSTRACT .....	3
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
4.1 GRANO DE CAFÉ.....	7
4.1.1 Análisis físico del grano de café verde.....	7
4.1.2 Análisis granulométrico .....	7
4.2 TIPOS DE CLASIFICADORAS DE GRANOS .....	7
4.2.1 Clasificadora rotativa .....	7
4.2.2 Clasificadora de biela-manivela .....	8
4.2.3 Clasificadora vibratoria.....	9
4.3 CALIBRE DE LAS CRIBAS PARA CLASIFICAR EL GRANO DE CAFÉ .....	9
4.4 FRECUENCIA Y AMPLITUD DE TRABAJO .....	10

4.5	CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES .....	11
	4.5.1 Motores de corriente alterna (CA).....	11
	4.5.2 Según su tipo de servicio.....	12
4.6	VIBRACIÓN .....	12
	4.6.1 Clasificación de vibración .....	13
4.7	MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE (MAS).....	13
4.8	FUNDAMENTOS DE DISEÑO.....	15
	4.8.1 Noción de estática.....	15
	4.8.2 Noción de dinámica.....	16
	4.8.3 Resistencia de materiales.....	17
	4.8.4 Potencia.....	20
	4.8.5 Diseño de sistemas suspendidos.....	20
	4.8.6 Rigidez de un resorte de lámina o ballesta .....	21
	4.8.7 Eficiencia mecánica .....	22
	4.8.8 Factor de diseño y factor de seguridad.....	23
	4.8.9 Cálculo de distribución de agujero de mallas .....	23
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>24</b>
5.1	ÁREA DE TRABAJO .....	24
5.2	EQUIPOS Y MATERIALES.....	24
	5.2.1 Equipos.....	24
	5.2.2 Materiales Bibliográficos.....	26
5.3	PROCEDIMIENTO .....	27
	5.3.1 Primer objetivo.....	27
	5.3.2 Segundo Objetivo .....	27
	5.3.3 Tercer Objetivo .....	28
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>

6.1	DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO A ESTUDIAR .....	30
6.2	CAPACIDAD Y TIEMPO REQUERIDO DE MUESTREO DEL PROTOTIPO.....	30
6.3	TOPOLOGÍA DEL PROTOTIPO CLASIFICADOR .....	31
6.4	SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN .....	33
	6.4.1 Niveles de clasificación.....	33
6.5	DISEÑO Y CÁLCULOS DE COMPONENTES.....	36
	6.5.1 Diseño y construcción de las zarandas.....	36
	6.5.2 Distribución de perforaciones.....	36
	6.5.3 Dimensiones de las zarandas.....	37
	6.5.4 Determinación de la frecuencia necesaria para la clasificación.....	41
	6.5.5 Determinación de la potencia del motor.....	42
	6.5.6 Cálculo de los muelles .....	42
	6.5.7 Cálculo del mecanismo biela-manivela corredera. ....	46
	6.5.8 Potencia de diseño .....	55
	6.5.9 Circuito de control y fuerza .....	56
6.6	CONSTRUCCIÓN. ....	58
6.7	VALIDACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO.....	68
	6.7.1 Pruebas del prototipo.....	68
	6.7.2 Validación de resultados.....	70
6.8	ANÁLISIS DE COSTO .....	72
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>74</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación del grano de café según su tamaño.</i> .....	10
Tabla 2 <i>Softwares útiles</i> .....	24
Tabla 3 <i>Equipos de construcción</i> .....	25
Tabla 4 <i>Material Bibliográfico</i> .....	26
Tabla 5 <i>Materiales y componentes de construcción para el prototipo.</i> .....	26
Tabla 6 <i>Numero de cribas para el prototipo.</i> .....	30
Tabla 7 <i>Identificación de atributos.</i> .....	32
Tabla 8 <i>Cálculo de la distribución entre centros en X y Y.</i> .....	37
Tabla 9 <i>Cálculos de peso por cada una de las zarandas.</i> .....	39
Tabla 10 <i>Amplitud y frecuencia según el tamaño de grano.</i> .....	41
Tabla 11 <i>Características del motor</i> .....	56
Tabla 12 <i>Resultado de clasificación de muestras de café por tamaño de grano.</i> .....	69
Tabla 13: <i>Resultados de la clasificación manual.</i> .....	70
Tabla 14: <i>Resultados de Validación del prototipo</i> .....	71
Tabla 15 <i>Costos de Fabricación</i> .....	72

## Índice de figuras

Figura 1: Clasificadora rotativa. ....	8
Figura 2: Clasificadora tipo zaranda .....	8
Figura 3: Clasificadora vibratoria .....	9
Figura 4: Frecuencia y amplitud relacionada con el diámetro de partículas.....	11
Figura 5: Mecanismo de yugo escocés .....	14
Figura 6: Elemento de sección rectangular sometido a Flexión .....	18
Figura 7: Esfuerzos cortantes.....	19
Figura 8: Resorte de lámina .....	22
<b>Figura 9:</b> Localización .....	24
Figura 10: Diagrama de necesidades .....	31
Figura 11: Niveles de clasificación.....	33
Figura 12: Tolva para ingreso de muestras de café.....	34
Figura 13: Sistema de clasificación de muestras .....	35
Figura 14: Bandeja de recolección de muestras clasificadas .....	35
Figura 15: Distribución de perforaciones .....	36
Figura 16: Dimensiones de las zarandas.....	38
Figura 17: Determinación de la amplitud y frecuencia en base al diámetro de la muestra .....	41
Figura 18: Vista lateral y frontal del muelle .....	43
Figura 19: Diagrama de fuerzas sin flexión.....	44
Figura 20: Diagrama de fuerzas con flexión.....	45
Figura 21: Esquema del mecanismo biela-manivela corredera. ....	46
Figura 22: Disposición de los elementos de movimiento. ....	47
Figura 23: Diagrama esquemático .....	47

Figura 24: Grupo primario .....	48
Figura 25: Diagrama de velocidades.....	49
Figura 26: Disposición de las aceleraciones .....	50
Figura 27: Diagrama de aceleraciones .....	51
Figura 28: Diagrama de aceleraciones respecto al centro de masa.....	52
Figura 29: Diagrama dinámica del mecanismo .....	53
Figura 30: Teorema de Zhukovski en el sistema biela-manivela-corredera.....	54
Figura 31: Circuito de control y fuerza del sistema de vibración .....	57
Figura 32: Circuito de control y fuerza del sistema de vaciado.....	58
Figura 33: Corte de material para la base exterior como interior .....	59
Figura 34: Base interior para mallas .....	59
Figura 35: Construcción de Base exterior.....	60
Figura 36: Traslado y corte para perforación de las mallas .....	60
Figura 37: Programación del código para perforaciones en fresadora CNC .....	61
Figura 38: Montaje de la plancha en la mesa de la CNC.....	61
Figura 39: Taladrado de la Plancha .....	62
Figura 40: Trazado y corte de las zarandas.....	62
Figura 41: Doblado y soldado.....	63
Figura 42: Trazo y corte de tolva de entrada .....	63
Figura 43: Acople de la tolva en la tapa superior por soldadura .....	64
Figura 44: Corte y armado de tolva de salida .....	64
Figura 45: Soldado de los separadores en la tolva de salida.....	65
Figura 46: Conjunto armado .....	65
Figura 47: Sistema de vibración .....	66
Figura 48: Sistema de elevación .....	66

Figura 49: Armado de fuentes de alimentación y sistemas de control. ....	67
Figura 50: Montaje final del prototipo.....	67
Figura 51: Peso de la muestra de café (Vilcabamba).....	68
Figura 52: Medición manual de los granos.....	70
Figura 53: Grafica de resultados de validación.....	71
Figura 54: Resultado malla # 18 .....	91
Figura 55: Resultado malla #17 .....	91
Figura 56: Resultado malla #16 .....	92
Figura 57: Resultado malla #15 .....	92
Figura 58: Resultado malla #14 .....	93
Figura 59: Resultado malla ciega.....	93

## Índice de anexos

Anexo 1: Factor de servicio para motores .....	82
Anexo 2: Característica de los tamices de ensayo .....	83
Anexo 3: Momentos de inercia .....	84
Anexo 4: Características geométricas de secciones planas.....	85
Anexo 5: Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada.....	86
Anexo 6: Ficha técnica de motor con encoder 12V .....	87
Anexo 7: Ficha técnica de motor a pasos NEMA 23 .....	88
Anexo 8: Curva de torque de motor a pasos NEMA 23 .....	89
Anexo 9: Certificado de traducción Resumen .....	90
Anexo 10: Resultados de pruebas con el prototipo.....	91
Anexo 11: Planos .....	94

## Simbología

$\omega$	Frecuencia angular
$v$	Velocidad
$F$	Fuerza
$\sigma_e$	Esfuerzo de tracción
$A_0$	Sección inicial
$M$	Momento
$\sigma$	Esfuerzo de tracción
$G$	Peso
$a$	Amplitud
$E$	Módulo de elasticidad
$I$	Modulo de inercia
$\eta_f$	Coefficiente de seguridad
$f_s$	Factor de servicio
$\xi$	Aceleración angular

## **1. Título**

**Diseño y construcción de un prototipo clasificador de muestras de café por tamaño de grano.**

## 2. Resumen

El presente tema de investigación titulado “**Diseño y construcción de un prototipo clasificador de muestras de café por tamaño de grano**”; tuvo como objetivo Diseñar e implementar un prototipo electromecánico clasificador de muestras de grano café, para lo cual, se realizó una extensa investigación bibliográfica con la finalidad de identificar los parámetros del proceso de clasificar muestras de café en grano según su tamaño, mediante la información obtenida se diseñó y construyó cada una de las piezas y los diferentes elementos que conforman el prototipo, así mismo se dimensionó cada una de las mallas según la norma técnica ecuatoriana INEN 290, para establecer la frecuencia y la amplitud del prototipo se recurrió a una gráfica dependiente del diámetro del grano en mm, de esta manera se estableció un sistema de clasificación vibratorio basado en un mecanismo de vibración (biela-manivela), conformado con 6 niveles de zarandas, una tolva de ingreso de la muestra de café y 6 recolectores para cada una de las muestras, mediante un extenso proceso de validación se verificó y validó el correcto funcionamiento del prototipo, logrando así un correcto clasificado de las muestras de grano de café.

Palabras claves: clasificado, muestra, café, prototipo, vibración

## Abstract

The present research topic entitled “**Design and construction of a prototype classifier of coffee samples by bean size**”; The objective was to design and implement an electromechanical prototype coffee bean sample sorter, for which an extensive bibliographic research was carried out in order to identify the parameters of the process of classifying coffee bean samples according to their size, using the information obtained, each of the parts and the different elements that make up the prototype were designed and built, Likewise, each one of the meshes was dimensioned according to the Ecuadorian technical standard INEN 290, to establish the frequency and amplitude of the prototype, a graph dependent on the grain diameter in mm was used, in this way a vibratory classification system was established based on a vibration mechanism (crank-crank), This system has 6 levels of sieves, a hopper for the entrance of the coffee sample and 6 collectors for each of the samples. Through an extensive validation process, the correct functioning of the prototype was verified and validated, thus achieving a correct classification of the coffee bean samples.

Key words: sorting, sample, coffee, prototype, vibration.

### 3. Introducción

Las clasificadoras de muestras de grano de café por tamaño son máquinas de una gran importancia en el sector cafetalero, este tipo de máquinas nos permiten conocer el porcentaje de los granos según su tamaño como, grande, mediano y pequeño de acuerdo a normas establecidas los granos más comercializados se encuentran dentro del rango de 7.10 a 6 mm de diámetro, esto nos permite mejorar la calidad del grano y determinar la temperatura adecuada en el proceso de tostado del grano de café.

En cuanto a clasificadoras de muestras de laboratorio no se ha logrado evidenciar propuestas de diseño y menos aún un sistema electromecánico que realice este proceso, solamente existe clasificadores netamente manuales.

La clasificación de las muestras de café se realiza mediante un proceso manual, es decir, las personas que ejecutan este trabajo clasifican los granos según el tamaño con tamices, lo que puede provocar enfermedades de posturas repetidas y forzadas. La clasificación de muestras de café trillado es un subproceso esencial para definir su calidad y costo de comercialización, por lo que la propuesta de un prototipo de esta índole podría ser un buen aporte a nivel tecnológico para los productores y distribuidores de café en grano.

Las máquinas clasificadoras de granos de café tienen una gran importancia dentro del sector cafetalero, se pueden clasificar en diferentes tipos dependiendo del trabajo que realicen dentro de ellas encontramos las clasificadoras por densidad, clasificadoras por tamaño y clasificadoras por color del grano, el prototipo clasificador de muestras de café se encuentra dentro de las clasificadoras por tamaño ya que se utiliza 6 diferentes mallas puestas en paralelo.

Aunque existen algunas empresas que se dedican a la fabricación de máquinas clasificadoras de granos de café y otras que las comercializan, este tipo de máquinas son poco

accesibles debido a sus costos elevados, las empresas dedicadas a la fabricación y comercialización de este tipo de máquinas son COMERSA TRADING SAC, Tecnatrop SRL e INDY-INDUSTRIAS YAPANGO empresas dedicadas a la comercialización.

Dentro del campo de la investigación existen proyectos de diseño y construcción de este tipo de máquinas, una de ellas es el proyecto “Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de café seco y trillado” Aranda (2022).

La presente investigación tiene como objetivo general “Diseñar e implementar un prototipo electromecánico clasificador de muestras de grano café.

Dentro de los objetivos específicos como primer objetivo tenemos establecer los parámetros y requerimientos de diseño del prototipo clasificador de muestras de café, dentro de este objetivo esta consultar los diferentes tipos de máquinas vibratorias que existen, así como los diferentes tipos de sistemas para realizar la vibración, también se consulta sobre las diferentes normativas técnicas ecuatorianas para la construcción de zarandas para la clasificación de muestras de café.

Como segundo objetivo tenemos el diseñar y seleccionar los diversos elementos mecánicos del prototipo, dentro de este objetivo se realizan los planos y la selección de los materiales adecuados para la elaboración de cada uno de los elementos, así como también la selección del sistema de vibración y el sistema de elevación de las zarandas.

El ultimo objetivo es construir el prototipo y validar el funcionamiento; se realiza la construcción de cada uno de los elementos de acuerdo a los planos, realizando los ajustes correspondientes para su correcto funcionamiento validado con las diferentes pruebas que se le realizo al prototipo.

Finalmente se realiza la discusión acorde a los resultados obtenidos donde se especifica cada uno de los sistemas que la conforman, los elementos eléctricos y las dificultades que se tuvo en el transcurso de su desarrollo, también se llegó a tres conclusiones de acuerdo a cada uno de los objetivos específicos, por último, se estableció algunas recomendaciones las cuales ayudaran a un mejoramiento del prototipo.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Grano de café

#### 4.1.1 Análisis físico del grano de café verde

Este procedimiento corresponde a la clasificación del grano para la comercialización mundial. De igual forma, este método se utiliza para calcular el rendimiento del café para su comercialización.

#### 4.1.2 Análisis granulométrico

En este análisis se distinguen dos elementos:

- Las formas del grano y
- El tamaño del grano.

**Formas:** Se toma 100 gramos de café en pergamino seco, del cual se han separado manualmente los granos de caracolillos, triángulos, monstruos y curvas planas de los granos normales. Los resultados se presentan como porcentajes para cada forma.

**Tamaño:** Se toma 350 gramos ya en estado verde (oro) y se tamizan por zarandas o cribas graduadas, se utilizan tamices de 8mm que son muy grandes, hasta 5mm que son muy pequeños.

Los granos que se comercializan son los que están sobre la malla 18 que es grano grande hasta la malla 15 que es grano mediano y se espera que un 95% de la producción este sobre esas mallas para que el café evaluado se considere como café especial. (Conquito, 2015)

### 4.2 Tipos de clasificadoras de granos

#### 4.2.1 Clasificadora rotativa

Este equipo consta de tolvas totalmente independientes, cada una de tamaños variados, que consisten principalmente en cilindros que giran en el sentido de las agujas del reloj en los que se

insertan tamices o láminas con perforaciones circulares y oblongas tal como se observa en la **Figura 1** (Unknown, 2014).

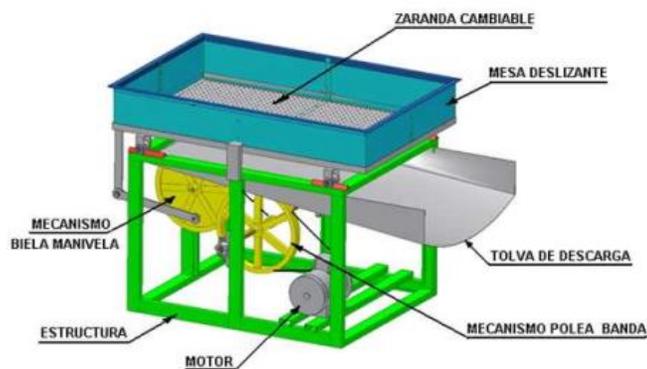


**Figura 1:** Clasificadora rotativa.

**Fuente:** (Herbort, s.f.)

#### 4.2.2 Clasificadora de biela-manivela

En la **Figura 2** se observa una clasificadora de biela-manivela la cual consiste en un motor eléctrico que transmite el movimiento a través de un mecanismo formado por poleas y correas, el mismo unido a un mecanismo biela-manivela. El trabajo producido por el mecanismo se traslada a una mesa de movimiento horizontal, donde se encuentran tamices intercambiables según el tamaño del grano a clasificar (Peñaranda & Silva, 2009).

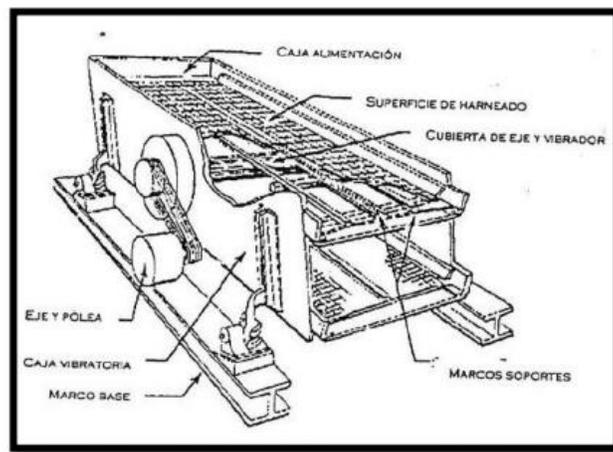


**Figura 2:** Clasificadora tipo zaranda

**Fuente:** (Peñaranda & Silva, 2009)

### 4.2.3 Clasificadora vibratoria

En la **Figura 3** se puede visualizar una clasificadora vibratoria su movimiento es generado por dos moto-vibradores eléctricos, esta fuerza centrífuga se transmite al bastidor de la máquina en el que se alojan la criba y la bandeja, creando un movimiento vibratorio unidireccional horizontal de los granos y efectuando su clasificación. El principal mecanismo constructivo es el resorte, que permite una buena clasificación y no permite mucho movimiento vertical del grano ya que hace que el grano se desborde (Imbachí, 2019).



**Figura 3:** Clasificadora vibratoria

**Fuente:** (Ascuña, 2017)

### 4.3 Calibre de las cribas para clasificar el grano de café

Según la norma técnica ecuatoriana INEN 290 (1978-02), el método para determinar el diámetro de la criba según el tamaño de los granos de café debe estar formado por una lámina metálica cuadrada de 3 o 4 mm por lado, en metal de acero inoxidable con orificios del mismo tamaño, o preferiblemente láminas de zinc de (0,8 mm a 1,00 mm de espesor).

Las cribas deben ser colocadas una encima de otra, en orden decreciente de tamaños, de arriba hacia abajo (INEN, 1978).

La Norma 290 (1978-02) en la **Tabla 1** establece el calibre de la criba con agujeros circular para la clasificación del grano de café dependiendo de su tamaño.

**Tabla 1**

*Clasificación del grano de café según su tamaño.*

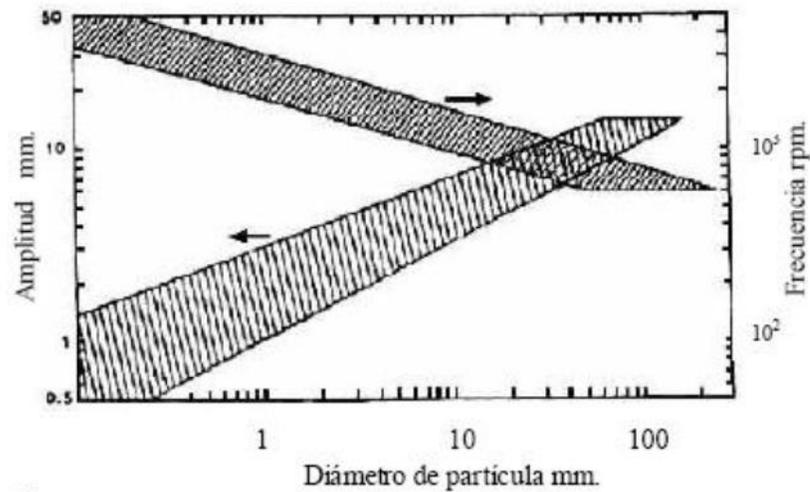
<b>Forma del grano</b>	<b>No. De la criba</b>	<b>Diámetro del agujero mm</b>	<b>Tamaño del grano de café</b>	
Normal Aplanado	20	8.00	Muy grande	
	19	7.50		
	18	7.10	Grande	
	17	6.70		
	16	6.30	Mediano	
	15	6.00		
	14	5.60	Pequeño	
	13	5.00		
	Caracol	12	4.75	Mediano
		11	4.36	
10		3.96	Pequeño	

**Fuente:** (INEN, 1978)

#### **4.4 Frecuencia y amplitud de trabajo**

La clasificación o separación de partículas grandes requiere una amplitud considerable y una frecuencia baja, mientras que para partículas pequeñas se necesita una amplitud más reducida y una frecuencia más alta. En la **Figura 4** se muestra valores prácticos de amplitud y frecuencia para distintos tamaños. Amplitudes demasiado bajas pueden provocar obstrucciones y una

disminución tanto de la capacidad como de la eficiencia. En cualquier operación, es crucial mantener una proporción adecuada entre la amplitud (rango entre 0,5 mm y 50 mm) y la frecuencia en revoluciones por minuto (variable entre 100 y 1.500 rpm) (Blanco, 2016).



**Figura 4:** Frecuencia y amplitud relacionada con el diámetro de partículas

**Fuente:** (Blanco, 2016)

## 4.5 Clasificación de los motores

La clasificación de los motores eléctricos depende de varios factores, tales como:

### 4.5.1 Motores de corriente alterna (CA)

#### a) De inducción (asíncronos)

Trifásicos

- De rotor bobinado
- De jaula de ardilla

Monofásicos

- De condensador
- De fase partida

- De espiral de sombra

**a) Universales**

**b) Síncronos**

Monofásicos

- De histéresis
- De reluctancia

Trifásicos

#### **4.5.2 Según su tipo de servicio**

La clase de servicio a la que puede estar sometidas las máquinas eléctricas es de cuatro tipos:

- Servicio continuo: la carga es constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse.
- Servicio continuo variable: la máquina trabaja constantemente, pero la carga es variable.
- Servicio intermitente: los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo.
- Servicio unihorario: la máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, pero no se llega a alcanzar una temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes (Rodríguez, Cerdá, & Sánchez, 2014).

#### **4.6 Vibración**

Los movimientos que se repiten después de un período de tiempo se denominan vibraciones. Los ejemplos más comunes de vibración son las oscilaciones del péndulo y los movimientos de las cuerdas.

La vibración de un sistema significa que su energía potencial se convierte en energía cinética y de esta en energía potencial. Cuando se amortigua un sistema, parte de su energía se disipa con cada ciclo de oscilación y debe ser reemplazada por una fuente externa para mantener un estado oscilatorio estable (Rao, 2012).

#### 4.6.1 Clasificación de vibración

La vibración se puede clasificar de varias maneras tales como:

- **Vibración libre:** si se deja que un sistema vibre por sí mismo después de una perturbación inicial, la vibración resultante se conoce como vibración libre.
- **Vibración forzada:** si un sistema se somete a una fuerza externa (a menudo, una fuerza que se repite) la vibración resultante se denomina vibración forzada.
- **Vibración no amortiguada y amortiguada:** si se pierde o disipa energía por fricción u otra resistencia durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración no amortiguada. Sin embargo, si la energía se pierde se denomina vibración amortiguada.
- **Vibración lineal y no lineal:** si todos los componentes básicos de un sistema vibratorio, el resorte, la masa, y el amortiguador, se comportan linealmente, la vibración resultante se conoce como vibración lineal. Pero si alguno de los componentes básicos se comporta de manera no lineal, la vibración se conoce como vibración no lineal (Rao, 2012).

#### 4.7 Movimiento armónico simple (MAS)

El movimiento oscilatorio puede repetirse con regularidad, o desplegarse una irregularidad considerable. Si el movimiento se repite después de intervalos de tiempos iguales, se llama

movimiento periódico. El tipo más simple de movimiento periódico es el movimiento armónico (Rao, 2012).

Las señales vibratorias se asemejan a las señales sinusoidales por lo que las ecuaciones del movimiento armónico simple se pueden representar por medio de ecuaciones matemáticas utilizando los senos y cosenos o también llamados armónicos.

De tal manera que la **Ecuación 1** que representa el desplazamiento de su posición media a una distancia  $x$  está dada por.

$$x = A \times \cos\theta = A \times \cos\omega t[\text{m}] \quad (1)$$

La ecuación de la velocidad de la masa  $m$  en un instante de tiempo  $t$  esta dada por la primera derivada del desplazamiento.

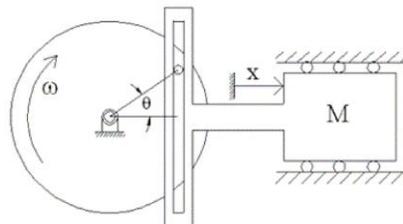
$$v_x = -A \times \omega \times \text{sen}\omega t \quad (2)$$

Y la aceleración viene dada por la segunda derivada del desplazamiento.

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \times A \times \cos\omega t = -\omega^2 \times x \quad (3)$$

Donde  $\omega$  es la frecuencia angular,  $A$  representa la amplitud y  $t$  el tiempo.

Un ejemplo del movimiento armónico simple es el movimiento impartido a la masa  $m$  por el mecanismo de yugo escocés que se muestra en la **Figura 5**.



**Figura 5:** Mecanismo de yugo escocés

**Fuente:** (Rodriguez, 2010)

Los mecanismos consisten en partes conectadas con el propósito de transmitir movimiento y fuerza, desde una fuente de potencia de entrada hasta una de salida. Un eslabonamiento es un mecanismo donde se unen partes rígidas para formar una cadena. Una de las partes se denomina bancada porque sirve como marco de referencia para el movimiento de todas las demás partes. La bancada normalmente es una parte que no realiza ninguna movilidad (Myszka, 2012).

## 4.8 Fundamentos de diseño

### 4.8.1 Noción de estática

La estática estudia el equilibrio de los cuerpos, es decir, de aquellos cuerpos que se encuentran en reposo o se desplazan a una velocidad constante. Podemos considerar la estática como un caso especial de la dinámica, en el que la aceleración es cero: sin embargo, la estática merece un tratamiento aparte en la enseñanza de la ingeniería porque muchos objetos se diseñan con la intención de que permanezcan en equilibrio (Hibbeler, 2010).

#### 4.8.1.1 Condiciones de equilibrio

El término “equilibrio” o, de manera más específica, “equilibrio estático” se usa para describir un objeto en reposo. Para mantener el equilibrio, es necesario satisfacer la primera ley del movimiento de Newton, la cual requiere que la fuerza resultante que actúa sobre una partícula sea igual a cero (Hibbeler, 2010).

$$\sum F = 0 \quad \sum M_0 = \sum (r \times F) = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad (6)$$

## 4.8.2 Noción de dinámica.

Es parte de la mecánica que hace referencia al estudio de los cuerpos en movimiento, la dinámica incluye:

La cinemática, la que corresponde al estudio de la geometría del movimiento. Se utiliza para relacionar el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el tiempo, sin hacer referencia a la causa del movimiento.

La cinética, la cual se refiere al estudio de la relación entre la fuerza que actúan sobre un cuerpo, su masa y el movimiento de este mismo, se utiliza para predecir el movimiento ocasionado por fuerzas dadas o para determinar las fuerzas que se requieren para generar un movimiento específico (Beer, Johnston, & Cornwell, 2010).

### 4.8.2.1 Movimiento de varias partículas.

Cuando varias partículas se mueven de manera independiente a lo largo de la misma línea, es posible escribir ecuaciones de movimiento independientes para cada partícula. Siempre que sea factible, el tiempo debe registrarse a partir del mismo instante inicial para las partículas, y es necesario medir los desplazamientos desde el mismo origen y en la misma dirección (Beer, Johnston, & Cornwell, 2010).

### 4.8.2.2 Movimiento relativo de dos partículas.

Considerando que dos partículas A y B se mueven a lo largo de la misma línea recta. Si las coordenadas de posición  $x_A$  y  $x_B$  se miden desde el mismo origen, la diferencia entre  $x_B - x_A$  define las coordenadas de posición relativa de B con respecto a A y se denota por medio de  $x_{B/A}$  (Beer, Johnston, & Cornwell, 2010).

$$x_{B/A} = x_B - x_A \quad x_B = x_A + x_{B/A} \quad (7)$$

La razón de cambio de  $\frac{x_B}{A}$  se conoce como la velocidad relativa de B con respecto a A representada en la **Ecuación 8**.

$$\frac{v_B}{A} = v_B - v_A \quad v_B = v_A + \frac{v_B}{A} \quad (8)$$

Mientras que la razón de cambio de la velocidad relativa se conoce como la aceleración relativa expresada en la **Ecuación 9**.

$$\frac{a_B}{A} = a_B - a_A \quad a_B = a_A + \frac{a_B}{A} \quad (9)$$

### **4.8.3 Resistencia de materiales.**

La resistencia de materiales tiene como objetivo el estudio de la resistencia y la rigidez de cuerpos sólidos deformables sometidos a la acción de sistemas de fuerzas en equilibrio estáticos. Se limita a la aplicación de ciertos tipos de elementos estructurales como vigas, columnas, etc. (Cervera & Blanco, 2015).

#### **4.8.3.1 Esfuerzos de tracción y compresión.**

Los esfuerzos de tracción y compresión son dos tipos de fuerzas mecánicas que actúan sobre un material sólido, como una viga, columna, cable, etc. Estos esfuerzos son generados por fuerzas externas que aplican una carga al material y provocan una deformación en su estructura.

#### **4.8.3.2 Esfuerzo de tracción.**

El esfuerzo de tracción ocurre cuando se aplica una fuerza de tensión que tiende a estirar o alargar el material a lo largo de su eje longitudinal. Esto implica que las partículas internas del material se separan entre sí, lo que puede provocar la elongación del material. En general, el esfuerzo de tracción se expresa en unidades de fuerza por unidad de área (Beer, Johnston, & Cornwell, 2010)

$$\sigma_e = \frac{F}{A_0} \quad (10)$$

Donde

$F$  es la fuerza aplicada

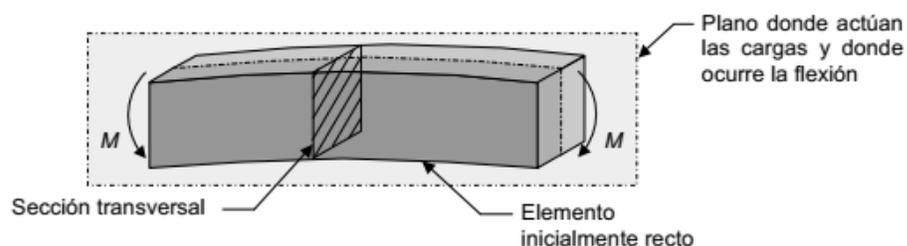
$A_0$  es la sección inicial

#### 4.8.3.3 Esfuerzo de compresión

El esfuerzo de compresión, por otro lado, ocurre cuando se aplica una fuerza de compresión que tiende a comprimir o acortar el material en la dirección del eje longitudinal. Esto implica que las partículas internas del material se comprimen entre sí, lo que puede provocar una contracción del material. Al igual que el esfuerzo de tracción, el esfuerzo de compresión también se mide en unidades de fuerza por unidad de área establecida en la **Ecuación 10** (Budynas & J.Keith, 2018).

#### 4.8.3.4 Esfuerzo por flexión.

Una flexión ocurre cuando un elemento de sección constante y simétrico respecto al plano donde ocurre dicha flexión, se somete a momentos flectores,  $M$ . Cuando el elemento está sometido a momentos flectores, sin carga transversales, como se observa en la **Figura 6**, el elemento sometido a flexión se curva, de tal manera que algunos puntos se alargan quedando sometidos a esfuerzos de tracción (Vanegas U, 2018).



**Figura 6:** Elemento de sección rectangular sometido a Flexión

**Fuente:** (Vanegas U, 2018)

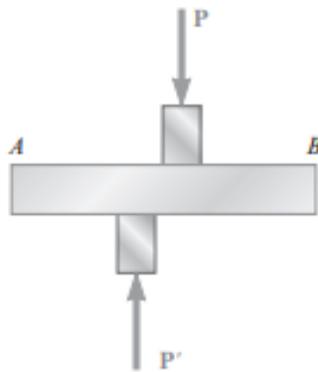
$$\sigma = \frac{M \times y}{I_{LN}} \quad (11)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M \times v}{I_{LN}} \quad (12)$$

#### 4.8.3.5 Esfuerzo cortante

Un tipo diferente de esfuerzo se obtiene al aplicar dos fuerzas transversales a un elemento tal como se observa en la **Figura 7**. Estas fuerzas internas elementales se conocen como fuerzas cortantes, y la magnitud  $P$  de su resultante es el cortante en la sección (Budynas & J.Keith, 2018).

$$\tau_{\text{prom}} = \frac{P}{A} \quad (13)$$



**Figura 7:** Esfuerzos cortantes

**Fuente:** (Vanegas U, 2018)

#### 4.8.3.6 Esfuerzo torsional

El esfuerzo torsional, también conocido como torsión, es otro tipo de esfuerzo mecánico que afecta a materiales sólidos. Ocurre cuando se aplica una fuerza que tiende a girar o torcer el material alrededor de su eje longitudinal. Esta fuerza se conoce como momento torsor o simplemente momento de torsión según la **Ecuación 14** (Budynas & J.Keith, 2018).

$$\tau_{\max} = \frac{T \times r}{I_p} \quad (14)$$

#### 4.8.4 Potencia.

La potencia necesaria en el motor de una criba o máquina vibradora se obtiene por aplicación de la fórmula de potencia igual a par por velocidad angular de la cual se obtiene la

**Ecuación 15** (Blanco, 2016)

$$P_t = \text{par} \cdot \omega \quad (15)$$

Donde el par se lo puede expresar como el peso de la parte móvil en kg por la gravedad por la amplitud del movimiento en m mientras que la velocidad angular es iguala a el número de rpm del motor por pi dividido para 30 tal como se observa en la **Ecuación 16**.

$$P_t = (G \times g) \times a \times \frac{n \times \pi}{30} \quad (16)$$

#### 4.8.5 Diseño de sistemas suspendidos

El diseño de sistemas suspendidos se refiere a la creación de estructuras o mecanismos que están sostenidos y equilibrados mediante cables, cuerdas, cadenas o dispositivos similares que se extienden desde puntos de soporte en el techo o estructura superior.

Consideraciones importantes para el diseño de sistemas suspendidos:

**Cargas y peso:** Es fundamental calcular y entender las cargas que estarán presentes en el sistema suspendido. Esto incluye el peso del objeto o estructura que se va a suspender, así como cualquier carga adicional que pueda aplicarse durante su uso o funcionamiento. Las cargas deben tenerse en cuenta al seleccionar los materiales y componentes adecuados para el sistema suspendido.

**Materiales y resistencia:** Los materiales utilizados en el sistema suspendido deben tener la resistencia y capacidad de carga adecuadas para soportar las fuerzas que actúan sobre ellos. Es crucial asegurarse de que los materiales sean lo suficientemente fuertes y seguros para evitar fallas o deformaciones inseguras.

Anclajes y puntos de soporte: Los puntos de anclaje o soporte desde los cuales se suspende el sistema deben ser estructuralmente sólidos y adecuadamente fijados al techo o a la estructura superior. La resistencia de estos puntos de anclaje es crucial para garantizar la estabilidad y seguridad del sistema.

Longitud y tensión de los cables: La longitud y la tensión de los cables o cuerdas deben ser adecuadamente calculadas y ajustadas para lograr el nivel de suspensión y equilibrio deseado. La tensión excesiva o insuficiente puede afectar la estabilidad y el rendimiento del sistema.

Estabilidad y seguridad: Es esencial asegurarse de que el sistema suspendido sea estable y seguro en todas las condiciones de uso. Se debe considerar factores como el viento, las vibraciones y cualquier otro factor externo que pueda afectar la estabilidad del sistema.

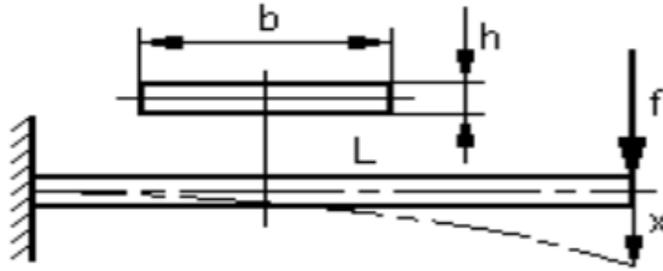
Cumplimiento de normas y regulaciones: Dependiendo de la aplicación y el lugar donde se instale el sistema suspendido, es posible que haya regulaciones y normas específicas que deban cumplirse para garantizar la seguridad y el cumplimiento legal.

Estética y funcionalidad: Además de la seguridad y la funcionalidad, el diseño de sistemas suspendidos también puede enfocarse en aspectos estéticos y funcionales para lograr una apariencia y uso deseado.

El diseño de sistemas suspendidos puede ser un proceso complejo que requiere experiencia y conocimiento en ingeniería y diseño.

#### **4.8.6 Rigidez de un resorte de lámina o ballesta**

En la **figura 8** se muestra un resorte de lámina, el cual consiste en una lámina de sección rectangular, empotrada en un bastidor. (Martínez Batista, Pino Tarragó, Terán Herrera, & Arteaga López, 2017)



**Figura 8:** Resorte de lámina

**Fuente:** (Martínez Batista, Pino Tarragó, Terán Herrera, & Arteaga López, 2017)

Según la resistencia de los materiales, para las pequeñas deformaciones se debe cumplir con las condiciones de la **Ecuación 17**.

$$k = \frac{f}{X} = \frac{3 \times E \times I}{L^2} \quad (17)$$

Siendo E el módulo de elasticidad (para el acero  $E = 176 \text{ Mpa}$ , e I el modulo de inercia de la sección.

Para una sección rectangular:  $I = \frac{bh^2}{12}$

Para una sección circular:  $I = \frac{\pi d^4}{64}$

#### 4.8.7 Eficiencia mecánica

La eficiencia mecánica es la relación de trabajo de salida de una máquina sobre el trabajo de entrada, siendo el trabajo de salida menor al de salida debido a las pérdidas que existen en el sistema una máquina ideal puede tener una eficiencia igual a uno debidos a que no se considerarían las perdidas, mientras que en una máquina real la eficiencia será menor a uno según la **Ecuación 18**, lo que significa que mientras más se acerque a uno la eficiencia de la máquina se acerca a la ideal (Beer, Johnston, & Cornwell, 2010).

$$\eta = \frac{\text{Trabajo de salida}}{\text{Trabajo de entrada}} < 1 \quad (18)$$

#### 4.8.8 Factor de diseño y factor de seguridad.

La diferencia entre el factor de seguridad y el factor de diseño es la siguiente:

El factor de seguridad, o límite elástico, es cuánto podrá soportar realmente la pieza diseñada. Mientras que el factor de diseño, o tensión de trabajo, es lo que se requiere que la máquina o pieza pueda soportar. El factor de diseño se define para una aplicación y no es un cálculo real, el factor de seguridad es una relación entre la resistencia máxima y la carga prevista para el elemento real que se diseñó tal como se puede observar en la **Ecuación 19** (Budynas & J.Keith, 2018).

$$\eta_{seg} = \frac{S}{\sigma \times (o \tau)} \quad (19)$$

#### 4.8.9 Cálculo de distribución de agujero de mallas

Existen varios tipos de mallas que se caracterizan por su tipo de perforación las cuales pueden ser, cuadrado triangular, ovalado, rectangular y circular, la configuración a utilizar en el diseño es circular por lo que el tamaño del agujero dependerá de la necesidad y el tamaño del grano.

La distancia entre centros está dada por la **Ecuación 20 y 21**:

$$X = D + \frac{D}{2} [\text{mm}] \quad (20)$$

$$Y = X \times \text{sen}(60) [\text{mm}] \quad (21)$$

## 5. Metodología

### 5.1 Área de trabajo

El área de trabajo donde se llevará a cabo la elaboración de los mecanizados y el montaje del prototipo, se realizará en el taller mecánico y en el laboratorio de manufactura de la FEIRNNR.



**Figura 9:** Localización

**Fuente:** [-4.033017, -79.199880](#)

### 5.2 Equipos y materiales

#### 5.2.1 Equipos

##### 5.2.1.1 Software.

**Tabla 2**

*Softwares útiles*

Software	Utilización
AUTOCAD 2D	Realización de planos
INVENTOR CAM	Obtención de códigos para perforación de mallas

<b>Software</b>	<b>Utilización</b>
INVENTOR	Realización del diseño 3D de los elementos y conjunto.
Paquete de Microsoft Office 2019	Redacción
Software de análisis matemático MATHCAD	Cálculos

### **5.2.1.2 Equipos de computación.**

Computadora portátil, impresora y calculadora científica

### **5.2.1.3 Equipos de construcción.**

**Tabla 3**

*Equipos de construcción*

<b>Equipos</b>	<b>Herramientas</b>
Mecanizado	Fresadora CNC Dobladoras de tool
Soldadora	Soldadora de arco eléctrico (GTAW) Soldadora arco eléctrico (TIG)
Corte y acabados	Amoladora Disco de corte Discos flap Discos de desbaste
Herramientas varias	Taladro Martillos Escuadras Flexómetro Calibrador Juego de llaves y dados

## 5.2.2 Materiales Bibliográficos

**Tabla 4**

*Material Bibliográfico*

<b>Documentos bibliográficos</b>	<b>Títulos</b>
Libros	Diseño en ingeniería mecánica, Vibraciones mecánicas, Diseño de maquinaria Clasificación de cribado, Resistencia de materiales.
Normas	INEN-290, NTE INEN 1515

### 5.2.2.1 Materiales y componentes de construcción.

**Tabla 5**

*Materiales y componentes de construcción para el prototipo*

<b>Materiales y componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Plancha de acero inoxidable AISI 304 con acabado superficial N3 de 2.0mx1.2mx1mm	1	U
Tubo cuadrado de acero inoxidable de 30mmx30mmx1.2mm	1	mm
Pernos de acero inoxidable AISI 304	12	U
Remaches de aluminio 1/8 in	50	U
Motor Paso a paso Nema 23	1	U
Controlador de motores a pasos ZK-SMC02	1	U
Sensores de final de carrera	2	U
Interruptor de tres posiciones	1	U
Luz piloto	2	U
Terminales	15	U
Motor con caja de velocidades	1	U
Fuente de 24V 10 A	1	U
Fuente de 12V 1.5 A	1	U
Electrodo AWS E308L	5	Lb
Disco de corte de 4 ½ in	6	U

<b>Materiales y componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Discos Flap	3	U

### **5.3 Procedimiento**

Considerando cada uno de los objetivos generales se determinan cada uno de los pasos que se llevó a cabo para diseñar y construir el prototipo máquina clasificadora de muestras de café los cuales son:

#### **5.3.1 Primer objetivo**

Recopilación de información: se lleva a cabo mediante una revisión exhaustiva de la literatura y la búsqueda de información sobre máquinas clasificadoras como son.

- Los diversos sistemas de vibración
- Los intervalos de operación para la clasificación.
- Los tamaños de zarandas para la clasificación.
- Los principios de los mecanismos de vibración.
- Los fundamentos para el diseño mecánico.
- El accionamiento eléctrico y la automatización industrial.

El propósito de esta búsqueda es comprender el tipo específico de máquina que se pretende construir. Así como establecer los parámetros necesarios para su diseño.

#### **5.3.2 Segundo Objetivo**

Determinación de un modelo propuesto: Se llevó a cabo un análisis exhaustivo y una evaluación de requerimientos en respuesta a una solicitud específica, con el objetivo de examinar los componentes de la máquina, y comprender su funcionamiento e identificar cada elemento para optimizar su aprovechamiento. El prototipo requiere de un mecanismo generador de movimiento lineal que genere vibración constante, un sistema de clasificación del grano con zarandas

perforadas con diferentes diámetros según la norma técnica ecuatoriana INEN 290, un sistema de inclinación de las zarandas que permite recolectar los granos de cada una de zarandas.

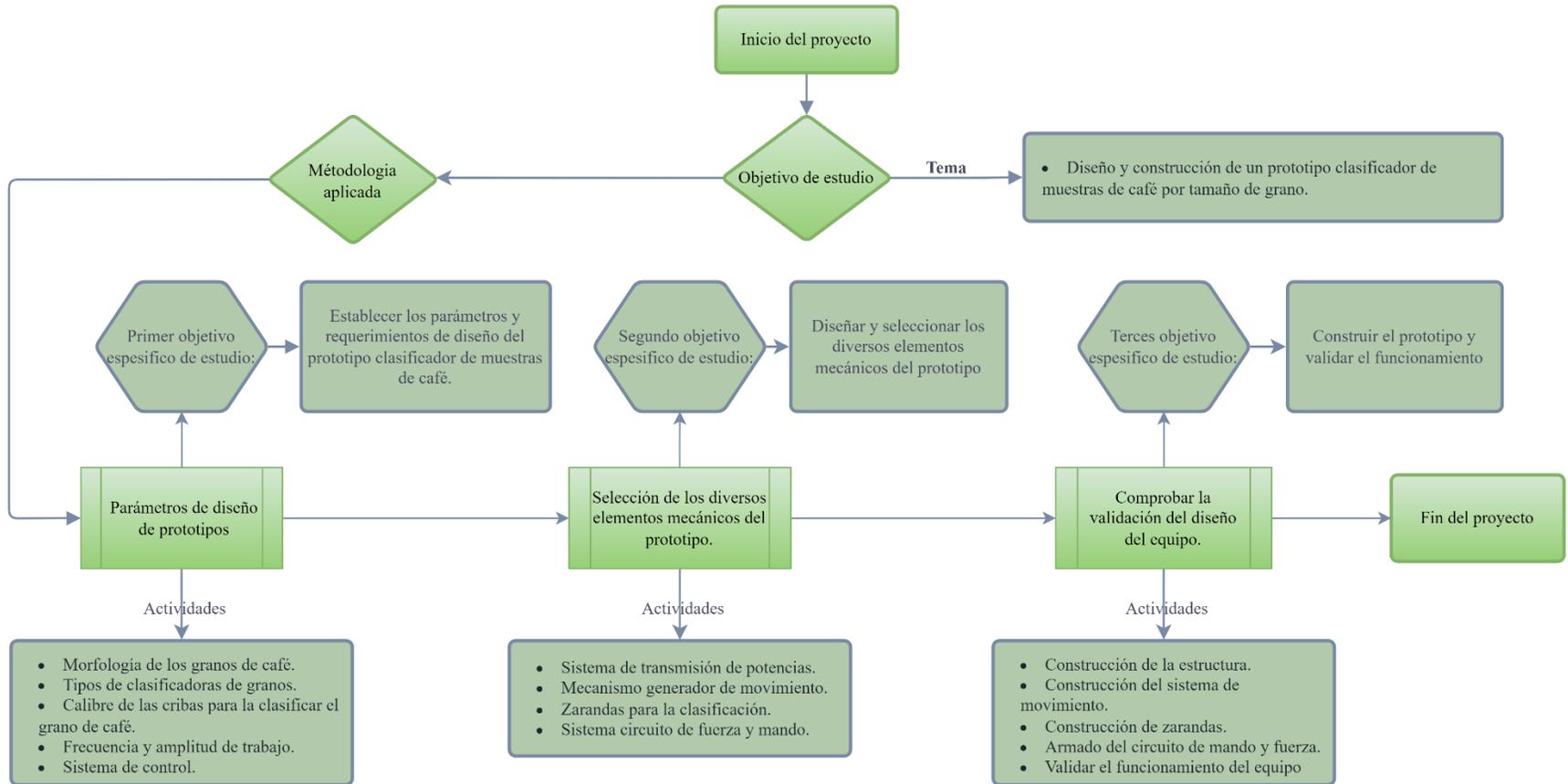
Diseño y dimensionamiento: Teniendo como base la norma INEN 1515, y 290 para diseñar las zarandas de clasificación, el sistema de recolección e ingreso de la muestra, el mecanismo generador de vibración, determinar la potencia del motor y el sistema eléctrico.

### **5.3.3 Tercer Objetivo**

Construcción: A través de los principios de construcción en ingeniería, se inicia la elaboración y unión de las piezas del prototipo utilizando los recursos, herramientas y maquinaria disponibles dentro del taller mecánico y de manufactura.

Validación: Se ejecuta mediante prueba de clasificación manual utilizando una herramienta de medición como el calibrador, para determinar el tamaño de cada uno de los granos de café, esto nos ayuda a obtener datos reales del porcentaje de grano existente según su diámetro y realizar una comparación de las pruebas realizadas con el prototipo, esto nos ayuda a corregir y realizar los cambios necesarios asegurando que el prototipo cumpla con los criterios requeridos para las clasificadoras de muestra de café según la Norma INEN 290.

## DIAGRAMA DE FLUJO



## 6. Resultados

En el próximo apartado se detallan los elementos, sistemas y procedimientos necesarios para la construcción de la máquina, siguiendo la información recopilada en el contexto teórico y debidamente citada.

### 6.1 Determinación del tamaño de grano a estudiar

Para la clasificación del grano de café se ha tomado como consideración la norma INEN 290 en la cual se establecen los números de las cribas según su tamaño de grano, considerándose desde la muy grande a la muy pequeña tal como se puede apreciar en la [Tabla 1](#), para el diseño del prototipo se estableció las cribas de la **Tabla 6**.

**Tabla 6**

Numero de cribas para el prototipo

Forma del grano	No. De la criba	Diámetro del agujero mm	Tamaño del grano de café
Normal Aplanado	18	7.10	Grande
	17	6.70	
	16	6.30	Mediano
	15	6.00	
	14	5.60	Pequeño

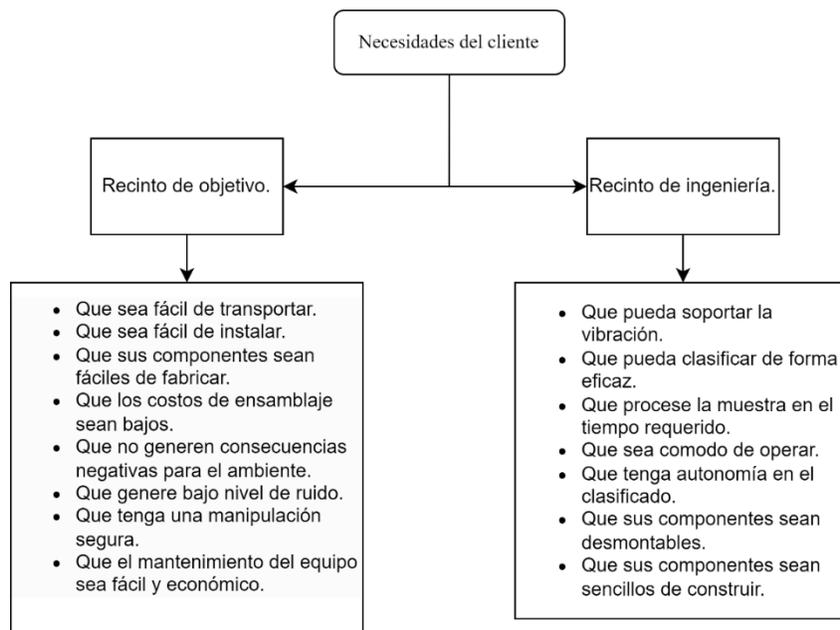
### 6.2 Capacidad y tiempo requerido de muestreo del prototipo

Una de las características que debe cumplir el prototipo según la norma INEN 290, la cual hace referencia a la clasificación de muestras de café mediante el uso de zarandas es que se debe tomar una muestra de 300 gramos de grano de café, la muestra debe contar con un tiempo de

zarandeado de 3 minutos, más 1 minuto, dependiendo si caen más granos de una zaranda a otra se debe repetir el proceso.

### 6.3 Topología del prototipo clasificador

Se identifica las necesidades que exige el problema, describiendo como funciones que debe cumplir el prototipo clasificador de muestras de café. Dentro de estas se identifican dos tipos de requerimientos: requerimientos informales del cliente y requerimientos formales de ingeniería. Los informales describen los requerimientos sugeridos por el cliente y sus beneficiarios, los formales son requerimientos funcionales para el prototipo tal como se observa en la **Figura 10**.



**Figura 10:** Diagrama de necesidades

**Fuente:** (Velilla Díaz, Montero Álvarez, Pérez Ariza, & Álvarez Barreto, 2010)

Cada una de las necesidades descritas en el diagrama, se convierte automáticamente en objetivos conferidos al prototipo. De la misma manera se determinan las funciones a desempeñar y las restricciones a las cuales estará sometido. Estos tres temas conforman los atributos de diseño del prototipo.

**Tabla 7***Identificación de atributos.*

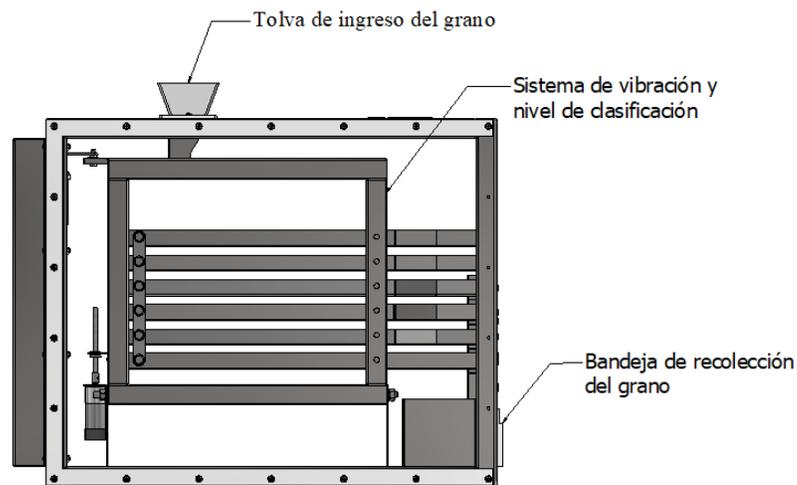
<b>Objetivos</b>	<b>Restricciones</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que sea fácil de transportar.</li> <li>• Que sea fácil de instalar.</li> <li>• Que sus componentes sean fáciles de fabricar.</li> <li>• Que los costos de ensamblaje sean bajos.</li> <li>• Que no generen consecuencias negativas para el ambiente.</li> <li>• Que genere bajo nivel de ruido.</li> <li>• Que tenga una manipulación segura.</li> <li>• Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico.</li> <li>• Que pueda soportar la vibración.</li> <li>• Que pueda clasificar de forma correcta.</li> <li>• Que procese la muestra en el tiempo requerido.</li> <li>• Que sea cómodo de operar.</li> <li>• Que tenga autonomía en el clasificado.</li> <li>• Que sus componentes sean desmontables.</li> <li>• Que sus componentes sean sencillos de construir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que procese la muestra en el tiempo requerido.</li> <li>• Que pueda clasificar de forma correcta.</li> <li>• Que sea cómodo de operar.</li> <li>• Que sus componentes sean desmontables.</li> <li>• Que sus componentes sean sencillos de construir.</li> <li>• Que los costos de ensamblaje sean bajos.</li> </ul>
	<b>Funciones</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que no generen consecuencias negativas para el ambiente.</li> <li>• Que sea fácil de instalar.</li> <li>• Que sea fácil de transportar.</li> <li>• Que sea cómodo de operar.</li> <li>• Que tenga autonomía en el clasificado.</li> </ul>

**Fuente:** (Velilla Díaz, Montero Álvarez, Pérez Ariza, & Álvarez Barreto, 2010)

## 6.4 Sistemas de clasificación

### 6.4.1 Niveles de clasificación

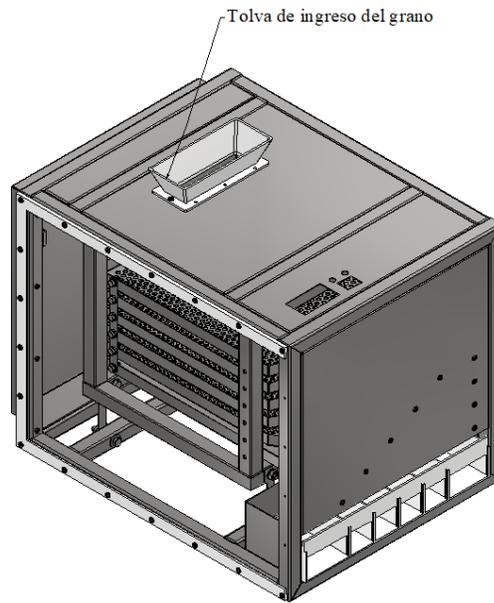
El prototipo cuenta con tres niveles de clasificación dentro de las cuales encontramos el nivel de ingreso de la muestra de café, nivel de clasificado del grano según su tamaño y el nivel de recolección de muestras tal como se observa en la **Figura 11**.



**Figura 11:** Niveles de clasificación

#### 6.4.1.1 Ingreso de la muestra de café

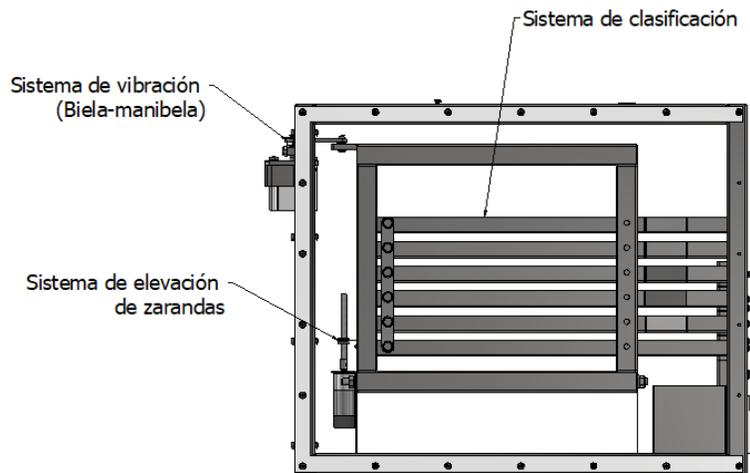
Consta de una tolva por la cual se ingresa la muestra de café hacia el nivel de clasificación, se encuentra ubicada en la parte superior del prototipo en la **Figura 11** se puede observar el modelo de diseño.



**Figura 12:** Tolva para ingreso de muestras de café

#### **6.4.1.2 Nivel de clasificado del grano según su tamaño**

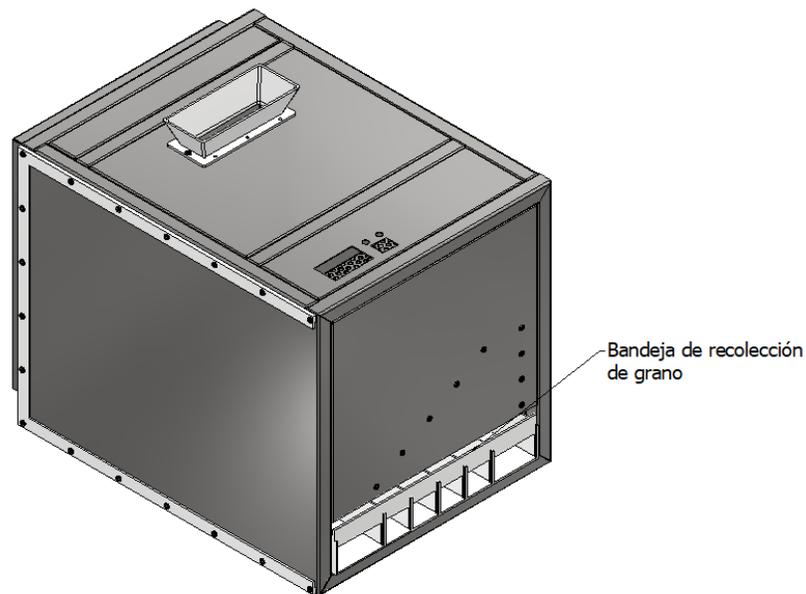
Se encuentra conformado por 5 zarandas de clasificación y una ciega en la cual se recolecta el grano de tamaño menor a 5.6 mm los mismos que sería clasificado como no apto para comercializar. Para el movimiento de vibración cuenta con un motor a pasos de 55.41 W a 1200 RPM conectado al cuadro exterior con 4 láminas de acero inoxidable ANSI 402 de 0.7 mm de espesor tal como se observa en la **Figura 13**.



**Figura 13:** Sistema de clasificación de muestras

#### 6.4.1.3 Nivel de recolección de muestras

Para el sistema de recolección de muestra se considera un mecanismo que nos permite inclinar el sistema de mallas clasificadoras de tal manera que los granos de café de cada una de ellas caigan en los respectivos contenedores de muestras tal como se muestra en la **Figura 14**.



**Figura 14:** Bandeja de recolección de muestras clasificadas

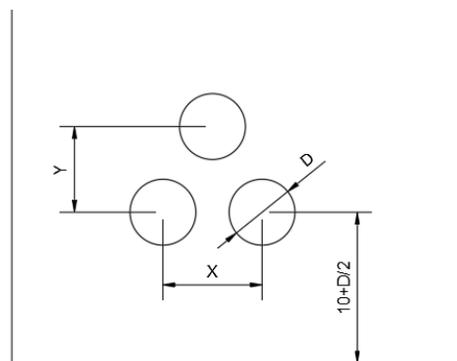
## 6.5 Diseño y cálculos de componentes

### 6.5.1 Diseño y construcción de las zarandas

Para el diseño de las zarandas se toma en cuenta los parámetros establecidos en la norma INEN 290, esta indica que la zaranda debe contar con un área de tamizaje de 280x280mm con pestañas de 25mm, se debe fabricar en acero inoxidable con un espesor entre 0.8 a 1mm dependiendo del diámetro de las perforaciones tal como lo define la norma INEN 1515 en la **Tabla 3** del [Anexo 2](#).

### 6.5.2 Distribución de perforaciones

La distribución de las aberturas circulares estará en los vértices de los triángulos equiláteros, lo que permite una mayor facilidad en el clasificado del grano de café, de igual manera la norma INEN 1515 en su apartado 4.2.6 determina que debe existir una franja sin perforar en sus cuatro lados de máximo 12.7mm tal como se puede observar en la **Figura 15**.



**Figura 15:** Distribución de perforaciones

La distancia entre centros de cada una de las perforaciones está dada por las Ecuaciones 20 y 21.

$$X = D + \frac{D}{2} [\text{mm}]$$

$$Y = X \times \sin(60) [\text{mm}]$$

En la **Tabla 8** se aprecia los valores de la separación entre centros para cada una de las cribas:

**Tabla 8**

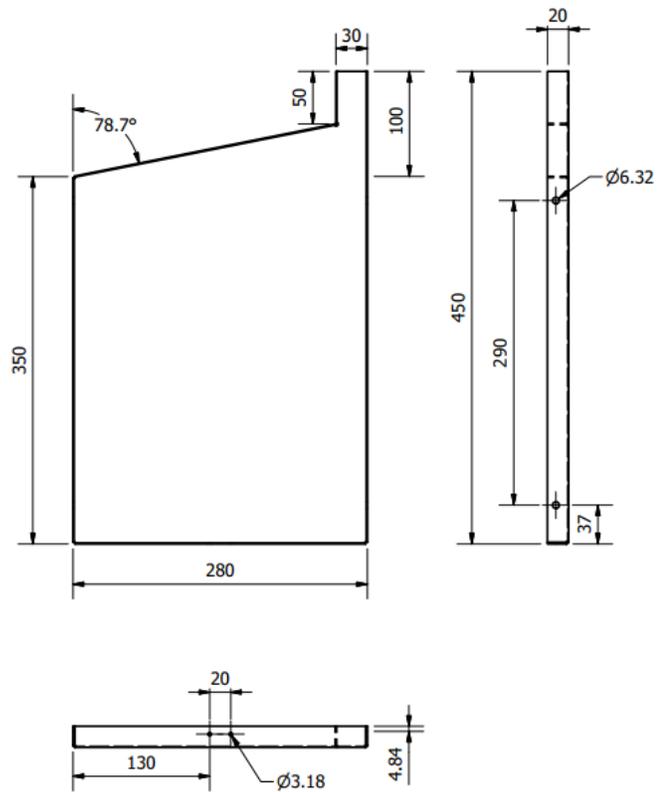
*Cálculo de la distribución entre centros en X y Y.*

<b>N° de Criba</b>	<b>Diámetro de la perforación en mm</b>	<b>Distribución en X en mm</b>	<b>Distribución en Y en mm</b>
18	7.1	10.65	9.223
17	6.7	10.05	8.704
16	6.3	9.45	8.184
15	6	9	7.794
14	5.6	8.4	7.275

### **6.5.3 Dimensiones de las zarandas**

Las dimensiones para las zarandas para una clasificadora de muestras de café se encuentran dadas por la norma INEN 1515 (de la sección 4.2.9, pág. 3) que recomienda un valor de entre 280mm a 380mm cuadradas para el área de perforación.

Se consideró las siguientes medidas para el área de perforación, de 280x350 mm con un marco de 20 mm.



**Figura 16:** Dimensiones de las zarandas

- **Peso de las zarandas**

Para la determinación del peso de cada una de las zarandas se determinó cada una de sus áreas, dobleces y el número de perforaciones correspondientes para cada una tomando como consideración la densidad del acero inoxidable de  $7.93 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$m_{\text{malla14}} = A_{\text{malla14}} \times e \times d$$

Donde

$A_{\text{malla14}}$ : Área de la malla descartando las perforaciones

e: espesor de la plancha de acero inoxidable

d: densidad para el acero inoxidable

m: masa de la zaranda

$$m_{\text{malla14}} = 0.097\text{m}^2 \times 0.001\text{m} \times 7.93 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{malla14}} = 0.769\text{kg}$$

Peso total de la plancha

$$P_{\text{malla14}} = m_{\text{malla14}} \times g$$

Donde

g: aceleración de la gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup>

$$P_{\text{malla14}} = 0.769 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{malla14}} = 7.54389 \text{ N}$$

**Tabla 9**

*Cálculos de peso por cada una de las zarandas*

<b>Peso de las zarandas</b>					
<b>Malla</b>	<b>N de perforaciones</b>	<b>Área de la malla (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor de la plancha (m)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Peso (N)</b>
Malla 14	1404	0.097	0.001	0.769	7.54389
Malla 15	1221	0.096	0.001	0.765	7.50465
Malla 16	1120	0.096	0.001	0.761	7.46541
Malla 17	990	0.096	0.001	0.762	7.47522
Malla 18	868	0.097	0.001	0.771	7.62335
Malla ciega	0	0.126	0.001	1.003	9.83943
				<b>Total</b>	<b>47.45195</b>

- **Peso de base de mallas**

Para el diseño de la base de las mallas o base vibratoria se fabricó en tubo cuadrado de acero inoxidable de 1 pulgada con un espesor de 1.2 mm con un peso de 0.8765 kg/m.

$$m_{\text{total}} = A_t \times e \times d$$

Donde:

$A_t$ : el área total de la base de mallas vibratorias

$e$ : el espesor del tubo de acero inoxidable

$d$ : la densidad del acero inoxidable 308

$$m_{\text{total}} = 0.266\text{m}^2 \times 0.00012\text{m} \times 7.93 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{total}} = 2.527\text{kg}$$

Por lo tanto, el peso total del tubo es:

$$P_{\text{basemallas}} = m_{\text{total}} \times g$$

$$P_{\text{basemallas}} = 2.527\text{kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{basemallas}} = 24.8316 \text{ N}$$

- **Peso de la muestra de grano de café**

El peso viene determinado por la norma técnica ecuatoriana INEN 290 donde indica que la muestra de café se encuentra entre los 300 hasta los 350 gramos, por lo tanto:

$$P_{\text{cafe}} = m_{\text{cafe}} \times g$$

$$P_{\text{cafe}} = 0.350 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{cafe}} = 3.48255 \text{ N}$$

Por lo tanto, el peso total que debe vencer el motor vibrador es la suma de todos los pesos considerando el peso del propio motor vibrador

$$P_T = P_{\text{mallas}} + P_{\text{basemallas}} + P_{\text{cafe}} + P_{\text{motovibra}}$$

$$P_T = 47.45195\text{N} + 24.8316\text{N} + 3.48255\text{N} + 39.24\text{N}$$

$$P_T = 115.0061\text{N}$$

#### 6.5.4 Determinación de la frecuencia necesaria para la clasificación

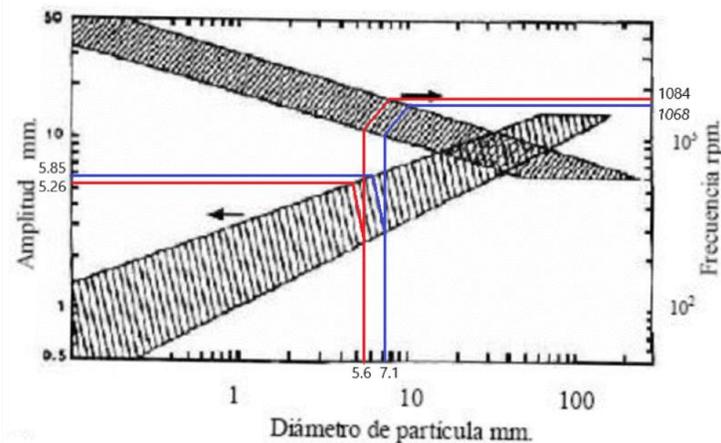
De acuerdo a la **Figura 16** y considerando el diámetro de perforación de cada una de las zarandas se determina la amplitud y la frecuencia, graficando el mínimo y máximo de la amplitud y la frecuencia.

**Tabla 10**

*Amplitud y frecuencia según el tamaño de grano*

	<b>Diámetro del grano</b>	<b>Amplitud (mm)</b>	<b>Frecuencia (rpm)</b>
Mínimo	5.6	5.26	1084
Máximo	7.1	5.85	1068

La muestra de grano más pequeña corresponde a 5.6 lo que se selecciona la amplitud correspondiente de 5.26 mm de recorrido, con una frecuencia de 1084 rpm tal como se observa en la **Figura 17**, la frecuencia se encuentra entre los rangos recomendados de entre 700 a 1200 rpm.



**Figura 17:** Determinación de la amplitud y frecuencia en base al diámetro de la muestra

**Fuente:** (Blanco, 2016)

### 6.5.5 Determinación de la potencia del motor

Para la determinación de la potencia de diseño de motor se considera la amplitud obtenida mediante la gráfica tanto de la mayor como de la menor de la siguiente manera

Determinación de la potencia 1 con la amplitud de 5.26 mm y la frecuencia de 1068 rpm:

$$Pot_1 = P_T \times a_1 \times \left( \frac{n_1 \times \pi}{30} \right)$$

Donde:

$P_T$ : el peso total del sistema vibratorio

$a_1$ : la amplitud con el calibre menor de grano de café

$n_1$ : la frecuencia correspondiente a diámetro menor de la partícula

$$Pot_1 = 75.102N \times 0.00526m \times \left( \frac{1068 \times \pi}{30} \right)$$

$$Pot_1 = 4.627 \text{ W}$$

Se determina de igual manera para la amplitud 5.85 mm y la frecuencia de 1084 rpm

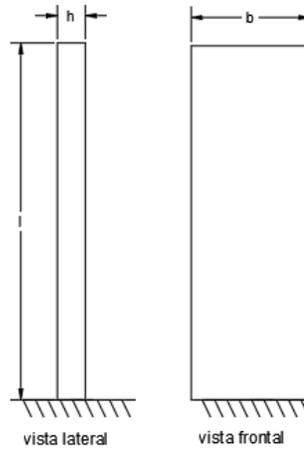
$$Pot_2 = 75.102N \times 0.00585m \times \left( \frac{1084 \times \pi}{30} \right)$$

$$Pot_2 = 5.223W$$

Obteniendo como resultado una variación mínima en la potencia del motor.

### 6.5.6 Cálculo de los muelles

Para la determinación de los muelles se asumió medidas de base, el largo, la altura y el espesor del material tal como se puede observar en la **Figura 18**, se consideró plancha de acero inoxidable ANSI 402 con una elasticidad de 200 GPa.



**Figura 18:** Vista lateral y frontal del muelle

Determinación de inercia.

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

Donde:

b: base del muelle

h: espesor del muelle

l: la longitud del muelle

$$I = \frac{0.015\text{m} \times (0.0007\text{m})^3}{12}$$

$$I = 4.288 \times 10^{-13} \text{ m}^4$$

- **Peso que actúa sobre los muelles**

Se considera en el diseño la colocación de cuatro muelles por lo que el peso que interactúa en cada uno de ellos será:

$$P_{\text{pormuelle}} = \frac{P_T}{4}$$

$$P_{\text{pormuelle}} = \frac{75.102 \text{ N}}{4}$$

$$P_{\text{pormuelle}} = 18.775 \text{ N}$$

- **Rigidez de la ballesta**

Para la rigidez de la ballesta se considera la elasticidad del muelle la inercia y la longitud de la misma según la ecuación siguiente

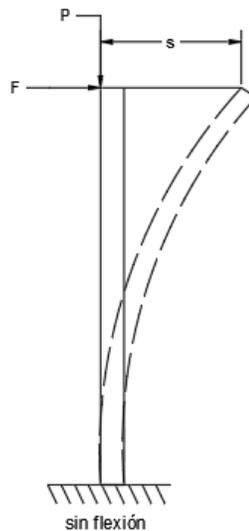
$$k = \frac{3 \times E_{\text{muelle}} \times I}{l^2}$$

$$k = \frac{3 \times 200\text{GPa} \times 4.2875 \times 10^{-13}}{(0.100\text{m})^2}$$

$$k = 25.725 \text{ N}$$

- **Fuerza sin flexión**

Para la fuerza sin flexión se considera algunos factores como el área de superficie del muelle, su elasticidad, la inercia y la longitud en la **Figura 19** se muestra las fuerzas que actúan en el muelle sin flexión.



**Figura 19:** Diagrama de fuerzas sin flexión

$$F_{\text{sinflex}} = \frac{(3 \times E_{\text{muelle}} \times I \times s)}{l^3}$$

Donde:

s: superficie del muelle

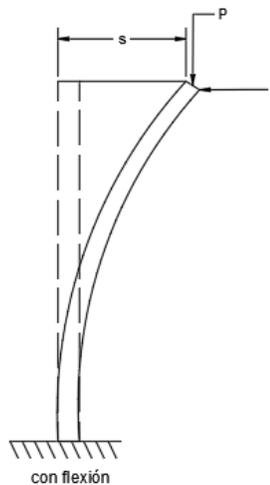
$F_{sinflex}$ : Fuerza sin flexión del muelle

$$F_{sinflex} = \frac{(3 \times 200\text{GPa} \times 4.288 \times 10^{-13}\text{m}^4 \times 0.00825\text{m})}{(0.100\text{m})^3}$$

$$F_{sinflex} = 2.122\text{N}$$

- **Fuerza con flexión**

Para las fuerzas que actúan en el muelle con flexión se considera el desplazamiento considerado como la amplitud que requiere para una frecuencia de experimental de 430rpm tal como se muestra en la **Figura 20**.



**Figura 20:** Diagrama de fuerzas con flexión

Se considera el peso que actúa en cada uno de ellos por lo tanto su fórmula es:

$$E \times I \times s = \frac{F \times l^3}{3} - \frac{P_{pormuelle} \times s \times l^2}{2}$$

Despejando la fuerza tenemos

$$F_{conflex} = \frac{3}{l^3} \times \left( E_{muelle} \times I \times S + \frac{P_{pormuelle} \times s \times l^2}{2} \right)$$

$$F_{\text{conflex}} = \frac{3}{(0.100\text{m})^3} \times \left( 200\text{GPa} \times 4.288 \times 10^{-13}\text{m}^4 \times 0.008\text{m} + \frac{(28.852\text{N} \times 0.008\text{m} \times (0.1\text{m})^2)}{2} \right)$$

$$F_{\text{conflex}} = 4.446\text{N}$$

- **Esfuerzo combinado**

Para el esfuerzo combinado multiplicamos la fuerza con flexión por el número de muelles a colocar más la fuerza sin flexión obtenida anteriormente.

$$F_{\text{reque}} = F_{\text{conflex}} \times 4 + F_{\text{sinflex}}$$

$$F_{\text{reque}} = 1.505\text{N} \times 4 + 3.152\text{N}$$

$$F_{\text{reque}} = 19.905\text{N}$$

### 6.5.7 Cálculo del mecanismo biela-manivela corredera.

Para el cálculo del volante de inercia se toma como consideración su forma geométrica en la **Figura 18**, se muestra las partes principales que conforman el mecanismo biela-manivela corredera.

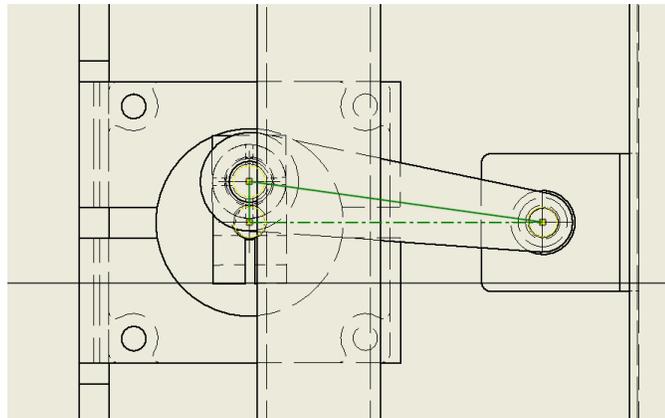


**Figura 21:** Esquema del mecanismo biela-manivela corredera.

**Fuente:** Internet

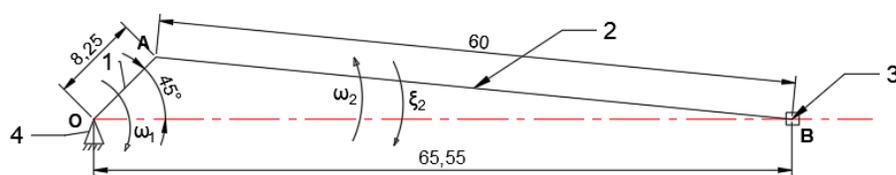
Se realiza un análisis del mecanismo biela-manivela corredera el cual genera momentos de inercia por lo que se efectúa un análisis cineto-estático del mecanismo estableciendo las distintas

variables previamente conocidas como son la frecuencia de trabajo de 420rpm, la excentricidad de la manivela de 1.86mm, la longitud de la biela de 60mm.



**Figura 22:** Disposición de los elementos de movimiento.

El la **Figura 23** se establece el diagrama esquemático del mecanismo biela manivela y la posición para realizar su respectivo análisis.



**Figura 23:** Diagrama esquemático

Donde

- $L_{OA} = 0.00825m$  longitud de la manivela
- $L_{A/B} = 0.060m$  longitud de la biela
- $\omega_1 = 43.98 \frac{rad}{s}$  velocidad angular en el elemento 1
- $\omega_2 =$  velocidad angular en el elemento 2 debe ser calculada
- $\xi_1 = 0$  aceleración angular del elemento 1 es igual a cero ya que la velocidad angular del elemento 1 es constante.

- $\xi_2$  = aceleración angular en el elemento 2 debe ser calculada
- $m_0 = 0.02kg$  volante de inercia
- $m_1 = 0.009kg$  pin de manibela
- $m_2 = 0.023kg$  manivela
- $m_3 = 0.006kg$  pin de sujeción de sarandas
- $m_4 = 0.001kg$  buje del pin de manibela

### 6.5.7.1 Cálculo de velocidades

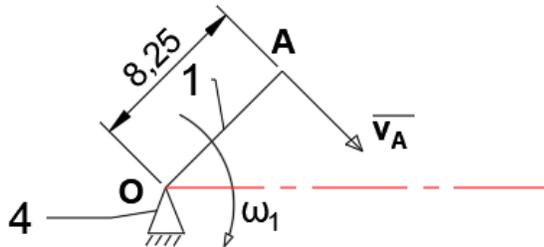
Se aplica la siguiente **ecuación 22** para obtener la velocidad en el punto A ( $\vec{v}_A$ )

$$v = \omega \times r \quad (22)$$

Donde

$v$ : velocidad lineal en m/s

$r$ : radio de curvatura en m



**Figura 24:** Grupo primario

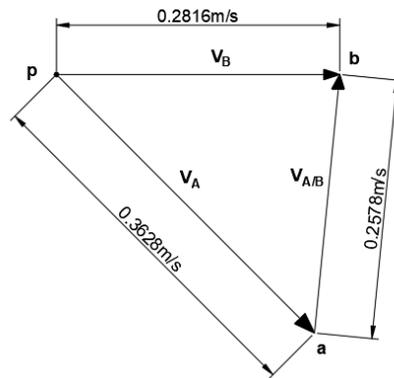
De la **Figura 24** del grupo primario que pertenece al marco rígido o bastidor determinamos

$$\vec{V}_A = \vec{V}_O + \vec{V}_{OA}$$

$$\vec{V}_A = \vec{V}_{OA} = L_{OA} \times \omega_1$$

$$\vec{V}_A = 0.00825m \times 43.98 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 0.3628 \text{ m/s}$$

Una vez conocida la velocidad  $\vec{V}_A$ , y con la ayuda del programa AutoCad se realiza un gráfico de los vectores de velocidad para obtener las incógnitas necesarias tal como se muestra en la **Figura 25**.



**Figura 25:** Diagrama de velocidades

En donde

$$\vec{V}_B = 0.2816 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\vec{V}_{A/B} = 0.2578 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

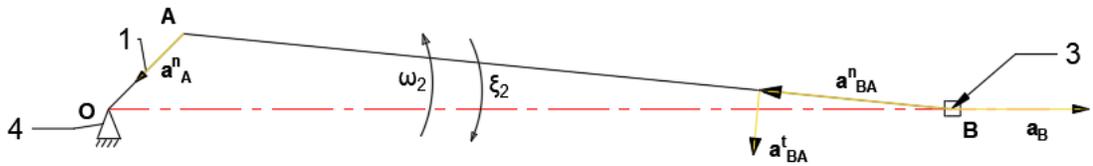
Calculamos la velocidad angular  $\omega_2$

$$\omega_2 = \frac{\vec{V}_{A/B}}{L_{A/B}} = \frac{0.2578 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.060 \text{ m}}$$

$$\omega_2 = 4.2967 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

### 6.5.7.2 Determinación de aceleraciones

Mediante un previo análisis gráfico de las aceleraciones que actúan en el mecanismo se establece las aceleraciones normales y tangenciales de los diferentes puntos tal como se observa en la **Figura 26**.



**Figura 26:** Disposición de las aceleraciones

Establecemos la siguiente ecuación de aceleraciones

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A^n + \vec{a}_A^t + \vec{a}_{B/A}^n + \vec{a}_{B/A}^t$$

En donde la aceleración tangencial de A es igual a cero

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A^n + \vec{a}_{B/A}^n + \vec{a}_{B/A}^t$$

Calculamos la aceleración normal en A en relación a la velocidad angular por la LOA

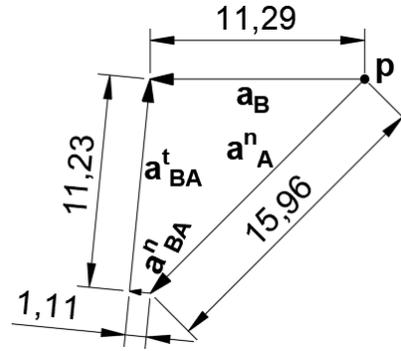
$$\vec{a}_A^n = (\omega_1)^2 \times L_{OA}$$

$$\vec{a}_A^n = \left(43.98 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 \times 0.00825\text{m} = 15.9574 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{a}_{B/A}^n = \frac{(V_B)^2}{L_{B/A}}$$

$$\vec{a}_{B/A}^n = \frac{\left(0.2578 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.06\text{m}} = 1.1077 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Una vez conocida las aceleraciones normales, y con la ayuda del programa AutoCad se realiza un gráfico de los vectores de aceleraciones para obtener las incógnitas necesarias tal como se muestra en la **Figura 27**.



**Figura 27:** Diagrama de aceleraciones

En donde

$$\vec{a}_{B/A}^t = 11.23 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{a}_B = 11.29 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\xi_2 = \frac{\vec{a}_B^t}{L_{B/A}}$$

$$\xi_2 = \frac{11.23 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.06 \text{ m}} = 187.167 \frac{1}{\text{s}^2}$$

Obtención de los pesos de cada uno de los elementos que conforman el mecanismo biela manivela.

$$G_1 = 0.029 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.28449 \text{ N}$$

$$G_2 = 0.023 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.2256 \text{ N}$$

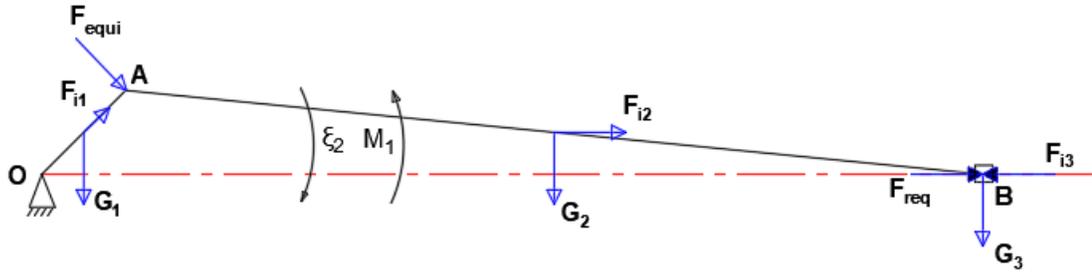
$$G_3 = 0.007 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.06867 \text{ N}$$

Cálculo de las aceleraciones de los centros de masa mediante el método gráfico donde el

$$k_{ace} = 0.15 \text{ m/s}^2/\text{mm}$$

$$a_G = a_A + a_{G/A}$$





**Figura 29:** Diagrama dinámica del mecanismo

En donde

- $F_{r.tol}$ : fuerza total a vencer por el mecanismo
- $M_1$ : momento de inercia del elemento 2.
- $F_{i1}$ : fuerza inercial de la manivela.
- $F_{i3}$ : fuerza inercial de la corredera.
- $G_1$ : peso del elemento 1.
- $G_2$ : peso del elemento 2.

Cálculo de las fuerzas de inercia.

$$F = m \times a$$

$$F_{i1} = -0.029\text{kg} \times 7.9837 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = -0.2315\text{N}$$

$$F_{i2} = -0.023\text{kg} \times 5.645 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = -0.1298\text{N}$$

$$F_{i3} = -0.007\text{kg} \times 5.615 = -0.0393\text{N}$$

Calculamos el momento de inercia del elemento dos con la siguiente ecuación

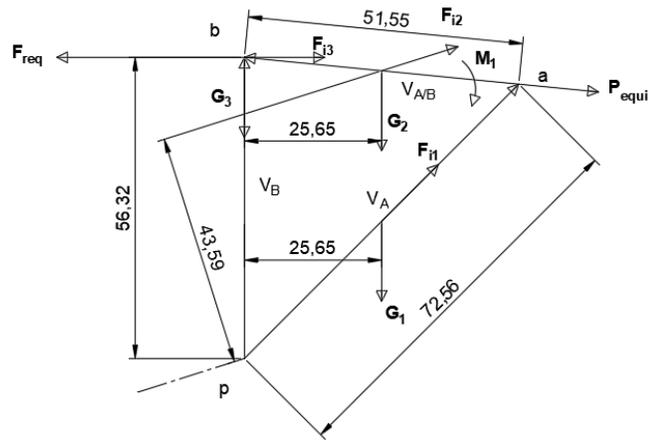
$$I_{1y} = \frac{m}{12} \times (L_{AB}^2 + a^2)$$

$$I_{1y} = \frac{0.03\text{kg}}{12} \times ((0.06\text{m})^2 + (0.011\text{m})^2) = 9.3025 \times 10^{-6}\text{kgm}^2$$

$$M_1 = I_1 \times \xi_2 = 9.3025 \times 10^{-6} \text{kgm}^2 \times 187.167 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$M_1 = 1.7411 \times 10^{-3} \text{Nm} = 1.7411 \text{Nmm}$$

Cálculo de la fuerza compensadora o equilibrante o también denominada fuerza activa, mediante el teorema de Zhukovski. Lo que implica girar 90° el diagrama de velocidades tal como se observa en la **Figura 30**, donde el  $k_{\text{vel}} = 0.005 \text{m/s/mm}$ .



**Figura 30:** Teorema de Zhukovski en el sistema biela-manivela-corredera.

Una vez aplicado el teorema de Zhukovski para los momentos que provocan todas las fuerzas (internas e internas) con respecto al polo, ubicado en el punto P considerando positivos los momentos que provocan el giro en sentido antihorario.

$$+\circlearrowleft \sum_{i=0}^n M_p = 0$$

$$F_{\text{equi}} = \frac{M_1 + G_1 \times 25.65 + G_2 \times 25.65 + F_{i2} \times 43.59 + F_{i3} \times 56.32 - F_{\text{req}} \times 53.32}{72.56}$$

Remplazando cada uno de los datos tenemos

$$F_{\text{equi}} = \frac{1.7411 \text{Nmm} + 0.28449 \text{N} \times 25.65 + 0.2256 \text{N} \times 25.65 + 0.1298 \text{N} \times 43.59 + 0.0393 \text{N} \times 56.32 - 19.905 \text{N} \times 56.32}{72.56}$$

$$F_{\text{equi}} = \frac{1.7411\text{Nmm} + 7.2972\text{Nmm} + 5.7866\text{Nmm} + 5.6599\text{Nmm} + 2.2134\text{Nmm} - 1121.0496}{72.56} = \frac{1098.3514\text{Nmm}}{72.56\text{mm}}$$

$$F_{\text{equi}} = 15.1371\text{N}$$

Una vez obtenido la fuerza equilibrante o compensadora que garantiza la puesta en marcha de todo el mecanismo, calculamos el momento compensador o equilibrante con la siguiente ecuación.

$$M_{\text{equi}} = F_{\text{equi}} \times L_{AB}$$

$$M_{\text{equi}} = 15.1371\text{N} \times 0.06\text{m}$$

$$M_{\text{equi}} = 0.9082\text{Nm}$$

Finalmente calculamos la potencia del motor requerido para el funcionamiento del mecanismo

$$\text{Pot}_{\text{eq}} = M_{\text{equi}} \times \omega_1$$

$$\text{Pot}_{\text{eq}} = 0.9082\text{Nm} \times 43.98 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 40\text{W}$$

### 6.5.8 Potencia de diseño

Se considera un factor de servicio de 1.1 para cribas rotativas y vibrantes de menos de 10 horas de servicio y un coeficiente de seguridad de 1.2.

Por lo tanto, la potencia de diseño será:

$$P_{\text{dis}} = P_{\text{motor}} \times n_f \times f_s$$

Donde:

$P_{\text{motor}}$ : potencia determinada del motor

$f_s$ : factor de servicio

$n_f$ : coeficiente de seguridad

$$P_{\text{dis}} = 40\text{W} \times 1.1 \times 1.2$$

$$P_{\text{dis}} = 52.8\text{W}$$

### Características del motor

**Tabla 11**

*Características del motor*

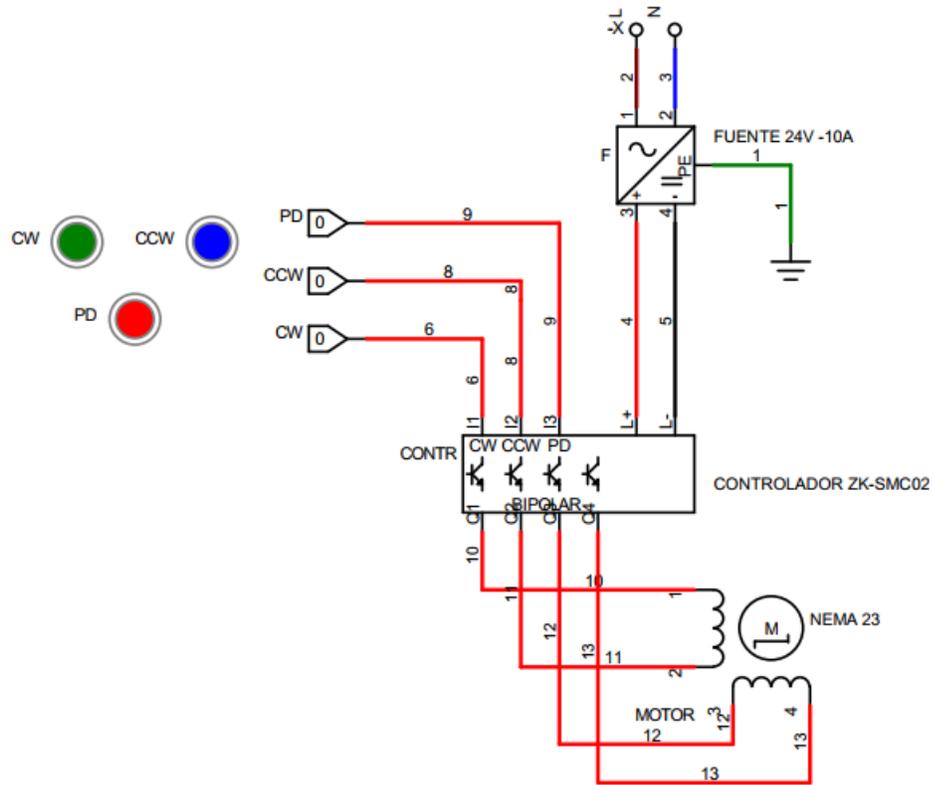
Material	Aleación de aluminio + acero
Intensidad	2.8 A
Torque	126 N.cm
Potencia	55.41W
Voltaje	24 Vcc
Frecuencia	60Hz
Velocidad (rpm)	1200

#### **6.5.9 Circuito de control y fuerza**

El prototipo cuenta con dos sistemas que son; el sistema de vibración y el sistema de vaciado de las muestras, cada uno cuenta con diferentes fuentes de alimentación y diferentes controles teniendo en común solo el interruptor de encendido.

##### **6.5.9.1 Circuito de control y fuerza del sistema de vibración**

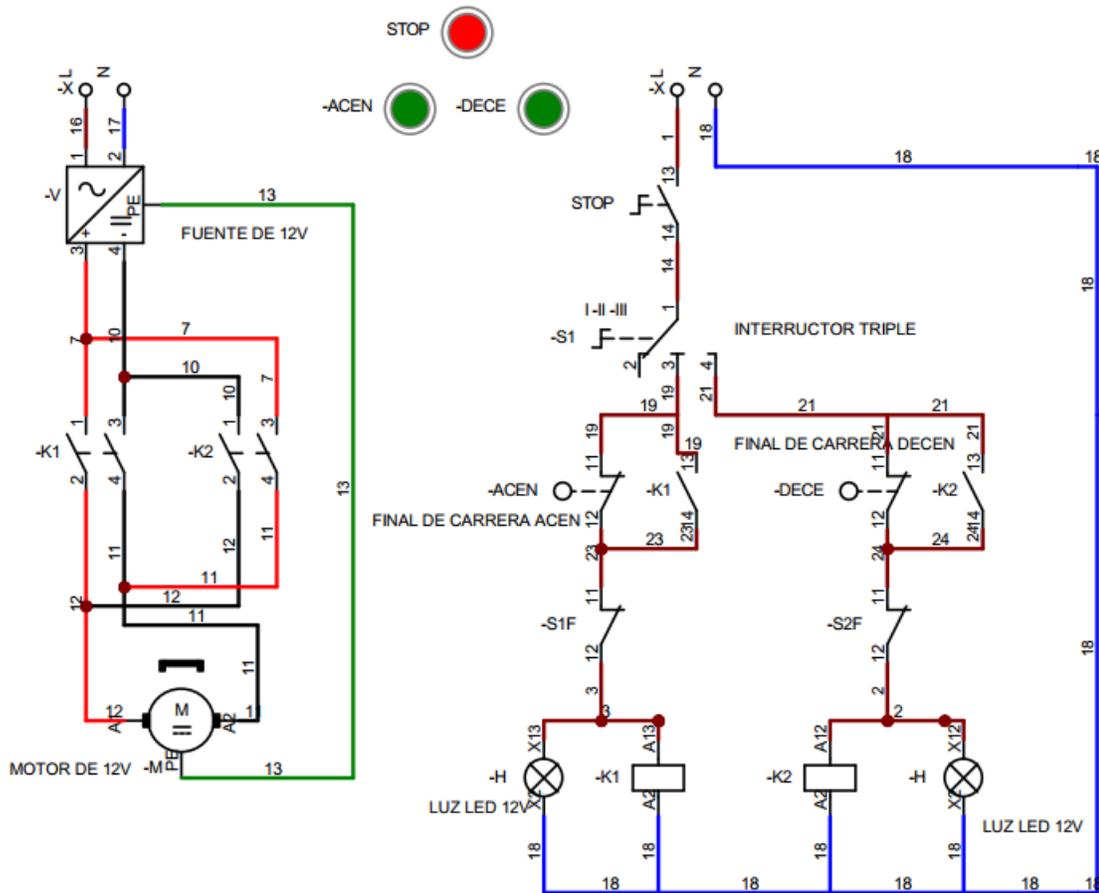
El circuito de fuerza y control se encuentra alimentado con una fuente de 24V a 10A, este alimenta a un motor a pasos NEME 23 el cual mediante un mecanismo de biela-manivela realiza la vibración, el motor a pasos puede ser controlado mediante un controlador ZK-SMC02 que permite variar la velocidad, el giro del motor y el tiempo de funcionamiento tal como se observa en la **Figura 31**.



**Figura 31:** Circuito de control y fuerza del sistema de vibración

### 6.5.9.2 Circuito de fuerza y control del sistema de vaciado

Para alimentar el circuito se utilizó una fuente de 12V a 2A, para controlar el sistema de elevación se realiza mediante un interruptor triple el mismo que nos permite la inversión de giro del motor de 12V, para controlar la elevación y el descenso se colocó dos finales de carrera con dos luces Leds que nos indican cuando el motor se encuentra en posición ascendente o descendente tal como se observa en la **Figura 32**.



**Figura 32:** Circuito de control y fuerza del sistema de vaciado

## 6.6 Construcción.

Dentro del siguiente apartado se muestran las imágenes donde se puede ver el proceso de fabricación y construcción de los distintos componentes, así como el ensamblaje de los diferentes sistemas del prototipo.



**Figura 33:** Corte de material para la base exterior como interior



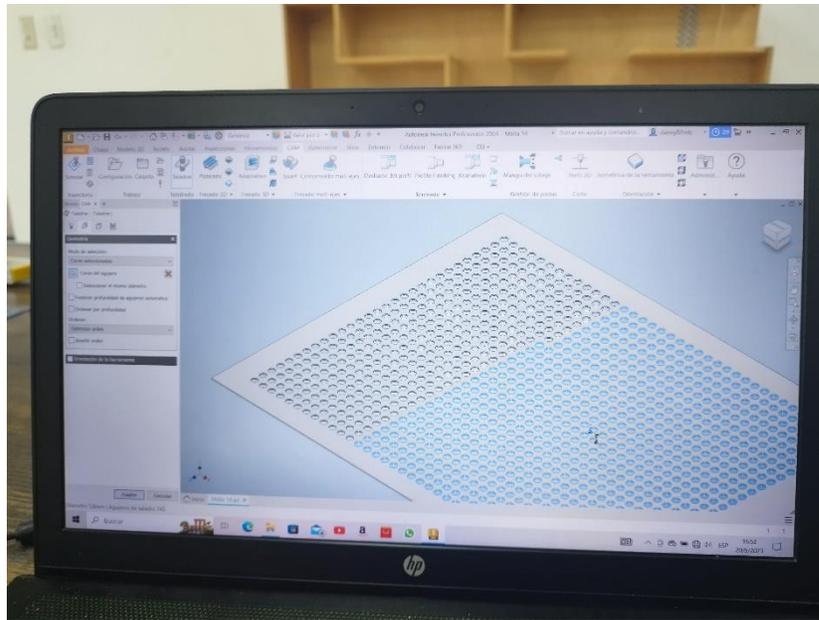
**Figura 34:** Base interior para mallas



**Figura 35:** Construcción de Base exterior



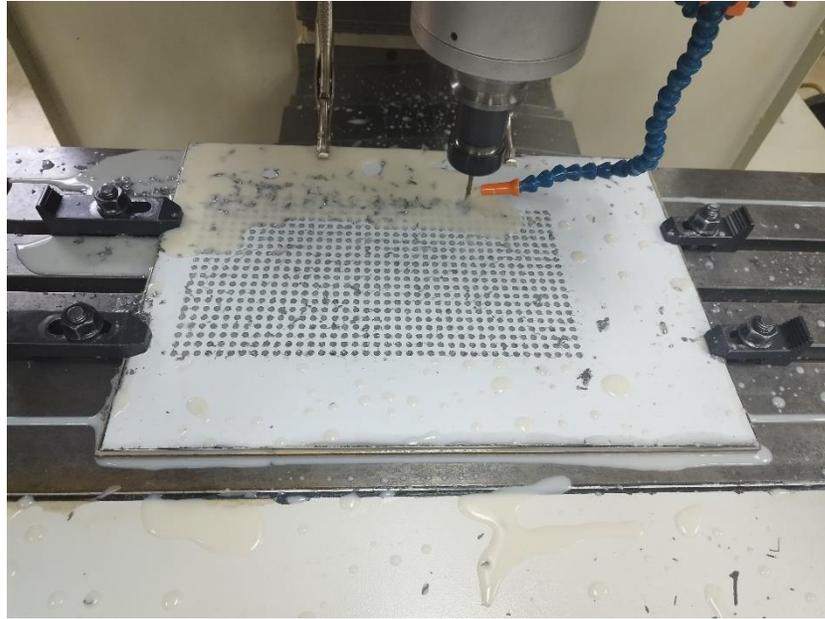
**Figura 36:** Trasado y corte para perforación de las mallas



**Figura 37:** Programación del código para perforaciones en fresadora CNC



**Figura 38:** Montaje de la plancha en la mesa de la CNC



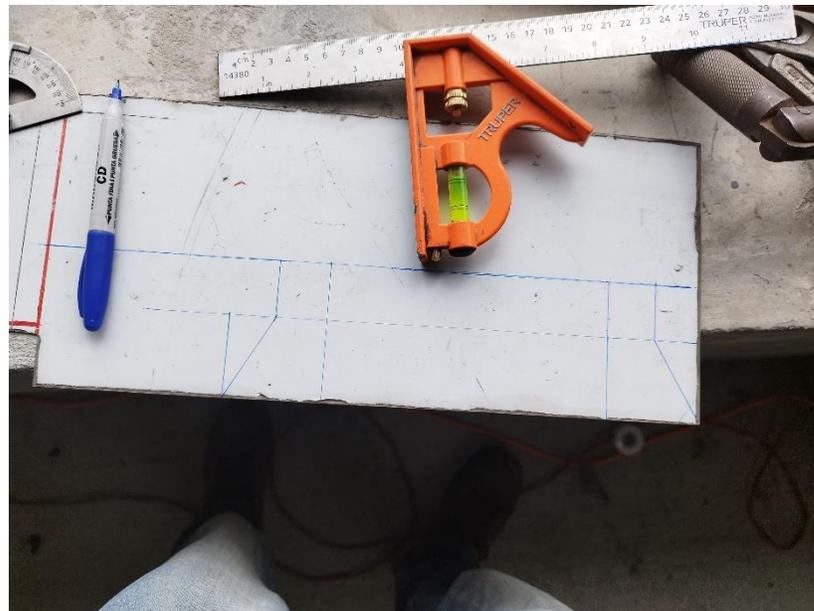
**Figura 39:** Taladrado de la Plancha



**Figura 40:** Trazado y corte de las zarandas



**Figura 41:** Doblado y soldado



**Figura 42:** Trazo y corte de tolva de entrada



**Figura 43:** Acople de la tolva en la tapa superior por soldadura



**Figura 44:** Corte y armado de tolva de salida



**Figura 45:** Soldado de los separadores en la tolva de salida

**Fuente:** Autor



**Figura 46:** Conjunto armado



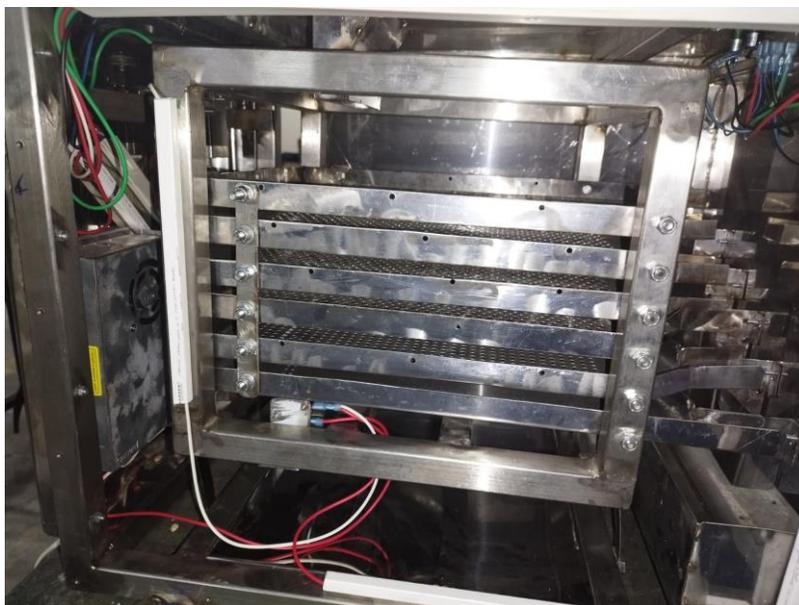
**Figura 47:** Sistema de vibración



**Figura 48:** Sistema de elevación



**Figura 49:** Armado de fuentes de alimentación y sistemas de control.



**Figura 50:** Montaje final del prototipo.

## 6.7 Validación y pruebas del prototipo

### 6.7.1 Pruebas del prototipo

La evaluación y pruebas del prototipo se realizó a través de un proceso experimental mediante el clasificado de muestras de grano de café de diferente tamaño, obtenidos de las zarandas 18, 17, 16, 15, 14 y ciega, vertiendo la muestra por la tolva de ingreso, luego se coloca el recipiente en la tolva de salida de los boquetes de cada una de las zarandas poniendo en marcha el sistema de clasificación, por último se eleva el sistema de clasificación para realizar el vaciado de las muestras hacia la bandeja de recolección donde se determina el peso y el porcentaje de granos de café de cada una de las zarandas.



**Figura 51:** Peso de la muestra de café (Vilcabamba)

Para llevar a cabo la clasificación se consideró 300 g de café, las muestras se clasifico en dos ocasiones garantizando así una mayor exactitud en los porcentajes de cada una de las zarandas del prototipo diseñado.

Dentro de la normativa técnica ecuatoriana INEN 290 se establece el tiempo promedio de clasificado que va de 3 a 5 minutos.

Una vez clasificada las muestras, se determina cada uno de los porcentajes de grano según su tamaño, siendo la malla #18 y # 17 grano de café grande, las mallas #16 y # 15 grano de café mediano, la malla # 14 grano de café pequeño y la malla ciega que engloba los granos de café muy pequeños, en la **Tabla 12** se muestra los resultados obtenidos en la clasificación.

**Tabla 12***Resultado de clasificación de muestras de café por tamaño de grano*

<b>Resultados de Clasificación mediante el prototipo</b>						
<b>Malla</b>	<b>Resultado prueba 1 (300g)</b>		<b>Resultado prueba 2 (300g)</b>		<b>Promedio Máquina (P1-P2)</b>	
	<b>Prueba 1(g)</b>	<b>%</b>	<b>Prueba 2(g)</b>	<b>%</b>		
18	66	22	65	22		66
17	99	33	98	33		99
16	93	31	91	30		92
15	25	8	31	10		28
14	9	3	6	2		8
Ciega	9	3	10	3		10
<b>Total</b>	301		301			

Mediante los porcentajes obtenidos de cada una de las pruebas, se observa que la mayoría de granos de café esta entre la clase grande y mediana, de las pruebas realizadas tenemos un alto porcentaje de granos de café grande que va de 33.89 a 33.99 % correspondientes a la malla # 17, mientras que el porcentaje de café mediano va de 31 a 30% correspondiente a la malla # 16, el porcentaje de granos de café grande correspondiente a la malla 18 va de 23.26 a 22.77%, mientras que el porcentaje de café pequeño es bajo.

En cada una de las muestras se puede considerar que el tamaño de café se encuentra en su mayoría con granos grandes y medianos que van de los 7.1mm a los 6.3mm de diámetro.

## 6.7.2 Validación de resultados

Para realizar una correcta validación de los resultados obtenidos mediante la clasificación de los granos con el prototipo, se debe utilizar métodos manuales de medición de los granos tal como se observa en la **figura 52**.



**Figura 52:** Medición manual de los granos

Una vez clasificado los granos de café se realiza una tabla con el peso correspondiente a cada una de las zarandas obteniendo como resultado la tabla 13.

**Tabla 13:**

Resultados de la clasificación manual.

<b>Resultados de Clasificación Manual</b>			
<b>Clasificación manual por medida</b>			
<b>Malla</b>	<b>Medida (mm)</b>	<b>Prueba manual (g)</b>	<b>%</b>
18	7,1	59	20
17	6,7	93	31
16	6,3	87	29
15	6	30	10
14	5,6	16	5
Ciega	Ciega	15	5
		300	100%

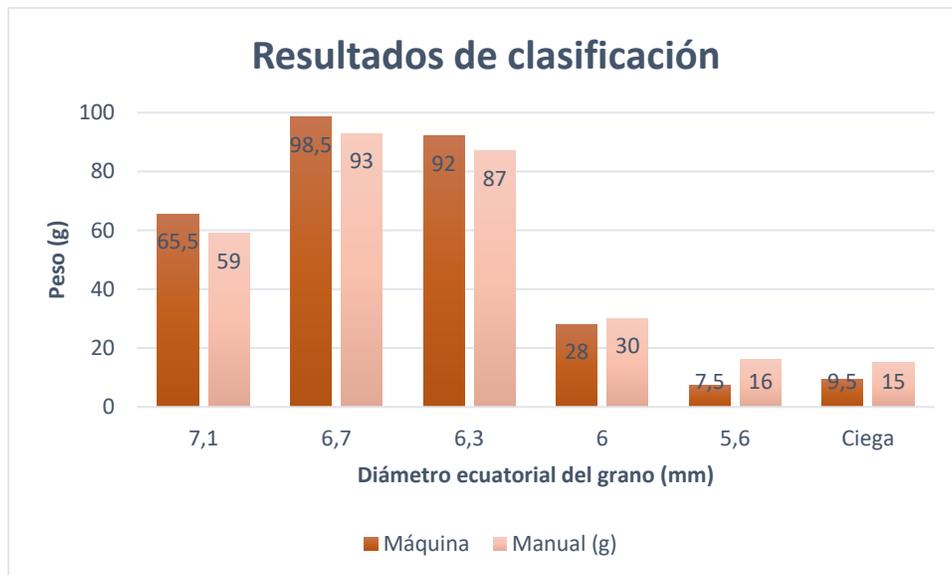
Con los resultados obtenidos en cada uno de los métodos de clasificación se realiza una validación del prototipo, tal como se puede observar en la **Tabla 14**.

**Tabla 14:**

Resultados de Validación del prototipo

Validación de Resultados				
Malla #	Medida (mm)	Promedio (P1_P2) (g)	Prueba manual (g)	Error absoluto (g)
18	7,1	65,5	59	6,5
17	6,7	98,5	93	5,5
16	6,3	92	87	5,0
15	6	28	30	2,0
14	5,6	7,5	16	8,5
Ciega	Ciega	9,5	15	5,5
		301	300	

Considerando los resultados del error absoluto de la **Tabla 14**, en la zaranda 18 y 14 existe una mayor diferencia con respecto al resto de ellas, en la gráfica de resultados de la **Figura 53**, se puede apreciar de mejor manera la diferencia que existe en cada una de las zarandas.



**Figura 53:** Gráfica de resultados de validación

La variación en los resultados puede estar dada por varios factores tales como; el método de perforación de las zarandas, el estancamiento de los granos en los orificios de las zarandas o la morfología del grano.

## 6.8 Análisis de costo

Dentro del análisis de costos se determina el costo total de fabricación del prototipo, tomando en cuenta el costo de material, costo de elementos eléctricos y costos de manufactura.

**Tabla 15**

*Costos de Fabricación*

<b>Materiales y componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. (USD)</b>
Plancha de acero inoxidable AISI 430 con acabado superficial N4 de 2.0mx1.2mx1mm	1	U	48.51
Tubo cuadrado de acero inoxidable 201 de 25mmx25mmx2mm	1	mm	35.00
Pernos de acero inoxidable AISI 304 M6x38 mm	12	U	3.60
Pernos de acero inoxidable AISI 304 M6x25 mm	12	U	2.40
Tuercas de seguridad M6	24	U	4.50
Arandelas planas ¼	48	U	4.80
Tornillo M4x12 mm	22	U	1.20
Tornillo M4x38 mm con tuerca	8	U	0.80
Remaches de aluminio 1/8	50	U	0.50
Motor Paso a paso Nema 23	1	U	45.00
Controlador de motores a pasos ZK-SMC02	1	U	55.00
Sensores de final de carrera	2	U	3.50
Interruptor de tres posiciones	1	U	1.50
Luz piloto	2	U	1.00
Terminales	15	U	3.00
Motor con caja de velocidades	1	U	25.00
Fuente de 24V 10 A	1	U	29.00
Fuente de 12V 1.5 A	1	U	5.00

<b>Materiales y componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. (USD)</b>
Electrodo AWS E308L	5	Lb	12.93
Disco de corte de 4 ½ in	6	U	9.00
Discos Flap	3	U	8.00
Manufactura entre otros			250.00
		<b>Costo Total</b>	<b>549.24</b>

## 7. Discusión

El objetivo del prototipo es clasificar muestras de granos de café según su tamaño, para el diseño del prototipo se tomó en consideración las especificaciones de las normas INEN 290 y 1515, donde establecen las dimensiones de las zarandas y el número de cribas según el diámetro del grano de café al igual que la cantidad de granos de café de una muestra en gramos. El dispositivo emplea un sistema de clasificación de seis niveles, cinco de los niveles son zarandas diseñadas mediante placas perforadas y una zaranda sin perforar, cada una de ellas se las puede extraer permitiendo ajustar la clasificación de manera independiente en cada nivel. El proceso de clasificación implica que el producto atraviese la zaranda, otorgando el tiempo necesario para que los granos sean clasificados de forma adecuada, asegurando así un correcto proceso de clasificación.

Se decidió utilizar un motor paso a paso NEMA 23 como mecanismo de biela manivela que permite generar vibración, específicamente un motor de corriente continua controlado por un módulo ZK-SMC02. Esta elección se hizo debido a su capacidad para mantener una onda vibracional controlada y la posibilidad de ajustar variables como, la frecuencia y el tiempo de zarandeo de las muestras de café. El diseño del mecanismo se ha concebido de manera que pueda adaptarse a las características específicas de la muestra que se está clasificando, permitiendo el control preciso de la inclinación de las zarandas, lo cual es crucial para garantizar la eficacia del proceso de clasificación. Además, mediante el módulo controlador, se puede determinar la frecuencia de trabajo de la máquina, la cual está diseñada para que pueda ser cambiada según sea necesario.

Para asegurar el dimensionamiento adecuado de las variables de vibración, se consultaron datos presentados en una gráfica logarítmica proporcionada por Blanco (2016), que relaciona el

diámetro de las partículas con la amplitud y la frecuencia. Estos datos sirvieron como base fundamental para llevar a cabo los cálculos necesarios para los diversos componentes y partes del prototipo.

Una vez completados los cálculos y el dimensionamiento de los elementos del prototipo, se procedió a diseñar detalladamente cada componente en el software CAD 3D, siguiendo las normativas de dibujo correspondientes. Esto permitió la creación de un conjunto completo de planos técnicos requeridos para la fabricación y el ensamblaje del prototipo.

Posteriormente, utilizando los planos se llevó a cabo la fabricación de cada elemento del prototipo. Se tuvo especial cuidado en aquellos elementos que requieren ajustes precisos en su elaboración, como las zarandas, y se seleccionó el mejor proceso de fabricación disponible para garantizar que estas tolerancias se mantuvieran dentro de los límites adecuados, asegurando así un ensamblaje correcto de dichos elementos.

Una vez terminado el prototipo se realizó varias pruebas de ensayo-error, utilizando como criterio las siguientes constantes: el tamaño de cada una de las zarandas, la dimensión del prototipo, la distribución de los agujeros y el peso del grano de café. También se determinaron los parámetros de operación del prototipo: inclinación para el vaciado de los granos, la amplitud requerida (8.23mm) la velocidad angular (420rpm) al igual que el material adecuado para la elaboración de los muelles.

Dentro del campo de la investigación existen proyectos de diseño y construcción de este tipo de máquinas, una de ellas es el proyecto “Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de café seco y trillado”.

Se puede decir que existen algunos proyectos vinculados a la clasificación del grano de café, estas pueden ser clasificadoras por densidad del grano de café, clasificadoras por tamaño de

grano de café. En cuanto a clasificadoras de muestras de laboratorio no se ha logrado evidenciar propuestas de diseño y menos aún un sistema electromecánico que realice este proceso, solamente existe clasificadores netamente manuales.

El prototipo cuenta con una capacidad máxima de 350g tal cual se determina en la normativa técnica ecuatoriana INEN 290, donde se especifica el tamaño de las mallas para la clasificación de muestras de grano de café según su tamaño, uno de los servicios que puede brindar el prototipo es determinar cuál es el tamaño de grano, una de las ventajas que tiene este tipo de máquinas es establecer cuál será la calidad del grano de café, esto ayuda a determinar la calidad del grano para el proceso de tostado.

Finalmente, se realizó varias pruebas de funcionamiento utilizando el prototipo y un clasificado manual utilizado como método de control de peso de cada una de las zarandas, donde cada uno de ellos se obtuvo similares porcentajes.

## 8. Conclusiones

Una vez culminado el prototipo de máquina clasificadora vibratoria para muestras de grano de café se puede concluir que:

- La identificación de los componentes de la máquina vibratoria de clasificación de café fue adecuada debido a una revisión bibliográfica en la que se analizó aspectos relevantes para el diseño, así como parámetros a través de cálculos matemáticos y metodologías dadas por investigaciones previas. El prototipo diseñado cuenta con un sistema de clasificación vibratoria, basado en un mecanismo generador de vibraciones (biela manivela), equipado con cinco niveles de zarandas para su clasificación, una tolva de ingreso para el producto y recolectores para cada una de las zarandas.
- El diseño y la selección del prototipo se lo realizó en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 290 y la Norma INEN 1515, datos que permitieron dimensionar el prototipo, con una capacidad mínima de muestreo de 300 gramos a 350 gramos, con cinco niveles de clasificación y zarandas intercambiables
- La construcción del prototipo fue posible debido a que se contó con materiales, componentes, herramientas y maquinaria necesaria para su ensamblaje y validación a través de una práctica de clasificación de muestras de granos de café. Con lo que se pudo obtener los porcentajes de grano de cada una de las mallas, ayudándonos a determinar en qué tamaño de grano se encuentra la producción; una construcción al nivel de ingeniería correctamente aplicada con sistemas organizados para que la clasificación sea eficaz. Y con un costo mínimo de construcción de 549.24 USD.

## 9. Recomendaciones

Para futuros estudios o investigaciones se recomienda lo siguiente:

- Acudir a sitios web o medios locales que permitan obtener información acerca de máquinas de clasificación.
- Evaluar distintos mecanismos de vibración para el accionamiento de la zaranda.
- Implementar un dispositivo para destrabar los granos de café de las zarandas para evitar el taponamiento de los orificios.
- Realizar varias pruebas de funcionamiento con diferentes velocidades para cada sistema de vibración

## 10. Bibliografía

- Ascuña, R. e. (2017). *Evaluación Metalúrgica y Balance de materia del circuito de chancado de la compañía minera Caraveli SAC*. Para optar el título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Peru.
- Beer, F. P., Johnston, R., & Cornwell, P. J. (2010). *MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS DINÁMICA*. MÉXICO: McGraw Hill.
- Blanco, E. A. (2016). Clasificación I, Principios generales, definiciones. En B. Emilio Andrea, *Bloque II - Capítulo 9. Clasificación, Cribado* (pág. 31). Cantabria.
- Budynas, R. G., & J.Keith, N. (2018). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Cervera, M., & Blanco, E. (2015). *Resistencia de Materiales*. Barcelona, España: CIMNE.
- Conquito, A. M. (Marzo de 2015). *Informe sobre los análisis químicos y físicos de una muestra representativa del café de la zona*. Obtenido de <https://www.conquito.org.ec/wp-content/uploads/2016/08/An%C3%A1lisis-qu%C3%ADmicos-y-f%C3%ADsicos-de-una-muestra-representativa-del-caf%C3%A9-de-la-zona..pdf>
- ECUADOR, R. O. (1987). *GRANOS Y CEREALES, CRIBAS METÁLICAS O ZARANDAS Y TAMICES. TAMAÑO NOMINAL DE LA ABERTURA*. QUITO: PROTECTED BY COPYRIGHT.
- ELECTRÓNICA, T. (s.f.). *THIDO electrónica*. Obtenido de <https://www.electronicathido.com/detallesProducto.php?id=Q21hUXpSOVp4QVljbUJJO G91UXNoUT09#>
- Ganadería, M. d. (s.f.). *Gobierno del Ecuador*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/6425-hectareas-de-cafe-son-renovadas-en-la-provincia-de->



- Rodriguez, J. d. (Enero de 2010). *Desarrollo de un sistema experimental de propulsion ondulante*.  
Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/figure/Esquema-de-mecanismo-de-conversion-tipo-yugo-escoces\\_fig15\\_277187509](https://www.researchgate.net/figure/Esquema-de-mecanismo-de-conversion-tipo-yugo-escoces_fig15_277187509)
- Rodríguez, J., Cerdá, L., & Sánchez, R. (2014). *Automatismos industriales*. Madrid, España: Paraninfo, SA.
- Rosales Aranda, G. R. (2022). Diseño y construccion de un prototipo de maquina clasificadora de cafe seco y trillado. *Trabajo de Titulación previo a optar por el titulo de Ingeniero Electromecánico*.
- STEPPERONLINE. (s.f.). *MOTORS&ELECTRONICS*. Obtenido de <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2013/08/Motor-paso-a-paso-23HS22-2804S.pdf>
- Unknown. (01 de 09 de 2014). *EL CAFÉ*. Obtenido de <http://cartooncoffe1.blogspot.com/2014/09/clasificadora-de-cafe-por-tamano-y.html>
- Vanegas U, V. L. (2018). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Pereira: UTP.
- Velilla Díaz, W., Montero Álvarez, D., Pérez Ariza, O., & Álvarez Barreto, R. (2010). Metodología de diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga. *Prospectiva*, 8(1), 55.

## 11. Anexos

### Anexo 1: Factor de servicio para motores

Trabajo característico de la máquina movida	Trabajo de la máquina motriz		
	<u>uniforme:</u> motores eléctricos, turbinas de gas, motores de combustión interna con acoplamiento hidráulico.	<u>choques leves :</u> motores eléctricos sometidos a frecuentes arranques, motores de combustión interna con seis o más cilindros.	<u>choques moderados:</u> motores de combustión interna con menos de seis cilindros con acoplamientos mecánicos..
<u>movimiento uniforme:</u> bombas y compresores centrífugos, impresoras, transportadores de banda uniformemente cargados, agitadores y mezcladores de líquidos, secadores rotatorios, ventiladores.	1,00	1,10	1,30
<u>choques moderados:</u> bombas y compresores con tres o más cilindros, mezcladoras de concreto, transportadores de banda no cargados uniformemente , agitadores y mezcladores de sólidos.	1,40	1,50	1,70
<u>choques fuertes:</u> excavadoras, molinos de bolas, máquinas para el procesado de gomas, prensas, cizallas, bombas y compresores con uno o dos cilindros.	1,80	1,90	2,10

**Fuente:** (MALUENGA R, s.f.)

## Anexo 2: Característica de los tamices de ensayo

**TABLA 2. Características de los tamices de ensayo. Medidas suplementarias**

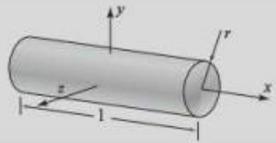
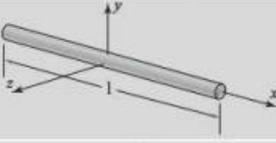
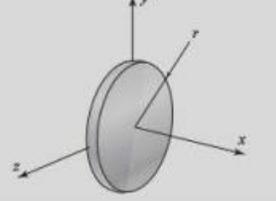
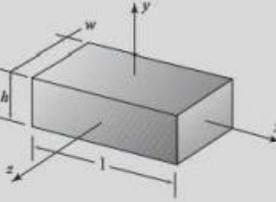
TAMAÑO NOMINAL mm	Variación permisible tamaño nominal mm	Tamaño Max. para más del 5% de tamaño mm	Tamaño Max. para tamaño Individual mm	Alambre o hilo	
				Ø Nominal	% Tolerancia
100	± 3,0	104,0	104,8	6,30	5
80	± 2,4	83,2	83,9	5,89	5
50	± 1,5	52,1	52,6	5,05	5
40	± 1,2	41,7	42,1	4,66	5
25	± 0,8	26,1	26,4	3,80	5
20	± 0,64	20,90	21,16	3,36	5
12,5	± 0,39	13,10	13,31	2,67	5
10,0	± 0,31	10,50	10,66	2,32	5
6,3	± 0,20	6,64	6,78	1,82	5

**TABLA 3. Características de las cribas metálicas. Tamaño nominal de las aberturas circulares  
Medidas preferenciales**

TAMAÑO NOMINAL mm	Variación permisible tamaño nominal mm	Distancia entre centros mm	Limites permisibles para la distancia entre centros mm	Espesor de la plancha mm	Limites permis. para el espesor de la plancha mm
125	± 1,0	160	144 a 184	3,4	2,5 a 4,0
106	± 0,9	135	122 a 155	3,4	2,5 a 4,0
90	± 0,8	111	100 a 128	2,7	2,5 a 4,0
75	± 0,7	95	86 a 109	2,7	2,5 a 4,0
63	± 0,6	80	72 a 92	2,7	2,5 a 4,0
53	± 0,6	68	61 a 78	2,7	2,5 a 4,0
45	± 0,5	57	51 a 65	1,9	1,5 a 2,5
37,5	± 0,4	48	43 a 55	1,9	1,5 a 2,5
31,5	± 0,4	41	37 a 47	1,9	1,5 a 2,5
26,5	± 0,4	35	31 a 40	1,9	1,5 a 2,5
22,4	± 0,3	29	26 a 33	1,9	1,5 a 2,5
19,0	± 0,3	25	22 a 29	1,9	1,5 a 2,5
16,0	± 0,27	21	19 a 24	1,9	1,5 a 2,5
13,2	± 0,25	18	16 a 20	1,9	1,0 a 2,0
11,2	± 0,23	15	13 a 17	1,9	1,0 a 2,0
9,5	± 0,20	13	11,3 a 14,9	1,9	1,0 a 2,0
8,0	± 0,19	11	9,5 a 12,6	1,9	1,0 a 2,0
6,7	± 0,17	9,9	8,3 a 11,4	1,5	0,8 a 1,5
5,8	± 0,15	8,7	7,2 a 10,0	1,5	0,8 a 1,5
4,75	± 0,14	6,8	5,8 a 7,8	1,5	0,8 a 1,5
4,00	± 0,13	5,9	5,0 a 6,8	1,5	0,8 a 1,5
3,35	± 0,12	4,9	4,2 a 5,7	1,5	0,8 a 1,5
2,80	± 0,11	4,4	3,7 a 5,1	1,5	0,8 a 1,5
2,36	± 0,10	3,8	3,2 a 4,4	1,5	0,8 a 1,5
2,00	± 0,09	3,3	2,8 a 3,8	1,5	0,8 a 1,5
1,70	± 0,08	2,9	2,5 a 3,3	0,8	0,4 a 0,8
1,40	± 0,08	2,6	2,2 a 3,0	0,8	0,4 a 0,8
1,18	± 0,07	2,2	1,9 a 2,5	0,8	0,4 a 0,8
1,00	± 0,07	2,0	1,7 a 2,3	0,8	0,4 a 0,8

Fuente: (ECUADOR, 1987)

### Anexo 3: Momentos de inercia

Nombre de la forma	Interpretación gráfica	Momento de inercia
Cilindro		$I_x = \frac{1}{2} [mr^2]$ $I_y = \frac{1}{12} [m(3r^2 + l^2)]$ $I_z = \frac{1}{12} [m(3r^2 + l^2)]$
Varilla delgada		$I_x = 0$ $I_y = \frac{1}{12} [ml^2]$ $I_z = \frac{1}{12} [ml^2]$
Disco delgado		$I_x = \frac{1}{2} [mr^2]$ $I_y = \frac{1}{4} [mr^2]$ $I_z = \frac{1}{4} [mr^2]$
Bloque rectangular		$I_x = \frac{1}{12} [m(w^2 + h^2)]$ $I_y = \frac{1}{12} [m(w^2 + l^2)]$ $I_z = \frac{1}{12} [m(h^2 + l^2)]$

Fuente: (Myszka, 2012)

**Anexo 4:** Características geométricas de secciones planas.

**A.7** Características geométricas de algunas secciones planas

	<p><b>Rectángulo</b></p> $A = bh$ $I_y = \frac{hb^3}{12} \quad I_z = \frac{bh^3}{12}$ $I_1 = \frac{bh^3}{3}$
	<p><b>Rectángulo delgado</b> <math>L \gg e</math></p> $A = \epsilon L = e_1 h \quad e_1 = \frac{\epsilon}{\cos \alpha}$ $I_z = \frac{\epsilon L^3}{12} \cos^2 \alpha = \frac{e_1 h^3}{12}$ $I_1 = \frac{\epsilon L^3}{3} \cos^2 \alpha = \frac{e_1 h^3}{3}$
	<p><b>Triángulo isósceles</b></p> $A = \frac{bh}{2}$ $I_y = \frac{hb^3}{48} \quad I_z = \frac{bh^3}{36}$ $I_1 = \frac{bh^3}{12}$
	<p><b>Triángulo rectángulo</b></p> $A = \frac{bh}{2} \quad y_G = \frac{h}{3} \quad z_G = \frac{b}{3}$ $I_y = \frac{hb^3}{36} \quad I_z = \frac{bh^3}{36}$ $I_1 = \frac{bh^3}{12}$

**Fuente:** (Cervera & Blanco, 2015)

**Anexo 5:** Dimensiones de tornillos de cabeza hexagonal común y pesada

Tamaño nominal, pulg	Radio mínimo de filete	Tipo de ornillo		Altura $H$
		Prisionero $W$	Pesado $W$	
$\frac{1}{4}$	0.015	$\frac{7}{16}$		$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	0.015	$\frac{1}{2}$		$\frac{13}{64}$
$\frac{3}{8}$	0.015	$\frac{9}{16}$		$\frac{15}{64}$
$\frac{7}{16}$	0.015	$\frac{5}{8}$		$\frac{9}{32}$
$\frac{1}{2}$	0.015	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	0.020	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$
$\frac{3}{4}$	0.020	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{15}{32}$
$\frac{7}{8}$	0.040	$1\frac{5}{16}$	$1\frac{7}{16}$	$\frac{35}{64}$
1	0.060	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	0.060	$1\frac{7}{8}$	2	$\frac{25}{32}$
$1\frac{3}{8}$	0.060	$2\frac{1}{16}$	$2\frac{3}{16}$	$\frac{27}{32}$
$1\frac{1}{2}$	0.060	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{8}$	$\frac{15}{16}$

Tamaño nominal, mm				
M5	0.2	8		3.65
M6	0.3	10		4.15
M8	0.4	13		5.50
M10	0.4	16		6.63
M12	0.6	18	21	7.76
M14	0.6	21	24	9.09
M16	0.6	24	27	10.32
M20	0.8	30	34	12.88
M24	0.8	36	41	15.44
M30	1.0	46	50	19.48
M36	1.0	55	60	23.38

**Fuente:** (Budynas & J.Keith, 2018)

## Anexo 6: Ficha técnica de motor con encoder 12V

### TT MOTOR (HK) INDUSTRIAL CO., LTD

## GM25-370CA

25mm gearbox plus 370 & 320 permanent magnet DC motor and TEC2419 brushless motor

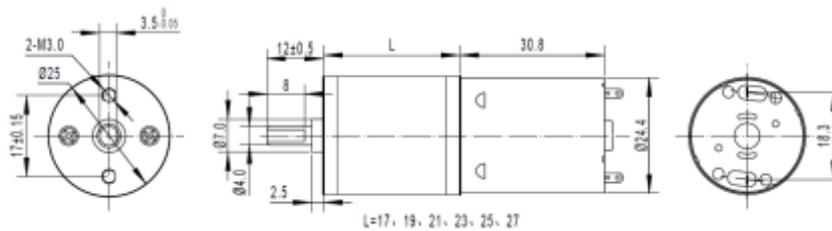
PMDC Dc Gear Motor



#### Characters:

1. Small size dc gear motor with low speed and big torque
2. 25mm gear motor provide 0.5Nm torque and more reliable
3. Suitable to small diameter, low noise and big torque application
4. Dc Gear motors can match encoder, 3ppr, 12ppr
5. Reduction Ratio: 4, 10, 21, 34, 45, 47, 78, 103, 130, 172, 227, 378, 499

#### Gear Motor Dimensions (mm)



#### Motor Technical Data

Type	Rated voltage	No-load speed	No-load current	Rated speed	Rated torque	Rated current	Output power	Stall torque	Stall current
	VDC	rpm	mA	rpm	g.cm	mA	W	g.cm	A
TRK-370CA-22170	6	5600	50	4800	24	300	1.18	186	2.1
TRK-370CA-15360	12	5600	25	4800	24	160	1.18	186	1.08
TRK-370CA-12960	12	3700	20	3000	20	90	0.62	125	0.46

#### Gear motor Technical Data

Gearbox with motor: GM25-370CA-22170-XXX

Reduction ratio	4	10	21	34	47	78	103	130	227	499
Length mm	17	19	19	21	21	23	23	25	25	27
No-load speed rpm	1280	510	245	150	110	68	50	42	24	11
Rated speed rpm	1000	480	230	137	102	62	47	37	21	10
Rated torque kg.cm	0.06	0.15	0.3	0.5	0.7	1.1	1.5	1.7	2.7	5
Max. momentary tolerance torque kg.cm	0.45	1.1	2.3	3.9	5.2	10	10	10	10	10

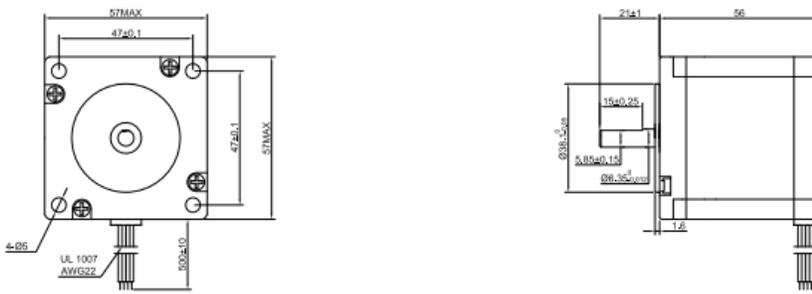
Gearbox with motor: GM25-370CA-15360-XXX

Reduction ratio	4	10	21	34	47	78	103	130	227	499
Length mm	17	19	19	21	21	23	23	25	25	27
No-load speed rpm	1280	510	245	150	110	68	50	42	24	11
Rated speed rpm	1000	480	230	137	102	62	47	37	21	10
Rated torque kg.cm	0.06	0.15	0.3	0.5	0.7	1.1	1.5	1.7	2.7	5
Max. momentary tolerance torque kg.cm	0.45	1.1	2.3	3.9	5.2	10	10	10	10	10

TT MOTOR (HK) INDUSTRIAL CO., LTD. Tel: 0755-82501271 Fax: 0755-82501105 [www.ttmotor.com](http://www.ttmotor.com) [ttmotor@ttmotor.com](mailto:ttmotor@ttmotor.com)

Fuente: (ELECTRÓNICA)

**Anexo 7: Ficha técnica de motor a pasos NEMA 23**



Technical drawings of a stepper motor showing front and side views with dimensions.

Front view dimensions: 57MAX, 47±0.1, 47±0.1, 57MAX, 4.85, UL 1007 AWG22, 8.00±0.10.

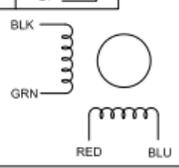
Side view dimensions: 21±1, 56, 15±0.25, 8.00±0.25, 5.85±0.15, 26.3±0.25, 1.2.

SPECIFICATION	CONNECTION	BIPOLAR
VOTAGE(VOC)		2.50
AMPS/PHASE		2.80
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C		0.90±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz		2.50±20%
HOLDING TORQUE(Nm)[lb-in]		1.26[11.15]
STEP ANGLE(°)		1.80
STEP ACCURACY(NON-ACCUM)		±5.00%
ROTOR INERTIA(g-cm²)		300.00
WEIGHT(Kg)[lb]		0.70[1.54]
TEMPERATURE RISE:MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL:FOR 2PHASE ENERGIZED )		
AMBIENT TEMPERATURE -10°C-50°C[14°F-122°F]		
INSULATION RESISTANCE 100 Mohm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY )		
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]		
DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN.(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE )		
AMBIENT HUMIDITY MAX.85%(NO CONDENSATION)		

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	A
2	A1 —	GRN	A1
3	B —	RED	B
4	B1 —	BLU	B1

FULL STEP 2 PHASE-Ex. WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A1	B1	
1	+	+	-	-	CCW
2	-	+	+	-	↓
3	-	-	+	+	↑
4	+	-	-	+	CW

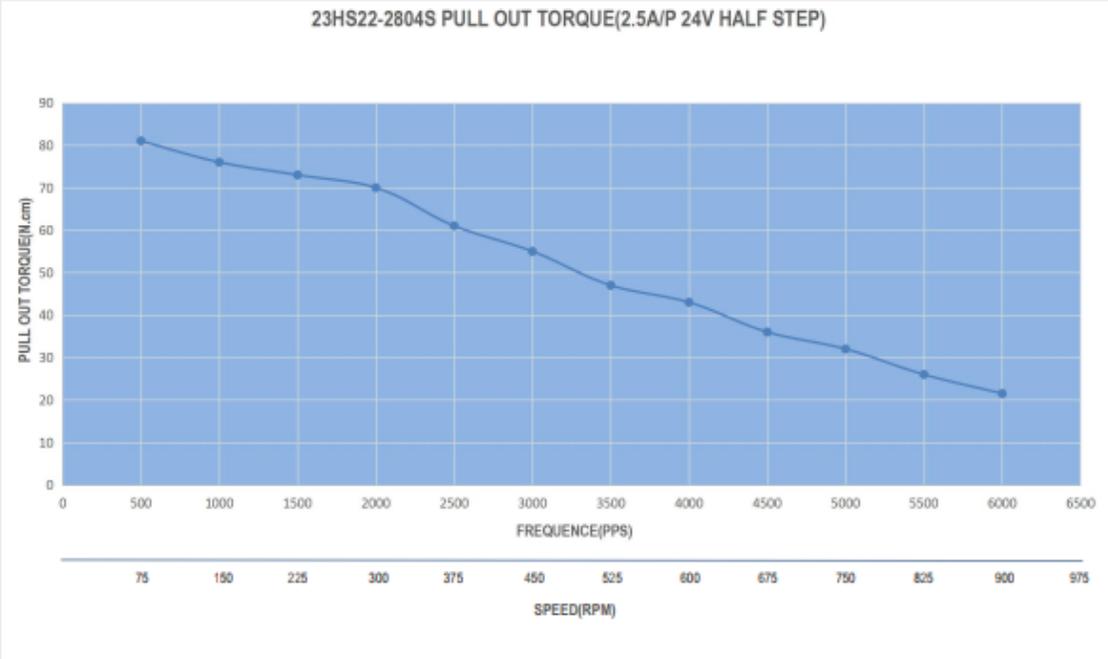


Winding diagram showing BLK, GRN, RED, and BLU leads connected to phases A, A1, B, and B1.

APVD				<b>STEPPER MOTOR</b>
CHKD				
DRN				
SCALE	1:1.5	SIGNATURE	DATE	<b>23HS22-2804S</b>

**Fuente: (STEPPERONLINE)**

**Anexo 8:** Curva de torque de motor a pasos NEMA 23



**Fuente:** (STEPPERONLINE)

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 07 de febrero de 2024

Lic. Nathaly Antonela Ramón Maldonado

**Licenciada en Pedagogía en el Idioma Inglés**

**C E R T I F I C O:**

En calidad de traductora del idioma inglés, a través de la Certificación de conocimiento de inglés, nivel B2, certifico que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen (Abstract) del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un prototipo clasificador de muestras de café por tamaño de grano”**; de la autoría de Daniel Alfredo Merino Burbano con CI: 1720409802, egresado de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales y No renovables de la Universidad Nacional de Loja.

En cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor Daniel Alfredo Merino Burbano, hacer uso del presente, según estime conveniente.

Atentamente:

NATHALY ANTONELA  
RAMON MALDONADO

Firmado digitalmente por  
NATHALY ANTONELA RAMON  
MALDONADO  
Fecha: 2025.02.07 16:32:10 -05'00'

**Anexo 10:** Resultados de pruebas con el prototipo



**Figura 54:** Resultado malla # 18



**Figura 55:** Resultado malla #17



**Figura 56:** Resultado malla #16



**Figura 57:** Resultado malla #15



**Figura 58:** Resultado malla #14



**Figura 59:** Resultado malla ciega

**Anexo 11:** Planos

[https://drive.google.com/drive/folders/1e60gsRr\\_DRehV6Nbho\\_FGgT-](https://drive.google.com/drive/folders/1e60gsRr_DRehV6Nbho_FGgT-)

[RYiaxJBI?usp=drive\\_link](#)