



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

1859

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos
Naturales no Renovables**

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Diseño y construcción de un dispositivo electromecánico de
extracción de café por el método AeroPress**

Trabajo de Integración Curricular, previo a la
obtención del título de Ingeniero
Electromecánico.

AUTOR:

Juan Fabricio Castillo Jadan

DIRECTOR:

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2025



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **SOLORZANO CASTILLO BYRON AGUSTIN**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTROMECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE CAFÉ POR EL MÉTODO AEROPRESS**, perteneciente al estudiante **JUAN FABRICIO CASTILLO JADAN**, con cédula de identidad N° **1150017232**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 15 de Agosto de 2024



Elaborado electrónicamente por:
**BYRON AGUSTIN
SOLORZANO CASTILLO**

F) _____

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**



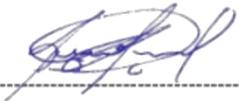
Certificado TIC/TT.: UNL-2024-002718



Universidad
Nacional
de Loja

Autoría

Yo, **Juan Fabricio Castillo Jadan**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Integración Curricular 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, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: _____ 

Cédula de identidad: 1150017232

Fecha: 08 de abril del 2025

Teléfono: 0986067564

Correo electrónico: juan.f.castillo@unl.edu.ec



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Carta de autorización por parte del autor para la consulta, producción parcial o total y publicación electrónica del texto completo del trabajo de integración curricular.

Yo **Juan Fabricio Castillo Jadan**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño y construcción de un dispositivo electromecánico de extracción de café por el método AeroPress**, como requisito para optar por 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 que realice un tercero.

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

Firma: _____

Autor: Juan Fabricio Castillo Jadan

Cédula de identidad: 1150017232

Dirección: Quinara - Palmira

Teléfono: 0986067564

Correo electrónico: juan.f.castillo@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS.

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo

Dedicatoria

A Dios, y a la Virgen del Cisne, por su guía constante y por bendecirme con una familia llena de amor y seres queridos que han enriquecido mi vida. A mis queridos padres, Carmen y Manuel, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido la columna de mi vida. A mi tía Lucrecia, cuyo apoyo y cariño han sido fundamentales en este trayecto. A mis hermanos, Rommel, Gabriela y Miriam, cuya compañía y palabras de aliento han sido un alivio en los momentos difíciles. A mis amigos, que han estado a mi lado en cada paso de este viaje. Sus consejos y apoyo han sido invaluable, y han compartido conmigo tanto las alegrías como los desafíos. Finalmente, a todos los que forman parte de la carrera de Ingeniería Electromecánica. Espero que este trabajo sea una contribución valiosa para nuestra comunidad académica y que la información contenida aquí sea de utilidad para futuras investigaciones.

Juan Fabricio Castillo Jadan

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a la Virgen del Cisne por el regalo invaluable de la vida. A mis padres por su amor incondicional y el esfuerzo incansable que han puesto para permitirme alcanzar esta meta académica. A mi familia y amigos que han sido pilares fundamentales en este camino, brindándome su apoyo constante, por lo que les estoy enormemente agradecido.

Al equipo de Docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica que han sido esencial en mi formación, compartiendo de manera generosa, responsable y clara sus conocimientos en las diversas asignaturas que conforman esta maravillosa carrera. Su dedicación y compromiso han dejado una huella imborrable en mi formación.

De manera especial, quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Marco Rojas Moncayo, quien con paciencia y sabiduría me brindó las guías y pautas necesarias para la presentación de esta investigación. Finalmente, mi más profundo agradecimiento al Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, director de este trabajo de titulación. Su guía experta en los aspectos técnicos y teóricos de la investigación ha sido invaluable. Su paciencia, conocimiento y dedicación han sido fundamentales para la realización de este trabajo. Gracias por guiarme en este camino de aprendizaje y crecimiento.

Juan Fabricio Castillo Jadan

Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice de Contenidos.....	vii
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Anexos.....	xvi
Simbología	xvii
1. Título	1
2. Resumen.....	2
3. Abstract.....	4
4. Introducción	6
5. Marco teórico	9
5.1. Capítulo I: Método AeroPress y sus parámetros.....	9
5.1.1. ¿Qué es AeroPress?.....	9
5.1.2. Geometría.....	9
5.1.3. ¿Cómo preparar café con AeroPress?	11
5.1.4. Temperatura	13
5.2. Capítulo II: Nociones de mecánica	14
5.2.1. Factor de diseño y factor de seguridad	14
5.2.2. Esfuerzo Cortante.....	15

5.2.3. Esfuerzo de contacto o de aplastamiento	16
5.2.4. Método de la doble integración.....	16
5.2.5. Rodamientos	18
5.2.5.1. Rodamientos axiales de bolas.	19
5.2.5.2. Rodamientos lineales de bolas.	19
5.3. Capítulo III: Mecánica de tornillos de potencia.....	20
5.3.1. Husillo Tuerca-Tornillo	21
5.3.2. Husillo de bolas.....	22
5.3.3. Elevadores de husillo	22
5.3.4. Tipos de roscas estándar para tornillos de potencia.....	23
5.4. Capítulo VI: Motor eléctrico.....	30
5.4.1. Motor de corriente directa DC	30
5.4.1.1. Motor paso a paso.	32
5.4.1.2. ¿Cómo funciona el motor paso a paso?	33
5.4.1.3. Control del motor paso a paso.	34
5.5. Capítulo V: Control del dispositivo	34
5.5.1. Arduino Mega 2560	34
5.5.2. TB6600 5A 42V Driver para motor paso a paso	35
6. Metodología	37
6.1. Área de trabajo.....	37
6.2. Equipos y materiales	37
6.2.1. Equipos y materiales de oficina	37
6.2.2. Equipos para la construcción mecánica y de control	38
6.2.3. Software	38
6.3. Procedimiento	38

6.3.1. Desarrollo del primer objetivo:	38
6.3.2. Desarrollo del segundo objetivo:	38
6.3.3. Desarrollo de tercer objetivo:.....	39
7. Resultados.....	41
7.1. Procesamiento y análisis de datos del objetivo 1	41
7.1.1. Proceso de extracción de café por AeroPress	41
7.1.2. Parámetros de extracción por AeroPress	41
7.1.2.1. Tamaño de molienda.....	41
7.1.2.2. Temperatura del agua.....	43
7.1.2.3. Tiempo de vaciado.....	43
7.1.2.4. Ratio del café.	43
7.1.2.5. Perfil de Tueste.	44
7.2. Procesamiento y análisis de datos del objetivo 2.....	47
7.2.1. Fuerza para diseño del dispositivo	47
7.2.2. Descripción de la Propuesta.....	48
7.2.3. Factor de seguridad	49
7.2.4. Dimensionamiento del diámetro medio del tornillo	50
7.2.5. Cálculo del torque necesario para presionar la carga.....	52
7.2.6. Verificación del esfuerzo equivalente.....	53
7.2.7. Verificación de estabilidad del tornillo.....	54
7.2.8. Dimensionamiento del motor.....	57
7.2.9. Selección del motor.....	58
7.2.10. Selección de Planchas para estructura del dispositivo.....	60
7.2.11. Cálculo de plancha para soporte de módulos AeroPress	62
7.2.12. Cálculo de plancha para soporte superior de apoyo del tornillo	69

7.2.13. Cálculo de la corredera o tuerca móvil	75
7.2.14. Selección de rodamientos	76
7.2.15. Selección de rodamientos lineales	79
7.2.16. Desarrollo del código en Arduino para el control del dispositivo	86
7.2.17. Sistema de control.....	87
7.3. Procesamiento y análisis de datos del objetivo 3.....	88
7.3.1. Construcción	88
7.3.2. Pruebas de funcionamiento y validación	94
7.3.3. Presupuesto de materiales	95
8. Discusión	98
9. Conclusiones	100
10. Recomendaciones	102
11. Bibliografía	103
12. Anexos	106

Índice de Tablas

Tabla 1. Ficha técnica AeroPress A80.	10
Tabla 2. Temperatura del agua.	14
Tabla 3. Parámetros de las pruebas a realizar.	45
Tabla 4. Nuevos parámetros para prueba en fuerza de extracción.	47
Tabla 5. Resultados de pruebas de extracción.	48
Tabla 6. Características del dispositivo.	49
Tabla 7. Datos del tornillo.	56
Tabla 8. Especificaciones eléctricas de NEMA 23HS22-2804S1.	60
Tabla 9. Características del rodamiento BA 6.	77
Tabla 10. Resultados pruebas de extracción.	95
Tabla 11. Costos asociados al dispositivo de extracción por AeroPress.	95

Índice de Figuras

Figura 1. Partes de AeroPress.	10
Figura 2. Colocación del filtro.	11
Figura 3. Añadido y nivelación de café.	12
Figura 4. Añadido de agua y reposo.	12
Figura 5. Presión del embolo.	13
Figura 6. Sección sometida a esfuerzo cortante.	15
Figura 7. Deformación por esfuerzo de contacto.	16
Figura 8. Viga deformada.	17
Figura 9. Tornillo de potencia.	21
Figura 10. Tuerca-tornillo.	21
Figura 11. Husillo de bolas.	22
Figura 12. Elevadores de husillo.	23
Figura 13. Rosca Cuadrada.	24
Figura 14. Rosca ACME.	24
Figura 15. Rosca Diente de Sierra.	24
Figura 16. Tornillo de potencia.	25
Figura 17. Diagrama de fuerza al subir la carga.	26
Figura 18. Diagrama de fuerza al bajar la carga.	26
Figura 19. Fuerza normal de la rosca aumenta debido al ángulo α	29
Figura 20. Collarín de empuje.	29
Figura 21. Motor DC.	30
Figura 22. Estator.	31
Figura 23. Rotor.	31
Figura 24. Arduino Mega 2560.	35

Figura 25. Driver TB6600.	36
Figura 26. Taller Mecánico UNL.	37
Figura 27. Diagrama de Flujo.....	40
Figura 28. Extracción Por AeroPress.....	41
Figura 29. Granulometría del café.	42
Figura 30. Resultados de ensayos a 20 s y 128 N.....	46
Figura 31. Resultados de ensayos a 40 s y 88 N.....	46
Figura 32. Resultados de ensayos a 60 s y 59 N.....	47
Figura 33. Propuesta detallada del extractor.	49
Figura 34. Curva de par NEMA 23HS22-2804S1.....	59
Figura 35. Motor NEMA 23HS22-2804S1.....	60
Figura 36. Dimensiones de placa para soporte de esfuerzos.	61
Figura 37. DCL Plancha de soporte para módulos AeroPress.....	61
Figura 38. DCL Plancha de soporte para tornillo de potencia.....	62
Figura 39. Tramo 1	63
Figura 40. Tramo 2.	64
Figura 41. Análisis de la viga.	67
Figura 42. Diagrama de Cortantes.	67
Figura 43. Diagrama de momentos.....	67
Figura 44. Elongación producida en la viga.	67
Figura 45. Resultados para elongación en soporte de módulos AeroPress.	68
Figura 46. Esfuerzos de Von Mises	69
Figura 47. Tramo 1.	70
Figura 48. Análisis de la viga.	73
Figura 49. Diagrama de cortantes.....	73

Figura 50. Diagrama de momentos.....	73
Figura 51. Elongación producida en la viga.	73
Figura 52. Resultados para elongación del soporte superior del tornillo.....	74
Figura 53. Esfuerzos de Von Mises.	75
Figura 54. Esfuerzo de Von Mises en la corredera.	76
Figura 55. Resultados para la elongación en la corredera.	76
Figura 56. Diagrama de la corredera.	79
Figura 57. Tramo 1.	80
Figura 58. Tramo 2.	80
Figura 59. Tramo 3.	81
Figura 60. Fuerzas en la corredera.	84
Figura 61. Ubicación y dimensiones del rodamiento lineal.....	85
Figura 62. Diagrama eléctrico del sistema de control del dispositivo.	87
Figura 63. Placa del controlador TB6600.....	88
Figura 64. Configuración switches TB6600.....	88
Figura 65. Cilindrado hasta el diámetro del rodamiento para el tornillo de potencia.....	89
Figura 66. Mecanizado de piezas en fresadora CNC.....	89
Figura 67. Ensamble de la estructura del dispositivo.	89
Figura 68. Instalación de finales de carrera superior e inferior.	90
Figura 69. Fijación de la tarjeta Arduino en la tapa frontal interna.	90
Figura 70. Instalación de soporte y motor con acople al tornillo de potencia.	91
Figura 71. Instalación del cableado para el sistema de control.	91
Figura 72. Instalación del controlador TB6600.	92
Figura 73. Instalación de la fuente de alimentación DC 24 V 5 A.	92
Figura 74. Fuente de alimentación 5 V 2 A para Arduino.....	92

Figura 75. Instalación de la tapa trasera del dispositivo.....	93
Figura 76. Etiquetado del tablero de control.....	93
Figura 77. Dispositivo Completo.....	93

Índice de Anexos

Anexo 1. Dimensiones de las roscas de tornillo trapezoidal métrico ISO.....	106
Anexo 2. Presión de apoyo del tornillo pb.	106
Anexo 3. Coeficientes de fricción f de pares roscados.....	106
Anexo 4. Características del factor de seguridad A, B, C.	107
Anexo 5. Características del factor de seguridad C, D.	107
Anexo 6. Propiedades mecánicas de PA 6.....	108
Anexo 7. Momentos de inercia.	109
Anexo 8. Planos de motor NEMA 23.....	110
Anexo 9. Constantes de condiciones finales de columnas.	110
Anexo 10. Propiedades mecánicas acero inoxidable 403.....	111
Anexo 11. Propiedades mecánicas del acero inoxidable.	112
Anexo 12. Catalogo rodamientos axiales de bola simple efecto.	112
Anexo 13. Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas.	113
Anexo 14. Tabla para selección de viscosidad nominal v1.....	114
Anexo 15. Diagrama de la temperatura de viscosidad de la ISO	115
Anexo 16. Ficha técnica NEVASTANE XHS	116
Anexo 17. Tabla rodamientos lineales NTN con brida	117
Anexo 18. Código Arduino para control del dispositivo.....	117
Anexo 19. Pruebas de fuerza.	118
Anexo 20. Análisis de recorrido del AeroPress.....	119
Anexo 21. Pruebas de funcionamiento.	120
Anexo 22. Planos de dispositivo de extracción por AeroPress	121
Anexo 23. Certificación de traducción del resumen.....	122

Simbología

n_d = Factor de diseño.

σ = Esfuerzo permisible.

n_s = Factor de seguridad.

τ = Esfuerzo cortante medio.

V = Carga.

A = Sección perpendicular a la carga.

P_b = Fuerza o carga aplicada.

σ_b = Esfuerzo permisible de aplastamiento.

σ_{max} = Esfuerzo máximo.

A_b = Proyección del área de contacto.

M = Momento.

F = Fuerza.

I = Inercia de la viga.

E = Módulo de elasticidad.

y = Deflexión de la viga.

N = Fuerza normal.

T_R = Par de torsión para elevar la carga.

T_L = Par de torsión para bajar la carga.

d_e = Diámetro exterior.

d_m = Diámetro medio.

d_r = Diámetro de raíz.

d = Diámetro.

p = Paso del tornillo.

f = Coeficiente de fricción tornillo tuerca.

l = Avance del tornillo.

F_d = Fuerza de diseño.

F_a = Fuerza de axial.

F_m = Carga dinámica equivalente.

H = Altura de rosca.

σ_{eq} = Esfuerzo equivalente.

I_{xy} = Esfuerzo cortante.

S_y = Límite de fluencia.

σ_y = Esfuerzo axial nominal.

P_{cr} = Carga crítica del tornillo.

C_{req} = Carga o capacidad dinámica requerida

v = Velocidad de avance.

ω = Velocidad angular.

Pot = Potencia del motor.

1. Título

Diseño y construcción de un dispositivo electromecánico de extracción de café por el método AeroPress.

2. Resumen

El presente trabajo comprende el diseño, construcción y validación de un dispositivo electromecánico de extracción de café por el método AeroPress, este método consiste en la extracción manual de café por medio de un émbolo que presiona una mezcla de agua y café soluble a través de un filtro, del tiempo de extracción dependerá el aroma y sabor de la bebida, el dispositivo permite controlar el tiempo de vaciado para mejorar la precisión del proceso realizado manualmente.

Se identifica el proceso de extracción de café por AeroPress, funcionamiento, geometría, partes, tipos de AeroPress en el mercado y se define las variables y parámetros que intervienen en la extracción. Se realizó pruebas con la finalidad de determinar la fuerza necesaria para la extracción de café, que es la base del diseño; Posteriormente se analizó y se propuso un sistema con tornillo de potencia que permita presionar dos módulos simultáneamente. Mediante cálculos se garantizó que no se presente fallos en el mecanismo del tornillo ni la estructura. Se diseñó la estructura mediante software SolidWorks. Se dimensiona rodamientos lineales y axiales de bolas de acuerdo a las cargas presentes, para accionar el mecanismo; Se selecciona un motor paso a paso que permita un control preciso con su respectivo controlador y fuente de alimentación. Se establece el sistema de control mediante un potenciómetro, pulsadores y finales de carrera. Se configura el código de control en una tarjeta de desarrollo compatible con Arduino, posteriormente se ensambla los componentes mecánicos y electrónicos.

Finalmente, para validar su funcionamiento, se realizaron pruebas con parámetros críticos establecidos. Se llevaron a cabo pruebas de extracción para diferentes tiempos, cada tiempo fue de 20, 40 y 60 segundos respectivamente. Los resultados obtenidos fueron muy precisos en relación al tiempo de vaciado esperado. De esta manera, se comprobó el correcto funcionamiento del dispositivo.

***Palabras clave:** AeroPress, diseño, construcción, extractor, café, tornillo de potencia, tiempo de extracción, potencia, capacidad de procesamiento.*

3. Abstract

The present work includes the design, construction and validation of an electromechanical coffee extraction device using the AeroPress. This method involves the manual extraction of coffee by means of a plunger that presses a mixture of water and ground coffee through a filter. The extraction time determines the aroma and flavor of the beverage. The device allows for precise control of the drainage time, thereby improving the accuracy of the otherwise manual process.

Operation, geometry, parts and kinds of AeroPress coffee extraction on the market, the variables and parameters involved in the process are identified. Tests were carried out to determine the required force of extraction, which is the starting point for design; Subsequently, a system with a stainless-steel power screw and brass nut that allows the pressure of both modules was analyzed and proposed. Through calculations, it was guaranteed that no failures would occur in the screw mechanism or the structure. The structure was designed using SolidWorks software, linear and axial ball bearings are sized according to the present loads, to drive the mechanism, a systematic motor that allows precise control of the mechanism is selected, with its respective controller and power supply. The system is established using a potentiometer, pushbuttons and limit switches, the controlling code is designed in a development card compatible with Arduino, and then the mechanical and electronic components are assembled.

Finally, to validate its operation, we performed tests with established critical parameters. Extraction tests ran for different time sets, 20, 40 and 60 seconds respectively. The results were very precise in relation to the expected draining time. In this way, the correct operation of the device was confirmed.

Keywords: *AeroPress, design, construction, extractor, coffee, power screw, time, temperature.*

4. Introducción

En el presente trabajo de titulación se desarrolla el diseño y construcción de un dispositivo electromecánico con fines de mejorar la precisión del proceso existente que aún es manual, se pretende lograr una extracción controlada de café por medio del método AeroPress.

AeroPress es un método de extracción de café el cual requiere de café molido para su extracción, las características se reflejan en su aroma y sabor intenso pero delicado y limpio, es un café con buena acidez y dulzura, finalmente el sabor dependerá de cómo se lo prepare por ello cuenta con guías para obtener sabores predeterminados (Cultura Cafeína, 2023)

Durante la preparación de café por el método AeroPress existen limitaciones respecto al número de bebidas que se prepara en un determinado tiempo que oscila entre los 20 y 60 segundos por bebida, esto debido al procedimiento del mismo el cual es manual y requiere de cierto esfuerzo físico por parte del barista o encargado de la preparación cuando se requiere atender varios pedidos. Actualmente el proceso que se asemeja a la extracción por AeroPress es una máquina de expreso, de acuerdo con (Cafés Mama Same, 2023) en la extracción se hace pasar agua caliente a través de café molido compactado a alta presión, se extraen los compuestos solubles del café incluida la cafeína, el barista deberá controlar variables que influyen en el aroma y sabor de la bebida, estas variables son temperatura, presión del agua, tamaño y distribución de los granos de café y el tiempo que el agua está en contacto con el café.

El proyecto pretende implementar un mecanismo que reemplace la intervención manual durante el vaciado de AeroPress, facilitando así el proceso de extracción especialmente en entornos de alta demanda como cafeterías y restaurantes por lo que se han planteado los siguientes objetivos:

El objetivo general que ha guiado la presente investigación es el de: “Diseñar y construir un dispositivo electromecánico para extracción de café por método AeroPress con capacidad de dos módulos.”

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Analizar el proceso de extracción de café por el método AeroPress para definir los parámetros de operación del sistema a diseñar.
- Proponer y diseñar un sistema electromecánico para la extracción de café por el método AeroPress.
- Implementar el mecanismo y validar su funcionamiento.

El presente trabajo está dividido en secciones, la primera sección comprende marco teórico dividido en cinco capítulos, el primer capítulo guarda relación con el método AeroPress, instrucciones de uso, geometría, descripción y parámetros; el segundo capítulo abarca nociones de diseño mecánico como factor de seguridad, esfuerzo de aplastamiento, esfuerzo cortante y método de la doble integración; el tercer capítulo comprende mecánica de tornillos de potencia, tipos de roscas, husillo tuerca – tornillo, husillo de bolas, elevadores de husillo, tipos de rosca para tornillos de potencia, y fórmulas de cálculos relacionados a tornillos de potencia; en el cuarto capítulo se trata sobre motores eléctricos, tipos de motores DC, motores paso a paso, funcionamiento y control de motores paso a paso; el quinto capítulo comprende control del dispositivo, tarjeta de desarrollo Arduino y controlador TB6600 5 A para motor paso a paso.

En la sección de metodología se aborda el área de trabajo para realizar ensayos, construcción y pruebas de funcionamiento, además se incluye los materiales y equipos empleados, finalmente se describe el procedimiento a llevar a cabo para cumplir con los objetivos propuestos.

En la sección resultados se ubican ensayos realizados, elementos obtenidos a partir del cálculo, selección de componentes y validación de funcionamiento, finalmente se lleva a cabo la discusión del diseño del dispositivo con sus respectivas conclusiones y recomendaciones que permitan un impulso a futuras investigaciones relacionadas con el trabajo de titulación.

5. Marco teórico

5.1. Capítulo I: Método AeroPress y sus parámetros

5.1.1. ¿Qué es AeroPress?

AeroPress, una técnica de preparación manual de café desarrollada en 2005, ha mantenido su popularidad debido a su preparación rápida y eficaz de una taza de café bien preparada. Inicialmente, fue una innovación excepcional en la industria del café, pero ahora es ampliamente aceptada como una práctica estándar entre los baristas. Inspirado entonces en la prensa francesa y las cafeteras de filtro dio vida al AeroPress, un pequeño dispositivo compuesto por dos tubos, que prepara rápidamente un café con un gran cuerpo, empujando agua a través de un disco de papel. En tiempo récord, utiliza la presión del aire para preparar una infusión con más aceites y menos sedimentos. Los expertos dicen que el resultado es un pocillo tan fuerte como el de un típico expreso, menos ácida que un café de filtro, pero con todos los sabores de cada grano. Mucho tiene que ver la temperatura del agua, otro gran descubrimiento de Adler, ya que el AeroPress no requiere que el agua esté tan caliente como en otros métodos. De hecho, muchos baristas aseguran que a menor temperatura se obtienen mejores sabores y aromas que en métodos tradicionales (Lemcovich, 2020).

5.1.2. Geometría

El AeroPress es un dispositivo de extracción de café que se caracteriza por la particularidad de su proceso de extracción, a continuación, de acuerdo con (El Mundo del Café, 2023), se presenta una descripción detallada de su geometría específicamente el AeroPress A80, véase su geometría y sus partes en la **Figura 1**.

- I. Cilindro Principal:** El AeroPress A80 consta de un cilindro principal donde se mezcla el café molido con agua. Este cilindro tiene una capacidad de 0,298 litros, lo que es suficiente para preparar una taza de café.

- II. **Émbolo:** Dentro del cilindro principal se introduce un émbolo. Este émbolo tiene un anillo de goma en el extremo, que, al ser presionado, crea la presión necesaria para desplazar el agua y el aire a través del café molido y el filtro.
- III. **Tapa del Filtro:** En el extremo del cilindro principal se enrosca una tapa que sostiene el filtro de papel.
- IV. **Dimensiones y Peso:** El AeroPress A80 tiene unas dimensiones de 12,7 x 12,7 x 29,21 cm y un peso aproximado de 249 gramos. Esto lo hace ligero y compacto, ideal para llevarlo de viaje o usarlo en espacios pequeños.
- V. **Material:** Está fabricado en plástico termoestable de alta calidad, resistente al calor.



Figura 1. Partes de AeroPress.

Fuente:(El Mundo del Café, 2023) .

La ficha técnica se muestra a continuación en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Ficha técnica AeroPress A80.

Ficha Técnica	
Nombre	A80
Marca	Aerobie
Tipo	Cafetera AeroPress
Material de fabricación	Plástico

Modo de operación	Manual
Capacidad	0,298 litros
Dimensiones	12.7 x 12.7 x 29.21 cm
Peso	249 gramos

Fuente:(El Mundo del Café, 2023).

5.1.3. *¿Cómo preparar café con AeroPress?*

Para la preparación de un café por el método AeroPress existen diferentes maneras de hacerlo y varia en tipo de café, cantidad, molienda del café, tiempo de reposo, tiempo de vaciado, etc. De acuerdo con (AeroPress, s.f.) se presenta los pasos para preparar café por el método descrito.

I. Prepara la AeroPress: Añadir el filtro a la tapa, girar la tapa sobre la cámara y colocar la cámara en una taza o jarra resistente **Figura 2.**



Figura 2. Colocación del filtro.

Fuente: (AeroPress, s.f.).

II. Añadir café y nivelar: Añadir un cucharón redondeado de café (18g), molido medio fino a la cámara y agitar para nivelar **Figura 3**.

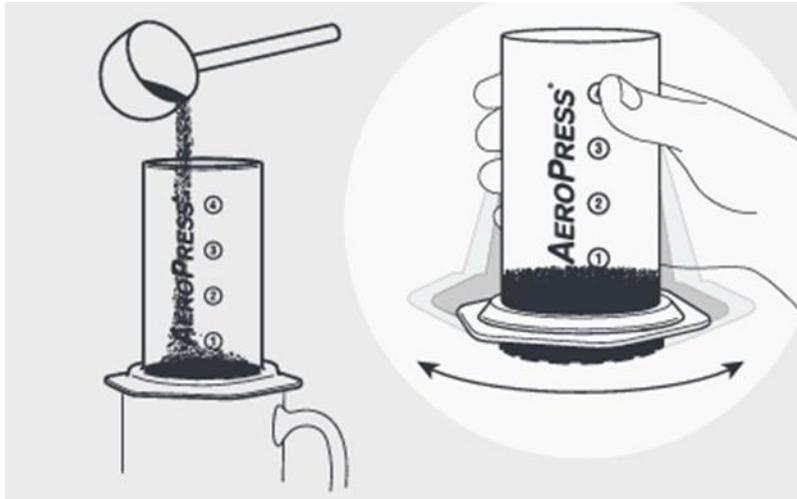


Figura 3. Añadido y nivelación de café.

Fuente: (AeroPress, s.f.).

III. Añadir agua, revolver y esperar: Añadir agua a la cámara, revolver de atrás hacia adelante, luego dejar reposar durante 1-2 minutos **Figura 4**.

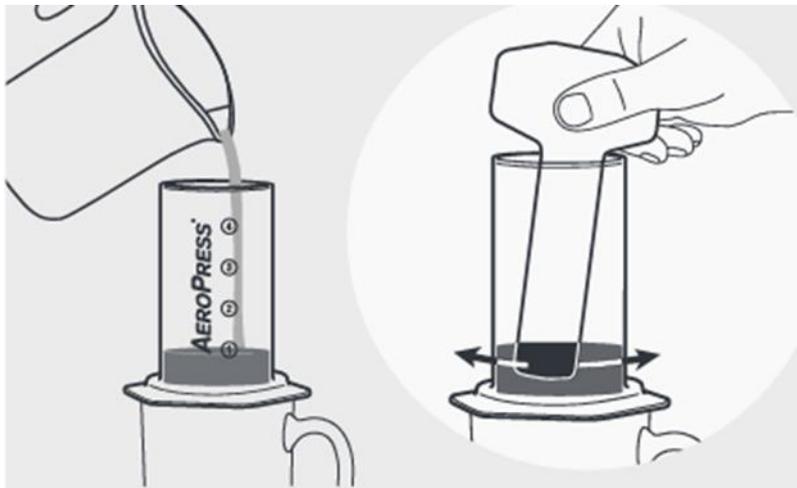


Figura 4. Añadido de agua y reposo.

Fuente: (AeroPress, s.f.).

IV. Presionar suavemente: Insertar el émbolo y presionar suavemente, haciendo una pausa cuando se sienta resistencia, hasta que el émbolo alcance los pozos de café **Figura 5**.



Figura 5. Presión del émbolo.

Fuente: (AeroPress, s.f.).

V. Limpieza: Retirar la tapa del filtro, empujar el émbolo para expulsar el café usado y enjuagar la junta con agua caliente.

5.1.4. Temperatura

Se suele pensar que un buen café se prepara en agua muy caliente, pero usar agua demasiado caliente en realidad puede producir sabores amargos y desagradables. Dicho esto, preparar café con agua que no esté lo suficientemente caliente puede provocar un café amargo o sin sabor. La extracción en frío para la preparación en frío es una excepción a esta regla porque un tiempo de agitación prolongado y un molido más fino compensan la temperatura más baja del agua, por lo que se recomienda agua a 175 °F (80 °C) para café caliente y agua a temperatura ambiente para café frío (AeroPress, s.f.).

El nivel de tueste del café debería determinar la temperatura del agua con la que se prepara el café (AeroPress, s.f.).

A continuación, se presenta la relación del nivel de tueste y la temperatura, véase en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Temperatura del agua.

Nivel de Tueste	Temperatura
Claro (Light)	195-212 °F (90-100 °C)
Medio (Medium)	185-200 °F (85-93 °C)
Oscuro (Dark)	175-190 °F (79-88 °C)

Fuente: (AeroPress, s.f.).

5.2. Capítulo II: Nociones de mecánica

5.2.1. Factor de diseño y factor de seguridad

Según (Budynas & Keith, 2015, pág. 16) existen métodos matemáticos para enfrentar las incertidumbres. Las técnicas básicas son los métodos determinísticos y estocásticos. El método determinístico establece un factor de diseño basado en las incertidumbres absolutas de un parámetro de pérdida de función y un parámetro máximo permisible. En ciertos casos el parámetro puede ser la carga, el esfuerzo, la deflexión, etc. Por lo tanto, el factor de diseño n_d se define como.

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}} \quad (1)$$

Si el parámetro es la carga, entonces la carga máxima permisible puede encontrarse con

$$\text{Carga máxima permisible} = \frac{\text{carga de pérdida de función}}{n_d} \quad (2)$$

La ecuación fundamental es la **ecuación (1)**, donde n_d se conoce como factor de diseño. Deben analizarse todos los modos de pérdida de función, y el modo que conduzca al factor de diseño más pequeño será el modo gobernante. Después de terminar el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de modificaciones como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal o el uso de componentes recién lanzados con clasificaciones más altas en lugar de emplear lo que se había calculado usando el factor de diseño. En este

caso, el factor se conoce como factor de seguridad, n , que tiene la misma definición que el factor de diseño, pero por lo general difiere en su valor numérico

Como el esfuerzo puede no variar en forma lineal, el uso de la carga como el parámetro de pérdida de función puede no ser aceptable. Entonces, es más común expresar el factor de diseño en términos del esfuerzo y una resistencia relevante. Así, la **ecuación (1)** puede reescribirse como

$$n_d = \frac{S}{\sigma \text{ (o } \tau)} \quad (3)$$

Donde n_d es el factor de seguridad, S es la resistencia de pérdida de la función y σ (o τ) es el esfuerzo permisible.

Según el método de Pugsley, el factor de seguridad " n_s " se obtiene en función de la puntuación que se le asigna a cada característica. Con estas puntuaciones se obtienen n_{xx} y n_{yy} , su producto nos da el factor buscado, **ecuación (4)**.

$$n_s = n_{xx} * n_{yy} \quad (4)$$

5.2.2. Esfuerzo Cortante

Según (Pytel & Singer, 1994, pág. 13) el esfuerzo cortante a diferencia del axial, es producido por fuerzas que actúan paralelamente al plano que las resiste, estos esfuerzos cortantes aparecen siempre que la fuerza aplicada obligue a que la sección del sólido se tienda a deslizar sobre la sección adyacente, véase un caso a continuación en la **Figura 6**.

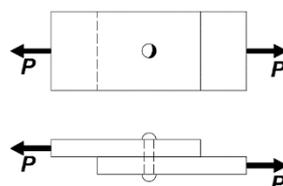


Figura 6. Sección sometida a esfuerzo cortante.

Fuente: (Pytel & Singer, 1994).

La distribución del esfuerzo cortante en una sección no es uniforme prácticamente en ningún caso, por ello la **ecuación (5)** debe interpretarse como un esfuerzo cortante medio.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (5)$$

Donde τ es el esfuerzo cortante medio, V es la carga y A es la sección perpendicular a la carga.

5.2.3. Esfuerzo de contacto o de aplastamiento

Según (Pytel & Singer, 1994, pág. 16) el esfuerzo de contacto es el que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos, dicho contacto puede llegar a la fluencia en el material de la placa del remache o de ambos, véase en la **Figura 7**, debido a una distribución variable de esfuerzos se supone que el esfuerzo de contacto se distribuye uniformemente sobre una área más pequeña que es la proyección de la superficie de contacto sobre un plano diametral de orificio.

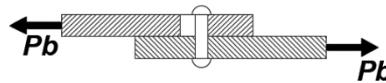


Figura 7. Deformación por esfuerzo de contacto.

Fuente: (Pytel & Singer, 1994).

Con ello, la carga total se expresa como:

$$P_b = A_b \sigma_b = (td) \sigma_b$$

Donde σ_b es el esfuerzo de aplastamiento, A_b es proyección del área de contacto y P_b es la fuerza o carga aplicada.

5.2.4. Método de la doble integración

Según (Pytel & Singer, 1994, pág. 171) la vista lateral de la superficie neutra de una viga se llama elástica de la viga, véase de manera exagerada en la **Figura 8**, a continuación, se deduce la ecuación que describe dicha curva y como calcular el desplazamiento vertical y den un punto función de x .

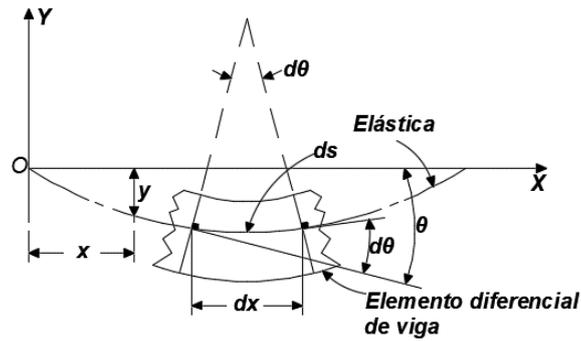


Figura 8. Viga deformada.

Fuente: (Pytel & Singer, 1994).

Si se toma el extremo izquierdo como origen del eje x y el eje y positivo hacia arriba, se supone que las deformaciones son tan pequeñas imposibles de apreciar a simple vista, por lo tanto, la curva elástica es llana y su pendiente también, el valor de la pendiente $\tan \theta = dy/dx$, puede hacerse sin error apreciable, igual a θ , por consiguiente.

$$\theta = \frac{dy}{dx} \quad (6)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (7)$$

Considerando la variación de θ en una longitud diferencial ds , producida por la flexión de la viga, es evidente que

$$ds = \rho d\theta \quad (8)$$

ρ es el radio de curvatura en la longitud de arco ds . Como la curvatura elástica es casi recta, ds es prácticamente igual a dx . Estas condiciones, de la **ecuación (7)** y **(8)** se obtiene

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \approx \frac{d\theta}{dx} \text{ o bien, } \frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (9)$$

Al deducir la fórmula de la flexión, se obtiene la relación

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (10)$$

donde M es el momento, I es la inercia de la viga y E es el módulo de elasticidad, por lo tanto, al igualar los valores de $1/\rho$ de la **ecuación (9)** y **(10)** resulta

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (11)$$

Esta es la ecuación diferencial elástica de la viga, la ecuación se despeja y se reescribe como

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (12)$$

Integrado la **ecuación (11)**, suponiendo EI constante, resulta

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \int M dx + C_1 \quad (13)$$

que es la ecuación de la pendiente, y que permite determinar el valor de la misma en cualquier punto, al integrar nuevamente se obtiene la ecuación elástica de la viga que permite calcular el valor de la ordenada y en cualquier valor de x .

$$EIy = \iint M dx dx + C_1x + C_2 \quad (14)$$

5.2.5. Rodamientos

Según (Koyo LATIN AMERICA, 2010). El rodamiento es el mecanismo central en la mayoría de los equipos industriales y automotrices. Una falla prematura de su funcionamiento, aparte del daño de la maquinaria donde está instalado, puede ocasionar grandes pérdidas de producción y hasta serios accidentes industriales. Normalmente los rodamientos se ven afectados por condiciones de: lubricación, contaminación, desalineación, desbalance, ajustes y otras variables mecánicas relacionadas al montaje y desmontaje (para el caso de los rodamientos que reciben mantenimiento periódico).

5.2.5.1. Rodamientos axiales de bolas. Los rodamientos de bolas de apoyo axial de una sola dirección están formados por anillos de rodamiento parecidos a arandelas con ranuras para las pistas de rodadura. El anillo colocado en el eje se denomina arandela de eje (o anillo interior) mientras que el que se coloca en el soporte se denomina arandela del soporte (o anillo exterior) (Koyo LATIN AMERICA, 2010).

La carga mínima en rodamientos axiales de bolar se expresa por la **ecuación (15)**

$$F_{am} = A \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \quad (15)$$

Donde A es el factor de carga mínima, F_{am} es la carga axial mínima [kN] y n es la velocidad de giro [r.p.m]

La carga equivalente del rodamiento se expresa por la **ecuación (16)**

$$P = F_a \quad (16)$$

Donde P es la carga dinámica equivalente del rodamiento [kN] y F_a la carga axial [kN]

La carga estática equivalente del rodamiento P_0 se da por la **ecuación (17)**

$$P_0 = F_a \quad (17)$$

5.2.5.2. Rodamientos lineales de bolas. Los rodamientos lineales de bolas consiguen un movimiento longitudinal a lo largo de un eje mediante la retención de las bolas en el circuito cerrado de recirculación constante en la zona de carga. Por lo tanto, es posible un número limitado de desplazamientos. Los rodamientos lineales de bolas ofrecen las ventajas diarias que un rodamiento de bolas, es decir larga vida, una baja fricción, un bajo par de arranque, alta precisión y eficiencia (NTN, 2015).

- **Vida:** La vida nominal supone un 90% después de alcanzar la vida útil de un rodamiento o un grupo de rodamientos iguales, funcionando en las mismas condiciones, con el material estándar de producción y bajo condiciones estándar de funcionamiento. El tamaño del

rodamiento depende de la vida útil requerida y de la carga (NTN, 2015). La vida útil de los rodamientos lineales de bolas se calcula de la misma manera que para el resto de rodamientos usando la **ecuación (18)**.

$$L = \frac{C}{F} * \frac{f_h * f_T * f_c}{f_w} * 50 \quad (18)$$

Donde L es la vida nominal (km), C es la capacidad de carga dinámica (N), F es la carga dinámica (N), f_h el factor de dureza del eje, f_T factor de temperatura, f_c factor de contacto y f_w es el factor de carga.

La vida nominal en horas está dada por la **ecuación (19)**.

$$L_h = \frac{L}{2 * s * n_s * 60} \quad (19)$$

Donde L_h es la vida nominal (h), s la longitud de carrera (m) y n_s la frecuencia de carrera (min^{-1}).

- **Coefficiente de seguridad estático f_s :** El coeficiente de seguridad estático sirve para evitar deformaciones plásticas no admisibles de los cuerpos rodantes y de la pista de rodadura. Corresponde a la relación entre la capacidad de carga estática C_0 y la carga máxima F_{0max} (NTN, 2015). Esta expresada por la **ecuación (20)**.

$$f_s = \frac{C_0}{F_{0max}} \quad (20)$$

Donde f_s es el coeficiente de seguridad estático, C_0 la capacidad de carga estática, (N) y F_{0max} la carga estática máxima (N).

5.3. Capítulo III: Mecánica de tornillos de potencia

Un tornillo de potencia es un dispositivo que se utiliza en maquinaria para cambiar el movimiento angular a movimiento lineal véase en la **Figura 9**, por lo general, para transmitir potencia. Entre las aplicaciones familiares se incluyen los tornillos de tornos y los tornillos para prensas de banco, prensas de sujeción y gatos (Budynas & Keith, 2015, pág. 388).

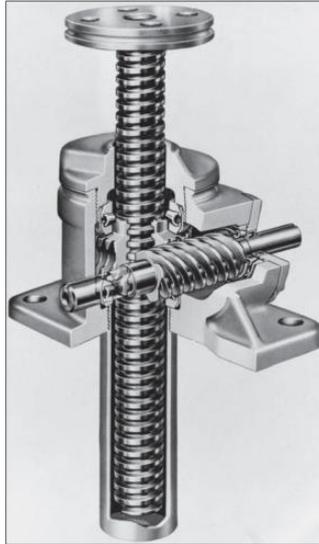


Figura 9. Tornillo de potencia.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

5.3.1. Husillo Tuerca-Tornillo

Como se muestran en la **Figura 10**, el sistema de tuerca y tornillo es el más básico, se compone de un eje con rosca y una tuerca. El giro del tornillo se traduce en un movimiento lineal de la tuerca, o viceversa. Este mecanismo siempre implica contacto directo entre metal y metal, lo que resulta en un alto desgaste y pérdidas por fricción. Por esta razón, la probabilidad de bloqueo mecánico en estos husillos es alta. La fricción y el desgaste intensos pueden llevar fácilmente a su bloqueo y, en consecuencia, a su inutilización. Este tipo de husillo se utiliza comúnmente en aplicaciones de baja velocidad e irreversibles (Rey-Baltar de Rica, 2022, pág. 22).

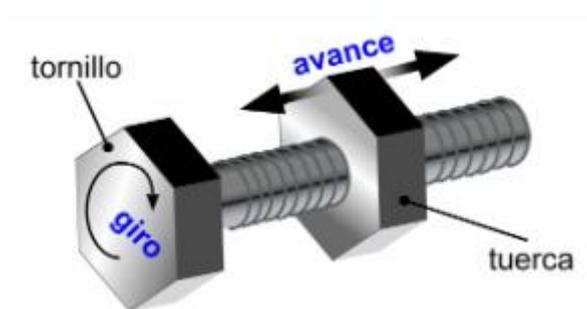


Figura 10. Tuerca-tornillo.

Fuente: (Rey-Baltar de Rica, 2022).

5.3.2. Husillo de bolas

Como se muestra en la **Figura 11**, el husillo de bolas consta de un tornillo y una tuerca con ranuras y rodamientos de bolas que se mueven entre ellos. Su función es convertir el movimiento giratorio en movimiento lineal o convertir el movimiento lineal en movimiento giratorio. El husillo de bolas es el elemento de transmisión más utilizado en maquinaria de herramientas y maquinaria de precisión, y tiene las características de alta precisión, reversibilidad y alta eficiencia. Debido a su pequeña resistencia a la fricción, los husillos de bolas se utilizan ampliamente en varios equipos industriales e instrumentos de precisión (Stepperonline, 2024).



Figura 11. Husillo de bolas.

Fuente: (Stepperonline, 2024).

5.3.3. Elevadores de husillo

Como se puede ver en la **Figura 12**, un elevador de husillo también es conocido como Jack o gato; es un dispositivo mecánico capaz de posicionar grandes cargas mediante la combinación de un tornillo (ya sea de bolas o maquinado) y un conjunto de engranajes. Estos elevadores están constituidos, esencialmente, por un husillo, cuyo desplazamiento permite transformar un movimiento de rotación de entrada en un movimiento lineal de salida; la forma de accionarlos puede ser manual o motorizado (mediante motores de corriente continua o alterna, así como servomotores) (Urany, 2021).



Figura 12. Elevadores de husillo.

Fuente: (Urany, 2021).

El husillo es un tornillo sin cabeza y bastante largo en relación con su diámetro. Su funcionamiento requiere que sea combinado con alguna tuerca, de manera que, convierta el movimiento giratorio en uno longitudinal. De forma básica, esto es lo que da lugar al sistema tornillo-tuerca, el cual es utilizado comúnmente en tornos o fresadoras (Urany, 2021).

En el elevador husillo pueden existir 3 tipos de diferentes tornillos los cuales son:

5.3.4. Tipos de roscas estándar para tornillos de potencia

Existen algunos tipos de roscas normalizadas para tornillos de potencia: cuadrada **Figura 13**, trapezoidal: rosca Acme **Figura 14** y diente de sierra **Figura 15**.

De acuerdo con (Budynas & Keith, 2015, pág. 386), no es intensa la necesidad de un estándar para las roscas de tornillos de potencia. En la práctica, algunas veces se construyen variantes de éstas, por ejemplo, algunas veces se modifica cortando el espacio entre los dientes para incluir un ángulo de 10 a 15°. Esta tarea no es difícil, puesto que de todos modos dichas roscas se cortan usualmente con una herramienta que tiene una sola punta de corte; en gran medida, la modificación retiene la alta eficiencia inherente de las roscas cuadradas y simplifica

el corte. Algunas veces, las roscas Acme se modifican hasta una forma achatada para hacer los dientes más cortos, de lo cual resulta un diámetro menor más largo y un tornillo un poco más resistente. La rosca Acme es una elección común. La rosca de diente de sierra posee mayor resistencia en la raíz del filete y es adecuada para transmitir grandes fuerzas en un solo sentido véase la **Figura 15**.

Donde p es el paso de rosca, d es diámetro mayor del tornillo, d_m es el diámetro medio del tornillo y d_r es el diámetro menor o raíz del tornillo.

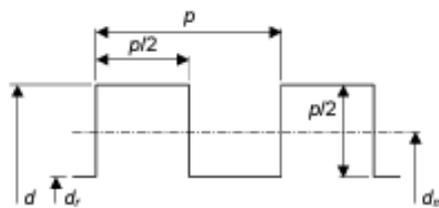


Figura 13. Rosca Cuadrada.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

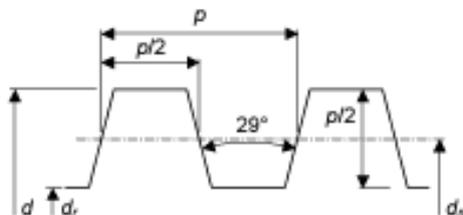


Figura 14. Rosca ACME.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

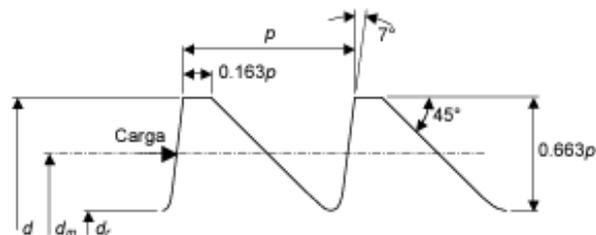


Figura 15. Rosca Diente de Sierra.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

De acuerdo con (Budynas & Keith, 2015, pág. 389) en la **Figura 16** se presenta un tornillo de potencia de rosca simple con diámetro medio d_m un paso p , un ángulo de avance λ y un ángulo de la hélice ψ sometido a la fuerza axial F . La expresión que describe el par de torsión requerido para elevar una carga y otra expresión del par de torsión necesaria para bajarla.

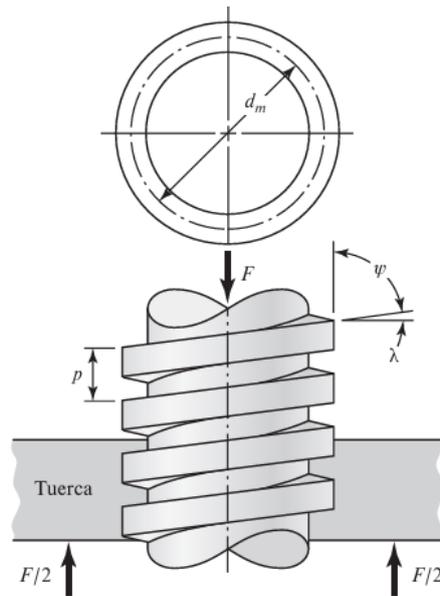


Figura 16. Tornillo de potencia.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

Primero imagine que una rosca del tornillo se desenrolla o se enrolla (**Figura 17, Figura 18**) exactamente una vuelta. Luego, el borde de la rosca forma una hipotenusa de un triángulo rectángulo cuya base es la circunferencia del círculo de diámetro medio de la rosca, mientras que la altura está dada por el avance. El ángulo λ , en la **Figura 16, Figura 17, Figura 18**, es el ángulo de avance de la rosca. La suma de todas las fuerzas unitarias axiales que actúan sobre el área normal de la rosca se representa por F . Para elevar una carga, una fuerza P_R actúa a la derecha véase la **Figura 17** y para bajar la carga P_L actúa hacia la izquierda véase la **Figura 18**. La fuerza de fricción es el producto del coeficiente de fricción f por la normal N , y actúa oponiéndose al movimiento. El sistema está en equilibrio bajo la acción de estas fuerzas, por lo que para elevar la carga se tiene:

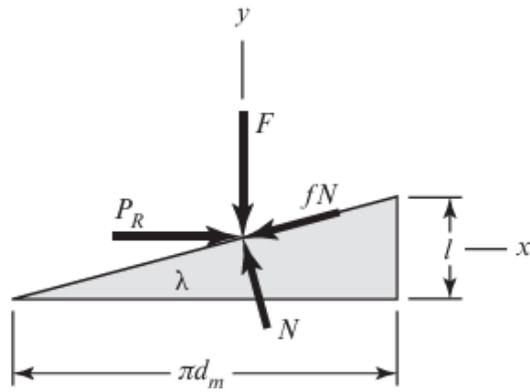


Figura 17. Diagrama de fuerza al subir la carga.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

$$\sum F_x = P_R - N \operatorname{sen} \lambda + f N \cos \lambda = 0 \quad (21)$$

$$\sum F_y = -F - f N \operatorname{sen} \lambda - N \cos \lambda = 0 \quad (22)$$

De manera similar para bajar la carga se tiene:

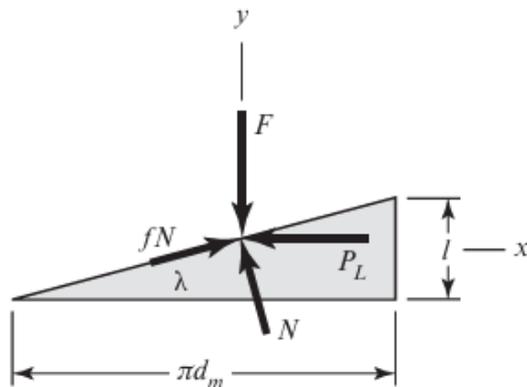


Figura 18. Diagrama de fuerza al bajar la carga.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

$$\sum F_x = -P_L - N \operatorname{sen} \lambda + f N \cos \lambda = 0 \quad (23)$$

$$\sum F_y = -F + f N \operatorname{sen} \lambda + N \cos \lambda = 0 \quad (24)$$

Como no interesa la fuerza normal N , se elimina de cada uno de los sistemas de ecuaciones y se despeja P . Para elevar la carga esto da.

$$P_R = \frac{F(\operatorname{sen} \lambda + \operatorname{cos} \lambda)}{\operatorname{cos} \lambda - \operatorname{sen} \lambda} \quad (25)$$

Y para bajar la carga,

$$P_L = \frac{F(f \operatorname{cos} \lambda - \operatorname{sen} \lambda)}{\operatorname{cos} \lambda + \operatorname{sen} \lambda} \quad (26)$$

Enseguida se divide el numerador y el denominador de estas ecuaciones entre coseno λ y se emplea la relación $\lambda = \frac{l}{\pi d_m}$, entonces se tiene, respectivamente,

$$P_R = \frac{F\left[\left(\frac{l}{\pi d_m}\right) + f\right]}{1 - \left(\frac{fl}{\pi d_m}\right)} \quad (27)$$

$$P_L = \frac{F\left[f - \left(\frac{l}{\pi d_m}\right)\right]}{1 + \left(\frac{fl}{\pi d_m}\right)} \quad (28)$$

Por último, si se observa que el par de torsión es el producto de la fuerza P y el radio medio $d_m/2$, para elevar la carga se puede escribir

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \quad (29)$$

Donde T_R representa el par de torsión que se requiere para dos propósitos: superar la fricción en la rosca y elevar la carga.

Se determina que el par de torsión necesario para bajar la carga, de acuerdo con la **ecuación (28)** es

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) \quad (30)$$

Este es el par de torsión que se requiere para superar una parte de la fricción al bajar la carga. Puede resultar, en caso específicos donde el avance sea grande o la fricción baja, que la carga baje por sí misma, lo que provoca que el tornillo gire sin ningún esfuerzo externo. En ese caso el par de torsión T_L , de acuerdo con la **ecuación (30)**, será negativo o igual a cero. Cuando

se obtiene un par de torsión positivo mediante esta ecuación, se dice que el tornillo es auto bloqueante (Budynas & Keith, 2015, pág. 390). Así, la condición para autobloqueo es

$$\pi f d_m > l \quad (31)$$

Se divide ambos lados de la desigualdad entre πd_m . Con base en que $\frac{l}{\pi d_m} = \tan \lambda$, se obtiene

$$f > \tan \lambda \quad (32)$$

Esta relación establece que el autobloqueo se presenta cuando el coeficiente de fricción de la rosca es igual o mayor que la tangente del ángulo de avance de la rosca.

Una expresión de la eficiencia también resulta útil en la evaluación de los tornillos de potencia. Si $f = 0$ en la **ecuación (29)**, se obtiene

$$T_0 = \frac{Fl}{2\pi} \quad (33)$$

Lo que, como se eliminó el coeficiente de fricción, expresa al par de torsión necesario solo para elevar la carga. Por lo tanto, la eficiencia de tipo se define como

$$e = \frac{T_0}{T_R} = \frac{Fl}{2\pi T_R} \quad (34)$$

Según (Budynas & Keith, 2015, pág. 391) en el caso de roscas Acme u otros tipos, la carga normal en la rosca está inclinada hacia el eje debido al ángulo de rosca 2α y el ángulo de avance λ . Como los ángulos de avance son pequeños esta inclinación se puede despreciar y solo se considera el efecto del ángulo de la rosca véase en la **Figura 19**, por ello para apretar o elevar una carga con tornillo Acme tenemos

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) \quad (35)$$

Donde T_R es el torque necesario para elevar o apretar una carga, F es la carga o fuerza, d_m es el diámetro medio del tornillo, el avance l es el paso del tornillo p multiplicado por el número de filetes, f es el coeficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo, y α es el ángulo correspondiente a los tornillos de rosca Acme que equivale a 14.5° .

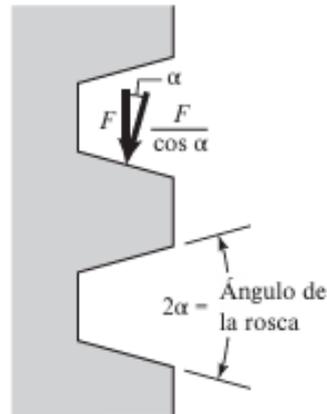


Figura 19. Fuerza normal de la rosca aumenta debido al ángulo α .

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

Cuando se cargue axialmente, debe usarse un cojinete de empuje entre elementos rotatorio y estacionario con el objetivo de soportar el efecto de la componente axial véase **Figura 20**, para el que se supone que la carga está concentrada en el diámetro medio del collarín d_c . Si f_c es el coeficiente de fricción del collarín, el par de torsión que se requiere es.

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} \quad (36)$$

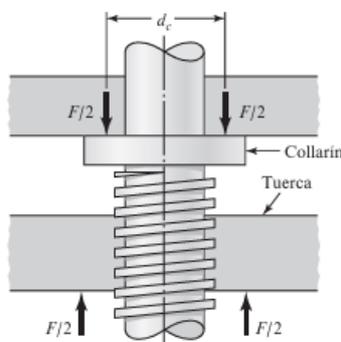


Figura 20. Collarín de empuje.

Fuente: (Budynas & Keith, 2015).

Los esfuerzos nominales en el cuerpo de los tornillos de potencia pueden relacionarse con los parámetros de la rosca en la forma siguiente. El esfuerzo cortante nominal de torsión τ del cuerpo del tornillo puede expresarse como

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} \quad (37)$$

El esfuerzo axial σ en el cuerpo del tornillo debido a la carga F es

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_r^3} \quad (38)$$

5.4. Capítulo VI: Motor eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas que mueven la industria, pues sirven como medios de transformación de energía eléctrica a energía mecánica. Por lo tanto, es indispensable conocer y comprender las principales relaciones que existen entre los parámetros eléctricos y mecánicos para darles una adecuada operación y mantenimiento (Tecsup, 2015).

5.4.1. Motor de corriente directa DC

Un motor de corriente directa **Figura 21**, es un dispositivo que tiene como finalidad transformar la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, Esto es posible gracias al campo magnético que lo compone. Dicho campo magnético es quizá, la pieza más importante de todo el equipo. Sin embargo, requiere del acompañamiento de otros componentes para realizar su operación con eficacia (Industrias GLS, 2022).



Figura 21. Motor DC.

Fuente: (SonRobots, n.d.).

A continuación, se mencionan otras partes que conforman a estos equipos.

- **Estátor:** Como se puede ver en la **Figura 22**, es la pieza que sirve de soporte mecánico al aparato y sujeta los polos de la máquina, que pueden ser devanados de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro o imanes permanentes.



Figura 22. Estator.

Fuente: (Marposs, s.f.).

- **Rotor:** Como se puede ver en la **Figura 23**, es un instrumento con forma cilíndrica, que posee un devanado y un núcleo, que son alimentados con corriente directa por medio del colector formado por delgas. Las delgas se fabrican de cobre y están en contacto con las escobillas fijas.



Figura 23. Rotor.

Fuente: (indiamart, s.f.).

5.4.1.1. Motor paso a paso. El motor paso a paso es un motor de corriente continua sin escobillas en el que la rotación se divide en un cierto número de pasos resultantes de la estructura del motor. Normalmente, una revolución completa del eje de 360° se divide en 200 pasos, lo que significa que se realiza una sola carrera del eje cada $1,8^\circ$. También hay motores donde la carrera del eje se realiza cada 2; 2,5; 5, 15 o 30° . La funcionalidad descrita es posible gracias a la construcción especial del motor paso a paso, que se discutirá más adelante. Debido al hecho de que la rotación completa del eje se divide en ciertas secciones discretas, el motor paso a paso no gira suavemente, sino que realiza saltos y cruza estados intermedios, por lo que el funcionamiento del motor paso a paso se acompaña de un sonido y vibración característicos (TME, 2020).

Actualmente los controladores de motores de paso a paso se realizan sobre la base de circuitos digitales que controlan los drivers aumentando la capacidad de carga de las salidas. Por lo general, en un controlador de este tipo encontramos un microcontrolador, pero no necesariamente, porque dicho controlador se puede hacer basado en puertas y flip-flops sin mucha dificultad. El propio método de control del motor depende de su tipo, el número de fases y si es con o sin retroalimentación. En algunos controladores, la corriente que fluye a través de los devanados se puede ajustar usando la forma de onda PWM, mientras que la dirección de rotación y el control de los pasos (saltos) se llevan a cabo usando formas de onda cuadradas. Sin embargo, cuando se trata de un modelo de motor específico y su controlador, para determinar el método de control correcto, uno debe consultar sus fichas de catálogo (TME, 2020).

Los devanados que son la carga en las salidas del controlador son bobinas con cierta inductancia y capacitancia. Su reactancia aumenta al aumentar la frecuencia, lo que limita la corriente que fluye y limita la frecuencia de conmutación máxima. Al seleccionar un motor para una aplicación específica, siempre hay algunas compensaciones a considerar, como, por

ejemplo, la velocidad angular máxima y el par requerido con respecto a la resolución (TME, 2020).

5.4.1.2. ¿Cómo funciona el motor paso a paso? El motor paso a paso está compuesto por rotor y estator. El estator es una parte estacionaria, mientras que el rotor montado en el eje con un cojinete gira siguiendo el campo magnético giratorio creado alrededor del estator. El estator, hecho de acero u otro metal, es el marco de un conjunto de electroimanes, que son bobinas montadas en lugares específicos alrededor del rotor. Cuando la corriente fluye a través de las bobinas del estator, se crea un campo magnético a su alrededor (TME, 2020).

Los flujos magnéticos particulares tienen una dirección e intensidad que dependen de la intensidad y la dirección de la corriente que fluye a través de una bobina determinada. Cuando la bobina se energiza, se forma un electroimán atrayendo a un imán (diente) montado en el rotor, desplazado por un cierto desplazamiento con respecto a él. Luego, el rotor y el eje giran en el ángulo en el que su posición se opone menos al flujo magnético o la resultante de múltiples flujos. Después de pasar por este desplazamiento, se enciende otro electroimán (bobina o bobinas) en el estator y se tira del rotor a su nueva posición. Al conmutar bobinas sucesivas, es posible realizar más saltos hacia adelante o hacia atrás, o completar o girar parcialmente el rotor y el eje con él. Con base en la descripción dada, es posible imaginar un motor paso a paso como una serie de electroimanes que atraen el imán del rotor. En realidad, sin embargo, la situación es mucho más compleja ya que el imán es atraído por el campo resultante alrededor del conjunto del electroimán, lo que permite no solo la operación de paso completo, sino también la operación de medio paso (división de la carrera por 2) o menos, lo que se denomina operación de micropaso (TME, 2020).

5.4.1.3. Control del motor paso a paso. Para un uso de carácter no profesional lo más sencillo será realizar el control de motores paso a paso mediante Arduino, del tipo de motor a utilizar dependerá la corriente del controlador, por ello puede que sea necesario el uso de amplificadores adecuados al tipo de controlador.

En Internet se puede encontrar muchos diseños de controladores de motor paso a paso, desde los más fáciles de construir, equipados con un potenciómetro para regular la velocidad de rotación y un botón para cambiar la dirección de rotación o un botón de inicio/parada, construido con el uso de componentes discretos, como puertas, flip-flops y llaves de transistores, hasta muy complicado, por ejemplo, realizado sobre la base de circuitos integrados especializados de controladores y un procesador DSP. Sin embargo, parece que dichos proyectos serán más útiles para la construcción de dispositivos no profesionales o experimentales que, por ejemplo, para su uso en la industria. En este caso, buscaremos soluciones listas para usar de fabricantes probados (TME, 2020).

5.5. Capítulo V: Control del dispositivo

Para el control del dispositivo de extracción de café, es esencial regular la velocidad de vaciado. Este proceso se activa mediante un husillo, cuyo avance depende de las revoluciones del motor en un tiempo específico. La implementación de este control puede desarrollarse utilizando Arduino. Sin embargo, debido a las dimensiones del motor, será necesario emplear un controlador. Además, se requerirá el uso de fuentes de alimentación independientes para los distintos componentes. Por lo tanto, será imprescindible revisar los siguientes temas

5.5.1. Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560 (hoja de datos). Tiene 54 pines de entrada/salidas digitales (de los cuales 14 pueden usarse como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y

un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente se conecta a una computadora con un cable USB o se enciende con una toma de corriente alterna. Adaptador a CC o batería para comenzar. El Mega es compatible con la mayoría de escudos diseñados para Arduino Duemilanove o Diecimila, véase a continuación en la **Figura 24** (Veloso, s.f.).



Figura 24. Arduino Mega 2560.

Fuente: (Arduino, n.d.).

5.5.2. TB6600 5A 42V Driver para motor paso a paso

Este controlador de motores paso a paso bipolares está basado en el chip TB6600 y permite controlar motores de hasta 3,5 A por canal (4 A max), véase en la **Figura 25**. Este driver tiene limitación de corriente ajustable, protección contra sobre corriente y 7 resoluciones diferentes de microstepping. El TB6600 es un controlador profesional para motores paso a paso bipolares. Es compatible con microcontroladores como Arduino y otros que puedan generar señales de pulsos de 5 V. El TB6600 soporta una gran variedad de voltajes de entrada de 9 a 42 V DC. Es capaz de proporcionar hasta 3,5 A de corriente de forma continuada y 4 A de pico por cortos periodos de tiempo. De esta forma puede controlar una gran variedad de motores. El controlador soporta el control de dirección y de paso como en todos los controladores de este tipo. También puede configurarse para microstepping mediante unos micro interruptores incluidos. Hay 7 valores posibles: 1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16 y 32 además de 8 posiciones para el

ajuste de corriente: 0,5 A; 1 A, 1,5 A; 2 A; 2,5 A; 2,8 A; 3,0 A y 3,5 A. Todas las señales están protegidas internamente mediante optoacopladores de alta velocidad para evitar interferencias y mejorar el aislamiento del circuito de control. Viene ensamblado en una caja de metal para una medir refrigeración (ElectroCrea , 2024).



Figura 25. Driver TB6600.

Fuente: (ElectroCrea, n.d.) .

6. Metodología

6.1. Área de trabajo

El lugar donde se realizarán las pruebas de funcionamiento del dispositivo construido el cual permita la extracción de café por el método AeroPress es en el edificio de laboratorios de la FEIRNNR ubicado en las siguientes coordenadas: 4°01'48.0"S 79°11'58.4"W, obtenidas mediante la aplicación de Google Maps.

Parte de la construcción del mecanismo se desarrollará en el taller mecánico de la facultad se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas: 4°01'58.9"S 79°11'59.5"W, obtenidas mediante la aplicación de Google Maps, el mismo cuenta con torno paralelo, fresadora, soldadora, equipo de corte, soldadura, taladro, amoladora, varias herramientas de trabajo mecánico, su ubicación se puede apreciar en la **Figura 26**.



Figura 26. Taller Mecánico UNL.

Fuente: Google Maps.

6.2. Equipos y materiales

Los equipos y materiales utilizados en la investigación constan de instrumentos de medida, análisis de datos, realización de pruebas, se los presenta a continuación:

6.2.1. Equipos y materiales de oficina

Libros, internet, computadora, impresora, laptop, calculadora.

6.2.2. Equipos para la construcción mecánica y de control

Torno paralelo, fresadora CNC, pulsadores NA, multímetro, potenciómetro 10 k Ω , resistencias 10 k Ω , cable conductor (12 ,22) AWG, fuente de alimentación 24 V DC, placa de desarrollo UNO, finales de carrera con rodillo 5 A 250 VAC, switch 6 A 250 VAC, estaño, caudín, plancha de grilon 15 mm (Poliamida PA 6), amoladora, taladro, tornillos de sujeción tipo hallen M6X1X30 y M4X0.7X10, soldadora.

6.2.3. Software

AutoCAD, SolidWorks, Arduino, paquete Office.

6.3. Procedimiento

6.3.1. Desarrollo del primer objetivo: Analizar el proceso de extracción de café por el método AeroPress para definir los parámetros de operación del sistema a diseñar

- Recopilar información bibliográfica sobre el proceso de extracción de café por el método AeroPress.

Este punto permite identificar el método y establecer los parámetros que intervienen en el proceso de extracción de café por AeroPress.

- Realizar pruebas de extracción en distintos tipos de tueste, molienda, temperatura y tiempos de vaciado.

En este punto se realiza pruebas de extracción que permitirán conocer el caso más crítico durante el proceso para determinar la fuerza de diseño.

6.3.2. Desarrollo del segundo objetivo: Proponer y diseñar un sistema electromecánico para la extracción de café por el método AeroPress

- Proponer un sistema electromecánico para la extracción de café por AeroPress.

En este punto se propone el mecanismo que tendrá el dispositivo electromecánico, para el diseño se analiza sistemas de avance lineal y otros tipos de investigación.

- Cálculo de piezas del mecanismo.

Para ello se debe seguir una síntesis de temas relacionados con el diseño de máquinas, como lo puede ser, diseño mecánico, resistencia de materiales, tornillos de potencia, etc.

- Diseño asistido por computador de los componentes.

Una vez se haya realizado los respectivos cálculos, se procede a diseñar los mismos por medio de software y de ser necesario realizar simulaciones (SolidWorks).

- Diseño de control eléctrico del dispositivo.

Una vez se haya diseñado los componentes del dispositivo se realiza el sistema de control que permita llevar a cabo la extracción de acuerdo los parámetros que desee el operador.

- Programación del sistema de control.

Mediante software Arduino se desarrolla el algoritmo que permita el control del dispositivo de acuerdo a variables deseadas por el operador.

6.3.3. Desarrollo de tercer objetivo: Implementar el mecanismo y validar su funcionamiento

- Construcción, ensamblaje y validación del dispositivo de extracción.

Habiendo cumplido con el diseño, se procede a construir y ensamblar cada componente del dispositivo. Posteriormente se realizan pruebas de su funcionamiento.

En la **Figura 27** se muestra de forma gráfica la secuencia de procesos a seguir para el diseño y construcción del dispositivo de extracción de café por AeroPress.

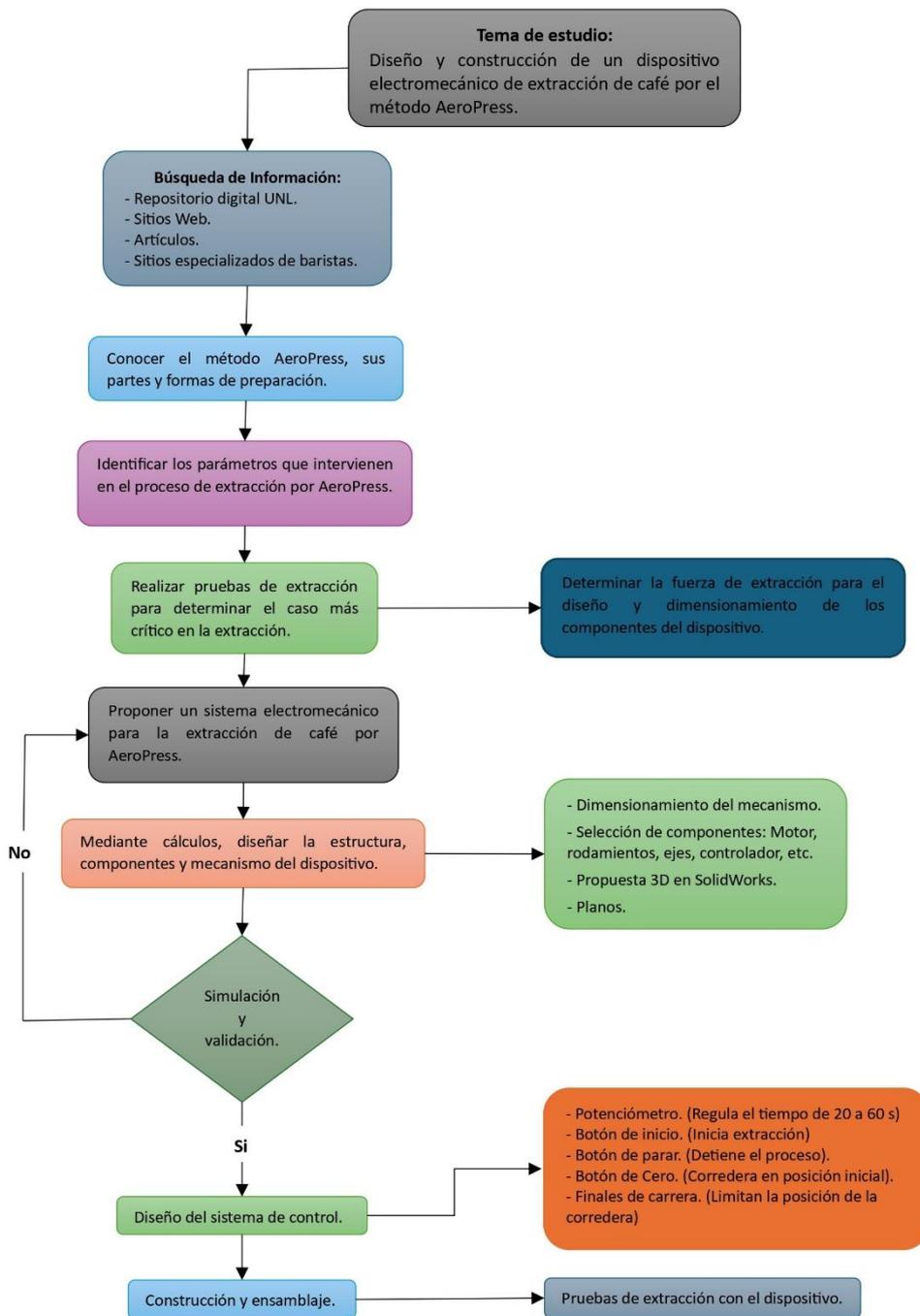


Figura 27. Diagrama de Flujo.

7. Resultados

7.1. Procesamiento y análisis de datos del objetivo 1

7.1.1. Proceso de extracción de café por AeroPress



Figura 28. Extracción Por AeroPress.

Fuente: (AeroPress, s.f.).

El proceso de extracción de café por el método AeroPress en su totalidad, es un proceso que se realiza manualmente **Figura 28**, consiste en hacer uso de un vacío generado dentro de un émbolo con filtro que contiene la mezcla de café molido y su soluble, para posteriormente mediante la aplicación de una fuerza que genera el operario hacer descender el mismo en un tiempo establecido, de esta manera se logra extraer el sabor y aroma del café, estos mismos dependerán de varios parámetros como temperatura, tipo de molienda, tipo de tueste y el tiempo de vaciado.

7.1.2. Parámetros de extracción por AeroPress

7.1.2.1. Tamaño de molienda. Se denomina molienda al proceso de reducir los granos enteros y tostados de café a partículas más pequeñas.

Los granos de café se tuestan para desarrollar todo su potencial de aroma y sabor, pero se deben moler para liberar eficazmente el aroma y sabor, al moler el café se aumenta la superficie de contacto entre los granos de café y el agua, es por ello que, si la molienda es

demasiado gruesa el café se subextraerá y tendrá un sabor agrio y salado, por otra parte, si es demasiado fino, el café se sobre extraerá y tendrá un sabor amargo (Perfect Daily Grind, 2020).

El 70% del grano de café es insoluble, el 30% restante se dividen en: 20% solubles agradables y 10% solubles desagradables. Afortunadamente los malos solubles son los últimos que se extraen.

La granulometría en el café se mide en micras $1\text{ mm} = 1\,000\ \mu\text{m}$ y se puede hablar de un rango que va desde las 200 (la más fina) hasta las 1 600 correspondiente a la más gruesa. Para poder entender estas medidas se toma elementos que se conoce y se divide en molienda fina, media fina, molienda media, media-gruesa y gruesa (**Figura 29**) (Xaguar Coffee, 2023).

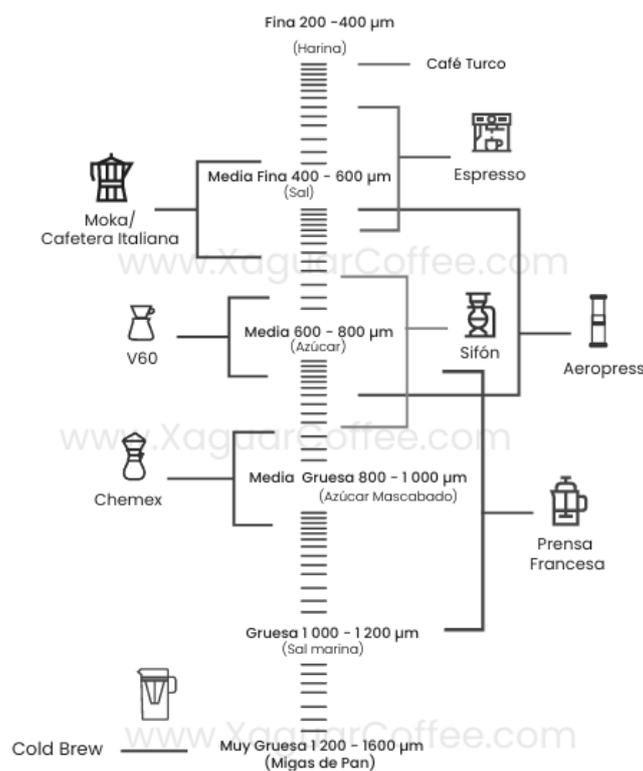


Figura 29. Granulometría del café.

Fuente: (Xaguar Coffee, 2023).

De acuerdo a la **Figura 29** y con el método AeroPress la molienda recomendada oscila entre una molienda media fina y media ($\cong 420 - 720\ \mu\text{m}$).

7.1.2.2. Temperatura del agua. Al igual que con el tamaño de la molienda, la temperatura del agua afecta también la extracción. Cuanto más caliente es la infusión, más fácil romperá las células de café y llegará a esos compuestos de sabor y aroma. Ahora, esto no es tan simple: la temperatura del agua interactúa con otros factores, como el perfil de molienda y el nivel de tueste. Sin embargo, como regla general, los compuestos se extraerán más rápido a una temperatura más alta.

Hay un consenso general de que el café se debe preparar entre 91 y 96 °C. Sin embargo, los cafés de AeroPress a menudo se preparan a temperaturas más bajas, de 80 y 85 °C. Esto puede crear cafés más suaves con menos acidez y amargura algo más parecido a un cold brew Toddy que a un Chemex (Perfect Daily Grind, 2017).

7.1.2.3. Tiempo de vaciado. De acuerdo con (Perfect Daily Grind, 2018) en una entrevista realizada a cuatro campeones de AeroPress. Entre ellos Hugo Rocco, campeón brasileño del AeroPress 2016 y tercero en el Campeonato Mundial; se manifestó lo siguiente:

Hugo dijo que no vio gran diferencia entre una preparación de 30 segundos y una de 45 segundos; todas las recetas de los campeones se realizaron con una inmersión de alrededor de unos 30 segundos. Para alguien como Hugo, que normalmente lo hace en 20 segundos o menos.

7.1.2.4. Ratio del café. El ratio del café es la relación café y agua que requiere la preparación de la bebida, el sabor de un café variará según la receta.

Esta es la razón por la que muchos baristas y aficionados al café usan grameras y temporizadores cuando preparan café. Algunos baristas usan recetas como “50 g de café por litro de agua para tantas tazas”. Otros, hablarán de proporciones, como 1:14 – 14 ml de agua por cada gramo de café o 1:16 – 16 ml de agua por cada gramo de café.

En general, para los cafés por inmersión (como la prensa francesa y el AeroPress) se va a necesitar una molienda más gruesa y un tiempo de preparación más largo. Para métodos de goteo o vertido hay alguna variación en el tamaño ideal de molienda y el tiempo de preparación.

Los métodos de inmersión y goteo requieren mucha más agua, y mucho más café, se puede ver ratios 1:15 o 1:18.

7.1.2.5. Perfil de Tueste. El tueste transforma los granos de café verde y les otorga aromas y sabores que pueden variar desde florales y ligeros a intensos y amargos. Esta variante no solo afecta los sabores que se puede extraer, también afectan la rapidez con la que éstos se extraen. Por ejemplo, los tuestes oscuros son más solubles porque se han expuesto al calor durante más tiempo. Esto significa que la extracción se acelerará (Leal, 2021).

Entre los tipos de tueste se distinguen 4 de ellos:

- **Tueste Ligero (claro):** tiene un color canela, sin aceite en la superficie. Tiene acidez pronunciada y presenta alto contenido de cafeína. Conserva los sabores de origen, como aromas florales, frutales y herbales. Ideal para las cafeteras de filtro.
- **Tueste Medio:** tiene un color un poco más oscuro. Tiene el balance entre acidez, dulzor y aroma, sin aceite en su superficie y conserva el contenido de cafeína. Gracias los sabores equilibrados que brinda, este tipo de tostado se usa para catar cafés de especialidad, con el fin de determinar su calidad. Va bien tanto para cafeteras de filtro como para las de expreso.
- **Tueste medio-oscuro:** Se caracteriza por un tono marrón intenso, con alto contenido de cafeína y acidez baja. Se aprecia un poco de aceite en la superficie del grano. Debido a la caramelización de los azúcares se obtienen notas a nuez, caramelo y chocolate.
- **Tueste oscuro:** El grano es de color oscuro, casi negro. Luce brillante debido a los aceites presentes en su superficie. Aparece un sabor amargo y de especias, pero un buen tueste oscuro puede revelar notas a chocolate o cacao. La acidez

es menor, al igual que la cantidad de cafeína. Está indicado para cafeteras expreso.

La cafetera AeroPress es capaz de extraer café de cualquier perfil de tueste, ya sea ligero, medio u oscuro. Esto se debe a que el dispositivo es personalizable con sus parámetros.

Este estudio se propone investigar cómo estos parámetros, tamaño de molienda, el tipo de tueste, temperatura del agua y tiempo de vaciado influyen en la fuerza necesaria para extraer café con AeroPress por lo que se propone realizar una serie de ensayos analizando diversas situaciones con la finalidad de establecer la fuerza necesaria para el diseño del sistema de extracción, de entre ellos se tomara el caso más crítico para diseñar el sistema de extracción.

De acuerdo con la literatura presentada se realiza las pruebas con los siguientes parámetros a fin de obtener la fuerza necesaria en diferentes escenarios véase la **Tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros de las pruebas a realizar.

Parámetros de prueba	
Molienda	(media fina, media).
Temperatura (°C)	(80, 85, 90)
Tiempo de vaciado (s)	(20, 40, 60)
Perfil de tueste	(ligero, medio, oscuro)
Ratio	(1:15)
Masa (gr)	16

Con la finalidad de garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados cada prueba se repetirá 3 veces a fin de mitigar variabilidades y errores durante la medición, estos mismos resultados fueron promediados y presentados, los resultados y procedimiento de la extracción se pueden apreciar en el **Anexo 19**.

A continuación, véase las gráficas de resultados de los ensayos para 20 s (**Figura 30**), 40 s (**Figura 31**) y 60 s (**Figura 32**), cabe recalcar que primeramente se realizó extracciones en un café sin denominación de tueste o tipo de molienda que se puede adquirir fácilmente en supermercados, para ello se aplicó diferentes fuerzas sobre el módulo AeroPress, véase el **Anexo 19**, hasta lograr los tiempos de extracción de 20, 40 y 60 segundos, las fuerzas necesarias obtenidas fueron 128, 88 y 59 Newtons respectivamente, con estos datos se procedió a realizar las pruebas con las variables presentadas en la **Tabla 3**.

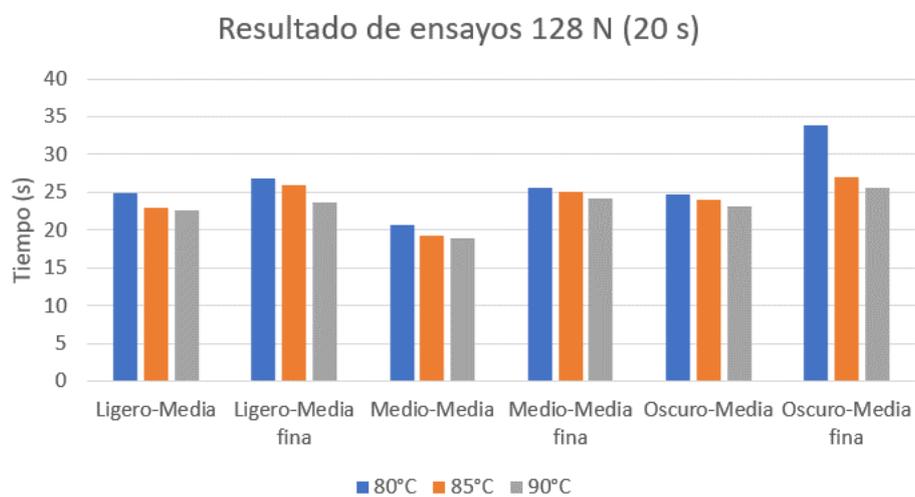


Figura 30. Resultados de ensayos a 20 s y 128 N.

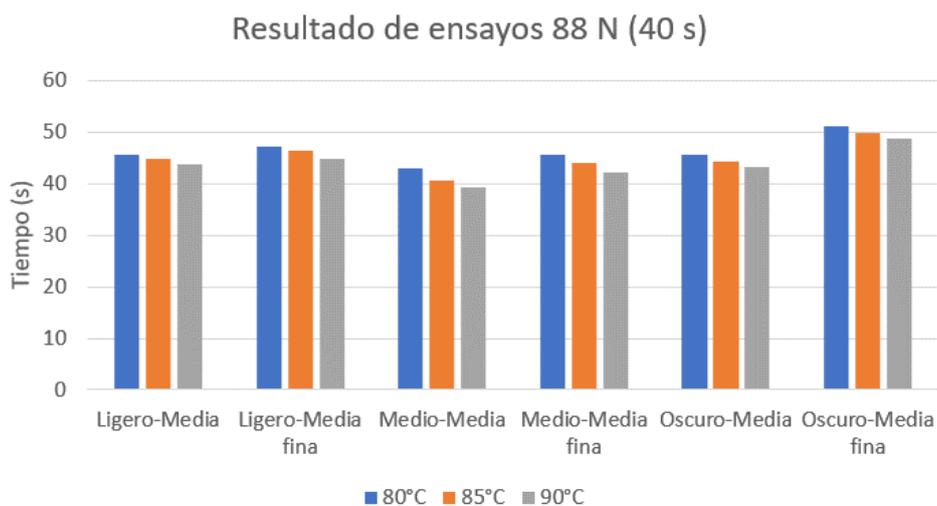


Figura 31. Resultados de ensayos a 40 s y 88 N.

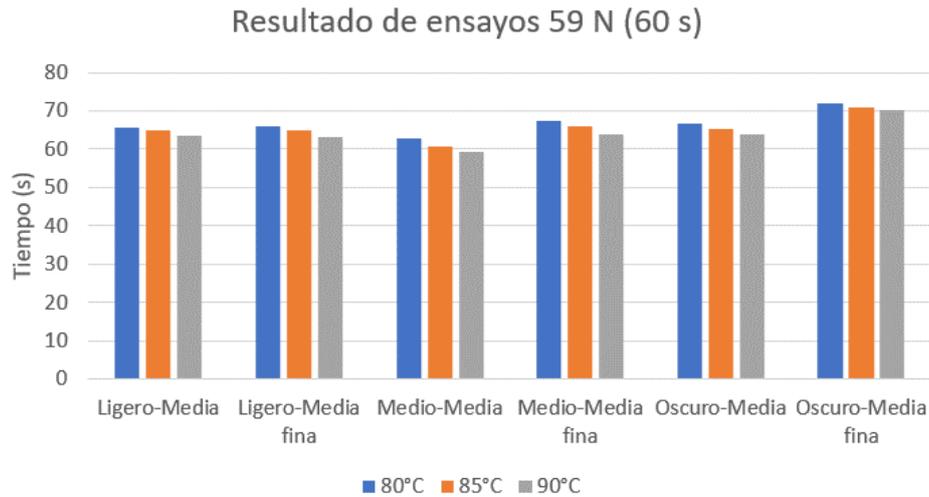


Figura 32. Resultados de ensayos a 60 s y 59 N.

7.2. Procesamiento y análisis de datos del objetivo 2

7.2.1. Fuerza para diseño del dispositivo

Como se puede visualizar en la **Figura 30**, **Figura 31** y **Figura 32** el caso más crítico siempre tiende a ser en el tueste oscuro de molienda media fina, también se observa en todos los casos que el tiempo de extracción disminuye a medida que se aumenta la temperatura por ello se decide trabajar con 80 °C por considerarse más crítico.

Tomando en cuenta que a menor tiempo de vaciado mayor será la fuerza necesaria, se selecciona el caso de 20 s para molienda media fina en tueste oscuro, este será el punto de partida para el diseño del mecanismo.

Habiendo identificado el caso más crítico, se realiza nuevas pruebas con los siguientes parámetros **Tabla 4**.

Tabla 4. Nuevos parámetros para prueba en fuerza de extracción.

Parámetros de prueba de fuerza de extracción	
Temperatura	80 °C
Tiempo	20 s
Tueste	Oscuro

Molienda	Media fina
Ratio	1:15
Masa (gr)	16

La finalidad de las pruebas tiene como objetivo determinar la fuerza necesaria para lograr extraer el café cumpliendo con los parámetros descritos en la **Tabla 4**, obteniéndose así los siguientes resultados **Tabla 5**.

Tabla 5. Resultados de pruebas de extracción.

Pruebas de extracción (165.84 N)	
# Prueba	Tiempo
1	18,64 s
2	19,33 s
3	20,42 s
4	19,58 s
5	21,17 s
Promedio	19,828 s ~ 20 s

Como se puede ver en la **Tabla 5** la fuerza de 165,84 N ~ 166 N nos aproxima de manera precisa al tiempo de extracción requerido, este será el valor a tomar en cuenta la hora de realizar el diseño del dispositivo.

7.2.2. Descripción de la Propuesta

Luego de establecer los parámetros. Siguiendo las recomendaciones de (Budynas & Keith, 2015), se decide implementar un mecanismo de vaciado de café utilizando un tornillo de rosca trapezoidal. Este tornillo se conectará a dos guías antirrotación que transforman su movimiento rotacional en uno lineal. De esta manera, presionará los módulos AeroPress a una

velocidad ajustada según el tiempo necesario, la propuesta de diseño preliminar del dispositivo se muestra a continuación en la **Figura 33**.

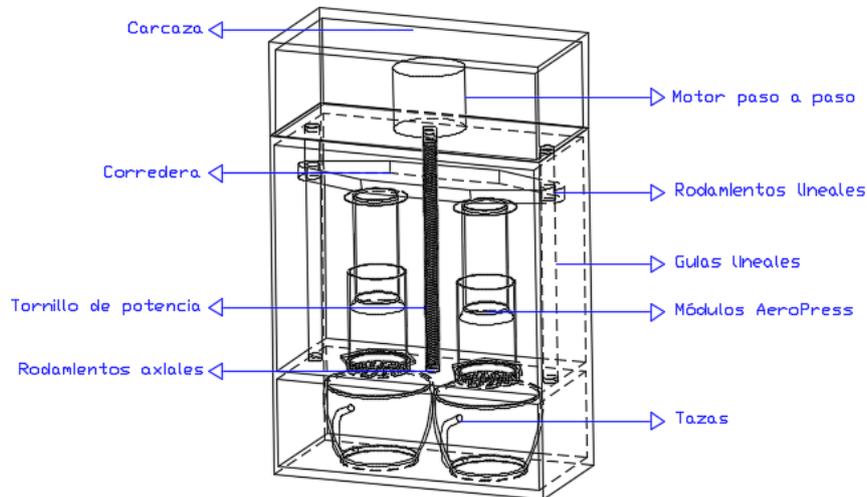


Figura 33. Propuesta detallada del extractor.

7.2.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad se determina mediante el método de pugsley y dependerá de la puntuación de las características A, B, C, D, E descritas en la **Tabla 6**, las equivalencias de las mismas se muestran el **Anexo 4** y **Anexo 5** respectivamente.

Tabla 6. Características del dispositivo.

Característica	Descripción	Condición
A	Calidad de materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección.	Muy buena, porque es para alimentos.
B	Control sobre la carga aplicada a la parte.	Regular, porque de acuerdo a ensayos la carga puede variar.
C	Exactitud del análisis de esfuerzos de la información experimental o de la experiencia con partes similares.	Buena, porque se realiza análisis de esfuerzos.
D	Peligro para el personal.	No serio, porque es una máquina de avance lento.

E	Impacto económico.	No serio, la maquina se mantiene adecuadamente.
---	--------------------	---

Se busca los coeficientes n_{xx} y n_{yy} en **Anexo 4** y **Anexo 5** respectivamente, los valores obtenidos son 1,7 y 1, reemplazando los valores en la **ecuación (4)** se tiene.

$$n_s = n_{xx} * n_{yy}$$

$$n_s = 1,7 * 1$$

$$n_s = 1,7$$

El factor de seguridad de 1,7 se considerará para todos los componentes de dispositivo de extracción.

7.2.4. Dimensionamiento del diámetro medio del tornillo

Es necesario determinar el diámetro medio mínimo del tornillo basado en el esfuerzo permisible de aplastamiento de manera que no se produzca un fallo al momento de su funcionamiento, se calcula de acuerdo a la ecuación de esfuerzo permisible de aplastamiento **ecuación (39)**.

$$\sigma_p = \frac{2 * F}{\pi * d_m * H} \quad (39)$$

Donde σ_p es el esfuerzo permisible de aplastamiento, F la fuerza de la carga a elevar o apretar, d_m el diámetro medio y H el ancho de rosca.

El esfuerzo permisible de aplastamiento depende del material de construcción, se pretende realizar un tornillo de acero y tuerca de bronce, por lo que se toma una presión de apoyo segura entre estos materiales como esfuerzo permisible de aplastamiento, se obtiene del **Anexo 2**.

$$\sigma_p = 17,237 \text{ MPa}$$

El dispositivo consta de dos módulos, por lo tanto, deberá considerarse la fuerza aplicada por estos:

$$F = 2 * 166 \text{ N}$$

$$F = 332 \text{ N}$$

Como el parámetro del diseño es la carga, entonces la carga máxima permisible se expresa mediante la **ecuación (2)** por lo tanto se deduce que:

$$F_d = n_s * F$$

Donde F_d es la fuerza de diseño, n_s el factor de seguridad y F la fuerza.

$$F_d = 1,7 * 332 \text{ N}$$

$$F_d = 564,4 \text{ N}$$

Como no se conoce la altura de rosca, pero se sabe que $1,25d_m \leq H \leq 2,5d_m$ se establece que $H = 2,5d_m$.

Reemplazando H en la **ecuación (39)**.

$$\sigma_p = \frac{2 * F_d}{\pi * d_m * 2,5d_m}$$

Al despejar la ecuación se tiene:

$$\sigma_p = \frac{2 * F_d}{\pi * 2,5d_m^2}$$

$$d_m = \sqrt{\frac{2 * F_d}{\pi * 2,5 * \sigma_p}}$$

Reemplazando los datos:

$$d_m = \sqrt{\frac{2 * 564,4 \text{ N}}{\pi * 2,5 * 17,237 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}}$$

$$d_m = 0,002888 \text{ m}$$

Al momento de adquirir el tornillo es recomendable trabajar con medidas existentes en el mercado, véase el **Anexo 1**, de acuerdo a la disponibilidad del mercado se ha seleccionado

un tornillo de potencia de rosca trapezoidal fabricado según la norma ISO 2901, sus datos se muestran a continuación:

$$d_m = 7,25 \text{ mm}$$

$$d_e = 8 \text{ mm}$$

$$p = 2 \text{ mm}$$

Al analizar el diámetro medio calculado 2,889 mm podemos evidenciar que el diámetro medio del tornillo seleccionado es superior 7,25 mm, pero este es el mínimo disponible en el mercado por lo cual es el seleccionado, ante la escasez de este tornillo en el mercado se ha decidido implementar un tornillo trapezoidal personalizado usado en impresoras 3D cuya diferencia radica en el paso de rosca, sus datos se muestran a continuación.

$$d_m = 7 \text{ mm}$$

$$d_e = 8 \text{ mm}$$

$$p = 2 \text{ mm}$$

$$\#hileras = 1$$

El diámetro de raíz se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_r = d_m - p/2 \quad (40)$$

Por lo tanto:

$$d_r = 7 \text{ mm} - \frac{2 \text{ mm}}{2}$$

$$d_r = 6 \text{ mm}$$

7.2.5. Cálculo del torque necesario para presionar la carga

El comportamiento del tornillo de potencia se da como si se quisiera elevar o presionar una carga, por ello, el torque necesario para presionar la carga se calcula con la **ecuación (29)**.

Es necesario establecer el coeficiente de fricción entre la rosca y el tornillo el cual se obtiene de la tabla presente en el **Anexo 3** tomando en cuenta los materiales.

$$f = 0,15$$

El paso de rosca deberá ser mínimo ya que se desea mover la corredera (tuerca) lo más lento posible, se opta por 1 solo hilera en el tornillo entonces, el avance viene dado por:

$$l = p * \#hileras \quad (41)$$

Al reemplazar la **ecuación (41)**

$$l = 2 \text{ mm} * 1$$

$$l = 2 \text{ mm}$$

Se sabe que el ángulo $\alpha = 15^\circ$ para roscas trapezoidales.

Obtenidos los datos se procede a reemplazar en la **ecuación (35)**.

$$T_R = \frac{F_d * d_m}{2} \left[\frac{l + \pi * f * d_m * \sec(\alpha)}{\pi * d_m - f * l * \sec(\alpha)} \right]$$

$$T_R = \frac{564,4 \text{ N} * 0,007 \text{ m}}{2} \left[\frac{0,002 \text{ m} + \pi * 0,15 * 0,007 \text{ m} * \sec(15^\circ)}{\pi * 0,007 \text{ m} - 0,15 * 0,002 \text{ m} * \sec(15^\circ)} \right]$$

$$T_R = 0,49 \text{ Nm}$$

7.2.6. Verificación del esfuerzo equivalente

Para verificar, debe cumplirse que:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_y^2 + 4 * I_{xy}^2} \leq \frac{S_y}{n} \quad (42)$$

Donde σ_{eq} es el esfuerzo equivalente, σ_y es el esfuerzo axial nominal, I_{xy} es el esfuerzo cortante, S_y es el esfuerzo de fluencia y n el factor de seguridad.

El esfuerzo axial normal nominal σ_y se calcula con la ecuación:

$$\sigma_y = \frac{4 * F_d}{\pi * d_r^2} \quad (43)$$

Reemplazando datos:

$$\sigma_y = \frac{4 * (564,4 \text{ N})}{\pi * (0,006 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_y = 19,96 \text{ MPa}$$

$$I_{xy} = \frac{16 * T_R}{\pi * d_r^3}$$

$$I_{xy} = \frac{16 * 0,482 \text{ Nm}}{\pi * (0,006 \text{ m})^3}$$

$$I_{xy} = 11,36 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo equivalente a partir de la **ecuación (44)**.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_y^2 + 4 * I_{xy}^2} \quad (44)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(19,96 \times 10^6 \text{ Pa})^2 + 4 * (11,36 \times 10^6 \text{ Pa})^2}$$

$$\sigma_{eq} = 30,24 \text{ MPa}$$

De acuerdo con (Budynas & Keith, 2015), es recomendable realizar el análisis con un factor de seguridad $4 \leq n \leq 6$ por lo que en promedio se lo realizará con $n = 5$.

El límite de fluencia es obtenido a partir del **Anexo 11**.

$$S_y = 40000 \text{ PSI} = 275,79 \text{ MPa}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{275,79 \text{ MPa}}{5}$$

$$\frac{S_y}{n} = 55,158 \text{ MPa}$$

Se verifica que se cumple:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{S_y}{n}$$

$$30,24 \text{ MPa} \leq 55,158 \text{ MPa}$$

7.2.7. Verificación de estabilidad del tornillo

Se estudió el tornillo como si fuera una columna mediante la relación de Esbeltez, primeramente, se debe identificar si es una columna corta o larga para ello es necesario encontrar la relación de esbeltez del punto de tangencia que esta dado por la **ecuación (45)**

$$\left(\frac{L}{K}\right)_1 = \sqrt{\frac{2C\pi^2 E}{S_y}} \quad (45)$$

Se debe establecer la constante de los extremos de apoyo de la columna, en el caso de estudio el tornillo está empotrado en ambos extremos, por ello se establece $C = 1,2$ como valor recomendado, véase el **Anexo 9**. El módulo de elasticidad corresponde al material de tornillo (Acero inoxidable 403) se obtiene del **Anexo 10**, por lo tanto $E = 190$ GPa entonces se analiza:

$$\left(\frac{L}{K}\right)_1 = \sqrt{\frac{2(1,2)\pi^2(190 \times 10^9 \text{ Pa})}{0,27579 \times 10^9 \text{ Pa}}}$$

$$\left(\frac{L}{K}\right)_1 = 127,75$$

Posteriormente se analiza la relación de esbeltez del tornillo para saber si obedece a las ecuaciones de Jonhson o Euler (columnas cortas y largas).

$$\left(\frac{L}{K}\right)_{TOR} = \frac{4L}{d_r}$$

$$\left(\frac{L}{K}\right)_{TOR} = \frac{4(0,075 \text{ m})}{(0,006 \text{ m})}$$

$$\left(\frac{L}{K}\right)_{TOR} = 50$$

Como $\left(\frac{L}{K}\right)_{TOR} < \left(\frac{L}{K}\right)_1$ se tiene una columna corta que se rige por las ecuaciones de Jonhson, se usa la **ecuación (46)** para calcular la carga crítica del tornillo.

$$P_{cr} = A * \left[S_y - b \left(\frac{L}{K}\right)_{TOR}^2 \right] \quad (46)$$

Se calcula el área transversal a la carga, debe tomarse en cuenta el diámetro efectivo o llamado diámetro de raíz.

$$A = \frac{\pi d_r^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0,006 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,0000283 \text{ m}^2$$

b se calcula mediante la **ecuación (47)**.

$$b = \left(\frac{S_y}{2\pi}\right)^2 * \frac{1}{CE} \quad (47)$$

$$b = \left(\frac{0,27579 \times 10^9 \text{ Pa}}{2\pi}\right)^2 * \frac{1}{(1,2)(190 \times 10^9 \text{ Pa})}$$

$$b = 0,000008450111625 \text{ Pa}$$

La longitud L que corresponde a la distancia que se desplaza la corredera 0,075 m, obtenidos los datos se reemplazan en la **ecuación (46)**:

$$P_{cr} = (0,0000283 \text{ m}^2) * \left[\left(0,27579 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) - \left(8,450111625 \times 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) (50)^2 \right]$$

$$P_{cr} = 7804,85 \text{ N}$$

Anteriormente se había establecido la carga o fuerza de diseño de $F_d = 564,4 \text{ N}$. Ahora se calcula el nuevo factor de seguridad con el tornillo seleccionado:

$$n = \frac{P_{cr}}{F_d} = \frac{7804,85 \text{ N}}{564,4 \text{ N}}$$

$$n = 13,83$$

El factor de seguridad es 13,83, muy superior a lo recomendado entre $4 \leq n \leq 6$.

Habiendo calculado el diámetro medio basado en el esfuerzo de aplastamiento, comprobado el esfuerzo equivalente y verificado la estabilidad del tornillo, se da por terminado su diseño, a continuación, en la **Tabla 7** se presentan los los parámetros del tornillo adquirido.

Tabla 7. Datos del tornillo.

Descripción	Valor
Material tornillo	Acero inoxidable SUS304
Rosca	Trapezoidal
Material tuerca	Bronce

Paso	2 mm
Avance	2 mm
Diámetro exterior	8 mm
Diámetro medio	7 mm
Diámetro de raíz	6 mm
Sistema de medición	Métrica

Fuente: (Amazon, s.f.)

7.2.8. Dimensionamiento del motor

Es necesario establecer la velocidad de avance de la corredera que presionará los módulos AeroPress, por ello se debe conocer cuál será la distancia que este mismo debe desplazarse, de acuerdo a los ensayos realizados con los parámetros de la **Tabla 4**, se observó que el recorrido del embolo hasta vaciar toda el agua y romper el espacio de aire a presión es de 74,6 ~ 75 mm, véase en el **Anexo 20**.

Se sabe que:

$$d = 0,075 \text{ m}$$

$$l = 0,002 \text{ m}$$

Para calcular las revoluciones necesarias se tiene que:

$$\#rev = \frac{d}{l}$$

$$\#rev = \frac{0,075 \text{ m}}{0,002 \text{ m}}$$

$$\#rev = 37,5 \text{ rev}$$

Esto indica que el motor deberá dar el equivalente a 37,5 revoluciones para completar su recorrido, el caso más crítico establece que lo haga en $t = 20 \text{ s}$, por lo tanto, se tiene la frecuencia de giro n es:

$$n = \frac{\#rev}{t}$$

$$n = \frac{37,5 \text{ rev}}{20 \text{ s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$n = 112,5 \text{ rpm}$$

Para calcular la potencia del motor se tiene que:

$$Pot = \omega * \tau \quad (48)$$

Donde *Pot* es la potencia del motor, ω es la velocidad angular y τ es el torque a vencer.

Debe transformarse rpm a $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

$$\omega = 112,5 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi}{1 \text{ rev}}$$

$$\omega = 11,781 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Reemplazando en la **ecuación (48)**.

$$Pot = \omega * \tau$$

$$Pot = 11,781 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0,49 \text{ Nm}$$

$$Pot = 5,8 \text{ W}$$

7.2.9. Selección del motor

De acuerdo con los resultados obtenidos, la potencia del motor requerida es 5,8 W, el torque necesario es 0,493 Nm, la frecuencia de giro 112,5 RPM, estos parámetros varían de acuerdo al tiempo de vaciado programado, por ello se decidió implementar el uso de un motor paso a paso capaz de cumplir con dicho requerimiento.

El motor ha sido comparado a otros de menor capacidad, se realizó su selección de acuerdo al par que este mismo es capaz de generar en la frecuencia de giro requerida, al no contar con la potencia del motor en las especificaciones del fabricante, de la curva también se identifica el máximo torque que el motor desarrolla en la frecuencia de giro de 112,5 rpm para determinar la potencia del motor, véase la curva de par en la **Figura 34**.

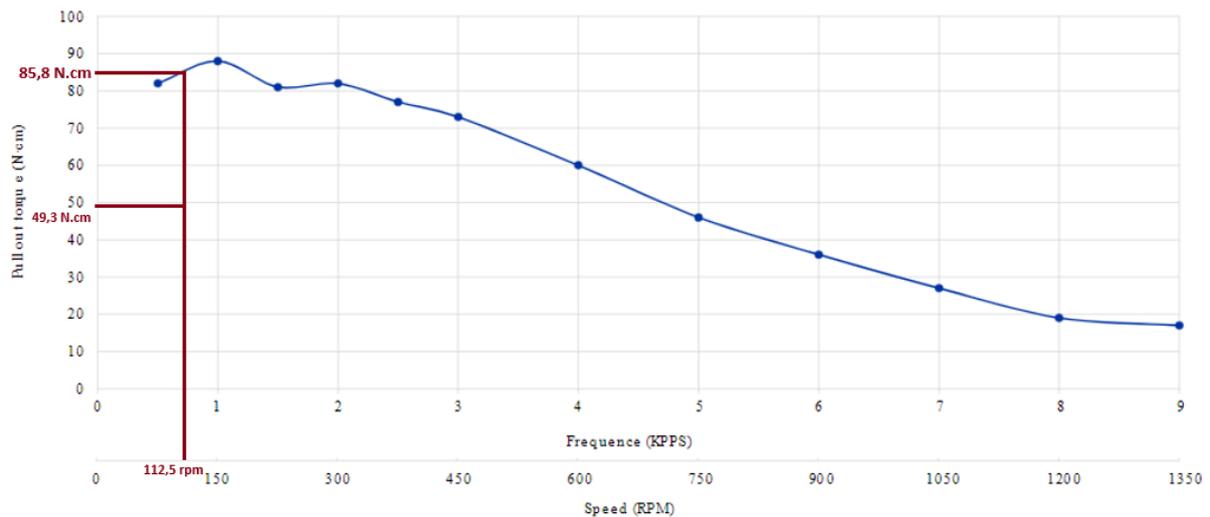


Figura 34. Curva de par NEMA 23HS22-2804S1.

Fuente: (Stepperonline, s.f.).

De acuerdo con la **Figura 34** el torque máximo τ_{max} que el motor desarrolla a 112,5 rpm equivalente a 85,8 Ncm, se sabe que:

$$Pot_{motor} = \omega * \tau_{max}$$

$$85,8 \text{ N} * \text{cm} = 0,858 \text{ N} * \text{m}$$

$$112,5 \text{ rpm} = 11,781 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Por lo tanto, la potencia del motor será:

$$Pot_{motor} = 11,781 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0,858 \text{ N} * \text{m}$$

$$Pot_{motor} = 10,11 \text{ W}$$

Se comprueba que $5,8 \text{ W} \leq 10,11 \text{ W}$ por lo que la potencia del motor es mayor a la potencia del motor requerida.

El motor seleccionado comparando con otros modelos es un motor NEMA 23HS22-2804S1, véase en la **Figura 35**, de acuerdo con la curva característica mostrada en la **Tabla 8**, el motor cumple con las especificaciones requeridas.

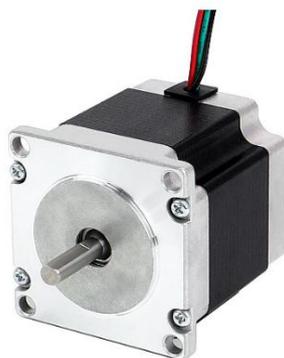


Figura 35. Motor NEMA 23HS22-2804S1

Fuente: (Stepperonline, s.f.).

Tabla 8. Especificaciones eléctricas de NEMA 23HS22-2804S1.

Especificación eléctrica	
Número de pieza del fabricante	23HS22-2804S1
Tipo de motor	paso a paso bipolar
Ángulo de paso	1,8 grados
Par de retención	1,26 Nm (178,4 oz.in)
Corriente nominal/fase	2,8 A
Resistencia de fase	0,9 ohmios
Clase de aislamiento	B 130°C [266°F]

Fuente: (Stepperonline, s.f.)

Al momento de diseñar la estructura del dispositivo deberá tomarse en cuenta las dimensiones del motor, los planos del mismo pueden visualizarse en el **Anexo 8**.

7.2.10. Selección de Planchas para estructura del dispositivo

Al tratarse de un dispositivo de extracción de café, el cual es de consumo humano, al momento de seleccionar los materiales de construcción se debe tener en cuenta que sus materiales sean de grado alimenticio, puesto que en algún momento tendrán contacto directo con los alimentos, en este caso se ha seleccionado como material de construcción un polímero muy conocido en este tipo de aplicaciones, poliamida 6, las propiedades mecánicas y demás características se muestran en el **Anexo 6**.

Tomando en cuenta el espacio ocupado por todos los elementos para no producir sobreposición, se establece las dimensiones de las planchas de PA 6 en 315 mm de largo, 130 mm de ancho y 15 mm de espesor como se muestra en la **Figura 36**, las medidas se aplicarán para la plancha que soporta la fuerza axial ejercida por el tornillo de potencia y la plancha que soporta la fuerza ejercida por los módulos de AeroPress, las fuerzas se aplicarán en puntos distintos por lo cual se realizará el cálculo para cada caso respectivamente.

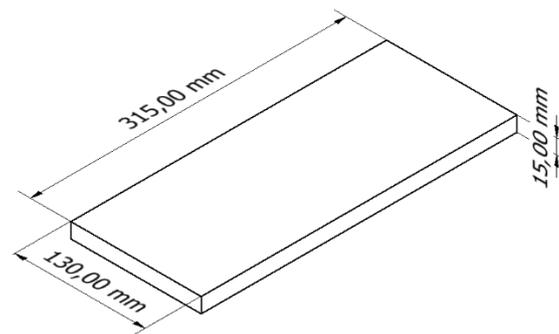


Figura 36. Dimensiones de placa para soporte de esfuerzos.

En el estudio se analizará las planchas de PA 6 como si se tratara de una viga con doble empotramiento, con la fuerza o fuerzas aplicadas a la distancia correspondiente dependiendo del caso de estudio, véase a continuación los diagramas de cuerpo libre para la plancha que soporta la carga los módulos AeroPress **Figura 37** y la plancha que soporta la carga axial del tornillo de potencia **Figura 38**.

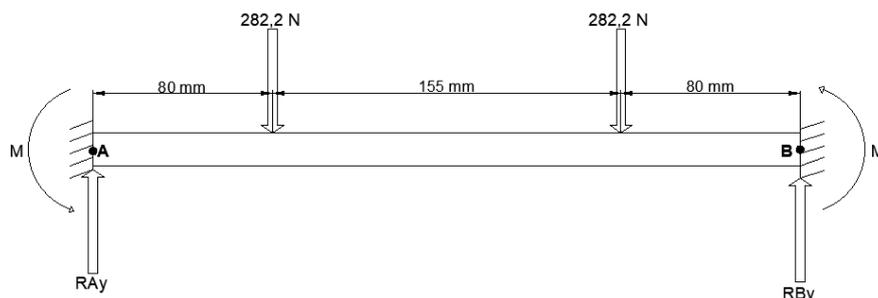


Figura 37. DCL Plancha de soporte para módulos AeroPress.

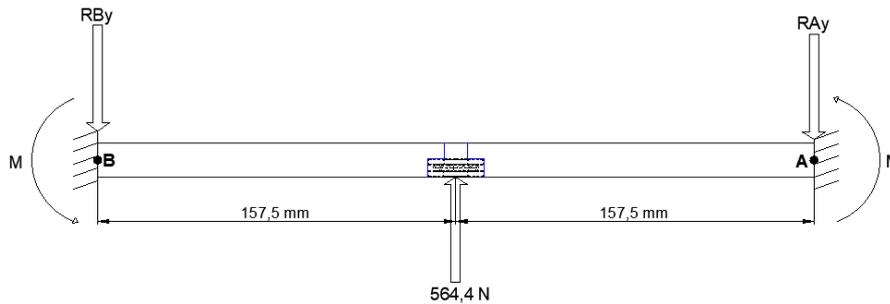


Figura 38. DCL Plancha de soporte para tornillo de potencia.

7.2.11. Cálculo de plancha para soporte de módulos AeroPress

Una vez seleccionado el material y dimensiones de las planchas para la construcción se procede a analizar el esfuerzo cortante y la deformación máxima para asegurar que esté dentro de los límites permitidos, el análisis se lleva a cabo mediante el método de doble integración para vigas, el diagrama de cuerpo libre puede verse en la **Figura 37**.

Se realiza la sumatoria de momentos en el punto A correspondiente al empotramiento izquierdo.

$$\sum MA = 0 \quad +\cup$$

$$0 = -282,2 \text{ N} * (0,08 \text{ m}) - 282,2 \text{ N} * (0,235 \text{ m}) + RB_y * (0,315 \text{ m})$$

despejando RB_y :

$$RB_y = \frac{282,2 \text{ N} * (0,08 \text{ m}) + 282,2 \text{ N} * (0,235 \text{ m})}{0,315 \text{ m}}$$

$$RB_y = 282,2 \text{ N}$$

Sumatoria de las fuerzas en el eje y:

$$\sum Fy = 0 \quad +\uparrow$$

$$0 = RA_y - 282,2 \text{ N} - 282,2 \text{ N} + RB_y$$

despejando RA_y :

$$RA_y = 282,2 \text{ N} + 282,2 \text{ N} - 282,2 \text{ N}$$

$$RA_y = 282,2 \text{ N}$$

Tal y como lo establece el método de doble integración para vigas hiperestáticas, se realiza cortes por secciones a lo largo de la barra, en el caso analizando podemos realizarlo únicamente con dos cortes debido a que la viga es simétrica, obsérvese el tramo 1 en la **Figura 39**.

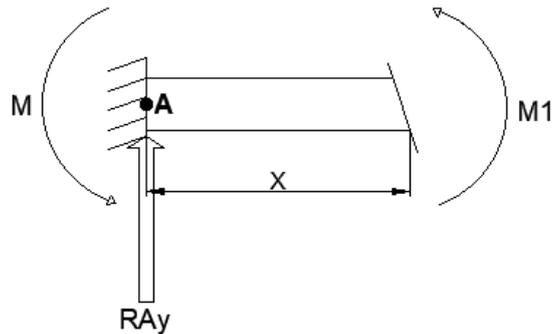


Figura 39. Tramo 1

El tramo 1 tiene en siguiente rango $0 \text{ m} \leq x \leq 0,08 \text{ m}$.

$$\sum M1 = 0 \quad +\cup$$

$$M - RA_y * x + M1 = 0$$

$$M - 282,2 \text{ N} * x + M1 = 0$$

$$M1 = 282,2 \text{ N} * x - M$$

$$EIy''(x) = 282,2 \text{ N} * x - M$$

$$EIy'(x) = \frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - M * x + C_1$$

$$EIy(x) = \frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{M * x^2}{2} + C_1 * x + C_2$$

$$\text{Condición 1 } x = 0 \text{ m} \begin{cases} \theta = 0^\circ \\ y = 0 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Condición 2 } x = 0,08 \text{ m} \begin{cases} \theta_1 = \theta_2 \\ y_1 = y_2 \end{cases}$$

Tomando en cuentas las ecuaciones del tramo 1 y la condición 1:

$$EIy'(x) = \frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - M * x + C_1$$

$$EIy'(0) = \frac{282,2 \text{ N} * (0)^2}{2} - M * (0) + C_1$$

$$C_1 = 0$$

$$EIy(x) = \frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{M * x^2}{2} + C_1 * x + C_2$$

$$EIy(0) = \frac{282,2 \text{ N} * (0)^3}{6} - \frac{(0)}{2} + (0) * (0) + C_2$$

$$C_2 = 0$$

Se realiza el segundo corte, en la **Figura 40** se puede apreciar el tramo 2.

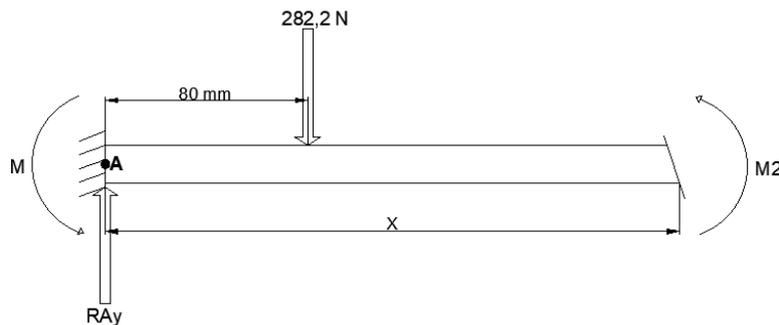


Figura 40. Tramo 2.

El tramo 1 tiene en siguiente rango $0,08 \text{ m} \leq x \leq 0,235 \text{ m}$.

$$\sum M2 = 0 \quad +\cup$$

$$M - RA_y * x + 282,2 \text{ N} * (x - 0,08 \text{ m}) + M2 = 0$$

$$M - 282,2 \text{ N} * x + 282,2 \text{ N} * x - 22,576 \text{ Nm} + M2 = 0$$

$$M2 = 282,2 \text{ N} * x - 282,2 \text{ N} * x + 22,576 \text{ Nm} - M$$

$$M2 = 22,576 \text{ Nm} - M$$

$$EIy''(x) = 22,576 \text{ Nm} - M$$

$$EIy'(x) = 22,576 \text{ Nm} * x - M * x + C_3$$

$$EIy(x) = \frac{22,576 \text{ Nm} * x^2}{2} - \frac{M * x^2}{2} + C_3 * x + C_4$$

Tomando en cuentas las ecuaciones del tramo 1 y tramo 2 con la condición 2:

$$\text{Condición 2 } x = 0,08 \text{ m} \begin{cases} \theta_1 = \theta_2 \\ y_1 = y_2 \end{cases}$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - M * x + C_1 = 22,576 \text{ Nm} * x - M * x + C_3$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * (0,08 \text{ m})}{2} - M * (0,08 \text{ m}) + (0) = 22,576 \text{ Nm} * (0,08 \text{ m}) - M * (0,08 \text{ m}) + C_3$$

$$C_3 = \frac{282,2 \text{ N} * (0,08 \text{ m})^2}{2} - M * (0,08 \text{ m}) - M * (0,08 \text{ m}) - 22,576 \text{ Nm} * (0,08 \text{ m})$$

$$C_3 = \frac{2822}{3125} \text{ Nm}^2 - 1,80608 \text{ Nm}^2$$

$$C_3 = -0,90304 \text{ Nm}^2$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{M * x^2}{2} + C_1 * x + C_2 = \frac{22,576 \text{ Nm} * x^2}{2} - \frac{M * x^2}{2} + C_3 * x + C_4$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * (0,08 \text{ m})^3}{6} - \frac{M * (0,08 \text{ m})^2}{2} + C_1 * (0,08 \text{ m}) + C_2 = \frac{22,576 \text{ Nm} * (0,08 \text{ m})^2}{2} - \frac{M * (0,08 \text{ m})^2}{2} + C_3 * (0,08 \text{ m}) + C_4$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * (0,08 \text{ m})^3}{6} + (0) * (0,08 \text{ m}) + (0) - \frac{22,576 \text{ Nm} * (0,08 \text{ m})^2}{2} - (-0,90304 \text{ Nm}) * (0,08 \text{ m}) = C_4$$

$$C_4 = 0,02408106667 \text{ Nm}^3 - 0,0722432 \text{ Nm}^3 + 0,0722432 \text{ Nm}^3$$

$$C_4 = 0,02408106667 \text{ Nm}^3$$

Para calcular el momento M , se puede notar que la viga es simétrica por lo cual la mayor elongación estará presente en la mitad de la misma.

$$\frac{0,315 \text{ m}}{2} = 0,1575 \text{ m}$$

se sabe que cuando se tiene una elongación máxima su pendiente es 0 por ello en $x = 0,1575 \text{ m}$ se tiene $\theta = 0^\circ$.

Como la inclinación es 0 y 0,1575 m se encuentra en el tramo 2, tomamos la ecuación del tramo 2 para inclinación:

$$Ely'(x) = 22,576 \text{ Nm} * x - M * x + C_3$$

$$0 = 22,576 \text{ Nm} * (0,1575 \text{ m}) - M * (0,1575 \text{ m}) - 0,90304 \text{ Nm}^2$$

$$M = \frac{3,55572 \text{ Nm}^2 - 0,90304 \text{ Nm}^2}{0,1575 \text{ m}}$$

$$M = 16,8424127 \text{ Nm}$$

Para el cálculo de la elongación, nótese que se dará en la mitad de la viga, es decir a 0,1575 m, por lo tanto, la ecuación que describe la elongación se encuentra en el tramo 2

$$EIy(x) = \frac{22,576 \text{ Nm} * x^2}{2} - \frac{M * x^2}{2} + C_3 * x + C_4$$

reemplazando datos:

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = \frac{22,576 \text{ Nm} * (0,1575 \text{ m})^2}{2} - \frac{(16,8424127 \text{ Nm}) * (0,1575 \text{ m})^2}{2} + (-0,90304 \text{ Nm}^2) * (0,1575 \text{ m}) + (0,02408106667 \text{ Nm}^3)$$

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = 0,28001295 \text{ Nm}^3 - 0,20889855 \text{ Nm}^3 - 0,1422288 \text{ Nm}^3 + 0,02408106667 \text{ Nm}^3$$

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = -0,04703333335 \text{ Nm}^3$$

El módulo de elasticidad de la poliamida 6 o PA 6 se obtiene del **Anexo 6**.

$$E_{PA6} = 2900 \text{ Mpa}$$

Es necesario calcular la inercia de la viga, corresponde a una viga rectangular, la ecuación se obtiene a partir del **Anexo 7**.

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

$$I = \frac{(0,13 \text{ m}) * (0,015 \text{ m})^3}{12}$$

$$I = 0,0000000365625 \text{ m}^4$$

Se reemplaza en la ecuación que describe la elongación y se resuelve:

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = -0,04703333335 \text{ Nm}^3$$

$$y(0,1575 \text{ m}) = \frac{-0,04703333335 \text{ Nm}^3}{EI}$$

$$y(0,1575 \text{ m}) = \frac{-0,04703333335 \text{ Nm}^3}{(2900000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * (0,0000000365625 \text{ m}^4))}$$

$$y(0,1575 \text{ m}) = -0,0004435799196 \text{ m}$$

$$y(0,1575 \text{ m}) \approx -0,444 \text{ mm}$$

A continuación, véase un resumen del análisis de la viga **Figura 41**, el diagrama de cortantes **Figura 42**, diagrama de momentos **Figura 43** y elongación **Figura 44**.

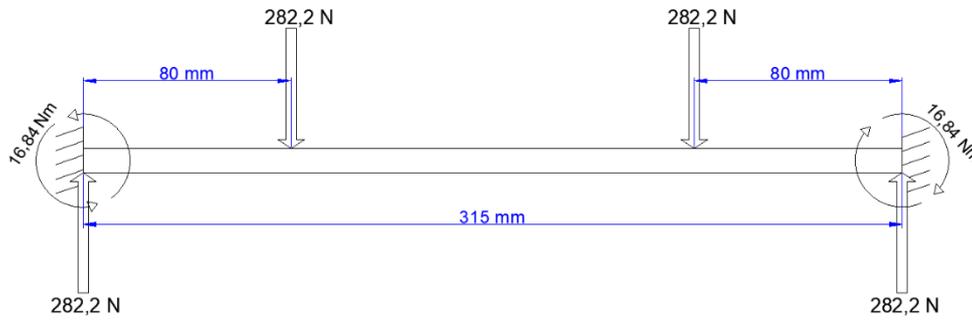


Figura 41. Análisis de la viga.

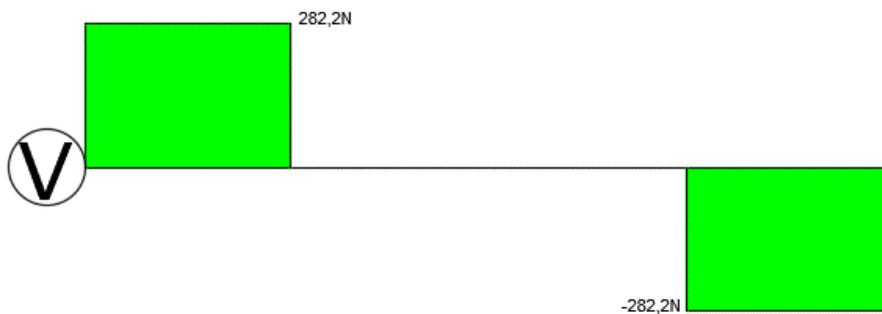


Figura 42. Diagrama de Cortantes.

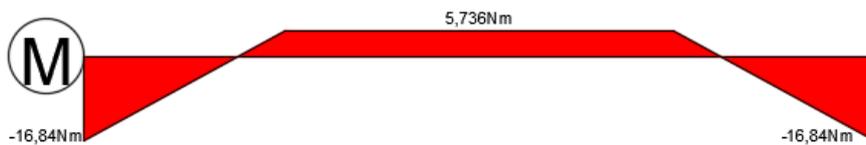


Figura 43. Diagrama de momentos.

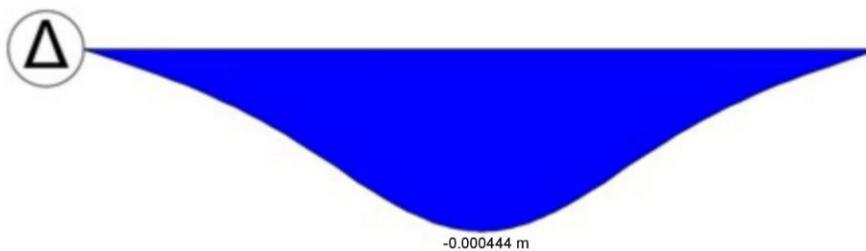


Figura 44. Elongación producida en la viga.

Los resultados se contrastan mediante simulación por medio del software SolidWorks donde se toma como principales variables el límite de elasticidad para los esfuerzos de Von Mises y el módulo elástico (módulo de Young) para analizar la elongación, véase en la **Figura 45**, que la elongación es de 0,471 mm, la diferencia entre los resultados de la elongación por simulación y cálculos es de 0,027 mm, que puede justificarse debido a que la simulación se realizó considerando la pieza mecanizada y las fuerzas aplicadas de manera distribuida en la superficie de contacto.

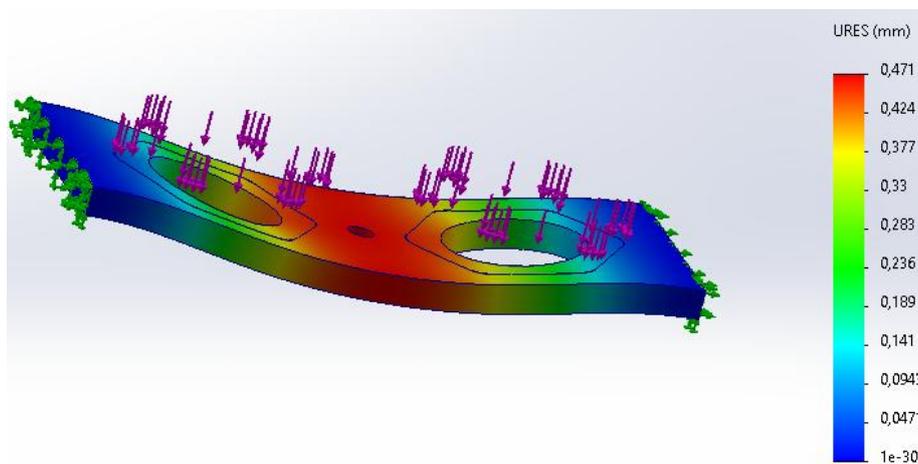


Figura 45. Resultados para elongación en soporte de módulos AeroPress.

Se realiza el cálculo de esfuerzo máximo en la plancha que soportará los módulos AeroPress que viene dado por:

$$\sigma_{max} = \frac{M * C}{I}$$

Donde σ_{max} es el esfuerzo máximo presente en la plancha, M es el máximo momento presente, C la distancia desde el centroide de la plancha a la parte superior de la misma e I el modulo de inercia; Reemplazando datos se tiene que:

$$\sigma_{max} = \frac{16,84 Nm * 0,0075 m}{0,0000000365625 m^4}$$

$$\sigma_{max} = 34543558,974 \frac{N}{m^2} = 3,454 MPa$$

Del **Anexo 6** se tiene que el límite de elasticidad de la poliamida 6 corresponde a $\sigma_y = 78MPa$, se realiza una simulación de esfuerzos en SolidWorks para corroborar los resultados con los encontrados manualmente, véase la **Figura 46**.

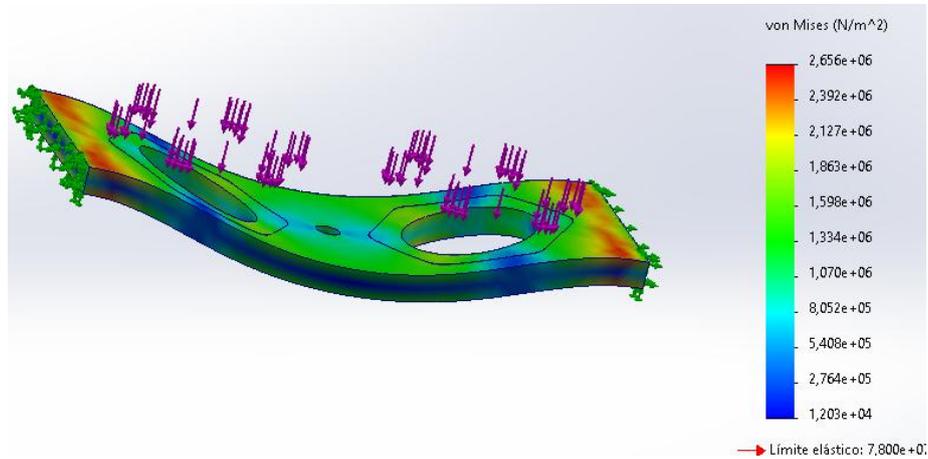


Figura 46. Esfuerzos de Von Mises

Los resultados de los esfuerzos máximos en simulación y los encontrados manualmente varían levemente debido a que la simulación es realizada tomando en cuenta la pieza mecanizada y las fuerzas aplicadas están distribuidas en las superficies de contacto entre piezas, en ambos casos no se supera el límite elástico ya que se cumple que:

$$\sigma_{max} < \sigma_y$$

Tomando como crítico el mayor valor se tiene que:

$$3,454 \text{ Mpa} < 78 \text{ MPa}$$

Lo que garantiza que la plancha no sufrirá deformaciones plásticas y la elongación producida será mínima, por lo que cumple con los requerimientos necesarios.

7.2.12. Cálculo de plancha para soporte superior de apoyo del tornillo

En base a la **Figura 38** Se realiza la sumatoria de momentos en el punto A correspondiente al empotramiento izquierdo.

$$\sum MA = 0 \quad +\cup$$

$$0 = 564,4 \text{ N} * (0,1575 \text{ m}) + RB_y * (0,315 \text{ m})$$

despejando RB_y :

$$RB_y = -\frac{564,4 \text{ N} * (0,1575 \text{ m})}{0,315 \text{ m}}$$

$$RB_y = -282,2 \text{ N}$$

Sumatoria de las fuerzas en el eje y :

$$\sum F_y = 0 \quad +\uparrow$$

$$0 = RA_y + 564,4 \text{ N} + RB_y$$

despejando RA_y :

$$-RA_y = 564,4 \text{ N} - 282,2 \text{ N}$$

$$RA_y = -282,2 \text{ N}$$

Tal y como lo establece el método de doble integración para vigas hiperestáticas, se realiza cortes por secciones a lo largo de la barra, en el caso analizando podemos realizarlo únicamente con un corte debido a que la viga es simétrica, véase la **Figura 47**.

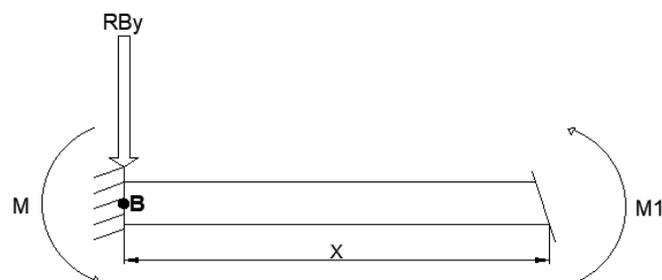


Figura 47. Tramo 1.

El tramo 1 tiene en siguiente rango $0 \text{ m} \leq x \leq 0,1575 \text{ m}$.

$$\sum M1 = 0 \quad +\cup$$

$$M + RA_y * x + M1 = 0$$

$$M + 282,2 \text{ N} * x + M1 = 0$$

$$M1 = -282,2 \text{ N} * x - M$$

$$EIy''(x) = -282,2 \text{ N} * x - M$$

$$EIy'(x) = -\frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - M * x + C_1$$

$$EIy(x) = -\frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{M * x^2}{2} + C_1 * x + C_2$$

$$\text{Condición 1 } x = 0 \text{ m} \begin{cases} \theta = 0^\circ \\ y = 0 \text{ m} \end{cases}$$

Tomando en cuentas las ecuaciones del tramo 1 y la condición 1:

$$EIy'(x) = -\frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - M * x + C_1$$

$$EIy'(0) = -\frac{282,2 \text{ N} * (0)^2}{2} - M * (0) + C_1$$

$$C_1 = 0$$

$$EIy(x) = -\frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{M * x^2}{2} + C_1 * x + C_2$$

$$EIy(0) = -\frac{282,2 \text{ N} * (0)^3}{6} - \frac{(0)}{2} + (0) * (0) + C_2$$

$$C_2 = 0$$

Para calcular el momento M , se puede notar que la viga es simétrica por lo cual la mayor elongación estará presente en la mitad de la misma.

$$\frac{0,315 \text{ m}}{2} = 0,1575 \text{ m}$$

Se sabe que cuando se tiene una elongación máxima su pendiente es 0 por ello en $x = 0,1575 \text{ m}$ se tiene $\theta = 0^\circ$.

Como la inclinación es 0 y 0,1575 m se encuentra en el tramo 1, tomamos la ecuación del tramo 1 para inclinación:

$$EIy'(x) = -\frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - M * x + C_1$$

$$0 = -\frac{282,2 \text{ N} * (0,1575)^2}{2} - M * (0,1575) + 0$$

$$M = -\frac{\frac{282,2 \text{ N} * (0,1575)^2}{2}}{0,1575 \text{ m}}$$

$$M = -22,22325 \text{ Nm}$$

Para el cálculo de la elongación, nótese que se dará en la mitad de la viga, es decir a 0,1575 m, por lo tanto, la ecuación que describe la elongación se encuentra en el tramo 1.

$$EIy(x) = -\frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{M * x^2}{2} + C_1 * x + C_2$$

reemplazando datos:

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = -\frac{282,2 \text{ N} * (0,1575 \text{ m})^3}{6} - \frac{(-22,22325 \text{ Nm}) * (0,1575 \text{ m})^2}{2}$$

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = 0,09187924922 \text{ Nm}^3$$

Se reemplaza en la ecuación que describe la elongación y se resuelve:

$$EIy(0,1575 \text{ m}) = 0,09187924922 \text{ Nm}^3$$

$$y(0,1575 \text{ m}) = \frac{0,09187924922 \text{ Nm}^3}{EI}$$

$$y(0,1575 \text{ m}) = \frac{0,09187924922 \text{ Nm}^3}{(2900000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * (0,0000000365625 \text{ m}^4))}$$

$$y(0,1575 \text{ m}) = 0,0008665299072 \text{ m}$$

$$y(0,1575 \text{ m}) \approx 0,867 \text{ mm}$$

A continuación, véase un resumen del análisis de la viga **Figura 48**, el diagrama de cortantes **Figura 49**, diagrama de momentos **Figura 50** y elongación **Figura 51**.

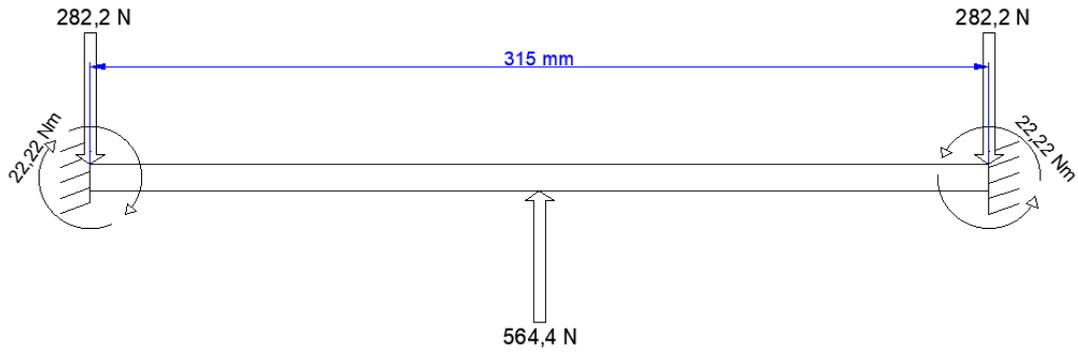


Figura 48. Análisis de la viga.

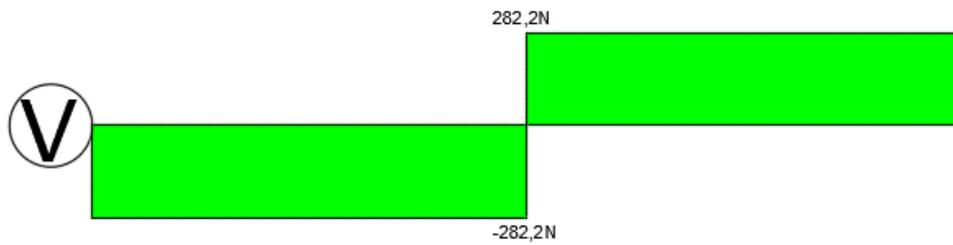


Figura 49. Diagrama de cortantes.

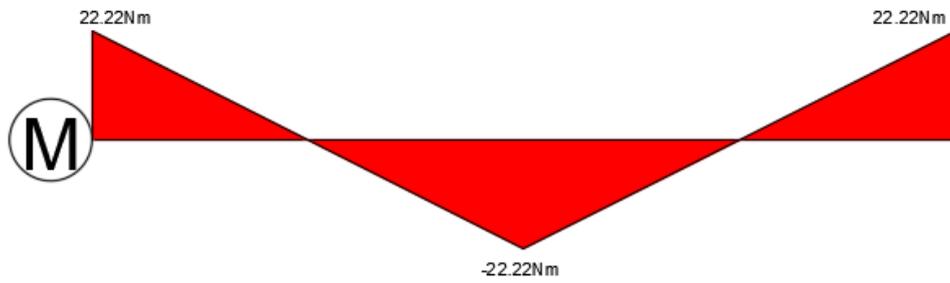


Figura 50. Diagrama de momentos.

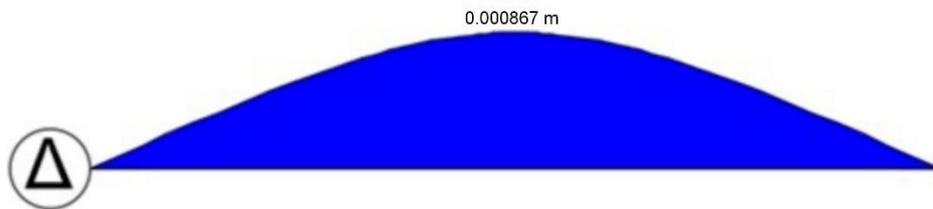


Figura 51. Elongación producida en la viga.

Los resultados se contrastan mediante simulación por medio del software SolidWorks donde se toma como principales variables el límite de elasticidad para los esfuerzos de Von

Mises y el módulo elástico (módulo de Young) para analizar la elongación, véase en la **Figura 52**, que la elongación es de 0,869 mm, la diferencia entre los resultados de la elongación por simulación y cálculos es de 0,002 mm, que puede justificarse debido a que la simulación se realizó tomando en cuenta la mecanización de la pieza y las fuerzas aplicadas de manera distribuida en la superficie de contacto correspondiente.

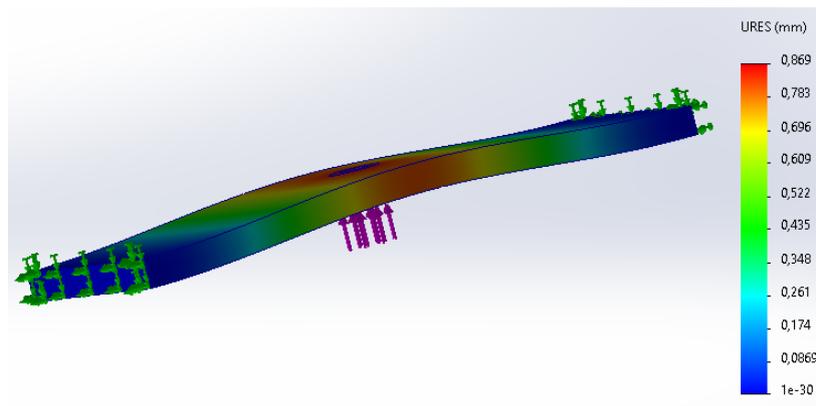


Figura 52. Resultados para elongación del soporte superior del tornillo.

Se realiza el cálculo de esfuerzo máximo en la plancha que soportará los módulos AeroPress que viene dado por:

$$\sigma_{max} = \frac{M * C}{I}$$

Donde σ_{max} es el esfuerzo máximo presente en la plancha, M es el máximo momento presente, C la distancia desde el centroide de la plancha a la parte superior de la misma e I el modulo de inercia; Reemplazando datos se tiene que:

$$\sigma_{max} = \frac{22,22 \text{ Nm} * 0,0075 \text{ m}}{0,0000000365625 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 4557948,718 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 4,558 \text{ MPa}$$

Del **Anexo 6** se tiene que el límite de elasticidad de la poliamida 6 corresponde a $\sigma_y = 78MPa$, se realiza una simulación de esfuerzos en SolidWorks para corroborar los resultados con los encontrados manualmente, véase la **Figura 53**.

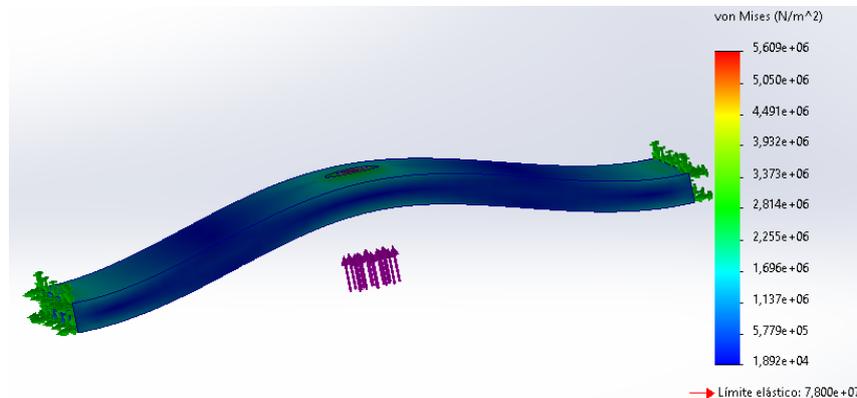


Figura 53. Esfuerzos de Von Mises.

Los resultados de los esfuerzos máximos en simulación y los encontrados manualmente varían levemente debido a que la simulación es realizada tomando en cuenta la pieza mecanizada y las fuerzas aplicadas están distribuidas en las superficies de contacto entre piezas, en ambos casos no se supera el límite elástico ya que se cumple que:

$$\sigma_{max} < \sigma_y$$

Tomando como crítico el mayor valor se tiene que:

$$5,609 \text{ Mpa} < 78 \text{ MPa}$$

Lo que garantiza que la plancha no sufrirá deformaciones plásticas y la elongación producida será mínima, por lo que cumple con los requerimientos necesarios.

7.2.13. Cálculo de la corredera o tuerca móvil

Debido a la geometría de la misma, no se puede realizar su análisis como en anteriores cálculos, por ello se realizó únicamente una simulación en el software SolidWorks donde se toma como principales variables el límite de elasticidad para los esfuerzos de Von Mises y el módulo elástico (módulo de Young) para analizar la elongación, a continuación, véase en la **Figura 54** y **Figura 55**.

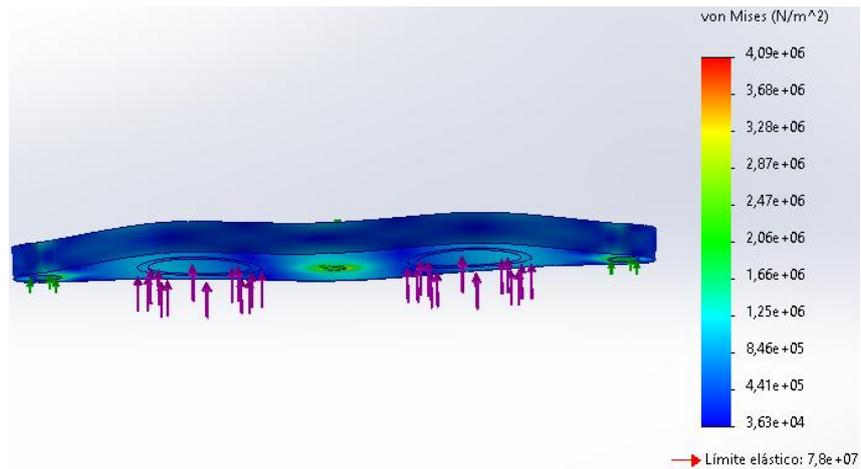


Figura 54. Esfuerzo de Von Mises en la corredera.

El esfuerzo de Von Mises no supera el límite elástico por lo que se garantiza que la pieza va no sufrirá deformaciones plásticas, se procede a analizar la elongación producida.

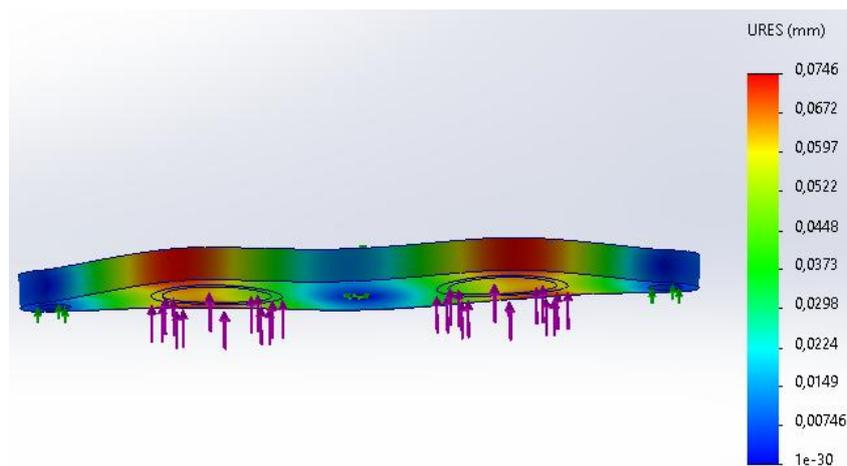


Figura 55. Resultados para la elongación en la corredera.

La deformación es mínima equivalente a 0,0746 mm por que se considera mínima y aceptable.

7.2.14. Selección de rodamientos

Al tratarse de un tornillo de potencia en posición vertical, las reacciones del mismo son netamente axiales, por tanto, solo presentará reacciones en el eje vertical, el mismo que es equivalente a la fuerza necesaria para presionar los módulos AeroPress, la fuerza axial equivalente a:

$$F_a = 0,5644 \text{ kN}$$

Se seleccionó rodamientos axiales de bolas del fabricante SKF, también se consideró que es necesario maquinar el tornillo en sus extremos en este caso al diámetro de raíz del mismo equivalente a 6 mm, por ello se llevó a cabo una revisión de un rodamiento que cumpla con el diámetro, véase el **Anexo 12**.

Se seleccionó un rodamiento axial de bolas designación **BA 6** del fabricante SKF, las características del mismo se muestran a continuación en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Características del rodamiento BA 6.

Denominación	C	CO	d	D	H
BA 6	1,78 kN	1,92 kN	6 mm	14 mm	5 mm

Fuente: (SKF, s.f.)

Se sabe que las cargas presentes son puramente axiales, la vida especificada para un electrodoméstico es de 300 a 3000 h, véase el **Anexo 13**, y se conoce la máxima frecuencia de giro del eje, por lo tanto:

$$P = F_a = 0,5644 \text{ kN}$$

$$n = 112,5 \text{ rpm}$$

$$L_h = 3000 \text{ h}$$

Se tiene que la duración expresada en millones de revoluciones es:

$$L = \frac{60 * n * L_h}{10^6} = \frac{60 * 112,5 \text{ rpm} * 3000 \text{ h}}{10^6} = 20,25$$

$$\frac{C}{P} = L^{\frac{1}{p}}$$

Donde $p = 3$ por ser rodamientos de bolas.

$$L^{\frac{1}{p}} = (20,25)^{\frac{1}{3}} = 2,73$$

Se obtiene la capacidad de carga dinámica requerida:

$$C_{req} = L^{\frac{1}{p}} * P$$

$$C_{req} = 2,73 * 0,5644 \text{ kN}$$

$$C_{req} = 1,54 \text{ kN}$$

Véase que la carga dinámica de rodamiento BA 6 **Anexo 12** es mayor a la carga dinámica requerida calculada; $1,78 \text{ kN} \geq 1,54 \text{ kN}$, por lo tanto, es correcta la selección para el rodamiento superior del dispositivo, se considera que el rodamiento inferior aun con una carga muy baja al momento de trabajar sea de la misma denominación debido a la carencia de más rodamientos axiales de bola para el diámetro requerido.

Para seleccionar un lubricante con una viscosidad adecuada, primeramente, de debe establecer la viscosidad nominal según el fabricante, para lo cual como datos de entrada se necesita la frecuencia de giro $n = 112,5 \text{ rpm}$ y el diámetro medio del rodamiento d_m , este se calcula como:

$$d_m = 0,5 * (d + D)$$

$$d_m = 0,5 * (6 \text{ mm} + 14 \text{ mm})$$

$$d_m = 10 \text{ mm}$$

Según el **Anexo 14** y con los datos de entrada la viscosidad nominal es $\frac{225 \text{ mm}^2}{\text{s}}$, lo que de acuerdo el fabricante en el **Anexo 15** y considerándose una temperatura de trabajo de 40°C , el lubricante recomendado tiene denominación ISO VG 220 cuya viscosidad cinemática limite a 40°C es $\frac{220 \text{ mm}^2}{\text{s}}$, pero debe tenerse en cuenta que el dispositivo es para elaboración de productos de consumo humano por lo cual se requerirá de un lubricante de grado alimenticio, para ello se realizó la búsqueda de un lubricante que cumpla con estos requisitos de viscosidad a una temperatura de trabajo de 40°C y que sea de grado alimenticio, teniéndose así un lubricante de denominación NEVASTANE XSH 220 según la norma ISO 3104, su registro es NSF H1 recomendado para contacto incidental con alimentos, cuya viscosidad cinemática a 40°C es $\frac{220 \text{ mm}^2}{\text{s}}$, estos datos se pueden visualizar en el **Anexo 16**.

7.2.15. Selección de rodamientos lineales

Debe encontrarse la fuerza que actúa sobre los mismos, para ello se analiza el caso más crítico en el que se acciona solamente un módulo de AeroPress independientemente en el lado derecho o izquierdo, esto generara un mayor momento al extremo contrario en el que se coloca el módulo, para ello el diagrama del caso de estudio se muestra a continuación en la **Figura 56**

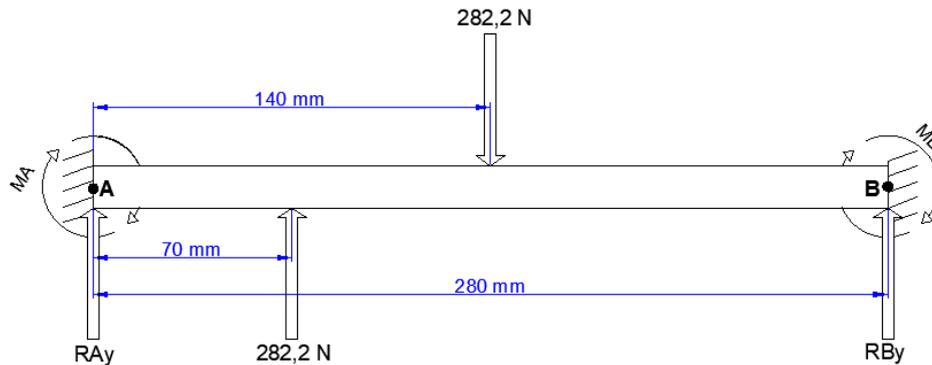


Figura 56. Diagrama de la corredera.

Por el método de doble integración se procede a encontrar las fuerzas y momentos aplicados a lo largo del objeto de estudio.

En base a la **Figura 56** Se realiza la sumatoria de momentos en el punto A correspondiente al empotramiento izquierdo.

$$\sum MA = 0 \quad +\curvearrowright$$

$$0 = -MA + 282,2 \text{ N} * (0,07 \text{ m}) - 282,2 \text{ N} * (0,14 \text{ m}) + RB_y * (0,28 \text{ m}) - MB$$

Sumatoria de las fuerzas en el eje y:

$$\sum Fy = 0 \quad +\uparrow$$

$$0 = RA_y + 282,2 \text{ N} - 282,2 \text{ N} + RB_y$$

Tal y como lo establece el método de doble integración para vigas hiperestáticas, se realiza cortes por secciones a lo largo de la barra, en el caso analizando podemos realizarlo únicamente con un corte debido a que la viga es simétrica, véase la **Figura 57**.

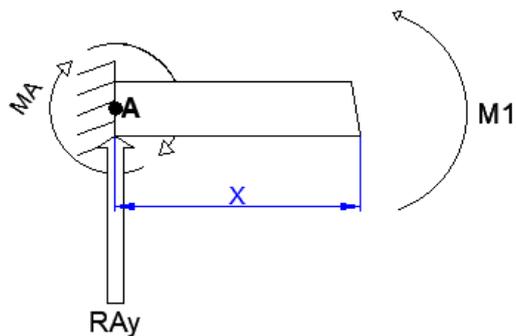


Figura 57. Tramo 1.

El tramo 1 tiene en siguiente rango $0 \text{ m} \leq x \leq 0,07 \text{ m}$.

$$\sum M1 = 0 \quad +\cup$$

$$-MA - RA_y * x + M1 = 0$$

$$M1 = MA + RA_y * x$$

$$EIy''(x) = MA + RA_y * x$$

$$EIy'(x) = MA * x + \frac{RA_y * x^2}{2} + C_1$$

$$EIy(x) = \frac{MA * x^2}{2} + \frac{RA_y * x^3}{6} + C_1 * x + C_2$$

$$\text{Condición 1 } x = 0 \text{ m} \begin{cases} \theta_1 = 0^\circ \\ y_1 = 0 \text{ m} \end{cases}$$

Se realiza el segundo corte, en la **Figura 58** se puede apreciar el tramo 2.

El tramo 2 tiene en siguiente rango $0,07 \text{ m} \leq x \leq 0,14 \text{ m}$.

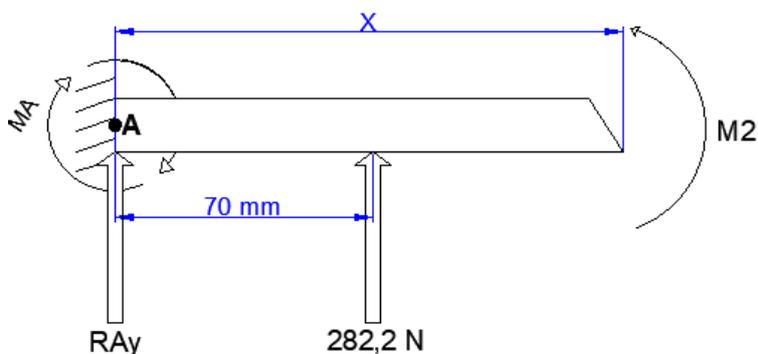


Figura 58. Tramo 2.

$$\sum M2 = 0 \quad +\cup$$

$$-MA - RA_y * x - 282,2 \text{ N} * (x - 0,07 \text{ m}) + M2 = 0$$

$$M2 = MA + RA_y * x + 282,2 \text{ N} * x - 19,754 \text{ Nm}$$

$$EIy''(x) = MA + RA_y * x + 282,2 \text{ N} * x - 19,754 \text{ Nm}$$

$$EIy'(x) = MA * x + \frac{RA_y * x^2}{2} + \frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - 19,754 \text{ Nm} * x + C_3$$

$$EIy(x) = \frac{MA * x^2}{2} + \frac{RA_y * x^3}{6} + \frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{19,754 \text{ Nm} * x^2}{2} + C_3 * x + C_4$$

$$\text{Condición 2 } x = 0,07 \text{ m} \begin{cases} \theta_1 = \theta_2 \\ y_1 = y_2 \end{cases}$$

$$\text{Condición 3 } x = 0,14 \text{ m} \begin{cases} \theta_2 = \theta_3 \\ y_2 = y_3 \end{cases}$$

Se realiza el tercer corte, en la **Figura 59** se puede apreciar el tramo 3.

El tramo 3 tiene en siguiente rango $0,14 \text{ m} \leq x \leq 0,28 \text{ m}$.

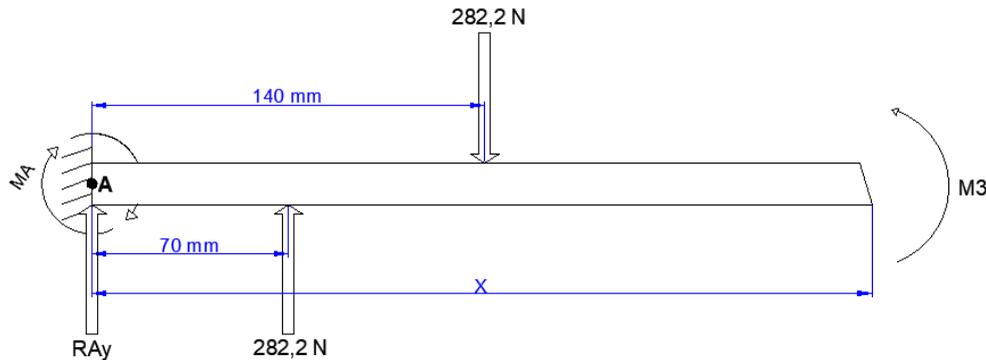


Figura 59. Tramo 3.

$$\sum M3 = 0 \quad +\cup$$

$$-MA - RA_y * x - 282,2 \text{ N} * (x - 0,07 \text{ m}) + 282,2 \text{ N} * (x - 0,14 \text{ m}) + M3 = 0$$

$$M3 = MA + RA_y * x + 282,2 \text{ N} * x + 19,754 \text{ Nm}$$

$$EIy''(x) = MA + RA_y * x + 282,2 \text{ N} * x + 19,754 \text{ Nm}$$

$$EIy'(x) = MA * x + \frac{RA_y * x^2}{2} + 19,754 \text{ Nm} * x + C_5$$

$$EIy(x) = \frac{MA * x^2}{2} + \frac{RA_y * x^3}{6} + \frac{19,754 \text{ Nm} * x^2}{2} + C_5 * x + C_6$$

$$\text{Condición 4 } x = 0,28 \text{ m} \begin{cases} \theta_4 = 0^\circ \\ y_4 = 0 \text{ m} \end{cases}$$

Tomando en cuentas las ecuaciones del tramo 1 condición 1:

$$\text{Condición 1 } x = 0 \text{ m} \begin{cases} \theta_1 = 0^\circ \\ y_1 = 0 \text{ m} \end{cases}$$

$$EIy'(0) = MA * (0 \text{ m}) + \frac{RA_y * (0 \text{ m})^2}{2} + C_1$$

$$C_1 = 0$$

$$EIy(0 \text{ m}) = \frac{MA * (0 \text{ m})^2}{2} + \frac{RA_y * (0 \text{ m})^3}{6} + (0) * (0 \text{ m}) + C_2$$

$$C_2 = 0$$

Tomando en cuentas las ecuaciones del tramo 1 y tramo 2 con la condición 2

$$\text{Condición 2 } x = 0,07 \text{ m} \begin{cases} \theta_1 = \theta_2 \\ y_1 = y_2 \end{cases}$$

$$MA * (0,07 \text{ m}) + \frac{RA_y * (0,07 \text{ m})^2}{2} + C_1 = MA * (0,07 \text{ m}) + \frac{RA_y * (0,07 \text{ m})^2}{2} + \frac{282,2 \text{ N} * (0,07 \text{ m})^2}{2} - 19,754 \text{ Nm} * (0,07 \text{ m}) + C_3$$

$$0 = -0,69139 \text{ Nm}^2 + C_3$$

$$C_3 = 0,69139 \text{ Nm}^2$$

$$\frac{MA * (0,07 \text{ m})^2}{2} + \frac{RA_y * (0,07 \text{ m})^3}{6} = \frac{MA * (0,07 \text{ m})^2}{2} + \frac{RA_y * (0,07 \text{ m})^3}{6} + \frac{282,2 \text{ N} * (0,07 \text{ m})^3}{6} - \frac{19,754 \text{ Nm} * (0,07 \text{ m})^2}{2} + (0,69 \text{ Nm}^2) * (0,07 \text{ m}) + C_4$$

$$C_4 = -0,01613243333 \text{ Nm}^3$$

Tomando en cuentas las ecuaciones del tramo 2 y tramo 3 con la condición 3

$$\text{Condición 3 } x = 0,14 \text{ m} \begin{cases} \theta_2 = \theta_3 \\ y_2 = y_3 \end{cases}$$

$$MA * x + \frac{RA_y * x^2}{2} + \frac{282,2 \text{ N} * x^2}{2} - 19,754 \text{ Nm} * x + C_3 = MA * x + \frac{RA_y * x^2}{2} + 19,754 \text{ Nm} * x + C_5$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * (0,14 \text{ m})^2}{2} - 19,754 \text{ Nm} * (0,14 \text{ m}) + 0,69139 \text{ Nm}^2 = 19,754 \text{ Nm} * (0,14 \text{ m}) + C_5$$

$$C_5 = -2,07417 \text{ Nm}^2$$

$$\frac{MA * x^2}{2} + \frac{RA_y * x^3}{6} + \frac{282,2 \text{ N} * x^3}{6} - \frac{19,754 \text{ Nm} * x^2}{2} + C_3 * x + C_4 = \frac{MA * x^2}{2} + \frac{RA_y * x^3}{6} + \frac{19,754 \text{ Nm} * x^2}{2} + C_5 * x + C_6$$

$$\frac{282,2 \text{ N} * (0,14 \text{ m})^3}{6} - \frac{19,754 \text{ Nm} * (0,14 \text{ m})^2}{2} + 0,69139 \text{ Nm}^2 * (0,14 \text{ m}) - 0,01613243333 \text{ Nm}^3$$

$$= \frac{19,754 \text{ Nm} * (0,14 \text{ m})^2}{2} - 2,07417 \text{ Nm}^2 * (0,14 \text{ m}) + C_6$$

$$C_6 = 0,1129270333 \text{ Nm}^3$$

Para calcular las variables desconocidas, se puede usar la ecuación que describe el ángulo del tramo 3 y la condición 4.

$$\text{Condición 4 } x = 0,28 \text{ m} \begin{cases} \theta_4 = 0^\circ \\ y_4 = 0 \text{ m} \end{cases}$$

$$EIy'(0,28 \text{ m}) = MA * (0,28 \text{ m}) + \frac{RA_y * (0,28 \text{ m})^2}{2} + 19,754 \text{ Nm} * (0,28 \text{ m}) + C_5$$

$$0 = MA * (0,28 \text{ m}) + \frac{RA_y * (0,28 \text{ m})^2}{2} + 19,754 \text{ Nm} * (0,28 \text{ m}) - 2,07417 \text{ Nm}^2$$

$$MA = \frac{-RA_y * (0,0392 \text{ m}^2) - 3,45695 \text{ Nm}^2}{0,28 \text{ m}}$$

Seguidamente se hace uso de la ecuación que describe la deformación en el tramo 3 cuando $x = 0,28 \text{ m}$

$$EIy(0,28 \text{ m}) = \frac{MA * (0,28 \text{ m})^2}{2} + \frac{RA_y * (0,28 \text{ m})^3}{6} + \frac{19,754 \text{ Nm} * (0,28 \text{ m})^2}{2} + C_5 * (0,28 \text{ m}) + C_6$$

$$0 = \frac{MA * (0,28 \text{ m})^2}{2} + \frac{RA_y * (0,28 \text{ m})^3}{6} + \frac{19,754 \text{ Nm} * (0,28 \text{ m})^2}{2} - 2,07417 \text{ Nm}^2 * (0,28 \text{ m}) + 0,1129270333 \text{ Nm}^3$$

$$MA * 0,0392 \text{ m}^2 + RA_y * 0,003658666667 \text{ m}^3 + 0,3065162333 \text{ Nm}^3 = 0$$

De la ecuación obtenida del ángulo reemplazamos en la obtenida de la deformación.

$$\frac{-RA_y * (0,0392 \text{ m}^2) - 3,45695 \text{ Nm}^2}{0,28 \text{ m}} * 0,0392 \text{ m}^2 + RA_y * 0,003658666667 \text{ m}^3 + 0,3065162333 \text{ Nm}^3 = 0$$

$$-RA_y * 0,005488 \text{ m}^3 - 0,483973 \text{ Nm}^3 + RA_y * 0,003658666667 \text{ m}^2 + 0,3065162333 \text{ Nm}^3 = 0$$

$$RA_y = \frac{0,1774567667 \text{ Nm}^3}{-0,001829333333 \text{ m}^3}$$

$$RA_y = -97 \text{ N}$$

Se reemplaza en las ecuaciones planteadas inicialmente y se encuentra RB_y :

$$0 = RA_y + 282,2 \text{ N} - 282,2 \text{ N} + RB_y$$

$$0 = -97 \text{ N} + 282,2 \text{ N} - 282,2 \text{ N} + RB_y$$

$$RB_y = 97 \text{ N}$$

El momento MA es:

$$MA = \frac{-RA_y * (0,0392 \text{ m}^2) - 3,45695 \text{ Nm}^2}{0,28 \text{ m}}$$

$$MA = \frac{-(-97 \text{ N}) * (0,0392 \text{ m}^2) - 3,45695 \text{ Nm}^2}{0,28 \text{ m}}$$

$$MA = 1,23 \text{ Nm}$$

El momento MB se obtiene de las ecuaciones planteadas inicialmente:

$$0 = -MA + 282,2 \text{ N} * (0,07 \text{ m}) - 282,2 \text{ N} * (0,14 \text{ m}) + RB_y * (0,28 \text{ m}) - MB$$

$$0 = -1,23 \text{ Nm} + 282,2 \text{ N} * (0,07 \text{ m}) - 282,2 \text{ N} * (0,14 \text{ m}) + 97 \text{ N} * (0,28 \text{ m}) - MB$$

$$MB = 6,174 \text{ Nm}$$

A continuación, en la **Figura 60** se muestran las fuerzas y momentos presentes.

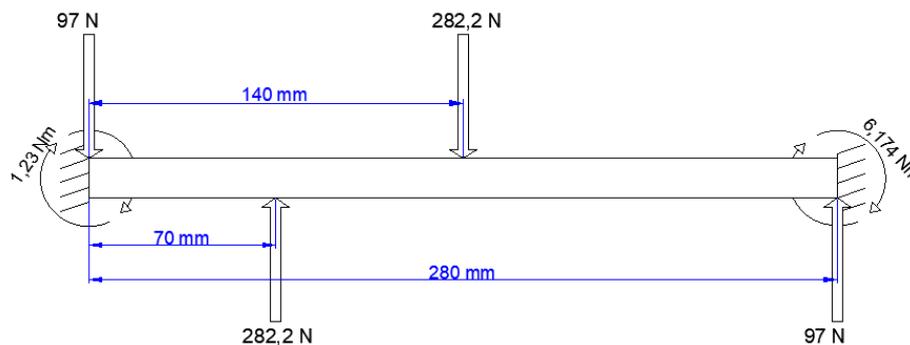


Figura 60. Fuerzas en la corredera.

Para calcular el esfuerzo en los rodamientos lineales se sabe que:

$$M = F * d$$

Entonces se despeja y encuentra la fuerza que actuará de manera radial a los ejes guía de ambos extremos donde se encuentran los rodamientos lineales, es necesario tomar como referencia el rodamiento donde se presenta el mayor esfuerzo, en el caso de estudio al accionar un solo modulo AeroPress en la parte izquierda se presenta un mayor momento en la guía lineal derecha igual a 6,174 Nm , se debe tomar en cuenta las dimensiones y ubicación del rodamiento lineal para establecer la fuerza axial que actúa sobre este, véase la **Figura 61**.

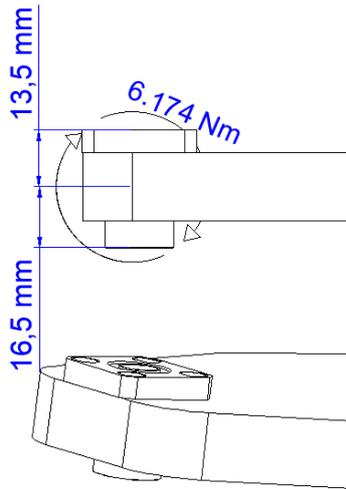


Figura 61. Ubicación y dimensiones del rodamiento lineal.

Deberá considerarse la mayor distancia desde el centro de acción del momento al extremo del rodamiento para encontrar la fuerza que actúa, 0,0165 m.

$$F = \frac{M}{d}$$

$$F = \frac{6,174 \text{ Nm}}{0,0165 \text{ m}}$$

$$F = 374,18 \text{ N}$$

Una vez determinada la fuerza que actúa sobre los rodamientos lineales, se procede con el cálculo para su selección, para ello se consideró la carga calculada 374,18 N y se determina la carga dinámica equivalente que será igual a la mencionada anteriormente $F_m = 374,18 \text{ N}$ con un recorrido de $s = 0,075 \text{ m}$, frecuencia de carrera $n_s = 1 \text{ carrera doble/min}$ y 3000 h de vida promedio.

El rodamiento seleccionado de acuerdo a la carga dinámica corresponde a una designación BBER12A, véase el **Anexo 17**. Tabla rodamientos lineales NTN con brida **Anexo 17**, la duración de vida útil en km según el fabricante se calcula mediante:

$$L = \frac{C}{F} * \frac{f_h * f_T * f_c}{f_w} * 50$$

Los factores se obtienen del catálogo del fabricante $f_h = 1$; $f_T = 1$; $f_c = 1$; $f_w = 1,25$.

$$L = \frac{416 \text{ N}}{374,18 \text{ N}} * \frac{1 * 1 * 1}{1,25} * 50$$

$$L = 44,47 \text{ km}$$

La vida nominal en h según se el fabricante:

$$L_h = \frac{L}{2 * s * n_s * 60}$$

$$L_h = \frac{44,47 \text{ km}}{2 * 0,075 \text{ m} * \frac{1}{\text{min}} * 60}$$

$$L_h = \frac{44470 \text{ m}}{2 * 0,075 \text{ m} * \frac{1}{\text{min}} * 60}$$

$$L_h = 4941,11 \text{ h}$$

El requerimiento es de 3000 h, en este caso se cumple y el rodamiento puede usarse con respecto a las horas de vida útil.

Se determina la capacidad de carga dinámica requerida:

$$C_{req} = \frac{F_m}{f_h * f_T * f_c}$$

$$C_{req} = \frac{374,18 \text{ N}}{1 * 1 * 1}$$

$$C_{req} = 374,18 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica del rodamiento según el **Anexo 17** es $C = 416 \text{ N}$ lo cual es superior a la capacidad dinámica requerida $C_{req} = 374,18 \text{ N}$, es decir $374,18 \text{ N} \leq 416 \text{ N}$ lo garantiza el correcto funcionamiento dando así por terminada la selección del rodamiento lineal.

7.2.16. Desarrollo del código en Arduino para el control del dispositivo

Una vez energizado el dispositivo mediante un switch, se deberá seleccionar en el potenciómetro el tiempo de vaciado deseado entre 20 y 60 segundos, si la corredera del dispositivo se encuentra en otra posición que no sea la parte superior se cuenta con un botón

de encendido que hace subir la misma hasta accionar el final de carrera ubicado en la parte superior quedando lista para usarse, en este punto se presiona inicio y empieza el descenso presionando los módulos AeroPress hasta lograr el vaciado de café y simultáneamente presionando un final de carrera en la parte inferior deteniendo así el avance para esperar 3 segundos y retornar nuevamente a la posición de inicio listo para una nueva extracción, el dispositivo también cuenta con un botón de paro en caso de querer cancelar la operación.

Para ello el código de control se lo desarrollo para poderse usar con una tarjeta de desarrollo UNO compatible con Arduino, el mismo código se puede ver en el **Anexo 18**.

7.2.17. Sistema de control

El sistema de control permite al operario tener control sobre la máquina en todo momento y estableciendo los parámetros de acuerdo a las necesidades presentes, para ello se ha elaborado el siguiente diagrama eléctrico que muestra la conexión a terminales de diferentes componentes de acuerdo al código previamente desarrollado, véase la **Figura 62**.

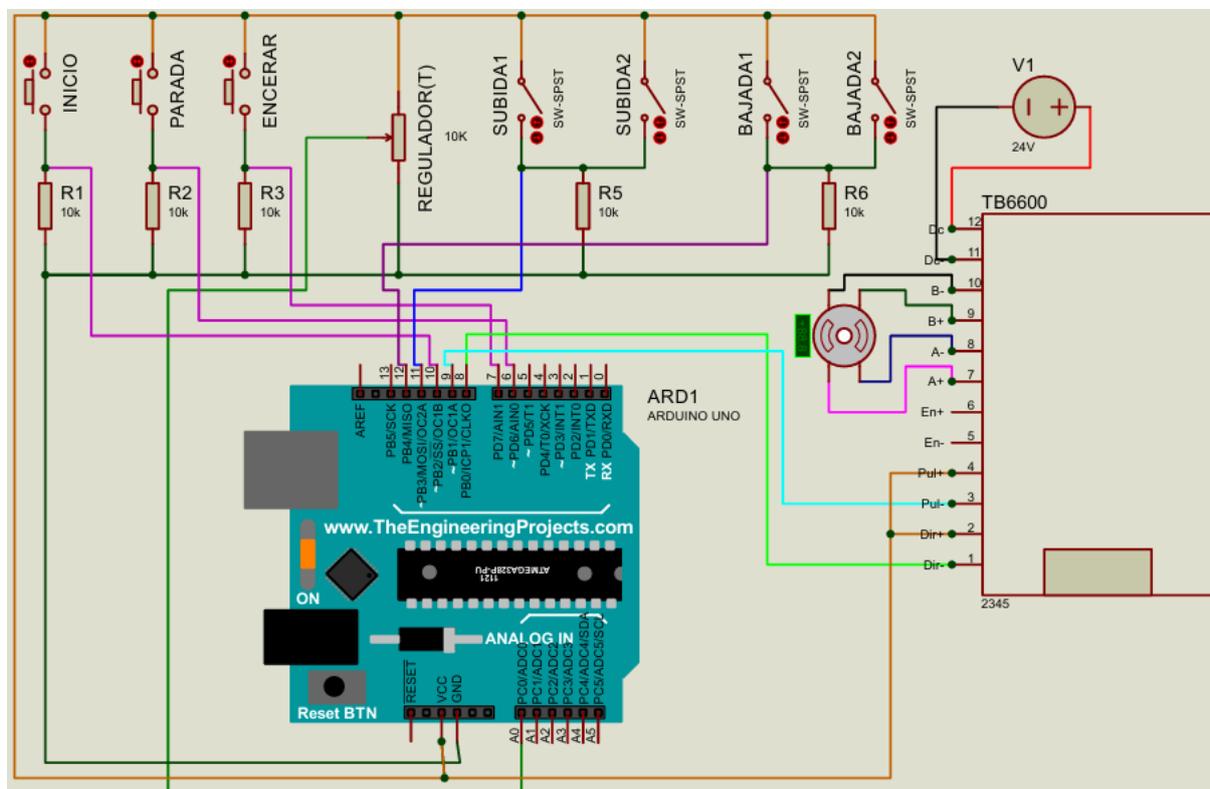


Figura 62. Diagrama eléctrico del sistema de control del dispositivo.

De acuerdo a la información que brinda la placa del controlador TB6600 **Figura 63**, se muestra la configuración de corriente de salida y la configuración de micro pasos, de acuerdo con las características del motor y desarrollo del código, se requiere una corriente de 2,5 A y micro pasos de 1, por lo que se tiene la siguiente configuración en los switches del controlador, véase la **Figura 64**.

Cur	1	2	3	SUB	4	5	6
0.2A	ON	ON	ON	NC	ON	ON	ON
0.6A	OFF	ON	ON	1	OFF	ON	ON
1.2A	ON	OFF	ON	1/2	ON	OFF	ON
1.8A	OFF	OFF	ON	1/2	OFF	OFF	ON
2.5A	ON	ON	OFF	1/4	ON	ON	OFF
3.3A	OFF	ON	OFF	1/8	OFF	ON	OFF
4.2A	ON	OFF	OFF	1/16	ON	OFF	OFF
5A	OFF	OFF	OFF	NG	OFF	OFF	OFF

Figura 63. Placa del controlador TB6600.



Figura 64. Configuración switches TB6600.

7.3. Procesamiento y análisis de datos del objetivo 3

7.3.1. Construcción

Esta sección detalla el proceso de construcción y ensamblaje de las piezas fundamentales del dispositivo de extracción, observase el proceso desde la **Figura 65** a la **Figura 77**.



Figura 65. Cilindrado hasta el diámetro del rodamiento para el tornillo de potencia.



Figura 66. Mecanizado de piezas en fresadora CNC.



Figura 67. Ensamble de la estructura del dispositivo.

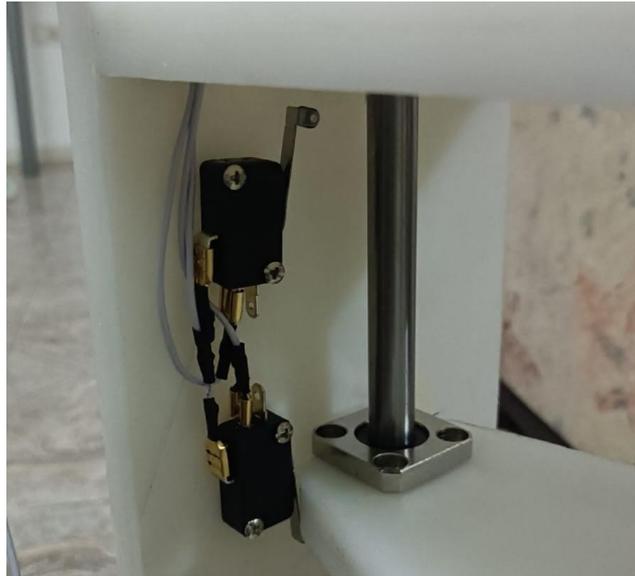


Figura 68. Instalación de finales de carrera superior e inferior.

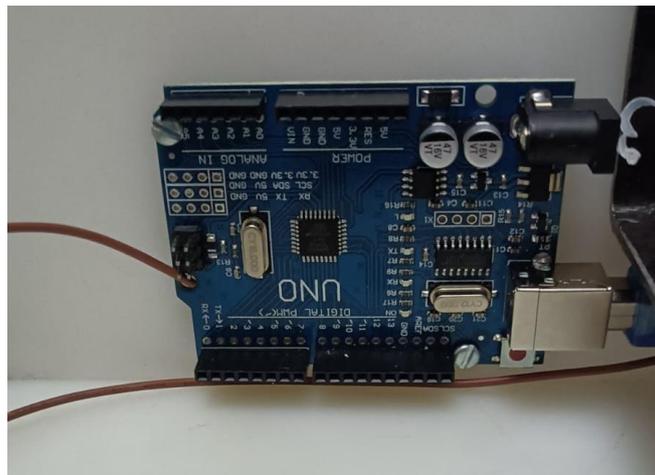


Figura 69. Fijación de la tarjeta Arduino en la tapa frontal interna.

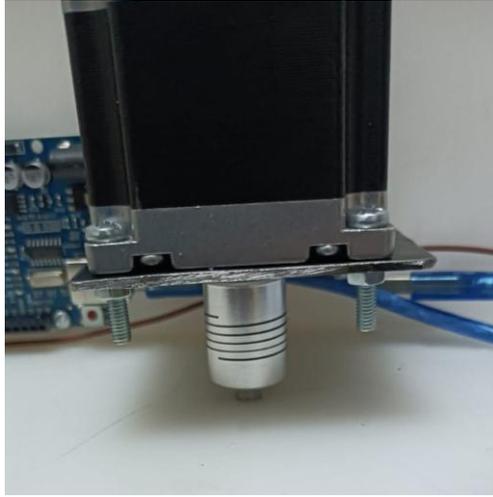


Figura 70. Instalación de soporte y motor con acople al tornillo de potencia.



Figura 71. Instalación del cableado para el sistema de control.



Figura 72. Instalación del controlador TB6600.

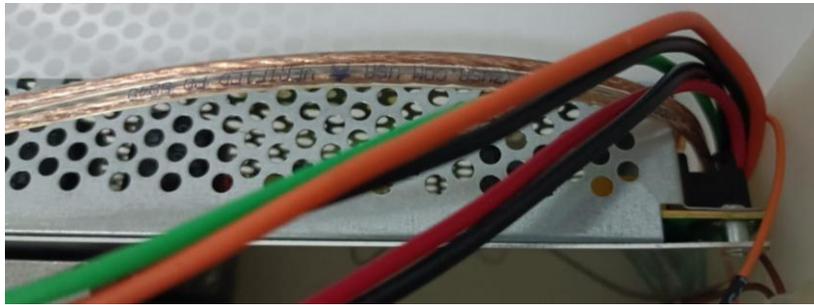


Figura 73. Instalación de la fuente de alimentación DC 24 V 5 A.

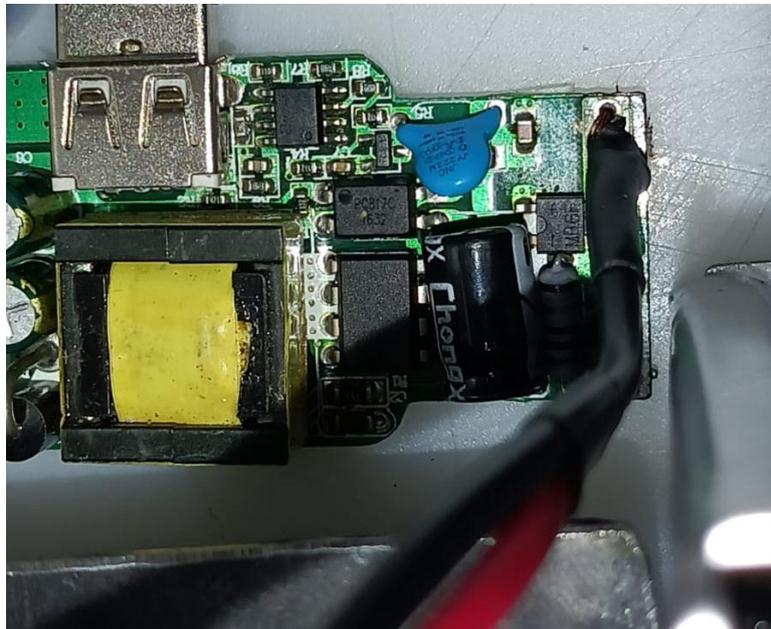


Figura 74. Fuente de alimentación 5 V 2 A para Arduino.



Figura 75. Instalación de la tapa trasera del dispositivo.



Figura 76. Etiquetado del tablero de control.



Figura 77. Dispositivo Completo.

7.3.2. Pruebas de funcionamiento y validación

Para realizar las pruebas de funcionamiento y su validación se utiliza el café considerado el más crítico en las pruebas realizadas y se sigue los siguientes pasos:

- Pesar 16 gr de café de tueste oscuro y molienda media fina para posteriormente colocar la cantidad en cada módulo AeroPress.
- Calentar agua a una temperatura de 80 °C.
- De acuerdo al ratio establecido equivalente a 1:15, se agrega 240 gr de agua en cada módulo controlando su peso en la balanza.
- Colocar los filtros previamente remojados en agua caliente, tapar y colocar los módulos en el extractor.
- Encender el extractor, regular el tiempo de extracción en 20 s y presionar el botón de inicio.
- Cronometrar el tiempo de extracción desde que el embolo empieza a descender hasta que se detenga.
- Verificar si el tiempo programado coincide o se aproxima con un error aceptable al tiempo registrado.
- Repetir este proceso con 40 s y 60 s respectivamente.
- Repetir todo el proceso considerando crítico el caso de que funcione solamente un módulo.

El proceso de las pruebas de funcionamiento se puede apreciar el **Anexo 21**, de acuerdo con los datos registrados se obtuvo los datos presentes en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Resultados pruebas de extracción.

Extracción de café con dos módulos AeroPress			
Tiempo establecido (s)	Tiempo registrado (s)		
	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
20	21,54	22,12	21,83
40	42,15	42,23	42,19
60	62,54	61,45	61,99

Extracción de café con un módulo AeroPress			
Tiempo establecido (s)	Tiempo registrado (s)		
	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
20	19,64	20,78	20,21
40	41,14	42,36	41,75
60	61,36	62,15	61,76

7.3.3. Presupuesto de materiales

Para lograr la construcción del dispositivo electromecánico de extracción de café por AeroPress se toma en cuenta los siguientes costos para materiales de construcción y pruebas, costo de materiales eléctricos y costos de mano de obra los cuales se detallan en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Costos asociados al dispositivo de extracción por AeroPress.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo (USD)	Subtotal (USD)
Materiales (Construcción y Pruebas)					
1	AeroPress	U	2	65	130
2	Filtros para AeroPress	U	2	7	14
3	Jarra eléctrica	U	1	13	13

4	Termómetro	U	1	4	4
5	Recipientes	U	6	1,5	9
6	Café tostado y molido	lbs	6	5	30
7	Rodamientos Axiales	U	2	5	10
8	Rodamientos lineales LMK12UU	U	3,5	2	7
9	Eje liso 12 mm para rodamientos	m	0,6	33,33	20
10	Plancha de Acrílico 2 mm	m ²	0,5	40	20
11	Poliamida 6 (PA6) 15 mm	m ²	0,5	300	150
12	Fresa HSSCO 6 mm	U	1	9	9
13	Juego de machuelos	U	1	10	10
14	Pernos hexagonales M6X1X15	U	26	0,2	5,2
15	Acople flexible 6,35mmx6,35mm	U	1	2,6	2,6
16	Tornillo Tr8-2D2 D 8 mm	U	1	13,5	13,5
Material Eléctrico					
17	Motor Nema 23 2,8 Nm 2,8 A	U	1	45,5	45,4
18	Fuente DC 24 V 5 A	U	1	25,25	25,25
19	Botones NC	U	3	1,25	3,75
20	Potenciómetro 10 K Ω	U	1	1,5	1,5
21	Switch de encendido	U	1	1,3	1,3
22	Cable calibre 22 AWG	m	5	0,25	1,25
23	Cable calibre 12 AWG	m	2	0,4	0,8
24	Controlador TB6600	U	1	21,7	21,7
25	Arduino UNO R3	U	1	10	10
26	Borneras	U	2	1,25	2,5
27	Terminales eléctricos	U	14	0,1	1,4
28	Final de carrera	U	4	1,25	5

29	Tubo termo encogible	U	3	0,4	1,2
Mano de obra					
30	Taladrado y roscado de agujeros	U	26	0,5	13
31	Corte laser en acrílico	-	-	-	7
32	Transporte de componentes	-	-	-	35
33	Otros	-	-	-	25
34	Accesorios de acero inoxidable	-	-	-	15
TOTAL					\$663,35

8. Discusión

El dispositivo diseñado y construido, tiene la finalidad de automatizar la extracción de café mediante el método AeroPress, con capacidad de dos módulos de 298 ml. Este cuenta con un sistema accionado por un motor paso a paso, el rango de tiempos de vaciado puede ser configurado de acuerdo a las necesidades del usuario y va de los 20 a 60 segundos, de tal manera que varía la velocidad de avance de una tuerca husillo con corredera que presionará el émbolo de los módulos AeroPress, actualmente no se encuentra un desarrollo de dispositivos similares.

En investigaciones (Perfect Daily Grind, 2017) y (Xaguar Coffee, 2023) se identificó que, durante el proceso de extracción de café por este método, los factores y variables que intervienen directamente son, la temperatura del agua, nivel de tueste, tamaño de molienda, tiempo de vaciado y ratio, lo cual se comprueba mediante ensayos de fuerza realizados teniendo como caso crítico; Temperatura de 80 °C, tiempo de extracción 20 s, ratio 1:15, tueste oscuro y molienda media fina, a partir de estos ensayos se determinó la fuerza de extracción necesaria para el diseño y selección de los diferentes componentes. Según lo menciona (Perfect Daily Grind, 2017) los compuestos del café se extraerán más rápido a una temperatura más alta, lo cual se evidenció en los ensayos realizados ya que, a mayor temperatura se presenta menor tiempo de extracción. En los ensayos se evidencia también que, mientras mayor haya sido el tiempo de tueste del grano de café, es decir mientras más oscuro es el tipo de tueste, mayor será el tiempo de extracción debido a que se extrae mayor cantidad de compuestos solubles, esto se alinea con lo que menciona (Leal, 2021), los tuestes oscuros son más solubles porque se han expuesto al calor durante más tiempo, esto significa que la extracción se acelerará.

El tiempo de extracción del café se ve afectado por el tamaño de molienda utilizado, obteniéndose un mayor tiempo de extracción a media que el tamaño de molienda disminuye, según (Xaguar Coffee, 2023), la granulometría recomendada para un café en AeroPress es de

$\cong 420 - 720 \mu\text{m}$, encontrándose en las categorías de media fina y media, por lo que la molienda media fina de acuerdo a los ensayos, es la que ofrece mayor resistencia al paso del soluble haciendo que el tiempo de extracción sea mayor.

Se realizó pruebas de extracción tanto con uno y dos módulos en diferentes tiempos de vaciado, tipo de molienda, tueste y temperatura. Para estas variables se consideró el caso más crítico según los ensayos previamente realizados.

Las pruebas de funcionamiento realizadas muestran tiempos que difieren en un mínimo de 0,21 s al usarse únicamente un solo modulo configurado en 20 s, por otra parte el máximo tiempo difiere en 2,19 s al usarse dos módulos configurados a 40 s, esto se debe a la posición del émbolo antes de empezar el vaciado ya que al ser un proceso que se realiza manualmente y no cuenta con un sistema de medición exacto y varia levemente en cada preparación.

Mediante la fase de pruebas de funcionamiento se evidenció que el dispositivo presenta vibraciones por lo cual se consideró necesaria la implementación de soportes de caucho en la parte inferior los cuales reducen las vibraciones y evitan el deslizamiento del dispositivo.

En el caso de colocar solamente un módulo de AeroPress, se presenta un momento con centro en la mitad de la corredera por lo que tiende a presentar un deslizamiento irregular que hace que la cara de la corredera no sea paralela con la cara de la base que apoya el módulo, lo que puede llegar a trabar el mecanismo, por lo que se optó por cambiar los rodamientos lineales y sus ejes por unos de mayor diámetro, pasando así de 8 mm a 12 mm dando solución al deslizamiento irregular, debería tomarse en cuenta una mejora para este inconveniente en caso de realizarse una versión posterior al extractor diseñado.

9. Conclusiones

- Mediante la investigación bibliográfica realizada se logró identificar las variables y parámetros que intervienen en el proceso de extracción de café por el método AeroPress. A partir de ensayos de fuerza realizados en 54 posibles escenarios se identificó que el caso crítico en la extracción se da en un tiempo de 20s, molienda media fina, tueste oscuro, temperatura de 80 °C y ratio de 1:15, concluyendo así que la fuerza máxima necesaria para lograr la extracción de café por AeroPress en un solo módulo es 166 N, dato considerado para el diseño y selección de materiales y componentes mecánicos que conforman el dispositivo.
- Se propuso un sistema tuerca husillo accionado por un motor paso a paso que hace descender una corredera para presionar los módulos, logrando así la extracción de café. Los componentes principales calculados y seleccionados son: tornillo de rosca trapezoidal diámetro mayor de 8 mm y paso de 2 mm en acero inoxidable 304, plancha de poliamida 6 (grilon) de 15 mm de espesor, rodamientos axiales de bolas denominación BA 6, rodamientos lineales BBER12A con ejes de 12 mm, motor paso a paso Nema 23 1,8°; 2,8 A. Para control del dispositivo se seleccionó un controlador TB6600 modelo HY-DIV268N-5A alimentado por una fuente de 24 VDC, 1 potenciómetro de 10 k Ω para regular el tiempo de extracción, pulsadores para control, finales de carrera para marcar el punto de salida y de llegada, las instrucciones se ejecutan mediante una placa de desarrollo Arduino UNO.
- El dispositivo se ensambló correctamente y se verificó el funcionamiento mediante pruebas de extracción con uno y dos módulos AeroPress en los casos más críticos, para ello se configuró el dispositivo en 20, 40 y 60 segundos respectivamente con los parámetros y variables críticas teniendo, la temperatura en 80 °C, tipo de molienda media-fina, tueste oscuro, 16 gr de café y ratio del café de 1:15, cada prueba se repitió

varias veces controlando el tiempo mediante cronómetro, teniendo así que; El máximo error absoluto se presentó en la prueba de 40 segundos obteniéndose 42,19 segundos, lo que representa 2,19 segundos más de lo esperado, y el mínimo error se presentó en la prueba de 20 segundos con un solo módulo AeroPress obteniéndose, 20,21 segundos, lo que representa un incremento de 0,21 segundos más de lo esperado, de esta manera se logró validar y verificar que el dispositivo cumple con sus funciones según lo planificado dando por concluido el diseño y construcción del dispositivo de extracción de café por el método AeroPress.

10. Recomendaciones

- Para mejorar el sistema de extracción, se recomienda indagar sobre el husillo de bolas como alternativa al sistema de transmisión de potencia ya que presentan menor fricción en el sistema tornillo - tuerca.
- Optimizar las conexiones mediante una placa de circuitos impresa para introducir sockets que faciliten la conexión de los conductores y un desmontaje rápido en caso de reparación o mantenimiento.
- Implementar una pantalla touch TFT para permitir el control del dispositivo mediante una interfaz digital reemplazando los controles análogos.
- Reemplazar la poliamida 6 por un material de grado alimenticio de menor espesor y más ligero que permita reducir el peso del dispositivo.
- Implementar un mecanismo de dos tornillos de potencia sincronizados en el lugar de las guías lineales garantizando una mejor estabilidad en el descenso de la corredera en caso de usarse únicamente un módulo de AeroPress.

11. Bibliografía

- AeroPress. (s.f.). *AeroPress*. Obtenido de <https://aeropress.com/>:
<https://aeropress.com/pages/how-it-works>
- Amazon. (s.f.). *Amazon*. Obtenido de amazon.com: <https://n9.cl/u82y0>
- Budynas, R. G., & Keith, N. J. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de México: McGraw-Hill Education Holdings LLL. Obtenido de <https://n9.cl/zvfxko>
- Cafés Mama Same. (04 de 06 de 2023). *Entendiendo la ciencia detrás del espresso perfecto*. Recuperado el 21 de 03 de 2025, de <https://n9.cl/b9ryj>
- Cultura Cafeína. (17 de 10 de 2023). *Cultura Cafeína*. Obtenido de <https://culturacafeina.com/>:
<https://culturacafeina.com/preparacion-del-cafe/como-hacer-cafe-en-aeropress/>
- El Mundo del Café. (2023). <https://elmundodelcafe.net/>. Obtenido de El Mundo del Café:
<https://elmundodelcafe.net/aerobie/aeropress-aerobie-a80/>
- ElectroCrea . (2024). *ElectroCrea*. Obtenido de <https://electrocrea.com/>: <https://n9.cl/es3lqx>
- Ensinger Plastics. (s.f.). *Ensinger Plastics*. Recuperado el 13 de 6 de 2024, de www.ensingerplastics.com: <https://n9.cl/hvadx3>
- Gnee Steel. (s.f.). *Gnee Steel*. Obtenido de gneesteel.com: <https://n9.cl/zk2a8>
- indiamart. (s.f.). *DC Motor Rotor*. Obtenido de indiamart: <https://n9.cl/ru75g>
- Industrias GLS. (16 de 1 de 2022). *Motor de corriente directa*. Obtenido de <https://n9.cl/p3o20>
- Inversinox Colombia. (s.f.). *Inversinox Colombia*. Obtenido de inversinoxcolombia.com:
<https://n9.cl/zewyu>
- Koyo LATIN AMERICA. (2010). *MANUAL DE RODAMIENTOS*. Obtenido de <https://n9.cl/mm92t>
- La Caja de Herramientas de Ingeniería. (2018). *The Engineering ToolBox*. Obtenido de www.engineeringtoolbox.com: <https://n9.cl/bdaln>
- Leal, D. (2021). *Tipos de tueste ¿Cómo afectan a tu café?* Obtenido de <https://n9.cl/zbvbo>

Lemcovich, J. (11 de 6 de 2020). *Viaggio Espresso*. Obtenido de <https://n9.cl/ow5k7>

Marposs. (s.f.). *Estator*. Obtenido de Marposs: <https://n9.cl/ug445b>

NTN. (2015). *NTN-SNR*. Obtenido de <https://www.ntn-snr.com/es>: <https://n9.cl/lmz9k>

NTN. (s.f.). *NTN*. Obtenido de www.ntn-snr.com: https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-04/ball_bushings_es.pdf

Perfec Daily Grind. (23 de 3 de 2018). *5 Lecciones de Aeropress Que Aprendí de 4 Campeones (Y Recetas)*. Obtenido de <https://n9.cl/mcs0v>

Perfect Daily Grind. (6 de 9 de 2017). *Guía Aeropress: Preparación para Diferentes Perfiles de Sabor*. Obtenido de <https://n9.cl/klzhlp>

Perfect Daily Grind. (14 de 8 de 2020). *El Efecto Del Tamaño de Molienda en la Preparación de Café*. Obtenido de <https://n9.cl/x2r12>

Pytel, A., & Singer, F. (1994). *Resistencia de Materiales*. Obtenido de <https://n9.cl/my3a1c>

Rey-Baltar de Rica, A. (2022). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ACTUADOR LINEAL ELECTROMECAÁNICO AUTOBLOQUEANTE*. Bilbao. Obtenido de <https://n9.cl/9vj6v>

SCHAEFFLER. (s.f.). *SCHAEFFLER*. Obtenido de <https://medias.schaeffler.es/>: <https://n9.cl/h7xg7>

SKF. (s.f.). *SKF*. Recuperado el 17 de 6 de 2024, de www.skf.com.

Sprocket, G. (2013). *El gran catalogo 4000*. Obtenido de <https://n9.cl/n7k7j1>

Stepperonline. (2024). *¿Cuál es la diferencia entre husillo de bolas y husillo de avance?* Obtenido de <https://www.omc-stepperonline.com/>: <https://n9.cl/zu4dj>

Stepperonline. (s.f.). *Stepperonline*. Recuperado el 5 de 6 de 2024, de omc-tepperonline.com: <https://n9.cl/nixjvc>

TME. (08 de 09 de 2020). *TME*. Obtenido de <https://www.tme.eu>: <https://n9.cl/0u46y>

Total Energies. (s.f.). *Total Energies*. Obtenido de <https://lubricants.catalog.totalenergies.com>: https://lubricants.catalog.totalenergies.com/catalogo-ar/es_AR/b5r_nevastane-xsh-150

Tuli. (s.f.). *Tuli*. Recuperado el 15 de 3 de 2024, de <https://n9.cl/nd6imm>

Unit Electronics. (2023). *Unit Electronics*. Obtenido de uelectronics.com: <https://n9.cl/0q0uk>

Unit Electronics. (s.f.). *Shield Display TFT 2.4" Touch para Arduino Uno Mega*. Obtenido de Unit Electronics: <https://n9.cl/nsp8rf>

Urany. (26 de 11 de 2021). *Elevadores de husillo*. Obtenido de <https://n9.cl/tggs6>

Veloso, C. (s.f.). *ETools*. Obtenido de <https://n9.cl/hzeg2>

Xaguar Coffee. (2023). *Molienda y Granulometría del Café*. Obtenido de <https://n9.cl/qxmur6>

12. Anexos

Anexo 1. Dimensiones de las roscas de tornillo trapezoidal métrico ISO.

Las dimensiones de las roscas de tornillo trapezoidal métrico ISO se indican en la tabla a continuación.

ISO 2901 - Roscas de tornillo trapezoidal métrico

Tornillo de diámetro exterior (mm) (en)	Paso (mm) (en)	Tuerca de diámetro interior (mm) (en)	Tuerca de cresta (mm) (en)	Espacio libre exterior (mm) (en)	Espacio libre interior (mm) (en)
8	1.5	6.5	0.55	0.15	0.15
10	1.5	8.5	0.55	0.15	0.15
10	2	8.0	0.73	0.25	0.25
12	2	10.0	0.73	0.25	0.25
12	3	9.0	1.10	0.25	0.25
16	2	14.0	0.723	0.25	0.25
16	4	12.0	1.46	0.25	0.25
20	2	18.0	0.73	0.25	0.25
20	4	16.0	1.46	0.25	0.25
24	3	21.0	1.10	0.25	0.25
24	5	19.0	1.83	0.25	0.25

Fuente: (La Caja de Herramientas de Ingeniería, 2018)

Anexo 2. Presión de apoyo del tornillo pb.

Material del tornillo	Material de la tuerca	p_b seguro, psi	Notas
Acero	Bronce	2 500-3 500	Baja velocidad
Acero	Bronce	1 600-2 500	≤ 10 pies/min
	Hierro fundido	1 800-2 500	≤ 8 pies/min
Acero	Bronce	800-1 400	20-40 pies/min
	Hierro fundido	600-1 000	20-40 pies/min
Acero	Bronce	150-240	≥ 50 pies/min

Fuente: (Budynas & Keith, 2015)

Anexo 3. Coeficientes de fricción f de pares roscados.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

Fuente: (Budynas & Keith, 2015)

Anexo 4. Características del factor de seguridad A, B, C.

Característica		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
mb= muy bien		b= bien				
r= regular		p= pobre				

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 5. Características del factor de seguridad C, D.

Característica		D		
		ns	s	ms
E=	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6
ms= muy serio		s= serio	ns= no serio	

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 6. Propiedades mecánicas de PA 6.

Designación química
PA 6 (Poliamida 6)

Color

marfil opaco

Densidad

1.14 g/cm³

Información generada después de mecanizar (clima estándar en Alemania).

Características principales

- Alta tenacidad
- resistente a varios aceites y grasas
- aislante eléctrico
- buenas propiedades al desgaste
- buena adhesividad y soldabilidad
- buenas propiedades tribológicas
- alta resistencia mecánica
- buena mecanizabilidad

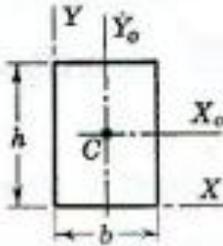
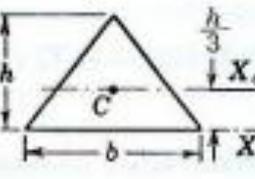
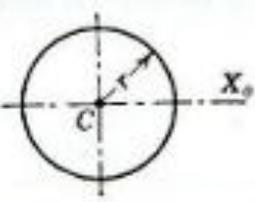
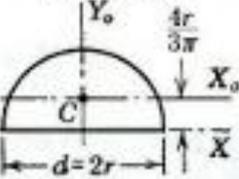
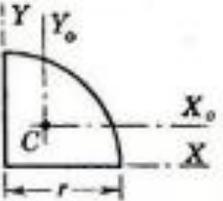
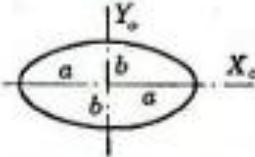
Sectores estratégicos

- ingeniería mecánica
- tecnología aeronáutica y espacial
- electrónica
- Industria de la alimentación
- automoción

Propiedades mecánicas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Resistencia a tracción	50mm/min	79	MPa	DIN EN ISO 527-2	(1) Para ensayo de tracción: probeta tipo 1b
Módulo de elasticidad (ensayo a tracción)	1mm/min	3300	MPa	DIN EN ISO 527-2	(2) Para ensayo a flexión: distancia entre apoyos 64mm, espécimen normalizado.
Tensión límite elástico	50mm/min	78	MPa	DIN EN ISO 527-2	(3) Probeta 10x10x10mm
Elongación a la fluencia	50mm/min	4	%	DIN EN ISO 527-2	(4) Probeta 10x10x50mm, rango del módulo entre 0.5 y 1% de compresión.
Elongación a rotura	50mm/min	130	%	DIN EN ISO 527-2	(5) Para el ensayo Charpy: separación soportes 64mm, espécimen normalizado. n.b.: no rompe
Resistencia a flexión	2mm/min, 10N	100	MPa	DIN EN ISO 178	
Módulo de elasticidad (ensayo a flexión)	2mm/min, 10N	2900	MPa	DIN EN ISO 178	
Resistencia a compresión	1% / 2% / 5% 5mm/min, 10N	24/41/86	MPa	EN ISO 604	3)
Módulo de compresión	5mm/min, 10N	2700	MPa	EN ISO 604	4)
Resistencia al impacto (Charpy)	max. 7,5J	n.b.	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eU	5)
Resistencia al impacto entallado (Charpy)	máx. 7,5J	7	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eA	
Dureza Shore	D	79		DIN EN ISO 868	

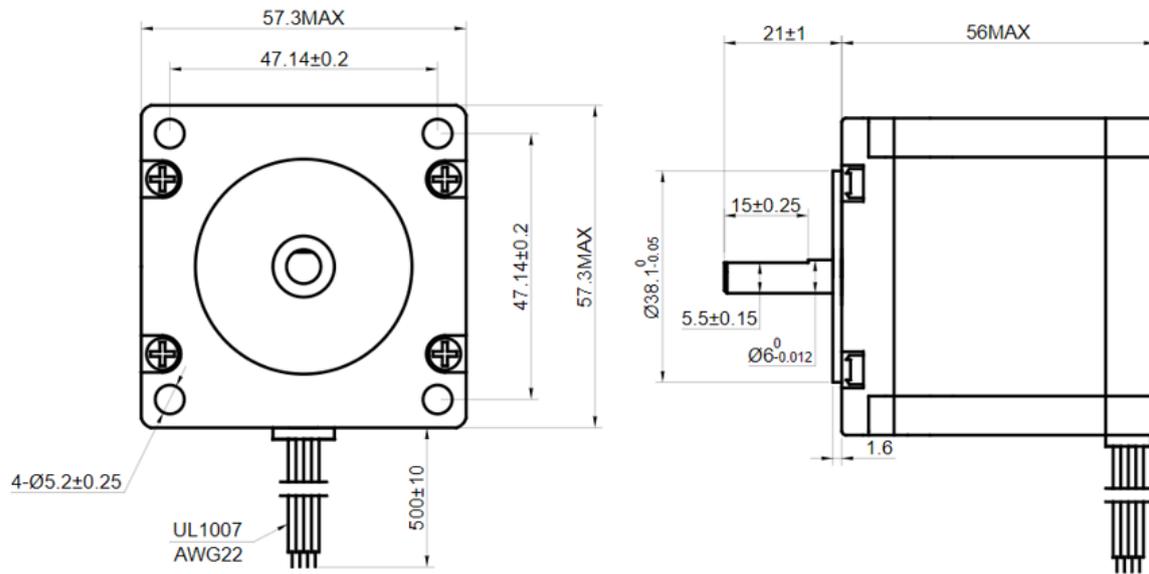
Fuente: (Ensinger Plastics)

Anexo 7. Momentos de inercia.

FIGURA	MOMENTO DE INERCIA	RADIO DE GIRO
<p>Rectángulo</p> 	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_x = \frac{bh^3}{3}$	$\bar{k}_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{3}}$
<p>Triángulo cualquiera</p> 	$\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_x = \frac{bh^3}{12}$	$\bar{k}_x = \frac{h}{\sqrt{18}}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{6}}$
<p>Círculo</p> 	$\bar{I}_x = \frac{\pi r^4}{4}$ $\bar{J} = \frac{\pi r^4}{2}$	$\bar{k}_x = \frac{r}{2}$ $\bar{k}_y = \frac{r}{\sqrt{2}}$
<p>Semicírculo</p> 	$I_x = \bar{I}_y = \frac{\pi r^4}{8}$ $\bar{I}_x = 0.11r^4$	$k_x = \bar{k}_y = \frac{r}{2}$ $\bar{k}_x = 0.264r$
<p>Cuadrante de círculo</p> 	$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{16}$ $\bar{I}_x = \bar{I}_y = 0.055r^4$	$k_x = k_y = \frac{r}{2}$ $\bar{k}_x = \bar{k}_y = 0.264r$
<p>Área elíptica</p> 	$I_x = \frac{\pi ab^3}{4}$ $\bar{I}_y = \frac{\pi ba^3}{4}$	$\bar{k}_x = \frac{b}{2}$ $\bar{k}_y = \frac{a}{2}$

Fuente: (Pytel & Singer, 1994)

Anexo 8. Planos de motor NEMA 23.



Fuente: (Stepperonline, s.f.)

Anexo 9. Constantes de condiciones finales de columnas.

Condiciones de extremos de columnas	Constante C de condición de extremos		
	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado*
Empotrado-libre	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
Articulado-articulado	1	1	1
Empotrado-articulado	2	1	1.2
Empotrado-empotrado	4	1	1.2

Fuente: (Budynas & Keith, 2015)

Anexo 10. Propiedades mecánicas acero inoxidable 403.

Las propiedades mecánicas del acero inoxidable recocido grado 403 se muestran en la siguiente tabla.

Propiedades	Métrico	Imperial
Resistencia a la tracción	485 MPa	70300 psi
Límite elástico (@deformación 0,200%)	310 MPa	45000psi
Resistencia a la fatiga (recocido, @diámetro 25 mm/0,984 in)	275 MPa	39900 psi
Módulo de corte (típico para el acero)	76,0 GPa	11000 ksi
Modulos elasticos	190-210 GPa	27557-30458 ksi
el coeficiente de Poisson	0.27-0.30	0.27-0.30
Alargamiento a la rotura (en 50 mm)	25.00%	25.00%
Impacto Izod (templado)	102J	75,2 pies-lb
Dureza, Brinell (convertido de dureza Rockwell B)	139	139
Dureza, Knoop (convertido de dureza Rockwell B)	155	155
Dureza, Rockwell B	80	80
Dureza, Vickers (convertido de dureza Rockwell B)	153	153

Fuente: (Gnee Steel, s.f.)

Anexo 11. Propiedades mecánicas del acero inoxidable.

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TIPO DE ACERO		403	405	409	410	416 *
ANALISIS - % VALOR QUIMICO MAXIMO EXCEPTO DONDE MUESTRA EL MINIMO	Cromo	11.5-13.0	11.5-14.5	10.5-11.75	11.5-13.5	12-14
	Niquel	--	--	--	--	--
	Carbón	.15	.08	.08	.15	.15
	Manganeso	1.0 Min	1.0	1.0	1.0	1.25
	Silicio	.5	1.0	1.0	1.0	1.0
	Fósforo	.040	.040	.040	.040	.060
	Azufre	.30	.30	.30	.30	*
	Otros	--	Al .1 - .3	Ti 6xC Min 0.75 Max	--	Mo .60 (OPT)
PROPIEDADES MECANICAS (TEMPLADO):	Esfuerzo de fluencia psi (0,2% Compensación)	40.000	40.000	35.000	45.000	83.000
	Esfuerzo último psi	75.000	65.000	65.000	70.000	105.000
	Elongación % 2" (100mm)	35	25	25	25	20
	Dureza: Brinell BHN	153	150	150	150	225
	Rockwell B	82	75	75	80	97
	Impacto Izod. Ft. - lbs	90	20	20	90	25
PROPIEDAD ELECTRICAS	Creep - 1% flujo en 10.000 hrs	12.000	8.000	10.500	12.000	9.000
	Módulo elasticidad en tensión psi x10 6	29	29	29	29	29
RESISTENCIA TERMICA	Resistividad eléctrica en microhm a 68 ° F	57	60	59	57	57
	Permeabilidad magnética a 200H	--	--	--	--	--
EXPASION TERMICA	Max. temperatura de operac. - servicio intermitente* F	1450	1450	1425	1450	1400
	Servicio continuo * F	1300	1400	1400	1300	1250
CONDUCTIVIDAD TERMICA	(ln./ln.*F x 10) 32 - 212 *F	5.5	6.0	6.5	5.5	5.5
	(B.T.U./ft. /hr./° F/ft.) y 212 *F	6.5	7.0	7.2	6.5	6.5
CONDUCTIVIDAD TERMICA	(B.T.U./ft. /hr./° F/ft.) y 932 * F	14.4	14.6	14.4	14.4	14.4
		16.6	16.4	16.6	16.6	16.6

Fuente: (Inversinox Colombia, s.f.)

Anexo 12. Catalogo rodamientos axiales de bola simple efecto.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Factor de carga mínima	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	H	dinámica C	estática C ₀	P _u	A	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	-	r. p. m.		kg	-
3	8	3,5	0,806	0,72	0,027	0,000 003	26 000	36 000	0,0009	▶ BA 3
4	10	4	0,761	0,72	0,027	0,000 003	22 000	30 000	0,0015	▶ BA 4
5	12	4	0,852	0,965	0,036	0,000 005	20 000	28 000	0,0021	▶ BA 5
6	14	5	1,78	1,92	0,071	0,000 019	17 000	24 000	0,0035	▶ BA 6

Fuente: (SKF, s.f.)

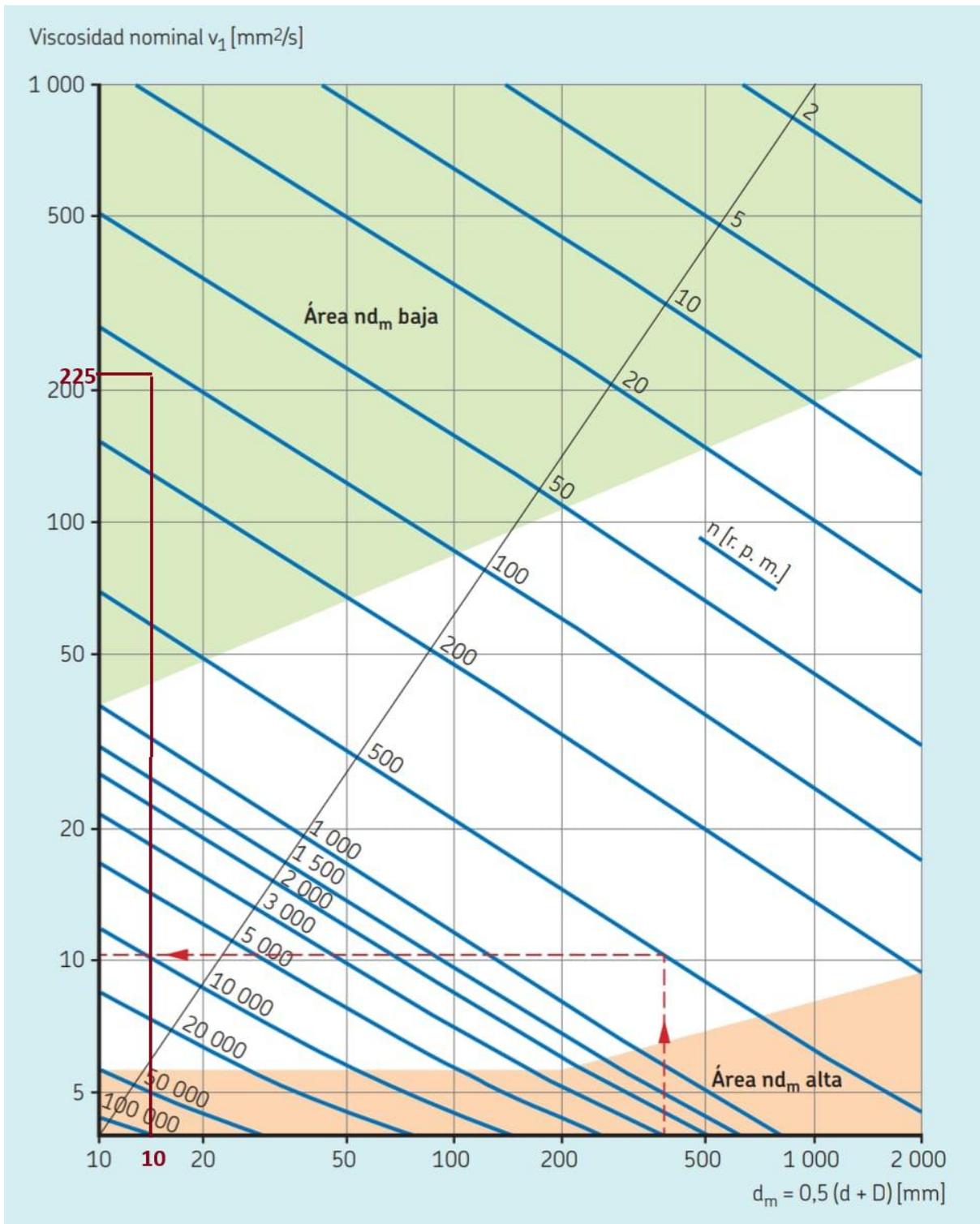
Anexo 13. Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas.

Tabla 1

Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

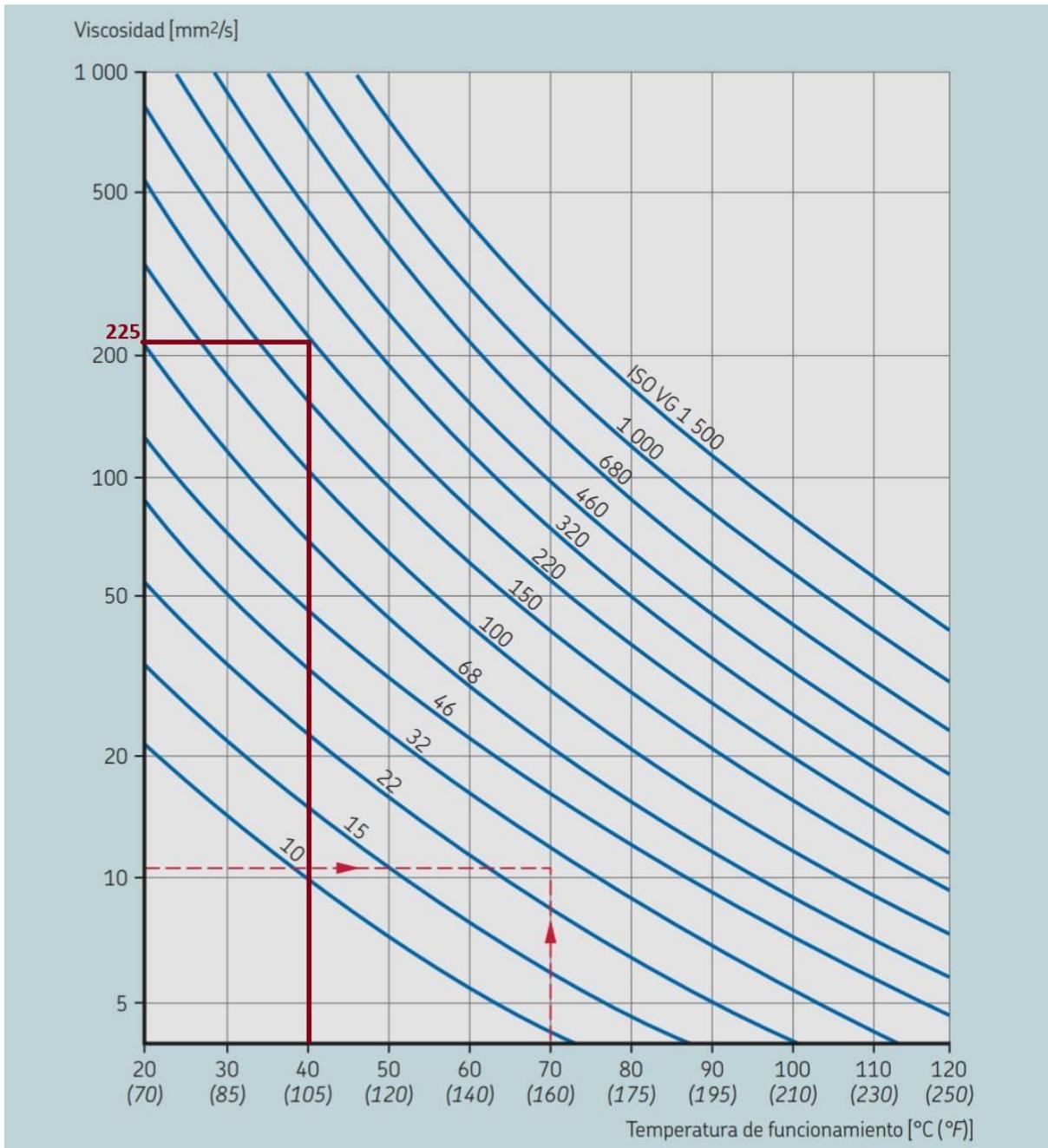
Fuente: (SKF, s.f.)

Anexo 14. Tabla para selección de viscosidad nominal v_1 .



Fuente: (SKF, s.f.)

Anexo 15. Diagrama de la temperatura de viscosidad de la ISO



Fuente: (SKF, s.f.)

Anexo 16. Ficha técnica NEVASTANE XHS

NEVASTANE XSH



Industria alimenticia



Aceite sintético (PAO) para engranajes, apto para contacto con alimentos.

APLICACIONES

- NEVASTANE XSH (150 a 460) se recomiendan para la lubricación de Engranajes de reductores, rodamientos planos y a rodillos con altas cargas en la industria alimenticia.
- NEVASTANE XSH 150 a 460 también es aplicable para lubricación de numerosas aplicaciones en la industria alimenticia como cadenas y Cintas transportadoras.
- NEVASTANE XSH es 100% sintético, base PAO, provee protección superior y larga vida de los equipos lubricados.

ESPECIFICACIONES

- La formulación de NEVASTANE XSH cumple con FDA capítulo 21 CFR, 178.3570.
- NEVASTANE XSH es NSF H1 registro:
NEVASTANE XSH 150: No 147305 NEVASTANE XSH 220: No 147302
NEVASTANE XSH 320: No 147303 NEVASTANE XSH 460: No 147304
- NEVASTANE XSH es Kosher, Halal e ISO 21469 certificado.
- Normas internacionales: ISO 12925-1 CKD.
- DIN 51517-3 CLP
- DIN 51354-2 - FZG A/8, 3/90°C – ciclo de falla > 12
- ASTM D 4172 - ensayo 4 bolas – desgaste (reducción del diámetro) - 0.3 mm.

VENTAJAS

- NEVASTANE XSH se recomiendan para contacto incidental con alimentos. Usar lubricantes registrados H1 NSF minimiza los puntos críticos de control requeridos por HACCP.
- 100% sintético.
- Amplio rango de temperaturas.
- Extensión de los intervalos de cambio.

CARÁCTERÍSTICAS TÍPICAS	MÉTODOS	UNIDADES	NEVASTANE XSH			
			150	220	320	460
Apariencia	Visual	-	Líquido claro y brillante			
Densidad a 15°C	ISO 12185	-	840	842	845	848
Viscosidad cinemática a 40 °C	ISO 3104	mm ² /s	150	220	320	460
Viscosidad cinemática a 100 °C	ISO 3104	mm ² /s	19,0	26,0	36,0	47,0
Índice de viscosidad	ISO 3104	-	152	156	159	161
Punto de inflamación (COC)	ISO 2592	°C	264	272	276	272
Punto de escurrimiento	ISO 3016	°C	-51	-45	-42	-42

*Las características anteriores son valores medios dados como información.

Recomendaciones:

- Almacenar el producto a temperatura ambiente.
- Minimizar los períodos de exposición a temperaturas superiores a 35°C.
- Vida en envase: 5 años desde la fecha de manufactura (sin abrir).

Total Especialidades Argentina S.A.
Chiciana 209 (B1766BKF),
La Tablada, Buenos Aires, Argentina

NEVASTANE XSH

Rev. 04/2022

Pueden presentarse variaciones bajo condiciones normales de producción, pero las mismas no deberían afectar la performance esperada del producto. La información consignada en este documento está sujeta a cambios sin previo aviso.

Fuente: (Total Energies, s.f.)

Anexo 17. Tabla rodamientos lineales NTN con brida

Dimensiones [mm]			Número de circuitos de bolas	Excentricidad máx. [µm]	Desviación angular [µm]	Capacidad de carga dinámica [N]	Capacidad de carga estática [N]	Peso [g]	Referencia			
X	Y	Z							Estándar		Resistente a la corrosión	
									Jaula de plástico	Jaula de acero	Jaula de plástico	Jaula de acero inox
3,5	6	3,1	4			159	265	26	BBER5	–	BBERS5	–
3,5	6	3,1	4			195	402	41	BBER8	BBER8A	BBERS8	BBERS8A
4,5	7,5	4,1	4			416	784	80	BBER12	BBER12A	BBERS12	BBERS12A
4,5	7,5	4,1	4			432	892	103	BBER16	BBER16A	BBERS16	BBERS16A
5,5	9	5,1	5	15	15	877	1 370	182	BBER20	BBER20A	BBERS20	BBERS20A
5,5	9	5,1	6			908	1 570	335	BBER25	BBER25A	BBERS25	BBERS25A
6,6	11	6,1	6			1 584	2 740	560	BBER30	BBER30A	BBERS30	BBERS30A
9	14	8,1	6	17	17	2 357	4 020	1 175	BBER40	BBER40A	BBERS40	BBERS40A
9	14	8,1	6			4 702	7 940	1 745	BBER50	BBER50A	BBERS50	BBERS50A
11	17	11,1	6	20	20	6 085	9 800	3 220	BBER60	BBER60A	BBERS60	BBERS60A
11	17	11,1	6			9 465	16 000	6 420	–	BBER80A	–	–

Fuente: (NTN, s.f.)

Anexo 18. Código Arduino para control del dispositivo.



<https://drive.google.com/drive/folders/1KEFwi->

[icyy0_jdKiQH1nLZkAoZ8RTIIM?usp=drive_link](https://drive.google.com/drive/folders/1KEFwi-icyy0_jdKiQH1nLZkAoZ8RTIIM?usp=drive_link)

Anexo 19. Pruebas de fuerza.



Anexo 20. Análisis de recorrido del AeroPress.



Anexo 21. Pruebas de funcionamiento.



Anexo 22. Planos de dispositivo de extracción por AeroPress



[https://drive.google.com/drive/folders/1JomkbEsRiYjTLEDHOTCWoMIN8mg7Dotn
?usp=drive_link](https://drive.google.com/drive/folders/1JomkbEsRiYjTLEDHOTCWoMIN8mg7Dotn?usp=drive_link)

Anexo 23. Certificación de traducción del resumen.



CERTIFICADO DE TRADUCCION

Ricardo Javier Cruz Parreño,
TRADUCTOR,

A petición del solicitante,

CERTIFICO:

Que, con conocimiento y pensamiento crítico sobre el idioma inglés, calificado en base al Marco de Lenguas Europeo, con suficiencia B2, realicé una fiel traducción del resumen de tesis titulado: **Diseño y construcción de un dispositivo electromecánico de extracción de café por el método de AeroPress**, de la completa autoría del señor **Juan Fabricio Castillo Jadan**, con cédula de identidad **1150017232**.

Para tratamiento de comunicación internacional y académica, se utilizó términos técnicos y universales.

Bajo la responsabilidad que se me otorga como traductor, dejo la firma que acredita mi nivel de idioma y el solicitante podrá usar este documento como más le interese.

Atentamente,



Ricardo Javier Cruz Parreño
ID 1724086289

Date of Examination: AUGUST UF (AM1) 2016
Place of Entry: ECUADOR
Reference Number: 169EC0020066
Accreditation Number: 60127050

*This was verified by the UK Council for Educational Assessment

Saul Nassé
Chief Executive