



Diseño y construcción de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo, mediante un sistema automático para ensayos de calidad de suelas de calzado en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha.

Barona Yansapanta, Jairo David, y Palacios Palacios, John Kevin

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Caizalítín Quinaluisa, Edwin Alejandro

22 de agosto de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Plagiarism and AI Content Detection Report

TESIS_Barona_Palacios.docx

Scan details

Scan time: August 24th, 2023 at 12:4 UTC
 Total Pages: 64
 Total Words: 15888

Plagiarism Detection



9.3%

Types of plagiarism		Words
Identical	2%	319
Minor Changes	1.7%	274
Paraphrased	5.6%	892
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



0%

Text coverage	Words
AI text	0% 0
Human text	100% 15888

[Learn more](#)

🔍 Plagiarism Results: (47)

🌐 **Diseño y construcción de una máquina para ensayo...** 1.3%

<https://library.co/document/yr3jgm/y-diseño-construcción-...>

...

🌐 **Lenguaje ladder - Wikipedia, la enciclopedia libre** 1.3%

https://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_ladder

Colaboradores de los proyectos Wikimedia

Ir al contenido Menú principal Menú principal mover a la barra lateral ocultar Navega...

🌐 **CD-3281** 1.1%

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2603/1/cd-328...>

Carrasco Santana, José Antonio

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN D...

Ing. Caizalítín Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: “Diseño y construcción de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo, mediante un sistema automático para ensayos de calidad de suelas de calzado en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha” fue realizado por los señores Barona Yansapanta, Jairo David y Palacios Palacios, John Kevin; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de agosto de 2023

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc

C. C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, Barona Yansapanta, Jairo David, con cedula de ciudadanía n° 1805464987 y Palacios Palacios, John Kevin, con cedula de ciudadanía n° 1805307004 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño y construcción de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo, mediante un sistema automático para ensayos de calidad de suelas de calzado en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de agosto de 2023

Barona Yansapanta, Jairo David

C. C.: 1805464987

Palacios Palacios, John Kevin

C. C.: 1805307004



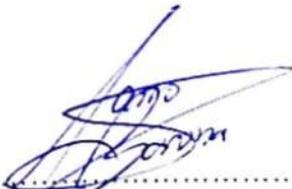
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

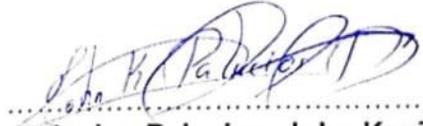
Autorización de Publicación

Nosotros, **Barona Yansapanta, Jairo David**, con cedula de ciudadanía nº 1805464987 y **Palacios Palacios, John Kevin**, con cedula de ciudadanía nº 1805307004 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Diseño y construcción de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo, mediante un sistema automático para ensayos de calidad de suelas de calzado en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.**

Latacunga, 23 de agosto de 2023


.....
Barona Yansapanta, Jairo David

C. C.: 1805464987


.....
Palacios Palacios, John Kevin

C. C.: 1805307004

Dedicatoria

A mi madre Rosario, quien me ha enseñado que las adversidades se desarrollan fortaleza y salen a flote cualidades que en la comodidad permanecerían ocultas. Además de haberme guiado en el sendero de la vida con valores predicados con el ejemplo.

Barona Yansapanta, Jairo David

Dedicatoria

El presente trabajo primeramente se lo dedico a Dios, porque me a permitido luchar día a día por cumplir mis objetivos, y poder convertirme en una persona de bien ante la sociedad.

A mis Padres Raúl Palacios y Margarita Palacios, son mi pilar fundamental ya que sin su apoyo no hubiese logrado es tedar una carrera profesional, siempre me han brindado su apoyo sin importar las adversidades.

A mi hermana que siempre me ha sabido apoyar en los momentos más difíciles de mi vida, siempre me ha ayudado a ver las cosas de manera positiva y a seguir luchando por alcanzar mis sueños y poder terminar una carrera profesional.

Palacios Palacios, John Kevin

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar esta maravillosa etapa académica, comenzando así una vida profesional la cual augurio este colmada de bendiciones.

A mi madre y mi hermano, los cuales han sido pilares fundamentales dentro de mi desarrollo personal, brindándome su apoyo, confianza y sustento para alcanzar mis metas.

Barona Yansapanta, Jairo David

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento a Dios, por haberme ayudado durante toda esta etapa de mi vida, resolviendo problemas y dificultades y siempre poder dar un paso hacia adelante.

Un eterno agradecimiento a mis padres, hermana, tíos, primos entre otros, la familia es el principal apoyo en la etapa de formación académica y personal, agradezco por todo el apoyo y cariño recibido y por siempre estar a mi lado sin importar las adversidades.

Mi más profundo agradecimiento al Ing. Edwin Caizalitin, una gran persona, y un gran maestro que nos ha sabido guiar y ayudar a realizar nuestro sueño, gracias por el tiempo y conocimiento dedicado a nosotros para ser personas de bien.

A mi Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por el conocimiento adquirido a lo largo de estos años, agradezco a los profesores y docentes que me formaron como profesional y siempre me supieron apoyar y brindar su conocimiento.

Palacios Palacios, John Kevin

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de auditoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos.....	10
Índice de figuras	16
Índice de tablas.....	20
Resumen.....	21
Abstract	22
Capítulo I: Generalidades	23
Introducción.....	23
Antecedentes.....	23
Planteamiento del problema.....	25
Descripción resumida del proyecto.....	30
Resumen de diagrama de fases de desarrollo del proyecto	33

Justificación e importancia	34
Objetivos.....	35
<i>Objetivo general</i>	35
<i>Objetivos específicos</i>	35
Hipótesis	36
Variables de investigación.....	36
<i>Variable dependiente</i>	36
<i>Variable independiente</i>	36
Capítulo II: Fundamentación Teórica.....	37
Mecanismos.....	37
<i>Continuo</i>	37
<i>Intermitente</i>	37
<i>Alternativo</i>	38
Maquina.....	38
<i>Motrices</i>	38
<i>Operadoras</i>	38
Lenguaje Ladder.....	38
<i>Relé o Bobina (S1)</i>	39
<i>Contacto normalmente abierto (E1)</i>	40
<i>Contacto normalmente cerrado (E2)</i>	40
Programación Ladder	40
<i>Sistemas combinados.</i>	41
Descripción de los componentes utilizados	42

Conmutador puente H	42
Interruptor diferencial.....	42
Actuador Lineal.....	44
NEMA 34 motor paso a paso	45
Tubería	45
 Tubo de acero negro.....	46
 Tubo galvanizado.....	47
 Métodos para la fabricación de tuberías de acero.....	47
 Acero estirado sin costura	48
 Con costura longitudinal	48
 Con soldadura helicoidal	48
Características del calzado.....	48
 Calidad de las suelas.....	49
 Bajo peso de la bota.	49
 La ventilación.....	49
Componentes del calzado táctico militar.....	49
 Suela	49
 Puntera.	49
 Forro	49
 Plantilla.....	50
 Tubo.....	50
 Chaleco.....	50
 Choclo	50
 Chinela.....	50
 Cierre	50

Ambientes de desgaste.....	51
<i>Variables de desgaste</i>	51
Para el empeine:.....	51
Para el forro	52
Para la plantilla.....	52
Para la suela	52
Índice de masa corporal (IMC).....	52
Capítulo III: Diseño y selección de materiales	54
Análisis de la matriz QFD.....	58
Diseño CAD.....	59
<i>Primer diseño</i>	59
<i>Segundo diseño</i>	62
<i>Diseño Final</i>	64
Selección de elementos mecánicos y electrónicos	65
<i>Rodamientos</i>	66
<i>Muelle helicoidal especial</i>	69
DIN ISO 10243	75
<i>Conmutador puente H</i>	80
<i>NEMA 23 motor paso a paso</i>	82
<i>Caja reductora</i>	83
Cálculo de Engrane	87
LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO, 400 bloques 6ED1052-1MD08-0BA1	89
Selección de materiales	91
Cálculos de estructura mecánica.....	92

<i>Según 1008 SAE:</i>	94
<i>Análisis estático</i>	98
Análisis de la estructura	100
Sistema de potencia	103
<i>Interruptor diferencial</i>	103
Construcción de los sistemas	104
<i>Sistema de control</i>	104
<i>Programación</i>	104
Entradas y salidas utilizadas	106
Sistema mecánico	107
<i>Banda</i>	107
<i>Paso</i>	108
<i>Mecanismo de movimiento rotacional</i>	108
<i>Mecanismo de movimiento desplazamiento</i>	108
<i>Mecanismo de flexión</i>	109
Funcionamiento del sistema	109
Capítulo IV: Construcción e implementación	112
Construcción	112
Montaje	114
Conexiones eléctricas	117
Sistema de control	118
Funcionamiento	120
Capítulo V: Pruebas y resultados	123

Pruebas	123
Validación de la hipótesis	126
Validación de la maquina	127
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	128
 Conclusiones.....	128
 Recomendaciones.....	130
Bibliografía	131
Anexos.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Máquina TM92 Probadora digital de fatiga por flexión</i>	24
Figura 2 <i>Prueba realizada en calzado impermeable</i>	24
Figura 3 <i>Movimiento natural de flexión del pie</i>	27
Figura 4 <i>Elementos relacionados con la sujeción de la suela</i>	29
Figura 5 <i>Características recomendadas para la suela del calzado de seguridad</i>	30
Figura 6 <i>Mecanismo leva</i>	31
Figura 7 <i>Normativas para calzado de uso militar</i>	32
Figura 8 <i>Elementos básicos de un diagrama ladder</i>	39
Figura 9 <i>Estructura general de distribución de un programa, mediante el lenguaje ladder</i>	40
Figura 10 <i>Ejemplo de esquema LADDER</i>	41
Figura 11 <i>Conmutador puente H</i>	42
Figura 12 <i>Interruptor diferencial</i>	43
Figura 13 <i>Actuador lineal</i>	44
Figura 14 <i>Motor paso a paso Nema 34</i>	45
Figura 15 <i>Tubo de acero negro</i>	46
Figura 16 <i>Tubo galvanizado</i>	47
Figura 17 <i>Clasificación según el Índice de masa corporal según IMC</i>	53
Figura 18 <i>Matriz QFD de calidad</i>	57
Figura 19 <i>Vista lateral del primer diseño realizado</i>	59
Figura 20 <i>Primer diseño utilizando un mecanismo sencillo para mover los pies</i>	60
Figura 21 <i>Mecanismo usado para el simular el movimiento de caminar</i>	60
Figura 22 <i>Vista lateral del segundo diseño realizado</i>	62
Figura 23 <i>Segundo diseño, utilizando actuadores</i>	62
Figura 24 <i>Vista frontal del segundo diseño realizado</i>	63

Figura 25	<i>Vista lateral del diseño final, acorde a los requerimientos del cliente</i>	64
Figura 26	<i>Diseño Final, con actuadores eléctricos, motores, resortes</i>	64
Figura 27	<i>Vista frontal del diseño final, terminado</i>	65
Figura 28	<i>Rodamiento rígido de bolas con sello</i>	68
Figura 29	<i>Tabla Rango IMC adultos peso-altura</i>	70
Figura 30	<i>Muelle helicoidal especial</i>	71
Figura 31	<i>Parámetros del muelle helicoidal especial</i>	75
Figura 32	<i>Características del Muelle helicoidal especial</i>	76
Figura 33	<i>Actuador lineal</i>	79
Figura 34	<i>Conmutador Puente H</i>	80
Figura 35	<i>Motor Nema</i>	82
Figura 36	<i>Driver HSS57, para el motor paso a paso Nema 23</i>	83
Figura 37	<i>Diagrama de cuerpo libre</i>	83
Figura 38	<i>Diagrama realizado con las diferentes fuerzas que actúan</i>	84
Figura 39	<i>Curva de torque Vs Frecuencia, del motor paso a paso, Nema 23</i>	85
Figura 40	<i>Engrane recto de 6 dientes</i>	88
Figura 41	<i>Engrane recto de 16 dientes</i>	88
Figura 42	<i>LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO</i>	89
Figura 43	<i>Características del tubo estructural redondo</i>	92
Figura 44	<i>Dimensiones de la estructura de la maquina</i>	93
Figura 45	<i>Diagrama de la viga</i>	93
Figura 46	<i>Análisis de las uniones soldadas</i>	96
Figura 47	<i>Análisis con diferente longitud de las uniones soldadas</i>	96
Figura 48	<i>Análisis de la estructura en MD Solid</i>	100
Figura 49	<i>Análisis de la estructura</i>	101
Figura 50	<i>Análisis del rodillo de la banda</i>	101

Figura 51 <i>Análisis en MD Solid del rodillo de banda</i>	102
Figura 52 <i>Interruptor diferencial</i>	103
Figura 53 <i>Diagrama Ladder</i>	105
Figura 54 <i>Entradas y salidas usadas para la comunicación</i>	106
Figura 55 <i>Simulación grafica</i>	107
Figura 56 <i>Temporizador de 2s, realizado en Ladder</i>	110
Figura 57 <i>Simulación del movimiento de los actuadores, y motores</i>	111
Figura 58 <i>Caja reductora</i>	112
Figura 59 <i>Piezas realizadas mediante impresión 3D</i>	113
Figura 60 <i>Construcción de la estructura</i>	113
Figura 61 <i>Colocación de los rodamientos</i>	114
Figura 62 <i>Montaje de la superficie de desgaste</i>	115
Figura 63 <i>Montaje de piezas realizadas mediante impresión 3D</i>	115
Figura 64 <i>Montaje de los resortes y la superficie de desgaste</i>	116
Figura 65 <i>Colocación de los actuadores</i>	117
Figura 66 <i>Panel de control</i>	117
Figura 67 <i>Conexiones eléctricas</i>	118
Figura 68 <i>Sistema de control</i>	118
Figura 69 <i>Programa realizada, para ser cargada en el Arduino</i>	119
Figura 70 <i>Inicialización del sistema</i>	120
Figura 71 <i>Modo de operación manual</i>	121
Figura 72 <i>Modo de operación automático</i>	121
Figura 73 <i>Presionamos el botón Stop</i>	122
Figura 74 <i>Contador del número de pasos</i>	122
Figura 75 <i>Funcionamiento de la maquina según la norma ISO 20344</i>	123
Figura 76 <i>Desgaste de la suela según la norma ISO 20344</i>	124

Figura 77 <i>Funcionamiento de la maquina según la norma ASTM F2412-05</i>	125
Figura 78 <i>Desgaste según la norma ASTM F2412-05</i>	125
Figura 79 <i>Superficie de desgaste</i>	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Lista de requerimientos del cliente</i>	54
Tabla 2	<i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	55
Tabla 3	<i>Relación entre los requerimientos y las especificaciones técnicas</i>	56
Tabla 4	<i>Matriz de correlación</i>	57
Tabla 5	<i>Resultados arrojados de la matriz QFD</i>	58
Tabla 6	<i>Características de los diferentes tipos de rodamientos rígidos de bolas</i>	66
Tabla 7	<i>Criterios de selección de los rodamientos rígidos de bolas</i>	67
Tabla 8	<i>Características del rodamiento SKF 6203</i>	68
Tabla 9	<i>Características de los diferentes tipos de muelles</i>	73
Tabla 10	<i>Criterios de selección del muelle helicoidal</i>	74
Tabla 11	<i>Características de los diferentes tipos de actuadores lineales</i>	77
Tabla 12	<i>Criterios de selección del actuador lineal</i>	78
Tabla 13	<i>Características del actuador lineal</i>	79
Tabla 14	<i>Criterios de selección del tipo de motor</i>	81
Tabla 15	<i>Características del motor paso a paso</i>	82
Tabla 16	<i>Características del PLC LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO</i>	90

Resumen

En este proyecto de titulación se desarrolla una máquina para realizar pruebas de ensayo de flexión y desgaste, en la empresa FAME S. A. de la ciudad de Quito. Partiendo del análisis de la necesidad de poder determinar la durabilidad del calzado militar, realizando el desarrollo mecánico, eléctrico y de software, necesaria para la implementación física de este equipo en el laboratorio de control y calidad de la empresa. Dentro del desarrollo se establecen parámetros acorde a cálculos realizados y componentes que actualmente se encuentran en comercialización en el mercado, la estructura se realizó de Acero al carbono para garantizar que no exista deformaciones al momento de realizar su ciclo de trabajo, además para generar el movimiento se utilizó un motor Nema 34, junto con actuadores FIONEL Electric Motor los cuales se energiza con 12V y genera la fuerza de 1100N, los cuales nos permiten simular el movimiento de caminar de una persona. Mientras que en la parte de control se optó por usar un PLC Logo 12/24RCE, programado mediante lenguaje Ladder, el cual es un lenguaje de programación didáctico que permite al usuario una fácil comprensión, además de ser usado en muchas industrias en la actualidad. Consecuente tras el proceso exhaustivo de pruebas, analizara los resultados obtenidos según la norma ASTM F2412-05 y ISO 20344, para evaluar el correcto funcionamiento de la maquina

Palabras Clave: rodadura, fricción, flexión, tren de engranes, índice de agotamiento.

Abstract

In this degree project a machine is developed to perform flexion and wear tests in the company FAME S. A. in the city of Quito. Starting from the analysis of the need to determine the durability of military footwear, performing the mechanical, electrical and software development, necessary for the physical implementation of this equipment in the laboratory of control and quality of the company. Within the development parameters are set short to calculations made and components that are currently on the market, the structure was made of carbon steel to ensure that there is no deformation when performing its duty cycle, also to generate the movement was used a Nema 34 motor, along with actuators FIONEL Electric Motor which is energized with 12V and generates the force of 1100N, which allow us to simulate the movement of walking of a person. While in the control part we chose to use a PLC Logo 12/24RCE, programmed using Ladder language, which is a didactic programming language that allows the user an easy understanding, besides being used in many industries today. Consequently, after the exhaustive testing process, we will analyze the results obtained according to ASTM F2412-05 and ISO 20344, to evaluate the correct operation of the machine.

Key words: rolling, friction, flexing, gear train, exhaustion rate.

Capítulo I

Generalidades

Introducción

Durante el primer capítulo se detalla la necesidad de implementar una máquina para la realización de pruebas del calzado militar en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, logrando de esta manera establecer la generación de una necesidad y la importancia que conlleva el poder determinar el tiempo aproximado de vida útil del calzado, además se detallan los objetivos que se irán cumpliendo a lo largo del desarrollo del proyecto.

Antecedentes

La empresa FAME S.A. trabaja desde hace 7 décadas comprometido con sus procesos de la producción, comercialización de calzado y zapatos militares, industriales, deportivos, y en general de cualquier tipo, uso y calidad. Esta empresa posee como misión “Diseñar, Innovar, Fabricar y Comercializar prendas de vestir, calzado y equipo para la Seguridad, Defensa, Sectores Estratégicos e Industria productiva con trazabilidad y calidad, garantizando la satisfacción del cliente”.

Para lo cual, se debe tomar en cuenta los materiales de fabricación del calzado, teniendo en cuenta los factores de desgaste con los que nos permitirán identificar el cumplimiento de los estándares necesarios con la finalidad de proteger y salvaguardar la integridad del personal en cualquier ámbito de desarrollo laboral.

La empresa SATRA TECHNOLOGY, es experta en la investigación de ensayos y pruebas para el control de calidad, debido a que posee unos laboratorios muy sofisticados en donde se han desarrollado máquinas de ensayos de flexión entre los más significativos.

Figura 1

Máquina TM92 Probadora digital de fatiga por flexión



Nota. Tomado de (Satra, TM92, 2016).

TM92 Probador Digital De Fatiga Por Flexión De Calzado Completo (GW-009B), Este probador se utiliza para determinar la resistencia a la flexibilidad y lograr indicar las grietas del zapato o la suela a través de movimientos de flexión alternativos bajo el ángulo y la frecuencia especificados. Además, posee la característica de agarre fácil, flexión suave y funcionamiento estable con ruidos más bajos. Además, la cubierta de protección acrílica permite que el usuario se encuentre alejado del peligro. (Satra, TM92, 2015)

Figura 2

Prueba realizada en calzado impermeable.



Nota. Tomado de (Satra, TM230, 2017)

TM230 Calzado impermeable de toda la dinámica del equipo de prueba (GW-014F), Esta máquina se utiliza para probar toda la dinámica de calzado resistente al agua. Para lo cual se debe configurar la muestra y poner algo de agua en el cuadro y hacer tocar el agua. A continuación, se procede a analizar la suela, analizando si el agua ha logrado penetrar al interior (Satra, TM230, 2017)

TM174 GB/T9867 Laboratory Leather Abrasion Testing Machine (GW-008), La determinación de la abrasión de elastómeros, caucho, sintéticos blandos, cuero y materiales es de especial importancia para la clasificación de la resistencia al desgaste abrasivo. (Satra, TM174 GB/T9867, 2016)

TM404 Leather Shoe Split Strength Tester Satra, La suela es un elemento de gran importancia en el calzado, es esta pieza la que tendrá contacto directo con el suelo, por lo que debe ser más resistente. Generalmente, la mayoría de los desperfectos o cambios realizados al calzado tienen que ver con la suela, esta máquina se emplea para comprobar la resistencia a la ruptura entre la suela y el empeine de los zapatos de cuero. (Satra, TM404, 2020)

Planteamiento del problema

Usar un calzado adecuado es imprescindible para los miembros de las fuerzas armadas, ya que esto permitirá salvaguardar el bienestar del personal militar, así como también facilitará la realización de actividad de manera cómoda, adecuada y por ende más eficiente. El utilizar un calzado deficiente o de calidad cuestionable puede ocasionar problemas en las extremidades inferiores, afectando la postura y con ello generando diferentes afecciones, repercutiendo directamente en el rendimiento laboral.

En un país de diversidad climática, se tienen variados entornos en los cuales las Fuerzas Armadas realizan su entrenamiento-preparación-adiestramiento, por lo que es necesario garantizar que los elementos que se utilizan estén en condiciones óptimas para el desarrollo de actividades. El estudio o análisis realizado en la etapa de control de calidad nos

permite identificar las características/resistencia que va a tener el producto, además de su vida útil.

El problema, se busca satisfacer la necesidad de ausencia de maquinaria que permita identificar el desgaste producido por el uso normal del calzado militar, con lo cual se puede estimar el índice de agotamiento y proyectarse el tiempo de vida útil que va a tener los elementos del calzado en conjunto.

Contando con un sistema mecatrónico se puede simular las acciones de caminar y trotar de una persona de manera automática, sin embargo, necesita de la supervisión humana evaluar la cantidad de pasos en el que el calzado comienza a fallar o existe desgaste de los materiales que lo componen y esto requiere monitorización de la existencia o generación posible de grietas y cambio visuales de la suela.

Las fallas más comunes que se producen en la suela del calzado debido al desgaste al caminar son:

- **Desgaste en la parte exterior del talón:** Esta es la zona que soporta el peso del cuerpo al caminar y, por lo tanto, es propensa a desgastarse con el tiempo. Si la suela se desgasta demasiado en esta zona, puede provocar una distribución desigual del peso del cuerpo y afectar la postura y la marcha.
- **Desgaste en la parte delantera de la suela:** La parte delantera de la suela, justo debajo de los dedos del pie, también puede desgastarse con el tiempo. Esto puede provocar una sensación de falta de soporte y hacer que el pie se deslice hacia adelante dentro del calzado, lo que puede provocar ampollas y otros problemas.
- **Separación de la suela:** Si la suela se desgasta demasiado, puede comenzar a separarse del resto del calzado. Esto puede ser peligroso debido a que puede causar tropiezos y caídas.

- **Desgaste en la suela central:** La suela central es la parte que conecta la parte delantera y trasera del calzado y es importante para la estabilidad del pie. Si se desgasta demasiado, puede afectar la estabilidad y hacer que el zapato sea incómodo de usar.

Al generar un índice permite, en la orientación de la empresa, el cambio por nuevas alternativas dependiendo el caso para cubrir altas tasas de demanda de calzado o a su vez controlar la sobre producción.

Estudios demuestran que el dedo pulgar, es el encargado de realizar el trabajo de impulsar, permitiendo que el pie se despegue del piso, debido a esto el desgaste se presenta mayormente en la zona lateral externa del talón y en la zona del dedo pulgar, este tiende a ser un desgaste normal siempre y cuando no se produzca en un periodo de tiempo demasiado corto. Es mucha relevancia analizar de manera adecuada el desgaste producido en la suela, debido a que una suela desgastada puede coaccionar riesgo de lesiones como esguinces de tobillos, fracturas, entre otras.

Figura 3

Movimiento natural de flexión del pie



Nota. Tomado de (Puigcerver et al, 2012)

La flexibilidad del calzado está relacionada directamente con el esfuerzo requerido para doblar el calzado, condicionando el confort a la hora de caminar. Con una flexibilidad reducida

aumenta el nivel de energía usado para mover el pie y por consecuencia también se aumenta la fatiga al caminar, causando un aumento en las presiones plantares y creciendo la posibilidad de que se lastime el pie.

Las características del calzado de seguridad se encuentran normado según los requerimientos y desempeño, mediante las cuales se especifican los métodos de ensayos destinados a proteger al usuario, entre las más importantes tenemos.

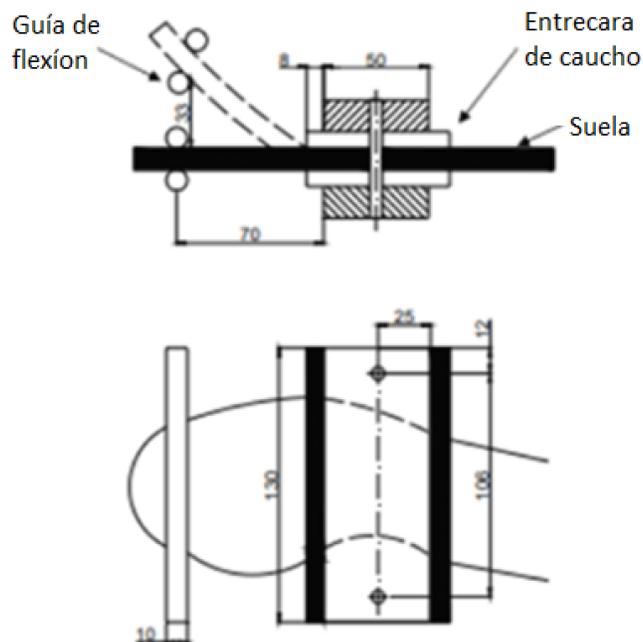
- Norma sobre la resistencia al impacto (ASTM F2412-05, ISO 20344, NTE INEN 1923:92)
- Norma sobre la resistencia a las proyecciones de objetos a velocidad (ISO 20344)
- Norma sobre la resistencia según la abrasión de la suela (NTE INEN 1926:92)
- Norma sobre la resistencia a la flexión de suelas (ASTM F2412-05, ISO 20344, NTE INEN 1926:92)
- Norma sobre la resistencia de compresión del calzado (ASTM F2412-05, ISO 20344, NTE INEN 1922:92)
- Norma sobre la resistencia a la perforación (ASTM F2412-05, ISO 20344, NTE INEN 1925:92)
- Norma sobre la resistencia al plegado (ISO 20344)
- Norma según las características antideslizantes de la suela del calzado (ISO 20344, NTE INEN 1926:92)

La norma ASTM F2412-05 contempla el ensayo por flexión, mediante un procedimiento de someter a la suela, flexionando a una distancia vertical de 33 ± 1 milímetros desde su posición horizontal, se repite ese proceso por 150000 ciclos, luego de lo cual se procede a

revisar si existe algún daño como grietas. En la siguiente imagen se puede observar las dimensiones en mm de cada uno de los elementos de sujeción recomendados por la norma para ensayar la flexión del calzado.

Figura 4

Elementos relacionados con la sujeción de la suela



Nota. Tomado de (Carrasco, 2010)

Otra norma que trabaja en cuanto a la flexión es la ISO 20344, la cual admite 6 mm de abertura en forma de grieta luego de 35000 ciclos, en la siguiente tabla se puede apreciar los principales aspectos que toma en cuenta esta norma. (Carrasco, 2010)

Figura 5

Características recomendadas para la suela del calzado de seguridad

CONCEPTO	SUELA
Espesor	10 mm mínimo
Dureza Shore A	67 ± 5 puntos
Resistencia a la abrasión	225 mm ³ máximo
Resistencia a la flexión	35000 ciclos 6 mm de abertura
Resistencia a la tracción	1500 N/cm ² mínimo
Alargamiento	300% mínimo
Resistencia al calor, (70 hrs. A 70°C) Cambio a la tensión Cambio en alargamiento Cambio en dureza	± 15% máximo ± 17% máximo ± 10 puntos
Índice de resbalamiento en placa de vidrio • Estático (IRE) • Dinámico (IRD)	0,35 mínimo 0,30 mínimo
Estanqueidad (0,5 kg/cm ² durante 60 segundos)	Sin fugas de aire

Nota. Tomado de (Carrasco, 2010)

Descripción resumida del proyecto.

El proyecto implica el diseño e implementación de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrarle desgaste por fricción y flexión continua del mismo. Este sistema parte de una muestra obtenida de un lote de producto final (bota táctica), para el respectivo ensayo de desgaste en la etapa de control de calidad, lo cual dará solución a la ausencia de maquinaria para realizar estos procesos con lo que se recabará datos para el análisis de control de calidad.

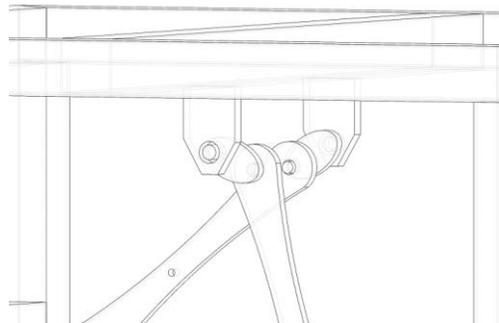
La mejor manera de ejecutar el estudio es obtener una muestra en campo, para solventar esto, en este proyecto se plantea diseñar, construir e implementar una máquina que nos permita simular el caminar-trote de un miembro de las fuerzas armadas, esto será

realizado mediante un sistema mecánico el cual imita el movimiento y flexión de la bota como sería en la utilización normal además de soportar tiempos extensos de trabajo continuo.

El sistema mecánico utilizado en el calzado es un proceso clave en el control de deterioro producido en el calzado militar, en el que se aplicara una técnica basada en un sistema rotacional de levas, mediante un seguidor producir un movimiento lineal para el desplazamiento de la bota. Este sistema ha sido diseñado para permitir una simulación del movimiento de la pantorrilla en la zona de impacto (talón), es decir, en el punto en el que se produce el contacto entre la suela y la superficie, generando el desgaste natural de la suela, de esta manera, se consigue un proceso preciso y controlado.

Figura 6

Mecanismo leva



La superficie será simulada con una banda transportadora diseñada específicamente para generar diferentes niveles de desgaste a través de la abrasión entre la cinta transportadora y la superficie de la suela en contacto. El objetivo principal de este proceso es verificar el grado de desgaste producido por la suela, de acuerdo con las diferentes normativas presentadas en la Figura 7.

Figura 7

Normativas para calzado de uso militar

CUERO	Todos los requisitos químicos, físicos y mecánicos	NTE INEN 1810			
SUELA	Resistencia a la abrasión	NTE INEN – ISO / TR 20880	≤ 250	mm ³	NTE INEN-ISO 20871
	Resistencia a la flexión (Diferencia en la longitud de la incisión)		≤ 6	mm / 30000 ciclos	NTE INEN-ISO 17707
	Dureza	NTE INEN 1921	65 ± 5	Shore A	NTE INEN-ISO 7619-1
	Tipo de Labrado	Antideslizante			

Nota. Tomado de (Olmedo, 2022)

Es importante destacar que la banda transportadora no estará fija, sino que tendrá un movimiento vertical diseñado para adaptarse a la forma de la suela y lograr un contacto óptimo entre la cinta y la superficie del calzado. Para ello, se utilizará un sistema de elevación con muelle que permitirá que las variaciones producidas en la suela no afecten el desarrollo del proceso de desgaste.

El sistema de potencia es un componente crucial para el correcto funcionamiento del dispositivo, ya que proporcionará la energía necesaria para alimentar tanto los controladores de los motores como la iluminación interna del dispositivo. Estos controladores permitirán un control preciso y eficiente del movimiento y la velocidad de los motores, lo que garantizará una simulación realista y precisa de las condiciones de uso del calzado.

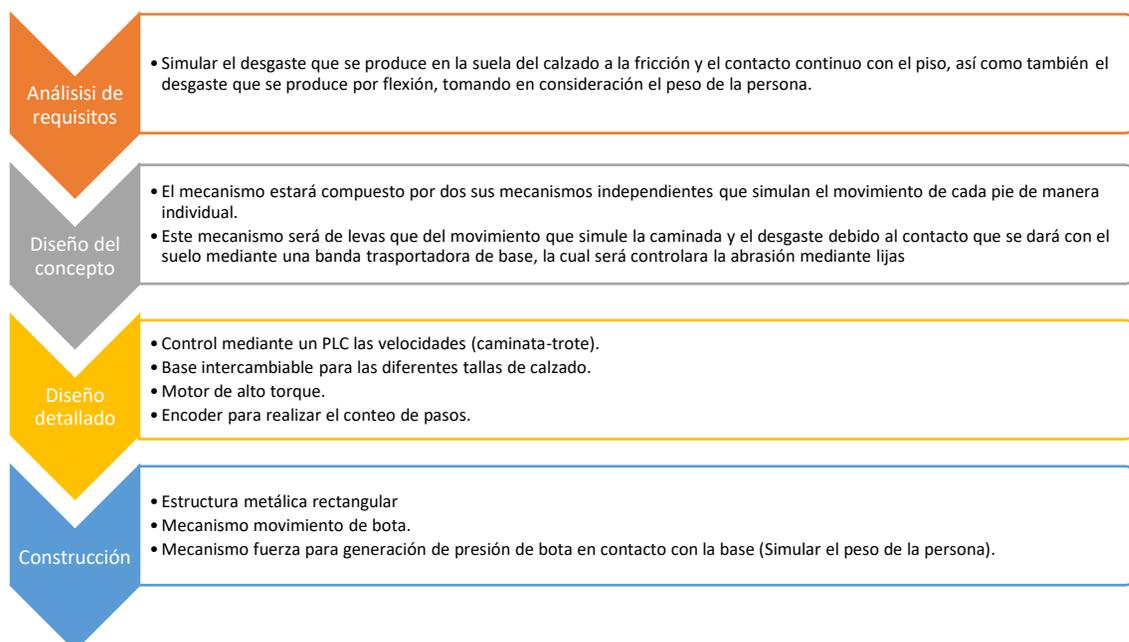
Por otro lado, la iluminación interna del dispositivo desempeña un papel fundamental en el proceso de simulación, ya que permitirá una mejor visualización de las fisuras generadas por el movimiento en la superficie de la suela. De esta manera, se podrá evaluar de manera más efectiva el nivel de desgaste y la calidad del calzado.

El sistema de control utilizado en el dispositivo de simulación de desgaste de la suela del calzado es un componente crítico que permitirá el control total del proceso. Este sistema de control está diseñado para proporcionar dos velocidades diferentes, una para caminar y otra para trotar, lo que permitirá simular las diferentes condiciones de uso del calzado. El Sistema se implementa mediante la utilización de un Controlador Lógico Programable (PLC), que se programa empleando lenguaje Ladder y se activa mediante pulsadores de operación. Esto permite un control preciso del proceso, lo que garantiza que se obtengan resultados precisos y confiables.

El controlador lógico programable también permite el ajuste y fijación de los valores de velocidad, y el conteo de los pasos producidos durante el ensayo. Estos parámetros se visualizan en un indicador visual en la pantalla del controlador programable lógico, lo que proporciona una retroalimentación en tiempo real del proceso de simulación.

La recopilación de datos y análisis del mismo nos permitirá realizar un estudio de materiales, conformación y posterior toma de decisiones.

Resumen de diagrama de fases de desarrollo del proyecto



Justificación e importancia

La “Ejecución de pruebas de control de calidad en el calzado de uso militar”, es un proceso de alta tecnología e innovación que consiste en la fusión de varias etapas de control de calidad, donde es necesario provocar el desgaste por fricción y flexión continua del calzado

La importancia del proyecto radica en que representará una base para intervenciones futuras en implementaciones tecnológicas para pequeñas y medianas empresas dedicadas a la realización de pruebas de control de calidad, utilizando equipos y métodos convencionales, realizando de manera separada pruebas de resistencia a la abrasión y resistencia a la flexión. Estas máquinas por lo general son empleadas en procesos de producción en gran escala y son de importación, lo cual conlleva a un mantenimiento especializado y de mayor costo.

El desarrollo de la tecnología en los procesos industriales con la integración de sistemas mecánicos, electrónicos y control tiene como finalidad aumentar la producción, optimizar tiempos, ergonomía para los operarios, mejorar la calidad de los productos o la ejecución de tareas en cadena de producción, controlando sistemáticamente las diferentes máquinas de un proceso.

De modo que el desarrollo e investigación del proyecto se justifica por emplear tecnología innovadora para la automatización de una máquina para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo, cumpliendo con las necesidades y requerimientos propuestos por la empresa FAME S.A. lo que motiva positivamente en la industria ecuatoriana de producción de calzado, impulsando la economía ecuatoriana y los estándares de calidad.

Además, la máquina de control de calidad de botas también puede ser utilizada para determinar la calidad de la suela del calzado común. Esto se puede lograr mediante un estudio realizado o basado en la información de los resultados obtenidos con la máquina para la

selección de material y/o composición de la suela. De esta manera, las empresas pueden asegurarse de que su calzado cumpla con los estándares de calidad y durabilidad requeridos.

Es importante destacar que el empleo de estas máquinas de control de calidad no solamente beneficia a las empresas productoras de calzado, sino también a los consumidores. Al garantizar la calidad y durabilidad de sus productos, las empresas pueden evitar la insatisfacción del cliente y las quejas, lo que a su vez puede llevar a una mayor lealtad a la marca y una mayor satisfacción del cliente.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar, con el fin de demostrar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo, en la empresa FAME S.A. de la provincia de Pichincha.

Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte enfocado en las pruebas de control de calidad en calzado de uso militar estableciendo la base del proyecto.
- Definir los parámetros de diseño del sistema.
- Diseñar el sistema mecánico del sistema.
- Implementar el sistema electrónico.
- Diseñar el sistema de control.
- Realizar pruebas de funcionalidad.
- Validar la hipótesis

Hipótesis

¿El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar permitirá determinar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo?

Variables de investigación***Variable dependiente***

Sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar.

Variable independiente

Control del desgaste por fricción y flexión continua del calzado de uso militar.

Capítulo II

Fundamentación Teórica

Mecanismos

Un mecanismo es la combinación de diferentes cuerpos rígidos o resistentes, los cuales por lo general se encuentran conectados entre sí de modo que el movimiento que se produce entre los elementos se encuentre restringido. (Roda, Mata, & Albelda, 2016)

Según Manuel Reino Flores, define a un mecanismo como una cadena cinemática cerrada en la cual uno de los eslabones que la componen debe ser fijo, permitiendo de esta manera que se produzca la trasmisión del movimiento.

Un ciclo cinemático es completado desde que el mecanismo inicia su movimiento hasta que vuelve a la misma posición inicial, logrando que sus eslabones pasen por todas sus posiciones posibles que puede lograr cada uno de ellos, este tiempo empleado en completar un ciclo se denomina como periodo.

La fase de un mecanismo es el conjunto de posiciones relativas simultaneas que ocupan los eslabones, en un instante cualquiera del ciclo de trabajo. De esta manera al considerar los eslabones según el tipo de movimiento durante un ciclo, se puede presentar la siguiente clasificación.

Continuo

El eslabón es capaz de presentar un movimiento sin ningún tipo de interrupción o parada durante los ciclos de trabajo.

Intermitente

En este tipo de movimiento el eslabón se mantiene parado durante un tiempo determinado en cada ciclo de trabajo.

Alternativo

Su principal característica es que el eslabón presente un ciclo de avance y retroceso, debido a que es capaz de invertir su sentido de movimiento durante cada ciclo de trabajo. (Reino & Galán, 2020)

Maquina.

Una maquina puede ser definida como un objeto el cual está compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que principalmente son usadas para facilitar o realizar un trabajo específico al transformar una forma de energía en un movimiento o trabajo. (Roda, Mata, & Albelda, 2016)

Una maquina pueden ser clasificada analizando varios criterios como el tipo de energía recibida, en donde encontramos dos grandes grupos:

Motrices

Este tipo de máquinas motrices reciben la energía procedente de una fuente natural para posteriormente transformarla en energía mecánica.

Operadoras

Las maquinas operadoras reciben la energía eléctrica o mecánica producida por una maquina motriz, para transformarla en trabajo (Reino & Galán, 2020)

Lenguaje Ladder

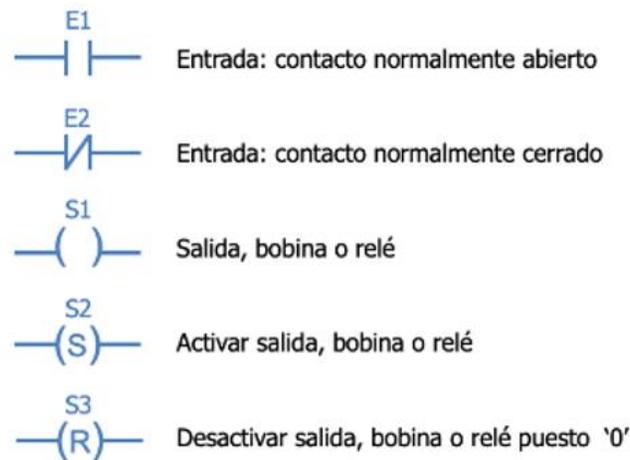
El lenguaje ladder o también conocido como lenguaje de escalera, es un lenguaje de programación grafico muy popular para las autónomas programables, pues su estructura está relacionada con los esquemas eléctricos de control clásicos. Este es un lenguaje de programación muy usado para los controladores lógicos programables (PLC), pero para

comprender su esquema de funcionamiento debemos tener presente que en Ladder la energía se desplaza de izquierda a derecha.

Para poder programar en lenguaje Ladder, primero debemos familiarizarnos con las reglas de los circuitos de conmutación, o también conocidos como lógica de contactos, esto nos permitirá un mejor desenvolvimiento, es así que entre los más comunes tenemos.

Figura 8

Elementos básicos de un diagrama ladder



Nota. Tomado de (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Relé o Bobina (S1)

La variable asociada que analizaremos para este caso es S1, esta a su vez toma el valor de la variable que se encuentre en su entrada. Además, puede ser enclavada o desenclavada, indicando con una S o R como se puede apreciar en la imagen anterior.

Contacto normalmente abierto (E1)

Para entender el funcionamiento de este tipo de contacto debemos fijarnos en la variable asociada, si esta vale 0, el contacto permanece abierto, mientras que, si vale 1, el contacto se cierra.

Contacto normalmente cerrado (E2)

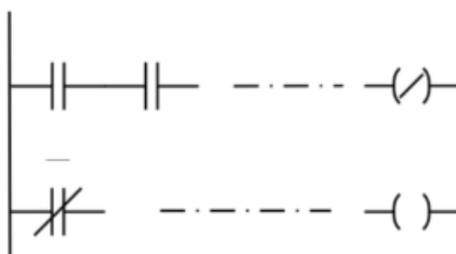
En este tipo de contacto, cuando la variable asociada valga 1, el contacto permanece abierto, mientras que, si este cambia a 0, el contacto se procede a cerrar. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Programación Ladder

Para realizar una buena programación en el lenguaje ladder primero es necesario conocer los elementos básicos de programación, luego de eso ya es más sencillo poder interpretar los programas, otros puntos a tomar en cuenta es la estructura general de distribución del programa, mostrada en la siguiente imagen, en donde podemos apreciar que los contactos por lo general van a la izquierda y las bobinas y otros elementos se encuentran a la derecha. (Granados, 2020)

Figura 9

Estructura general de distribución de un programa, mediante el lenguaje ladder



Nota. Tomado de (Granados, 2020).

El orden en el cual se ejecutan este tipo de programas es de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, es decir primero son los contactos y luego las bobinas, de modo que al llegar a las bobinas ya se conoce cuál es el valor de los contactos y se activan o se desactivan según sea el requerimiento. Para la equivalencia eléctrica nos debemos fijar en las líneas verticales, ya que la línea vertical de la izquierda representa el terminal de alimentación, y la línea de la derecha considerada como negativo o masa.

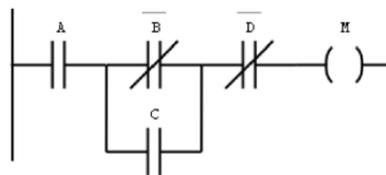
Sistemas combinados.

En los sistemas industriales, por lo general la programación se centra en procesos secuenciales, pero también es importante analizar los procesos combinaciones y poder entender su lógica de programación, la cual es muy usada para la programación secuencial.

A partir de la función lógica de un problema combinatorial, es muy sencillo poder realizar el paso a ladder o esquema de contactos, utilizando el algebra de bode para aplicar la conmutación, permitiendo que las sumas sean contactos en paralelo, los productos se convierten en contactos en serie y los negativos contactos normalmente cerrados. (Granados, 2020)

Figura 10

Ejemplo de esquema LADDER



Nota. Tomado de (Granados, 2020).

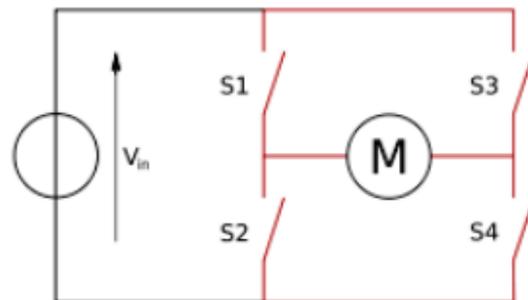
Descripción de los componentes utilizados

Conmutador puente H

El puente H es construido por medio de 4 interruptores siendo estos mecánicos o medianamente transistores. Su funcionamiento se basa en la activación y desactivaciones los interruptores, es decir cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados, y los interruptores S2 y S3 se encuentran abiertos, se aplica una tensión positiva en el motor logrando que el motor gire en un sentido, pero si ahora abrimos los interruptores S1 y S4, y además cerramos S2 y S3, el voltaje se invierte efectuando un giro en sentido inverso. (Guamán & Ángel, 2013)

Figura 11

Conmutador puente H



Nota. Tomado de (Guamán & Ángel, 2013).

Interruptor diferencial

El interruptor diferencial o disyuntor es un dispositivo eléctrico, que por lo general se encuentra en el cuadro de electricidad, pues su principal función es la de desconectar la instalación eléctrica de forma inmediata cuando se presenten fugas de corriente. Por lo general es conocido como un medio de protección de las personas contra contactos eléctricos y además poder prevenir accidentes.

Este tipo de interruptor, se encuentra en constante comprobación entre los conductores de entrada y salida verificando que no exista diferencias de corriente, dicho de otra manera, verifica que la corriente de entrada sea la misma de la de salida, pues si existiera una diferencia al comparar ambos valores nos estaría avisando de que existe una fuga, y procederá a interrumpir el paso de corriente.

Los interruptores diferencias por lo general poseen dos elementos movibles una pestaña y un pulsador de Test, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 12

Interruptor diferencial



Nota. Tomado de (Moreno, 2018).

El control de funcionamiento de los interruptores diferenciales es realizado mediante una operación sencilla la cual consiste en presionar el pulsador de test, el cual simula el efecto de la instalación, para que luego el diferencial actúe desconectando la instalación logrando que se interrumpa la corriente en los diferentes circuitos que se encuentran protegidos por el diferencial. (Moreno, 2018)

Actuador Lineal

El actuador lineal de alta resistencia es usado en múltiples sectores de la ingeniería como: eléctrica, maquinaria, metalurgia, minería, transporte, maquinaria elevadora y muchos más debido a que su rendimiento es fiable y además posee una gran capacidad de adaptación al entorno.

Figura 13

Actuador lineal



Nota. Tomado de (Amazon, s.f.).

Este tipo de actuador posee una protección IP54, la cual nos garantiza una mejor protección contra el polvo, el agua, y la corrosión en caso de ser usado en exteriores, además otra característica importante a tomar en cuenta es que poseen un bajo nivel de ruido pues su sonido en funcionamiento es inferior a 50 dB.

NEMA 34 motor paso a paso

El motor paso a paso Nema 34, es un motor de imán permanente en donde sus dimensiones son de 86 mm X 86 mm. Este tipo de motor es muy utilizado para maquinas CNC, impresoras 3D, brazos robóticos y demás máquinas relacionadas, debido a que su estructura es simple y posee un tamaño pequeño y de fácil montaje, y puede ser controlado mediante controladores paso a paso digitales CA o CC, logrando un control de posición preciso.

Figura 14

Motor paso a paso Nema 34



Nota. Tomado de (Ato, 2022).

Entre las principales características que nos muestre el motor paso a paso Nema 34, podemos encontrar muchas, pero a continuación se detallan las más importantes para el uso en esta aplicación. (Ato, 2022)

Tubería

Las tuberías de acero, son de alta calidad, permitiendo que estos productos sean ideales para el uso en la industria, obteniendo una acogida en el mercado muy considerable, entre las características más importantes tenemos:

- Fuertes
- Duraderos

- Firmes
- Resiste cambios de temperatura extremos
- Ideales para su uso en la industria
- Múltiples aplicaciones y usos
- Puede llevar varias formas (redonda, cuadrada o rectangular)
- Resisten presión y elementos destructivos

Tubo de acero negro.

Este tipo de tubo se caracteriza por su color oscuro, el cual es proveniente del óxido de hierro formado en su superficie durante el proceso de fabricación. El tubo es fabricado sin costuras, por lo que es usado para sistemas de rociadores, ya que su resistencia al fuego es mayor que el tubo galvanizado.

Las tuberías de acero negro o hierro negro, se oxidan cuando entran en contacto con el aire, cubriéndose con una película de color pardo oscuro. (González, 2017)

Figura 15

Tubo de acero negro



Nota. Tomado de (González, 2017).

Tubo galvanizado

Para la fabricación del tubo galvanizado se usa zinc para cubrir el material, permitiendo que el tubo sea más resistente a la corrosión, el zinc es el encargado de evitar la acumulación de depósitos minerales que puede obstruir una tubería.

Figura 16

Tubo galvanizado



Nota. Tomado de (González, 2017).

Métodos para la fabricación de tuberías de acero.

Existen varios métodos para la fabricación de tuberías, pero entre las más importantes podemos destacar, acero estirado en frío, con costura longitudinal, con soldadura helicoidal, entre otros, esto nos permite elegir un tipo de tubería lo más adecuada, para cumplir con los requerimientos, para comprender de mejor manera se analizan cada uno de estos métodos a continuación.

Acero estirado sin costura

Este tipo de tubería es calentada en un horno antes de realizar la extrusión, en la cual se la hace pasar por un dado cilíndrico y luego se realiza el agujero con ayuda de un penetrador, este tipo de tubería es la mejor para poder soportar la presión gracias a su holgura en todas las direcciones.

Con costura longitudinal

Esta tubería parte de una lámina de chapa la cual es doblada para darle la forma de la tubería y luego proceder a soldarla en línea recta, la soldadura representa la parte más débil de la tubería y por tanto marcará la tensión máxima admisible.

Con soldadura helicoidal

La metodología usada en este proceso es muy similar a la anterior, con la diferencia que la soldadura no se la realiza en línea recta, sino que recorre la tubería como si fuese roscada.

En general, al analizar los dos tipos de tubos podemos concluir que el tubo negro es más económico que el tubo galvanizado, debido al recubrimiento de zinc de la tubería y al proceso de fabricación usado para su elaboración. Los accesorios galvanizados también llevan un costo mayor a comparación del acero negro. (González, 2017)

Características del calzado

El diseño de las botas militares se encuentra pensado para brindar apoyo y poder mantener los pies protegidos, además de efectuar una estabilidad al tobillo para los distintos campos más exigentes y poder obtener un gran desempeño de sus labores. Este tipo de calzado presentan una serie de características especiales para poder determinar su eficiencia. (Madero, 2021)

Calidad de las suelas

Esto a su vez nos permite análisis el agarre que esta ofrece y el confort en general.

Bajo peso de la bota.

Una bota ligera y cómoda permite que las personas que usan este tipo de calzado se puedan mover con mayor facilidad.

La ventilación.

Una buena ventilación del pie permite aliviar las molestias y a su vez mantiene la temperatura corporal de los pies en forma cómoda, especialmente en temporadas de calor.
(Madero, 2021)

Componentes del calzado táctico militar.***Suela***

La suela es una estructura ubicada en la parte inferior la cual es la encargada de soportar el desgaste de la bota en diferentes superficies.

Puntera.

Es la protección que se encuentra en la punta del pie, por lo general es fabricada de plástico, celaste, acero, y en algunos casos es dieléctrica.

Forro

Es el material interior del calzado, por lo general se lo fabrica de piel o textil.

Plantilla

La platilla es conocida como el elemento que absorbe y disipa el peso de la persona al caminar, para su fabricación se puede usar varios materiales o incluso realizar combinaciones de ellas.

Tubo.

Son las piezas del corte que se encuentran en la parte superior del calzado, para su fabricación se usa un aditamento de loneta o piel según cual sea la altura requerida y el uso que se le vaya a dar.

Chaleco

Se conoce como chaleco a las piezas que nos permiten realizar la sujeción mediante el amarre de las agujetas de la bota militar

Choclo

Esta parte se encuentra en la parte posterior del calzado, recibe este nombre debido que define el contorno inferior de la bota táctica.

Chinela.

Por lo general la chinela es las piezas que cubren la parte frontal del calzado.

Cierre

El cierre es de tipo opcional, pero a su vez representa tiempo, pues solo se necesita abrir el cierre introducir el pie y ajustarlo según la comodidad del usuario. (Madero, 2021)

Ambientes de desgaste

Existen muchos parámetros de mucho interés desde los puntos de apoyo y flexión hasta las zonas de rozamiento, la principal razón para el uso del calzado militar es la protección personal en diferentes ambientes de trabajo, entre los más comunes podemos destacar, contacto con elementos cortopunzantes, deslizamientos entre otras. Este tipo de calzado además de proporcionar seguridad a quién lo está portando, también son los encargados de dar confort y estética, para esto es muy importante conocer las características que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar un buen tipo de calzado.

Variables de desgaste

EL uso del calzado de seguridad, permite una protección personal ante cualquier accidente de trabajo como caída de objetos, elementos corto punzantes, deslizamiento de superficies, entre otros factores. Además de la protección en un calzado militar de seguridad se debe considerar el confort y la estética. (Carrasco, 2010)

Entre las partes más importantes que se deben considerar en el calzado tenemos:

Para el empeine:

- Espesor
- Penetración y absorción del agua
- Resistencia al desgaste
- Propiedades de tracción
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al desgarramiento

Para el forro

- Permeabilidad
- Resistencia ala abrasión
- Resistencia al desgarramiento

Para la plantilla

- Espesor
- Resistencia a la abrasión

Para la suela

- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia al desgarramiento
- Resistencia a la temperatura por contacto

Índice de masa corporal (IMC)

El índice de masa corporal, es tratado por las organizaciones de salud como una medida de primer nivel de la masa corporal, además de que nos permite realizar el diagnóstico de obesidad, siendo una herramienta fundamental para poder considerar el peso corporal de una persona.

Este valor del IMC, la podemos expresar como la relación entre el peso en Kg y la talla en metros al cuadrado m^2 , además de que se deben considerar las diferencias de género, pues las mujeres tienen mayor grasa abdominal subcutánea y menor cantidad de grasa intrabdominal a comparación de los hombres

De esta manera con este valor se puede predecir si una persona tiene sobrepeso u obesidad el 80% del tiempo, esto debido a que en los deportistas puede llegar a presentar errores, ya que dos personas pueden tener el mismo índice de masa corporal, pero porcentajes de grasa muy diferentes. (Vázquez, 2019)

Después de obtener el IMC, podemos analizar la siguiente tabla en donde podemos ver la clasificación que presenta la organización mundial de la salud (OMS), la sociedad española para el estudio de la obesidad (SEEDO), y la asociación americana del corazón (AHA)

Figura 17

Clasificación según el Índice de masa corporal según IMC

OMS 2000	SEEDO 2007	AHA 2009
Bajo Peso: <18.5	Bajo Peso: <18.5	Bajo Peso: <18.5
Normopeso: 18.5-24.9	Normopeso: 18.5-24.9	Peso normal o aceptable: 18.5-24.9
Sobrepeso: 25-29.9	Sobrepeso grado 1: 25-26.9	Sobrepeso: 25-29.9
	Sobrepeso grado 2: 27-29.9	
Obesidad grado 1: 30-34.9	Obesidad tipo 1: 30-34.9	Obesidad grado 1: 30-34.9
Obesidad grado 2: 35-39.9	Obesidad tipo 2: 35-39.9	Obesidad grado 2: 35-39.9
Obesidad grado 3: ≥ 40	Obesidad mórbida o tipo 3: 40-49.9	Obesidad grado 3: 40-49.9
	Obesidad extrema o tipo 4: ≥ 50	Obesidad grado 4: 50-59.9
		Obesidad grado 5: ≥ 60

OMS: Organización Mundial de la Salud; SEEDO: Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad; AHA: Asociación Americana del Corazón

Nota. Tomado de (Suárez & Sánchez, 2018)

Capítulo III

Diseño y selección de materiales

Diseño del sistema

En este capítulo se procede a detallar y analizar las necesidades técnicas que presenta el cliente, para realizar el diseño y selección de materiales acorde a los parámetros establecidos, por tal motivo se han considerado las necesidades del laboratorio de control y calidad de la empresa FAME S.A. Logrando eliminar los errores en la fase de diseño y construcción.

Requerimientos del sistema

Se presentan los diferentes requerimientos del cliente, los cuales son clasificados según su grado de importancia, se clasifican entre 1 y 5, donde 5 es muy importante y 1 es de poca importancia.

Tabla 1

Lista de requerimientos del cliente

No	Necesidad	Importancia
1	Determinar el desgaste del calzado	5
2	Fácil de transportar	2
3	Fuente de alimentación	5
4	Hormas intercambiables	3
5	Diseño multifuncional	4
6	Fácil control por el operador	4
7	Lecturas confiables	5
8	Pocos cables	3

No	Necesidad	Importancia
10	Fácil mantenimiento	3
11	Simule el peso de una persona promedio	4
12	Realice el ciclo del movimiento de caminar similar al de una persona	5
13	Posea actuadores eléctricos	3

Nota. En la tabla 1 se describen los requerimientos, por parte del laboratorio de control y calidad de la empresa FAME S.A., en torno al uso y manipulación del equipo, estos puntos se cuantifican en una escala de 1 a 5, siendo 5 el más importante y 1 el mínimo.

Especificaciones técnicas del sistema

A continuación, en la tabla 2 Se muestran las especificaciones técnicas del sistema para la realización del correcto diseño y construcción del equipo.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del sistema

No	Especificaciones técnicas
1	La superficie de la banda es intercambiable, para obtener diferentes tipos de desgaste.
2	Estructura mecánica adecuada de bajo peso.
3	Costo de manufactura reducido.
4	Sistema mecánico, eléctrico y de control fiable.
5	Correcta ubicación de componentes eléctricos y electrónicos.

No	Especificaciones técnicas
6	Uso de software compatible.
7	Capacidad de comprensión de lenguaje natural.
8	Mantenimiento sencillo y eficaz.
9	Se centrará el diseño al uso de actuadores eléctricos
10	Motores actuadores me permitan simular el caminar de una persona
11	Sistema de bandas y resortes

Nota. Las especificaciones técnicas se formulan a partir de las necesidades del cliente interpretadas en un lenguaje técnico.

Tabla 3

Relación entre los requerimientos y las especificaciones técnicas

Relación	Símbolo	Valor
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1

Nota. Nos permite saber en qué medida las especificaciones técnicas afectan a las necesidades de los clientes.

Tabla 4

Matriz de correlación

Símbolo	Significado
++	Fuertemente positiva
+	Positiva
-	Negativa
--	Fuertemente Negativa

Nota. Nos indica si las especificaciones de diseño se ayudan o se obstaculizan entre sí.

Figura 18

Matriz QFD de calidad

Núm	Necesidades	Métricas	Métricas											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Determinar el desgaste del calzado	5	•			○		○				○	•	•
2	Fácil de transportar	4		•		△	•						△	△
3	Fuente de alimentación	3	○			•	△				△	•	△	○
4	Hormas intercambiables	5	•	△	○								○	○
5	Diseño multifuncional	5	•	○	•		△	○	△	○	○	○	○	•
6	Fácil control por el operador	3				○	○	○	•	•	△		•	○
7	Lecturas confiables	3	△					○	○	○			○	○
8	Pocos cables	5				•	○				△	△	△	○
9	Capacidad de cambiar la superficie de desgaste	3	•		○								△	•
10	Fácil mantenimiento	3	○	○		•	○	△			•	○	•	○
11	Simule el peso de una persona promedio	2				○	○				○	○	○	○
12	Realice el ciclo del movimiento de caminar	5	•			•		•	○	○		•	•	△
13	Posea actuadores eléctricos	5			○	•	○					•	•	•
Ponderación Absoluta			228	65	84	232	92	114	56	74	116	240	186	1487
Ponderación Relativa			15,3	4,37	5,65	15,6	6,19	7,67	3,77	4,98	7,8	16,1	12,5	100
Importancia Relativa			3	10	8	2	7	6	11	9	5	1	4	

Nota. La Matriz QFD, es de mucha importancia al momento de realizar trabajos que tengan la expectativa de satisfacer las necesidades del cliente, en este caso el laboratorio de control de calidad.

Tabla 5*Resultados arrojados de la matriz QFD*

Característica técnica	Importancia
Motores actuadores me permitan simular el caminar de una persona	1
Sistema mecánico, eléctrico y de control fiable.	2
La superficie de la banda es intercambiable, para obtener diferentes tipos de desgaste.	3
Sistema de bandas y resortes	4
Se centrará el diseño al uso de actuadores eléctricos	5
Uso de software compatible.	6
Correcta ubicación de componentes eléctricos y electrónicos.	7
Costo de manufactura reducido.	8
Mantenimiento sencillo y eficaz.	9
Estructura mecánica adecuada de bajo peso	10
Capacidad de comprensión de lenguaje natural.	11

Nota. Se reordenan las características técnicas de 1 que es más importante a 8 que es el de menos importancia.

Análisis de la matriz QFD

Entre las especificaciones con mayor importancia y las que generan mayor peso tenemos:

- Motores actuadores me permitan simular el caminar de una persona
- Sistema mecánico, eléctrico y de control fiable.
- La superficie de la banda es intercambiable, para obtener diferentes tipos de desgaste.
- Sistema de bandas y resortes.

Entre los aspectos más importantes a tomar en cuenta para el diseño del equipo se encuentra la utilización de motores y actuadores que me permitir simular el proceso de caminar de una persona, junto con los resortes y las bandas que me permiten obtener el peso, además de tener una superficie de desgaste intercambiable para determinar diferentes tipos de desperfectos, también nos dice que nuestro sistema debe ser fiable y robusto, estas métricas se relacionan con varias necesidades, por lo que se denota una clara importancia de su análisis, para obtener un diseño adecuado y poder cumplir con los requerimientos del cliente.

Diseño CAD

Par obtener un diseño optimo acorde a las necesidades del cliente se a tenido que realizar cambios y modificaciones, es por ello que se han realizado tres diseños, en los cuales se han realizado cambios necesarios para de esta manera poder obtener un buen diseño que cumpla con las necesidades del cliente.

Primer diseño

Figura 19

Vista lateral del primer diseño realizado.

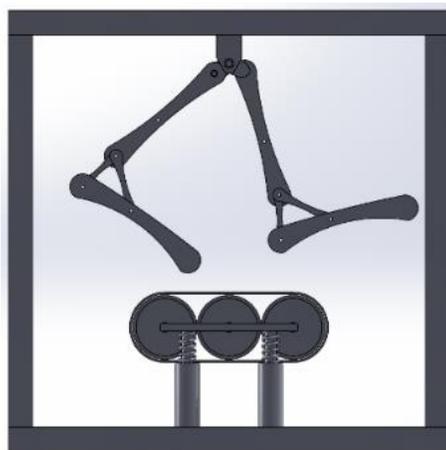
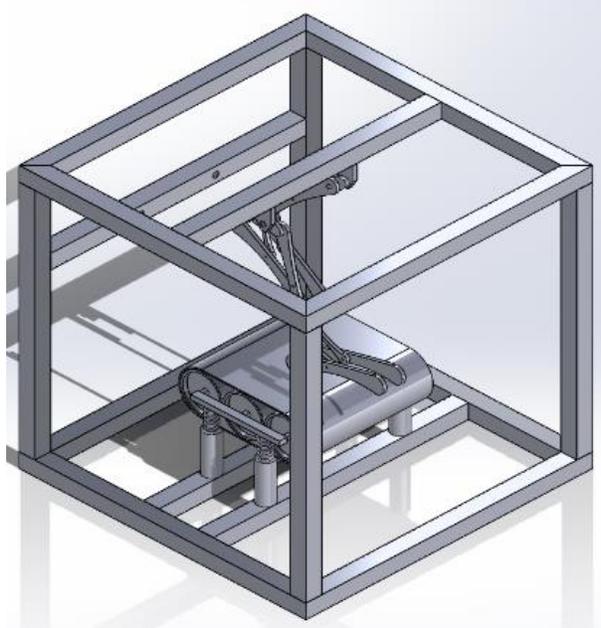
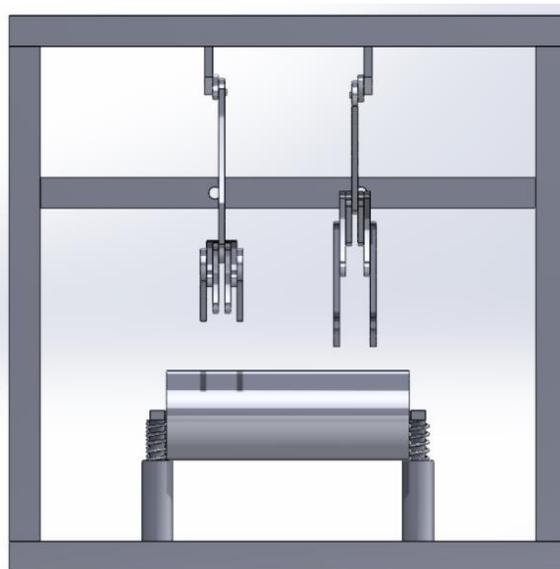


Figura 20

Primer diseño utilizando un mecanismo sencillo para mover los pies.

**Figura 21**

Mecanismo usado para el simular el movimiento de caminar



En el primer boceto se puede observar que se utilizó un sistema sencillo para generar el movimiento de los pies, teniendo un mecanismo de levas para elevar el pie de la superficie de contacto en el instante de retroceso, una banda de desgaste conformado por rodillos que giran por la fuerza generada por el movimiento del pie y no de manera dependiente, la estructura con dimensiones acordes a los elementos que conformaran la máquina.

El sistema de control del movimiento hacia adelante y atrás del pie venía a tener en sus límites un final de carrera ubicado en la barra posterior de la estructura.

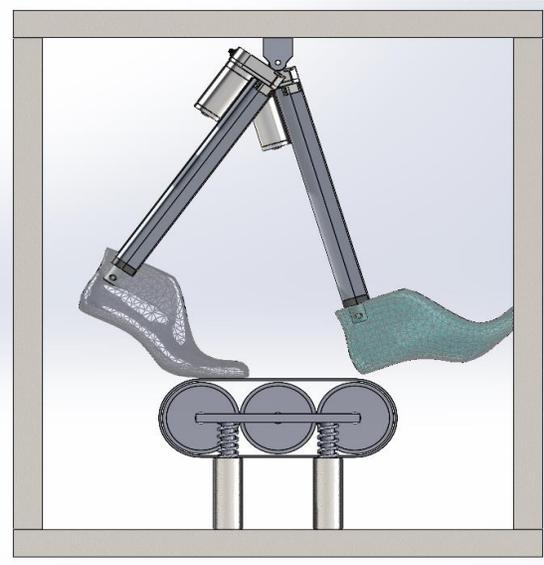
Al realizar la construcción del prototipo del primer diseño se pudieron observar falencias en los mecanismos además de modificaciones necesarias para mejorar el desempeño y facilitar la construcción e implementación de los sistemas en conjunto adicionalmente añadiendo nuevos requerimientos proporcionados por la empresa.

El cambio significativo que se da es el generara la fuerza de contacto de la suela con el piso, siendo esta fuerza el peso del personal adicionando el equipamiento para el que fue producido el producto. Esto conlleva a que el sujetador de la bota a la estructura sea intercambiado por un actuador lineal el cual al tener una fuerza de empuje y retención permitirá soportar la fuerza de empuje de la base asimismo nos permite una longitud variable con lo cual se solventa la diferencia de tamaño de talón de las distintas tallas del calzado además de la elevación para evitar el contacto en el retroceso del pie.

El mecanismo de levas para elevar el pie resulta tener mucha fricción y desgaste por lo que tiende a ser propenso a un cambio recurrente a largo plazo, la corrección de este hecho se solvento utilizando los pasadores proveídos por el fabricante de los actuadores por lo que el cálculo de estos se obvia ya que están preparados para soportar la fuerza de empuje del actuador.

Segundo diseño**Figura 22**

Vista lateral del segundo diseño realizado

**Figura 23**

Segundo diseño, utilizando actuadores

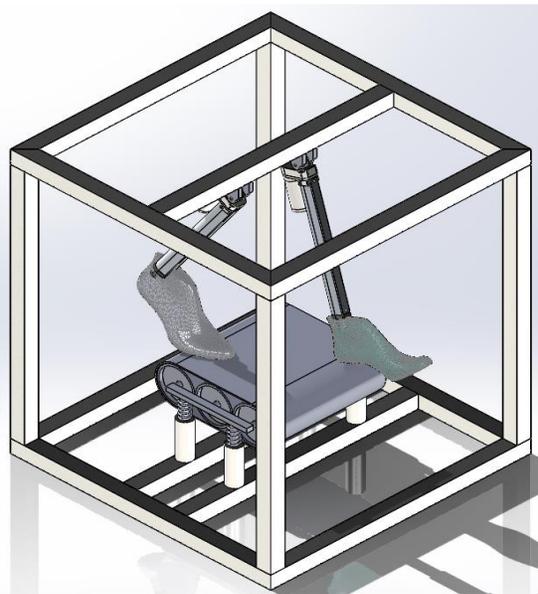
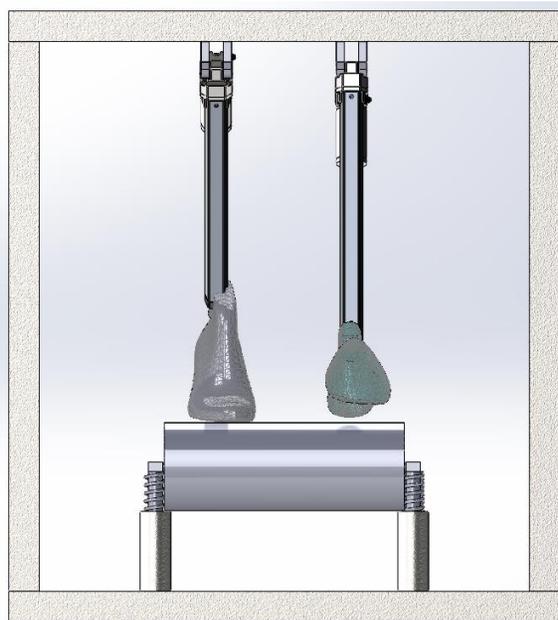


Figura 24

Vista frontal del segundo diseño realizado



En este diseño se puede observar la utilización de los actuadores en conjunto con las hormas, esto debido a que la fuerza debe ser distribuida en la suela por lo que se necesita simular el pie mediante elementos flexibles, es propuesto en material TPU para que el empeine pueda flexionarse al realizar el tercer tramo de la pisada.

El movimiento de los pies va a ser generado por motores paso a paso para controlar la apertura de forma que se pueda tener un mejor manejo de la pisada.

Este diseño resulto dar las características necesarias que requería el proceso, sin embargo, se debe adaptar los elementos a medidas estandarizadas y existencias en el mercado nacional e internacional.

Diseño Final

Figura 25

Vista lateral del diseño final, acorde a los requerimientos del cliente.

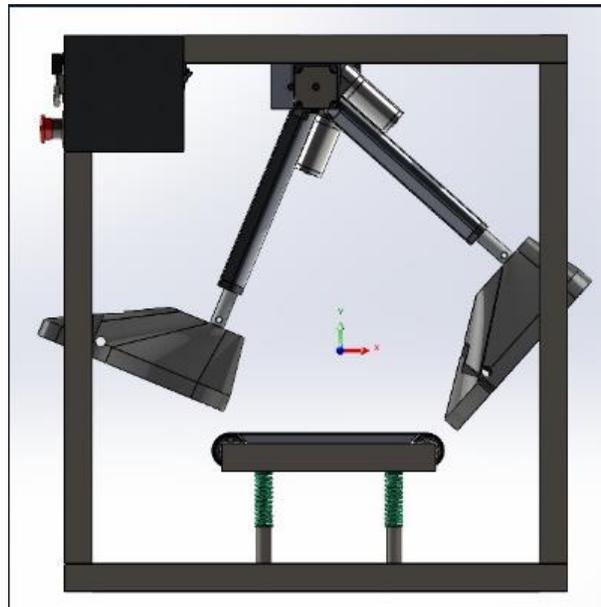


Figura 26

Diseño Final, con actuadores eléctricos, motores, resortes

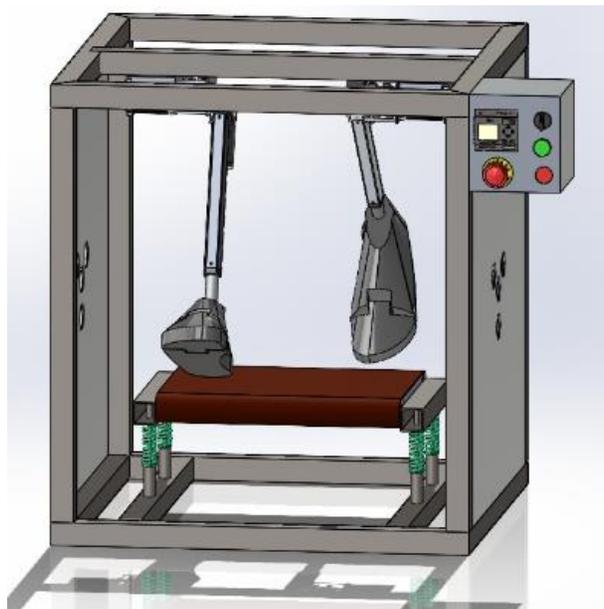
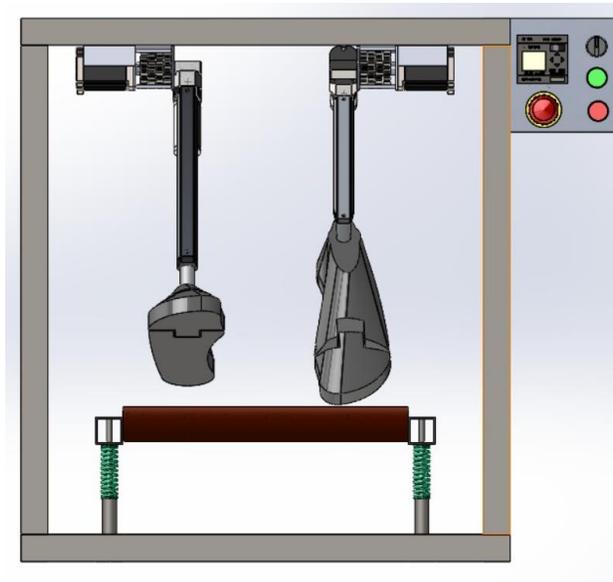


Figura 27

Vista frontal del diseño final, terminado



En este diseño cumple con los parámetros necesarios que se habían planteado para la conformación de la maquina permitiéndonos un proceso de desgaste y simulación bajo el peso de la persona. Las hormas intercambiables nos permiten el ajuste por cambio de talla además de que el actuador lineal me regula la altura de contacto. La banda de desgaste es variable pues se puede cambiar la abrasividad de desgaste como también regular la fuerza a la que se realiza el contacto. Tomando en cuenta que se enfoca en un diseño robusto el cual se basa en que el sistema funcione en los límites máximos para funcionar con valores en un rango establecido.

Selección de elementos mecánicos y electrónicos

En este apartado precedemos con la selección de elementos como el: rodamiento, muelle helicoidal, actuador lineal, puente H, motor nema, entre otros, para su correcta selección de cada uno de estos elementos se usan catálogos y manuales que nos permitan determinar elementos acordes a las características de diseño y la disponibilidad del mercado.

Rodamientos

En la tabla 6 y 7 mostradas a continuación, podemos observar las características de cada uno de los rodamientos, para su posterior análisis y selección de acuerdo a los requerimientos del diseño.

Tabla 6

Características de los diferentes tipos de rodamientos rígidos de bolas

Características de los Rodamientos rígidos de bolas			
	D interior	D exterior	Espesor
Rodamiento rígido de bolas			
Modelo: W 603	3 mm	9 mm	3 mm
Rodamiento rígido de bolas			
Modelo: 6200	10 mm	30 mm	9 mm
Rodamiento rígido de bolas			
Modelo: 6306	30 mm	72 mm	19 mm

Nota. Tomado de (SKF, s.f.)

Tabla 7

Criterios de selección de los rodamientos rígidos de bolas

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Modelo de los diferentes rodamientos			
	W 603	6200	6203	6306
Diámetro interior	-	0	+	-
Diámetro exterior	0	+	+	-
Espesor	-	+	+	0
Suma +	0	2	3	0
Suma 0	1	1	0	1
Suma -	2	0	0	2
EVALUACIÓN NETA	-2	2	3	-2
LUGAR	3	2	1	4
¿CONTINUAR?	NO	NO	SI	NO

Nota. De acuerdo a las dimensiones del diámetro interior, diámetro exterior y el espesor, podemos verificar que el rodamiento rígido de bolas que presenta, las mejores características para la realización del equipo es el rodamiento SKF con el modelo: 6203.

SKF 6203**Figura 28**

Rodamiento rígido de bolas con sello



Nota. Tomado de (SKF, s.f.)

Para la creación de la banda de desgaste se ha planteado el usar tubo de 1 ¾ in con una cedula de 2 mm, en consecuencia, se requiere un rodamiento de 40mm de diámetro exterior con lo se introducirá en cada lado del tubo teniendo así un movimiento rotacional del tubo alrededor del eje soldado a la base.

En el catálogo de SKD se encuentra el rodamiento 6203 el cual cuenta con un diámetro exterior de 40mm, un diámetro interior de 17mm y un espesor de 12 mm el cual nos permitirá mayor área de contacto para la sujeción dentro del tubo.

Tabla 8

Características del rodamiento SKF 6203

Características	
Diámetro Exterior	40 mm
Diámetro Interior	17 mm

Características	
Capacidad de carga dinámica básica	9.95 kN
Capacidad de carga estática básica	10.236 in
Longitud extendida	4.75 kN
Velocidad limite	12000 rpm
Masa de rodamiento	0.067 kg

Nota. Tomado de (SKF, s.f.)

Muelle helicoidal especial

El muelle se utilizará para generar la fuerza de contacto, el peso de las personas es la fuerza con la que la suela hace contacto con la superficie del suelo, por lo cual es necesario generar esta fuerza dentro de nuestro sistema.

Se requiere generar el peso de una persona promedio incluido su equipamiento, a continuación, se muestra el estudio de HEALTHLINE relacionando el peso y la estatura promedio.

Figura 29

Tabla Rango IMC adultos peso-altura

Altura	Normal (IMC 18.5 a 24.9)	Sobrepeso (IMC 25 a 29.9)	Obesidad (IMC 30 a 35.9)
4' 10"	91-118	119-142	143-167
4' 11"	94-123	124-147	148-173
5'	97-127	128-152	153-179
5' 1"	100-131	132-157	158-185
5' 2"	104-135	136-163	164-191
5' 3"	107-140	141-168	169-197
5' 4"	110-144	145-173	174-204
5' 5"	114-149	150-179	180-210
5' 6"	118-154	155-185	186-216
5' 7"	121-158	159-190	191-223
5' 8"	125-163	164-196	197-230
5' 9"	128-168	169-202	203-236
5' 10"	132-173	174-208	209-243
5' 11"	136-178	179-214	215-250
6'	140-183	184-220	221-258
6' 1"	144-188	189-226	227-265
6' 2"	148-193	194-232	233-272
6' 3"	152-199	200-239	240-279

Nota. Tomado de (Universo, 2021)

El diseño se enfocó en un generar un sistema robusto por lo cual al tomar el valor máximo con un índice entre 18.5-24.9, estaríamos asegurando que existan variaciones de peso comprendidas hasta el valor promedio más una variación de +5lb que representa a una persona con el índice de masa corporal normal añadido la indumentaria, realizamos la relación a fuerza de la siguiente manera:

$$1bf = 205lb$$

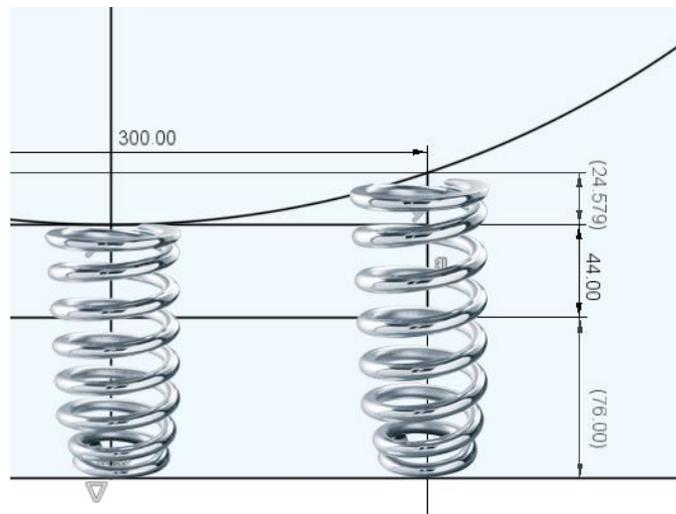
$$1lb = 4.4482N$$

$$205 * 4.4482 = 911.89N$$

El muelle generara esta fuerza con lo que se asegura también el contacto de la suela con la superficie de desgaste. Para los parámetros de selección de los muelles es necesario observar el análisis de dimensiones, con lo cual sabremos el espacio disponible para su colocación y el desarrollo de su funcionamiento.

Figura 30

Muelle helicoidal especial



La fuerza aplicada será 1000 N que representan 224 *lbf*, esta vendrá distribuida en los cuatro pilares de base de la banda de desgaste, para que la banda de desgaste se realice un movimiento vertical es necesario que los cuatro muelles se compriman además de que el movimiento angular de la suela genera un desplazamiento de 24.579mm desde el primer punto de contacto hasta el punto crítico que vendría a ser cuando está completamente vertical. Y la longitud del muelle puede estar comprendida hasta un máximo de 144.579mm.

Masa total de rodamientos 0.938kg, $W_r = 9.20N$.

Masa rodillo 0.84kg, masa total de los rodillos 5.88kg, $W_t = 57.68N$

Masa Laterales 0.286kg, masa total laterales 0.572kg, $W_l = 5.611N$

Pernos, tuercas de sistema sujeción estructura-base:

masa 1.59kg

Peso $W_s = 15.6N$

$W_T = 1000N$

$F_T = 1000N$

$$F_m = \frac{1000N}{4} = 250N$$

$x = 0.0245 m$

$$F_m = K \cdot x$$

$$250 N = K \cdot 0.0245m$$

$$K = \frac{250 N}{0.0245 m}$$

$$K = 10204.08 \frac{N}{m}$$

$$K = 10.2 \frac{N}{mm}$$

Mediante el catálogo FIBRO Muelles/Resortes se procede a seleccionar el muelle que cumplía con las características requeridas.

Selección del muelle helicoidal espiral.

En la tabla 9 y 10 podemos observar las características de cada uno de los muelles que se han analizado, para de esta manera poder elegir un muelle que cumpla los requerimientos de diseño del equipo.

Para la correcta interpretación de la tabla 13 debemos tomar en cuenta las siguientes abreviaciones:

- D = Desplazamiento
- L = Longitud
- F = Fuerza
- D = Diámetro

Tabla 9

Características de los diferentes tipos de muelles

Características de los diferentes tipos de muelles					
	D	L	F	D	Grafico.
<p><i>Muelle helicoidal</i> <i>espiral DIN ISO</i> <i>10243, Azul</i> <i>Código:</i> <i>241.15.16.305</i></p>	<p>41.4 mm</p>	<p>305 mm</p>	<p>199 lbf</p>	<p>16 mm</p>	<p>Ø16</p> 
<p><i>Mulle helicoidal</i> <i>espiral DIN ISO</i> <i>10243, Verde</i> <i>Código:</i> <i>241.14.16.076</i></p>	<p>25.4 mm</p>	<p>76 mm</p>	<p>254 lbf</p>	<p>16 mm</p>	<p>Ø16</p> 

Características de los diferentes tipos de muelles					Grafico.
	D	L	F	D	
<i>Muelle helicoidal espiral DIN ISO 10243, azul Codigo:241.15.63.305</i>	41.4 mm	305 mm	2683 lbf	63 mm	
<i>Muelle helicoidal espiral DIN ISO 10243, Amarillo Código: 241.17.20.305</i>	2.3 mm	25 mm	674 lbf	20 mm	

Nota. Tomado de (GmbH, 2023)

Tabla 10

Criterios de selección del muelle helicoidal

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Muelle helicoidal espiral			
	241.15.16.305	241.14.16.076	241.15.63.305	241.17.20.305
Desplazamiento	0	+	0	-
Longitud	-	+	-	0
Fuerza	0	+	-	-
Diámetro	+	+	-	0
Suma +	1	4	0	0
Suma 0	2	0	1	2

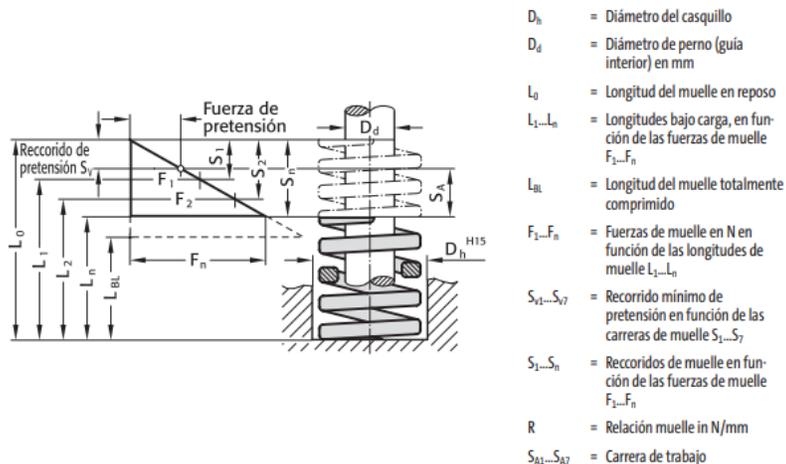
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Muelle helicoidal especial			
	241.17.20.305	241.17.20.305	241.17.20.305	241.17.20.305
Suma -	1	0	3	2
EVALUACIÓN NETA	0	4	-3	-2
LUGAR	2	1	4	3
¿CONTINUAR?	NO	SI	NO	NO

Nota. De acuerdo a las medidas de desplazamiento, longitud, diámetro y fuerza podemos concluir que el mejor muelle helicoidal que podemos usar según los requerimientos del diseño del equipo es el Muelle helicoidal especial DIN ISO 10243, Verde Código: 241.14.16.076

DIN ISO 10243

Figura 31

Parámetros del muelle helicoidal especial



Nota. Tomado de (GmbH, 2023)

Figura 32*Características del Muelle helicoidal especial*

Código	D _h	D _d	L ₀	R	55% Carrera del muelle				62% Carrera del muelle				80% Carrera del muelle				100% Carrera del muelle			
					S ₅	S _{V5}	S _{A5}	F ₅	S ₆	S _{V6}	S _{A6}	F ₆	S ₇	S _{V7}	S _{A7}	F ₇	S _n	L _n	F _n	
241.14.16.025	16,0	8,0	25	23,5	7,2	3,0	4,2	169	8,1	3,9	4,2	190	10,4	7,5	2,9	244	13,0	12,0	305,5	
241.14.16.032	16,0	8,0	32	23,0	8,8	3,7	5,1	202	9,9	4,8	5,1	228	12,8	9,3	3,5	294	16,0	16,0	368,0	
241.14.16.038	16,0	8,0	38	19,3	11,0	4,6	6,4	212	12,4	6,0	6,4	239	16,0	11,6	4,4	309	20,0	18,0	386,0	
241.14.16.044	16,0	8,0	44	17,1	12,7	5,3	7,4	217	14,3	6,9	7,4	245	18,4	13,3	5,1	315	23,0	21,0	393,3	
241.14.16.051	16,0	8,0	51	15,7	14,9	6,2	8,7	234	16,7	8,1	8,6	262	21,6	15,7	5,9	339	27,0	24,0	423,9	
241.14.16.064	16,0	8,0	64	10,7	18,7	7,8	10,9	200	21,1	10,2	10,9	226	27,2	19,7	7,5	291	34,0	30,0	363,8	
241.14.16.076	16,0	8,0	76	10,0	22,6	9,4	13,2	226	25,4	12,3	13,1	254	32,8	23,8	9,0	328	41,0	35,0	410,0	
241.14.16.089	16,0	8,0	89	8,6	27,0	11,3	15,7	232	30,4	14,7	15,7	261	39,2	28,4	10,8	337	49,0	40,0	421,4	
241.14.16.102	16,0	8,0	102	7,9	30,8	12,9	17,9	243	34,7	16,8	17,9	274	44,8	32,5	12,3	354	56,0	46,0	442,4	
241.14.16.305	16,0	8,0	305	2,6	93,5	39,1	54,4	243	105,0	51,0	54,4	274	136,0	98,6	37,4	354	170,0	135,0	442,0	

Nota. Tomado de (GmbH, 2023)

Selección del muelle actuador lineal

En la tabla 11 y 12 podemos observar las características de cada uno de los actuadores lineales, para su posterior análisis y selección de acuerdo a los requerimientos del diseño. Para la correcta interpretación de la tabla 16 debemos tomar en cuenta las siguientes abreviaciones:

- V = Voltaje
- Lc = Longitud de carrera
- Fe = Fuerza de empuje
- Vd = Velocidad

Tabla 11*Características de los diferentes tipos de actuadores lineales*

Características de los diferentes tipos de actuadores lineales					
	<i>V</i>	<i>Lc</i>	<i>Fe</i>	<i>Vd</i>	Grafico.
Actuador lineal Modelo: AM- TGF12V100-T-1	12 V	200 mm	330 lbf	10 mm/s	
Actuador lineal Modelo: G20221220-2	12 V	152.4mm	330 lbf	10 mm/s	
Actuador lineal Modelo: MY1004-02	12 V	99.822mm	225 lbf	10 mm/s	
Actuador lineal Modelo: Thincol52k3r1ezd6	24 V	152.4 mm	265 lbf	5 mm/s	

Tabla 12*Criterios de selección del actuador lineal*

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Modelo del actuador lineal			
	AM-TGF12V10 0-T-1	G20221220-2	MY1004-02	Thincol52 k3r1ezd6
Voltaje	+	+	+	-
Longitud	+	0	-	0
Fuerza de empuje	+	+	-	0
Velocidad	+	+	+	-
Suma +	4	3	2	0
Suma 0	0	1	0	2
Suma -	0	0	2	2
EVALUACIÓN NETA	4	3	0	-2
LUGAR	1	2	3	4
¿CONTINUAR?	SI	NO	NO	NO

Nota. De acuerdo a los valores obtenidos de voltaje, longitud de carrera, fuerza de empuje y velocidad, podemos concluir que el mejor actuador que cumplen con los requerimientos de diseño es el actuador lineal modelo: *AM-TGF12V100-T-1*

La fuerza en conjunto de los muelles es de 1000N por lo que el actuador lineal va a ser sometido a esta fuerza por ende la fuerza de detención debe ser superior, el actuador seleccionado es FIONEL Electric Motor debido a que se energiza con 12V y genera la fuerza de 1500N además de poseer las siguientes características:

Figura 33*Actuador lineal*

Nota. Tomado de (Amazon, 2014)

Tabla 13*Características del actuador lineal*

Características	
Velocidad	10mm/s
Voltaje de entrada	12 VCC
Longitud de carrera	200 mm
Longitud retraída	320 mm
Longitud extendida	520 mm
Consumo máximo de corriente	3A
Fuerza de empuje	1500N

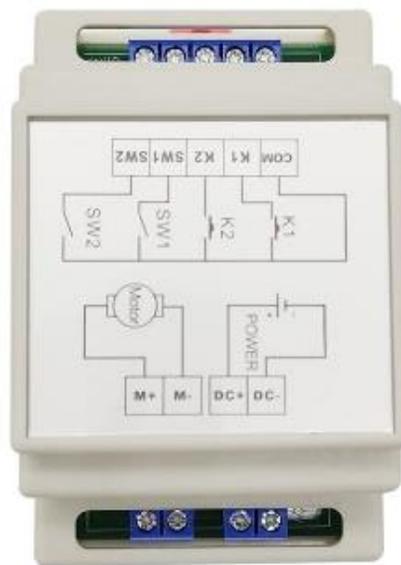
Nota. Tomado de (Amazon, 2014)

Conmutador puente H

El puente H nos permite controlar mediante la circulación de la corriente el sentido de giro del motor con el cual generaremos el alargamiento y retracción del radio de giro al que se encuentran las suelas.

Figura 34

Conmutador Puente H



Nota. Tomado de (Amazon, 2014)

PGFUN Módulo de relé hacia adelante y hacia atrás de 6-36 V, cumple con los requerimientos de trabajo, que son el control con 24V además de que nos permite integrarle finales de carrera y botones avance continuo.

Selección del tipo de motor

Tabla 14

Criterios de selección del tipo de motor

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Modelo del actuador lineal			
	Motor Brushless	Motor DC	Motor paso a paso	Servomotor
Voltaje de alimentación	+	-	+	-
Par motor	+	+	+	+
Me permite controlar	-	-	+	+
Suma +	2	1	3	2
Suma 0	0	0	0	0
Suma -	1	2	0	1
EVALUACIÓN NETA	1	-2	3	1
LUGAR	3	4	1	2
¿CONTINUAR?	NO	NO	SI	NO

Nota. Al analizar los requerimientos y las características de los diferentes motores presentados, podemos concluir que el mejor tipo de motor que nos permite cumplir de mejor manera las necesidades del cliente es el motor paso a paso.

NEMA 23 motor paso a paso

Nema 23 Closed Loop Stepper Motor Driver 57HSE2N-D25 HSS57 Driver

Figura 35

Motor Nema



Nota. Tomado de (Changzhou Junqi International Trade CO., s.f.)

Tabla 15

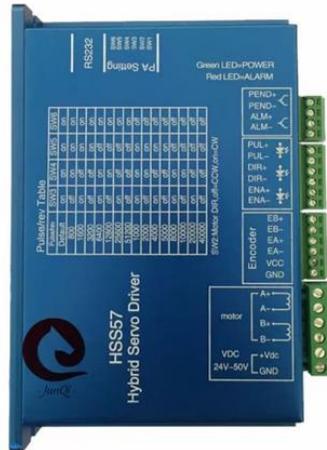
Características del motor paso a paso

Características	
Modelo	57HSE2N-D25
Ángulo de paso	1,8°
Resistencia	0,5±10%Ω
Inductancia	1,8±20% mH
Par de retención	2.0 N.m
Longitud del motor	76mm
Longitud total	97mm
Corriente	4.2A
Rango de Voltaje	24 - 50 VCC

Nota. Tomado de (Changzhou Junqi International Trade CO., s.f.)

Figura 36

Driver HSS57, para el motor paso a paso Nema 23



Nota. Tomado de (Changzhou Junqi International Trade CO., s.f.)

Caja reductora

Figura 37

Diagrama de cuerpo libre

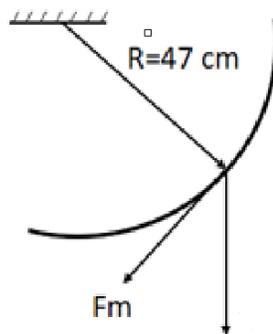
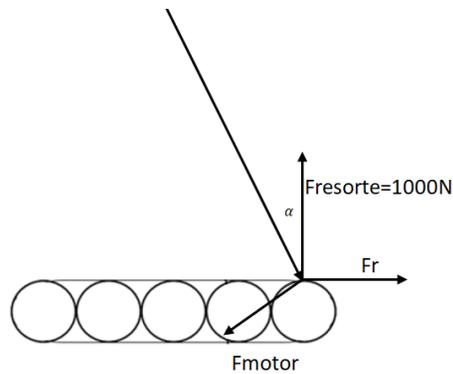


Figura 38

Diagrama realizado con las diferentes fuerzas que actúan



$$\sum F_x = 0$$

La sumatoria de fuerzas en x es igual a cero, debido a que, en el análisis realizado, la base no se desplaza horizontalmente solo de manera vertical.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{res} - F_{motor} \cos(\alpha) = 0$$

$$F_{motor} = \frac{F_{res}}{\cos(\alpha)}$$

$$F_{motor} = \frac{1000 \text{ N}}{\cos(18.6)}$$

$$F_{motor} = 1055.11 \text{ N}$$

Obtenemos el torque

$$T = F * d$$

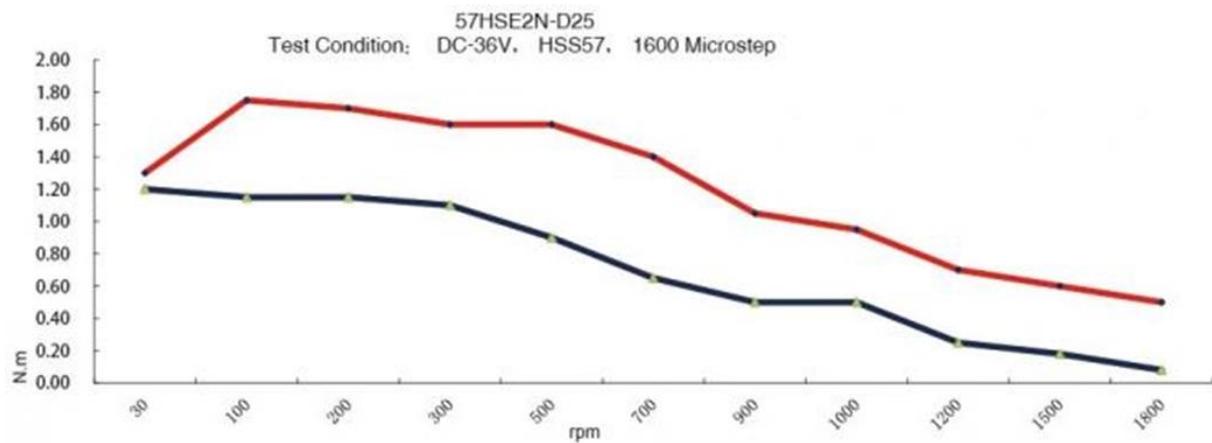
$$T = (1055.11 \text{ N}) * (0.47 \text{ m})$$

$$T = 495 \text{ Nm}$$

El torque calculado es el que se debe sobrepasar para que exista movimiento por lo que la salida de la transmisión debe ser mucho mayor que 495Nm. Inicialmente el motor provee un torque de 1.6Nm a una velocidad angular de 500rpm, según la gráfica par motor del nema2

Figura 39

Curva de torque Vs Frecuencia, del motor paso a paso, Nema 23



Nota. Tomado de (Changzhou Junqi International Trade CO., s.f.)

Torque Nm

Etapa 1

$$T_1 Z_2 = T_2 Z_1$$

$$(1.6)(26) = T_2(6)$$

$$T_2 = 6.933 \text{ Nm}$$

Etapa 2

$$T_2 Z_3 = T_3 Z_2$$

$$(6.933)(26) = T_3(6)$$

$$T_3 = 30.044 \text{ Nm}$$

Etapa 3

$$T_3 Z_4 = T_4 Z_3$$

$$(6.933)(26) = T_4(6)$$

$$T_4 = 130.192 \text{ Nm}$$

Etapa 4

$$T_4 Z_5 = T_5 Z_4$$

$$(130.192)(26) = T_5(6)$$

$$T_5 = 564.167 \text{ Nm}$$

Velocidad Angular**Etapa 1**

$$W_1 Z_1 = W_2 Z_2$$

$$(500)(6) = W_2(26)$$

$$W_2 = 115.384 \text{ rpm}$$

Etapa 2

$$W_2 Z_2 = W_3 Z_3$$

$$(115.384)(6) = W_3(26)$$

$$W_3 = 26.627 \text{ rpm}$$

Etapa 3

$$W_3 Z_3 = W_4 Z_4$$

$$(26.627)(6) = W_4(26)$$

$$W_4 = 9.217 \text{ rpm}$$

Etapa 4

$$W_4 Z_4 = W_5 Z_5$$

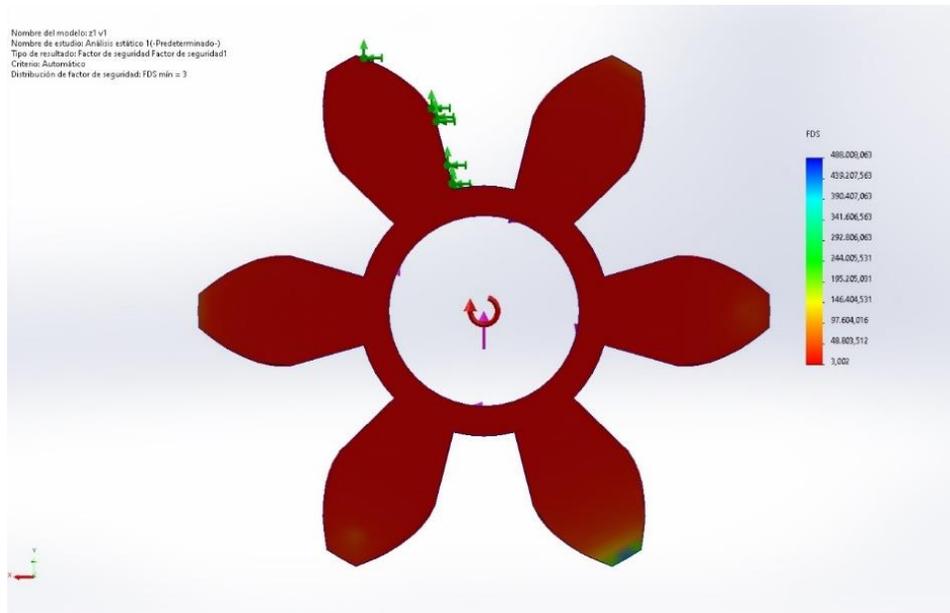
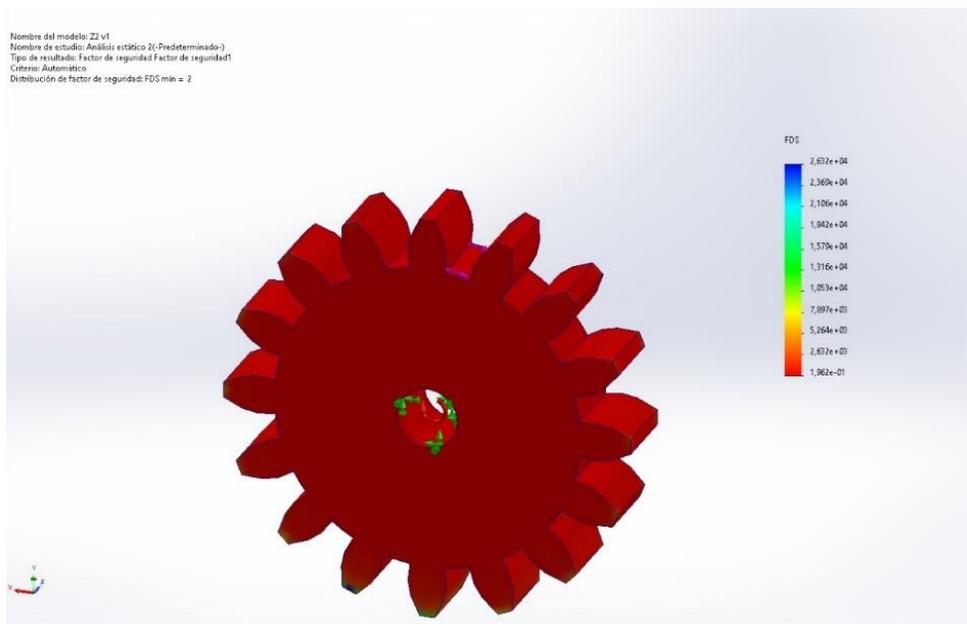
$$(9.217)(6) = W_5(26)$$

$$W_5 = 2.127 \text{ rpm}$$

$$W_{salida} = 2.127 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{360^\circ}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 12.76^\circ/\text{s}$$

Cálculo de Engrane

Para la fabricación de los engranes, se usará el siguiente material AISI1045 ACERO ESTIRADO EN FRIO, debido a que este tipo de material se puede moldear y manejar fácilmente, permitiendo que las industrias puedan trabajarlo y emplearlo en la fabricación de múltiples piezas para la elaboración de máquinas o procesos. Además, posee una maquinabilidad muy buena, obteniendo un buen acabado superficial y una larga vida.

Figura 40*Engrane recto de 6 dientes***Figura 41***Engrane recto de 16 dientes*

En la figura 41 se puede observar el factor de seguridad del engranaje situando en el eje del motor Nema 24, es el inicio de la transición que permitirá el movimiento similar a un péndulo con una apertura de 37.8° , este ángulo es la apertura generada por las dimensiones de la banda de desgaste.

Para el engrane de 6 diente se obtiene un factor de seguridad de 3, y para el engrane de 16 dientes tenemos un factor de seguridad de 2, los cuales al ser analizado según Robert L. Mott, menciona que al tratarse de materiales dúctiles el factor de seguridad para elementos de maquina bajo cargas dinámicas debe estar dentro del rango de 2.5 a 4, por lo que concluimos que el diseño de los dos engranes es correcto. (Mott, 2006)

LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO, 400 bloques 6ED1052-1MD08-0BA1

Figura 42

LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO



Nota. Tomado de (Siemens, 2014)

Se ha seleccionado esta como la unidad de control, ya que nos permite controlar mediante señales de 12VCC visualizar en su display y tiene 4 salidas de relé, además de otras características que se detallan a continuación:

Tabla 16

Características del PLC LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO

Datos de entrada	
Tensión de entrada	12 VCC
Margen admisible	10.8V – 28.8V
Intensidad de entrada	0,3 ... 0,18 A
Datos de salida	
Tensión de salida	12 VCC
Intensidad de salida	10 A
Salida de relé (ind-res)	3A – 10A
Compatibilidad electromagnética	
Clase limite	B, residencial EN 55011-1
Indicadores generales	
Temperatura ambiente	-20... +55 °C
Temperatura de almacenaje y trasporta	-40... +70 °C
Conexiones en la entrada	8, de ellas 4 analógicas

Conexiones en la salida	4 relé
Montaje	Encajable en el perfil soporte de 35 mm
Dimensiones en mm	71,5x 90 x 60

Nota. Tomado de (Siemens, 2014)

Selección de materiales

Al analizar las tuberías de acero negro y as tuberías de acero galvanizado podemos concluir que el mantenimiento de una tubería de acero negro es mucho más económica y rápida que una tubería de acero galvanizado, es por ello que al analizar las ventajas y desventajas de estos dos tipos de aceros podemos concluir que el mejor acero para la elaboración de nuestra maquina es el acero negro, en donde también consideramos que la maquina va a estar en un ambiente cerrado cubierto, además de que se lo va a pintar para evitar la corrosión

De acuerdo a las características analizadas de las materias y al análisis hecho anteriormente se ha procedido a seleccionar la tubería en el catálogo de Dipac, se han escogido uno de $1\frac{3}{4}$ " de diametro, con un espesor de 2mm, cómo se puede apreciar en la siguiente imagen.

Figura 43

Características del tubo estructural redondo

(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	I
Pulgadas	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.66	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.09	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

Nota. Tomado de (Dipac, 2022)

Partiendo de las dimensiones de los tubos los cuales fueron seleccionados en los catálogos pertinentes, se procedió a realizar los cálculos pertinentes para el correcto dimensionamiento de la estructura de la máquina.

Cálculos de estructura mecánica.

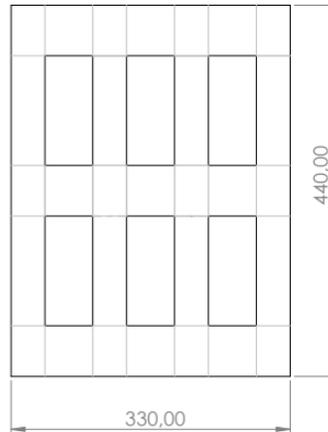
Datos de diseño

Tubo Redondo "Acero Galvanizado"

1 tubo : $1 \frac{3}{4}$ " de diametro, con un espesor de 2mm (4.4 cm)

Figura 44

Dimensiones de la estructura de la maquina



Realizamos una transformación de unidades

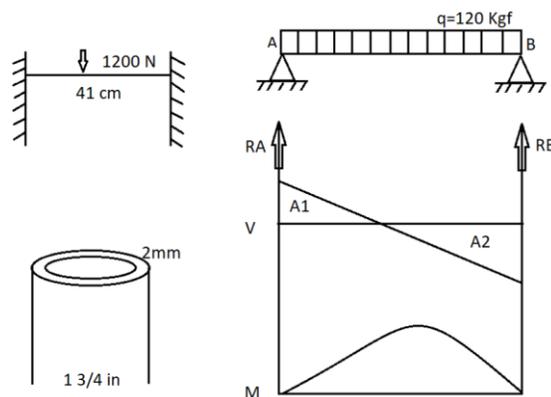
$$X = \frac{1.35 \text{ Kg} * 0.41 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$X = 0.55 \text{ Kg}$$

Viga empotrada en ambos extremos con carga uniformemente repartida

Figura 45

Diagrama de la viga



$$1 \text{ Kgf} = 9.8 \text{ N}$$

$$R_A(0) + 120(0.205) - R_B(0.41) = 0$$

$$24.6 = R_B(0.41)$$

$$R_B = 60 \text{ Kg}$$

Determinamos el Area1

$$A_1 = \frac{\text{base} * \text{altura}}{2}$$

$$A_1 = \frac{0.5 * 60}{2}$$

$$A_1 = 15 \text{ Kg} * \text{m}$$

Por lo tanto

$$M_{max} = 15 \text{ Kg} * \text{m}$$

Según 1008 SAE:

$$V_{max} = 285 \text{ MPa}$$

$$V_t = 340 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

Procedemos a determinar el área 1 y 2

$$A_1 = \pi * (r)^2$$

$$A_1 = \pi * (1.9)^2$$

$$A_1 = 11.34 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \pi * (r)^2$$

$$A_2 = \pi * (1.8)^2$$

$$A_2 = 10.17 \text{ cm}^2$$

Entonces el área total tenemos que es:

$$A_T = A_1 - A_2$$

$$A_T = 11.34 \text{ cm}^2 - 10.17 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 1.16 \text{ cm}^2$$

Determinamos el momento de Inercia.

$$I = \frac{1}{2}(m)(1.905^2 + 1.805^2)$$

$$I = \frac{1}{2}(0.55 \text{ Kg})(1.905^2 + 1.805^2)$$

$$I = 1.8939 \text{ Kg} * \text{cm}^2$$

De donde sabemos que $1\text{m}^2=10000 \text{ cm}^2$

$$I = 0.00018939 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

Determinamos el esfuerzo de flexión

$$V_c = \frac{Mc}{I}$$

$$V_c = \frac{15(0.11)}{0.000018939}$$

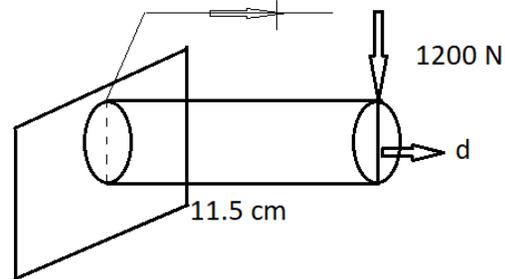
$$V_c = 8712.13 \text{ Pa}$$

$$V_c = 8.7 \text{ KPa}$$

Cálculo de uniones soldadas, análisis de soldadura en flexión.

Figura 46

Análisis de las uniones soldadas



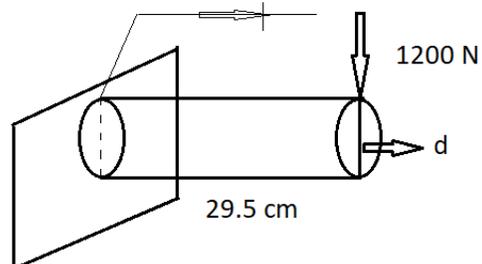
$$I_v = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right)$$

$$I_v = \pi \left(\frac{4.4^2}{4} \right)$$

$$I_v = 15.205 \text{ cm}^2$$

Figura 47

Análisis con diferente longitud de las uniones soldadas



$$I_v = \pi \left(\frac{d^3}{4} \right)$$

$$I_v = \pi \left(\frac{4.4^3}{4} \right)$$

$$I_v = 66.90 \text{ cm}^3$$

Resistencia a las uniones soldadas

Electrodo propuesto.

EG011

$$v_\mu = 427 \text{ MPa}$$

Elongación (17 - 23)%

$$v_y = 345 \text{ MPa}$$

$$Z_x = \frac{v_x}{A_{rol}} + \frac{M_z * y}{I_{rol}}$$

$$Z_x = \frac{1200 \text{ N}}{4\pi hr} + \frac{15 \text{ Kg m} (0.115\text{m})}{4.34 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$Z_x = 9.57 \text{ MPa}$$

$$F_s = \frac{427 \text{ MPa}}{9.57 \text{ MPa}} = 44.61$$

Para la estructura

Se utilizará un tubo cuadrado (Navacero) Acero al carbono.

Análisis estático.

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A + R_D = 1500 N + 1500N$$

$$R_A = -R_D + 3000 N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$1500 N(0.23 m) + 1500N(0.38m) - R_D(0.62) = 0$$

De donde obtenemos que:

$$R_A = 1500 N$$

$$R_D = 1500 N$$

Muestras que para el momento tenemos:

$$M_B = -150(0.33)$$

$$M_B = -346.5 N.m$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I = 1.75 \times 10^{-7}m^4 - 1.49 \times 10^{-7}m^4$$

$$I = 0.26 \times 10^{-7}m^4$$

$$A = 1.4 \times 10^{-4} - 1.2 \times 10^{-4}$$

$$A = 0.2 \times 10^{-4} m^2$$

$$G = \frac{1500 \text{ N}}{0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2} ; 75 \text{ M Pa}$$

Sabiendo que el acero al carbono tiene $G = 250$

$$v_{perno} = \frac{G}{F_s}$$

$$F_s = \frac{250 \text{ MPa}}{75 \text{ MPa}}$$

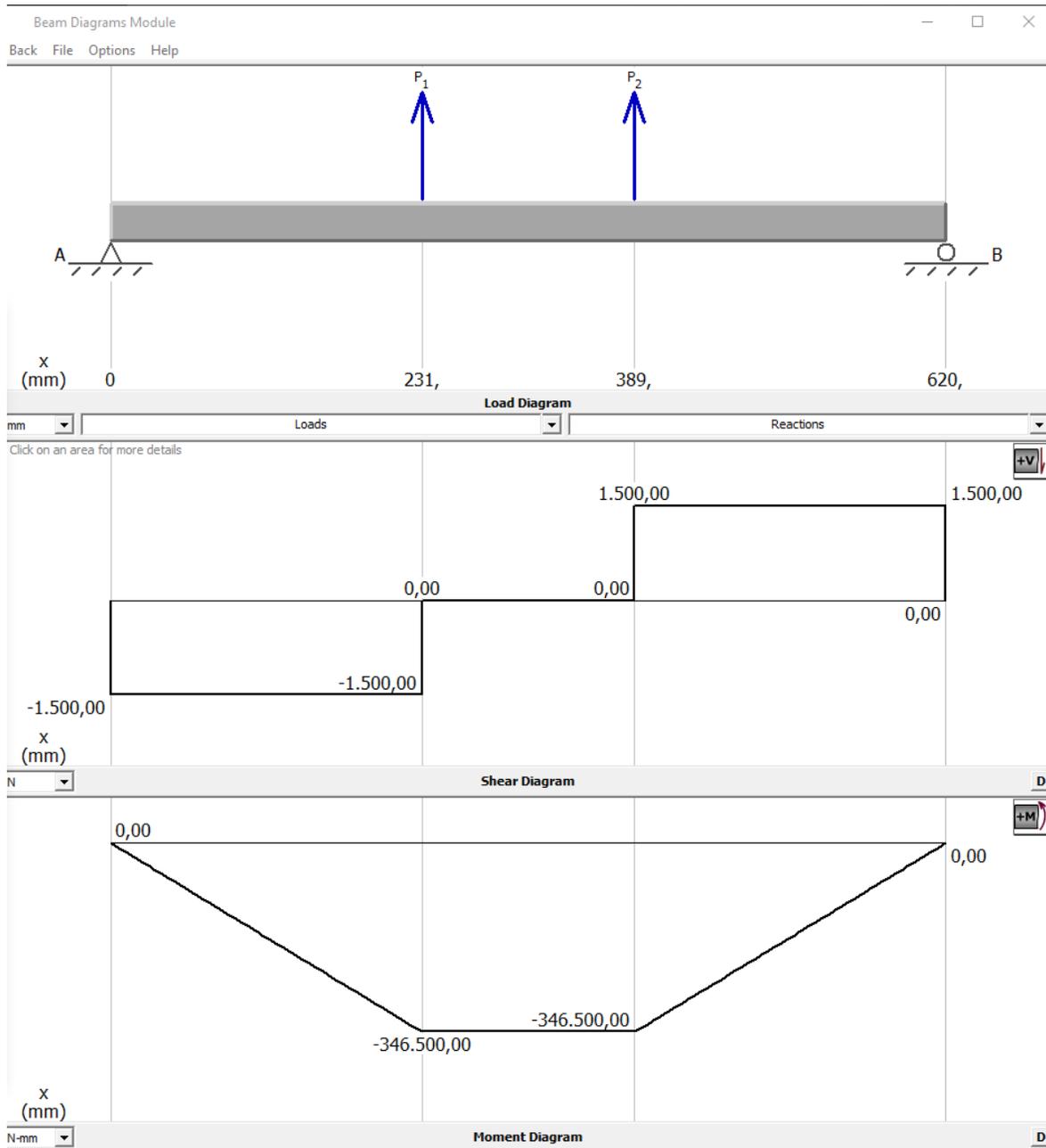
$$F_s = 3$$

Según Robert L. Mott, analiza el factor de seguridad mediante el tipo de material que se esté trabajando, para nuestro análisis nos centraremos en los materiales dúctiles, donde menciona que el factor de seguridad para estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre y análisis de esfuerzos, es de 2.5 a 4.0, por lo que podemos concluir que el valor obtenido anteriormente de 3 es correcto y se ajusta a las características de diseño. (Mott, 2006)

Análisis de la estructura

Figura 48

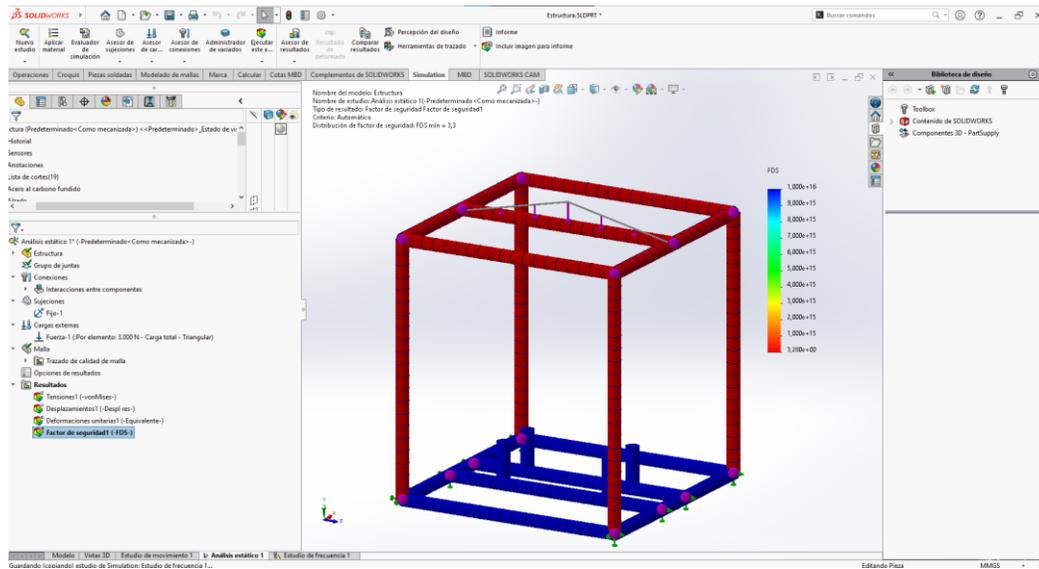
Análisis de la estructura en MD Solid



Nota. En la figura 49 se puede observar los diagramas de carga cortante y momento flector, realizado en el software de simulación MD Solid

Figura 49

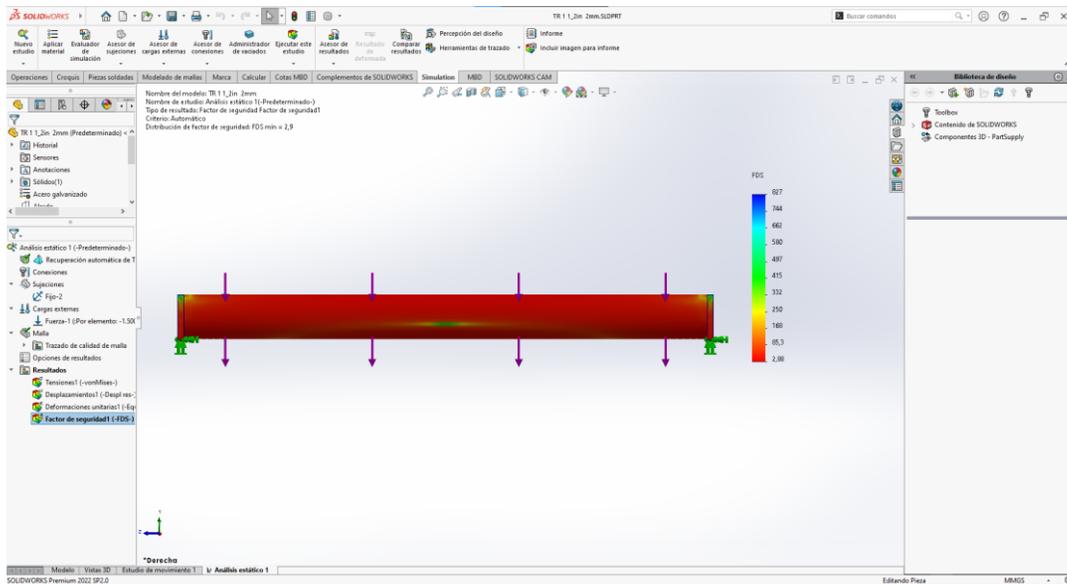
Análisis de la estructura



Análisis de rodillo de banda

Figura 50

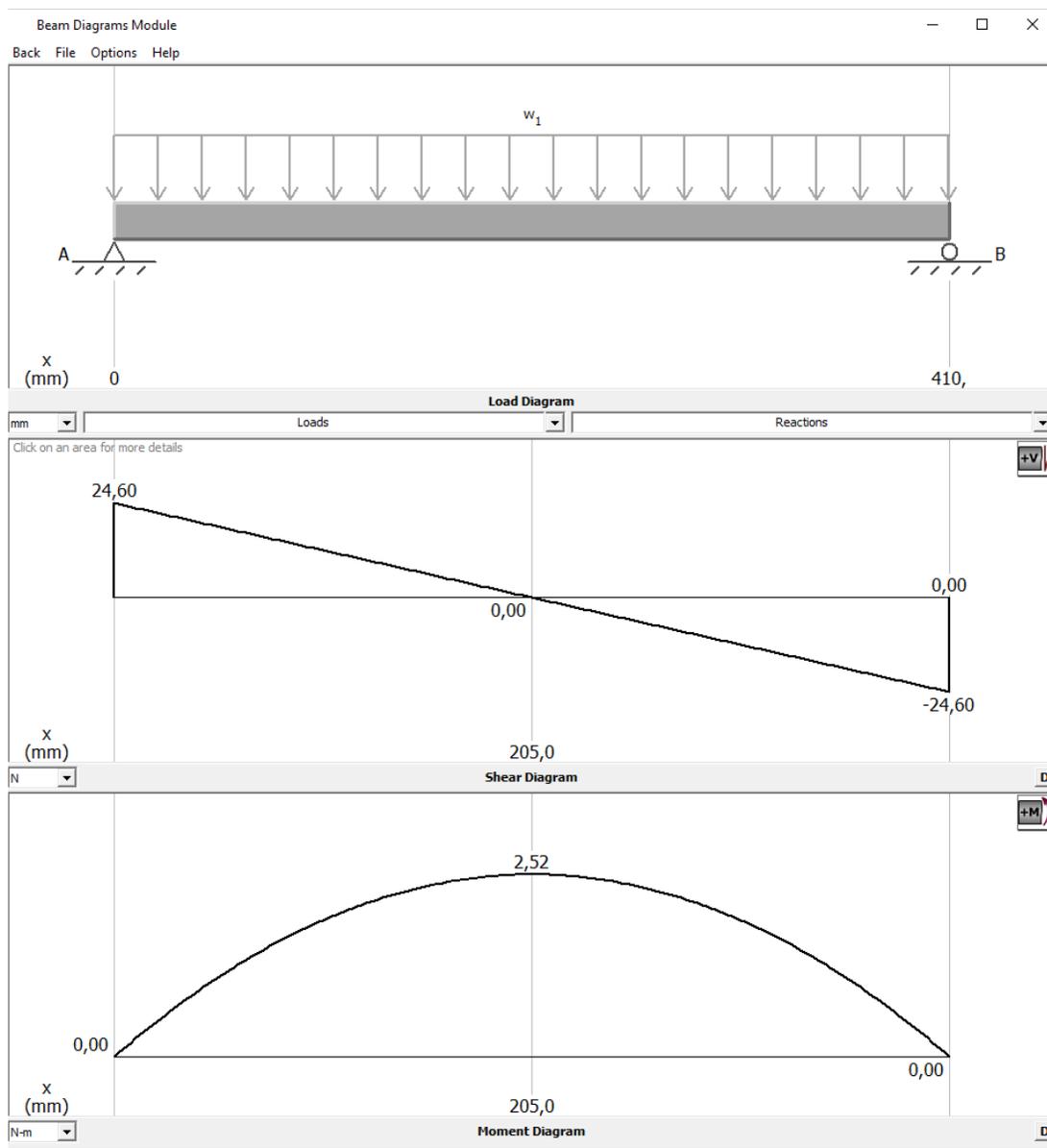
Análisis del rodillo de la banda



El factor de seguridad obtenido del análisis del rodillo de banda es de 2.9, siendo un valor adecuado al analizarlo según Robert L. Mott, el cual nos dice que el factor de seguridad para elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas debe estar dentro del rango de 2.5 a 4.0 respectivamente (Mott, 2006)

Figura 51

Análisis en MD Solid del rodillo de banda



Sistema de potencia

Interruptor diferencial

Como protección del sistema de potencia, la energización será mediante la red eléctrica contando con un interruptor diferencial al ingreso de la maquina además de los componentes del mecanismo.

Interruptor diferencial Acti9 iID 2P 25A tipo AC 30Ma

Figura 52

Interruptor diferencial



Nota. Tomado de (Schneider, s.f.)

Interruptor diferencial clase AC para proteger los dispositivos con una capacidad de 25 A y una sensibilidad de 30 mA.

Construcción de los sistemas

Dentro de la construcción de los sistemas, detallamos la realización del sistema de control, el sistema mecánico con sus elementos usados y además se detalla la programación realizada según las necesidades del cliente.

Sistema de control

El sistema de control viene dado de la siguiente manera:

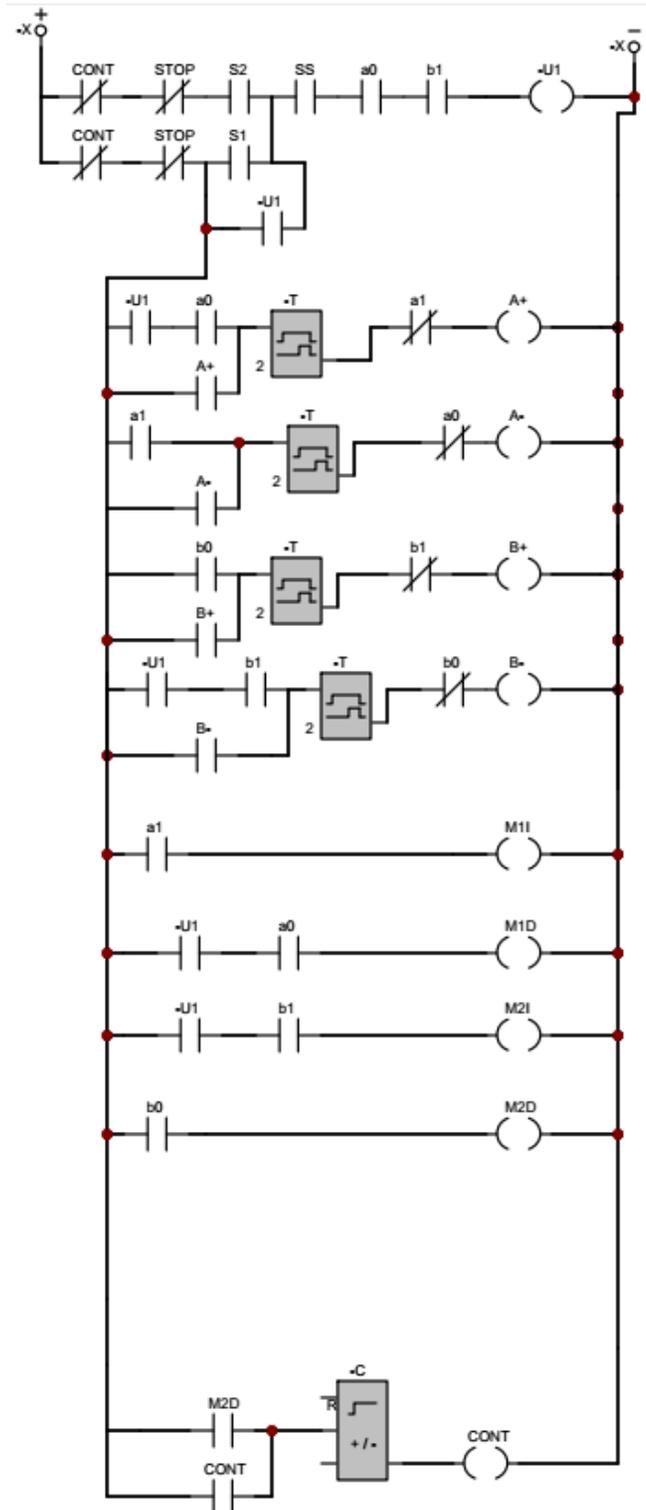
1. Es necesario colocar la horma para el análisis de la talla que se requiera.
2. Mediante la carrera del actuador lineal le situamos de maneta que alcance la banda de desgaste
3. Situamos un pie delante de la banda de desgaste y otro detrás de la misma
4. El motor se mueve hacia atrás mientras el otro es elevado por el actuador y desplazado hacia adelante.

Programación

Para realizar el siguiente esquema de programación, se optó por el lenguaje ladder, debido a que usa símbolos básicos los mismos que se encuentran normalizados según la norma NEMA y además este tipo de lenguaje es empleado por la mayoría de fabricantes a nivel industrial.

Figura 53

Diagrama Ladder



Para la realización del esquema se utilizó para la entrada contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados, y para la salida se usaron bobinas o relé, lo que nos permitió realizar un esquema didáctico de fácil entendimiento para el usuario, además de uso un contador el cual es el encargado de contar el número de ciclos para luego enviar una señal llamada CONT, la cual es la encargada de detener el movimiento de los motores y de los actuadores, cuando se cumpla el número de ciclos determinados. Además, posee un botón (SS) que nos permitirá identificar que en las hormas se encuentren colocadas las botas militares, únicamente al cumplirse esta condición se puede iniciar el ciclo, en caso de que la maquina no posee ningún tipo de zapato el proceso no se podrá iniciar. Finalmente se programó un paro de emergencia, el cual nos permitirá detener la máquina en su totalidad en caso de que se presente alguna emergencia.

Entradas y salidas utilizadas

Figura 54

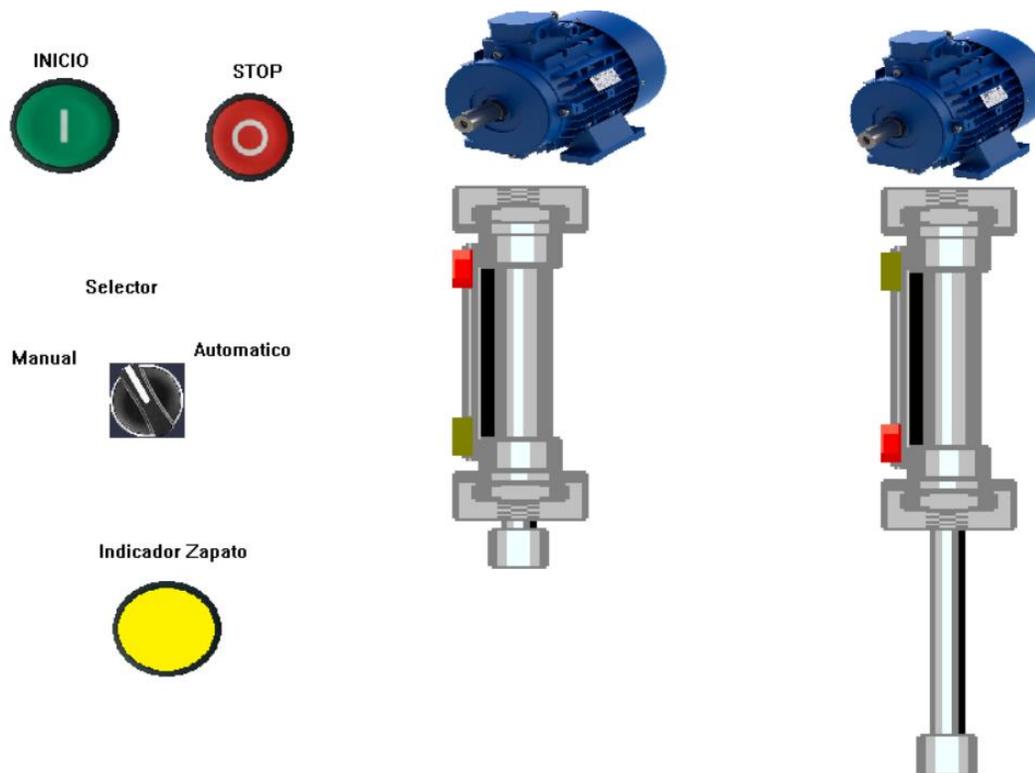
Entradas y salidas usadas para la comunicación

E N T R A D A S		S A L I D A S	
S1	I0.0	A+	Q0.0
S2	I0.1	A-	Q0.1
SS	I0.2	B+	Q0.2
STOP	I0.3	B-	Q0.3
a0	I0.4	M1D	Q0.4
a1	I0.5	M1I	Q0.5
b0	I0.6	M2D	Q0.6
b1	I0.7	M2I	Q0.7

Para poder visualizar de mejor manera el proceso, se utilizó otro software de simulación, logrando la visualización del movimiento de los actuadores y de los motores según el ciclo previamente ya determinado.

Figura 55

Simulación grafica



Sistema mecánico

Banda

El sistema de la banda de desgaste es generado mediante rodillos locos que se mantiene mediante rodamientos que eje interior está fijado a las barras laterales conformadas por tubo cuadrado, estos rodamientos se encuentran en el interior de la tubería de 1 ¾".

Esta banda también cumple con un parámetro de construcción el cual es generar la fuerza del peso de la persona, generando las fuerzas verticales mediante muelles ubicados en 4 pilares distribuidos a 20 mm del contorno del exterior.

Los pilares ubicados en las barreras laterales permiten el acople de la banda con la estructura mediante la concentricidad entre los ejes del pilar y el tubo guía soldado a la base, esto bloquea el desplazamiento horizontal de la banda permitiendo movimiento solo de manera horizontal, para evitar que por la expansión de los muelles el eje de los pilares se desalinee o salgan completamente del encaje, es necesario exceder 1 cm y roscar para asegurar mediante un perno evitando lo antes mencionado.

Paso

El mecanismo de simulación del pie se conforma mediante tres sistemas detallados a continuación:

Mecanismo de movimiento rotacional

Cuando una persona da un paso genera un movimiento rotacional alrededor del menisco de la rodilla, teniendo esto en consideración se replica el mecanismo situando el eje rotacional en el eje del motor paso a paso en el mismo también se situará el mecanismo de desplazamiento.

Mecanismo de movimiento desplazamiento

Al caminar la rodilla realiza un movimiento de acenso y descenso, en la maquina al fijar el motor a la estructura y con esto el eje. Se emula el movimiento de la rodilla mediante un actuador lineal.

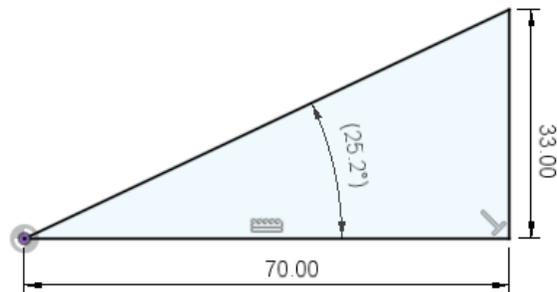
Mecanismo de flexión

El pie toma distintas posturas en actividad, en consecuencia, se genera un ángulo de deformación que se consideró como 25° . Con una separación de abertura en el empeine y un pasador, permite que cuando el pie está en contacto se genere un movimiento de flexión y este está limitado por las caras de la abertura.

El criterio que se toma para la determinación del ángulo es la repetitividad de valores experimentales, además del ángulo trigonométrico que genera el aplicar la norma ASTM F2412-05.

Figura 51

Conformación de Angulo de flexión bajo norma.

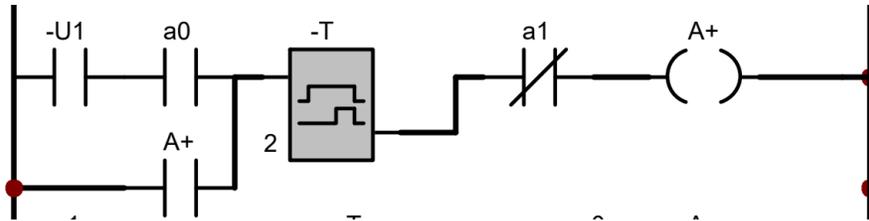


Funcionamiento del sistema

Para simular el movimiento que nos permita caminar se realizó el siguiente clico A+B- /Tem(2s)/A-B+/Tem(2s), esta secuencia nos permite que el moviendo de los actuares los motores se asemeje lo mayor posible al moviendo que realiza un militar al momento de caminar, el tiempo programado de 2s nos ayuda a que el actuador no sufra choque al momento de realizar el ciclo de camino, ya que se espera que el pistón se retraiga o se expanda en su totalidad antes que los motores encargados de hacer girar los actuador, simulando el moviendo de las piernas, se activen.

Figura 56

Temporizador de 2s, realizado en Ladder

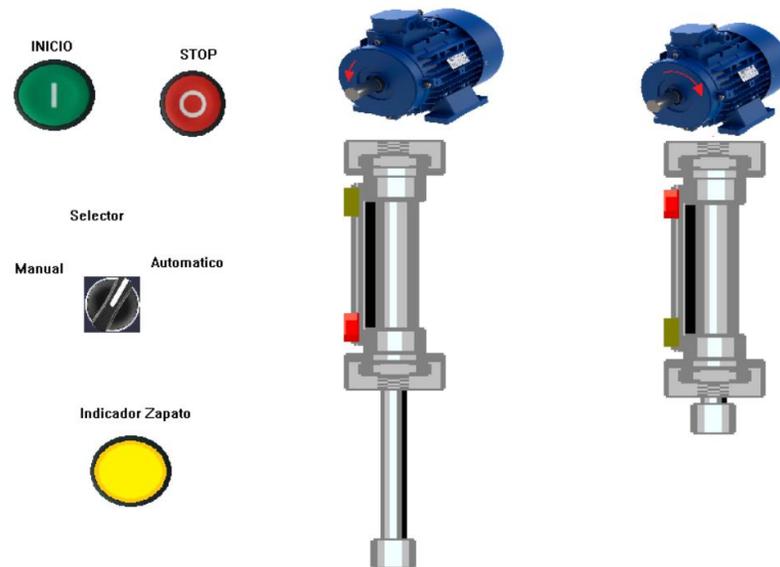


Nota. Este temporizador nos permite que el movimiento de caminar de una persona se realice sin sufrir desperfectos en la estructura.

La secuencia comienza cuando el pistón A se encuentra retraído enviando una señal de a0, y el pistón B se encuentra expandido, y se obtiene la señal de b1, estas dos condiciones junto con (SS), que es el sensor que nos permite identificar que en las hormas ya se haya colocado las botas para la realización de las pruebas, en caso de que no exista nada en las hormas, el ciclo de pruebas no podrá iniciar, otro factor clave al tomar en cuenta para iniciar el sistema es el botón de inicio que a su vez envía una señal y verifica si las condiciones anteriores se han cumplido, de ser este el caso se procede a iniciar con el ciclo de análisis de la prueba del calzado, es decir el actuador B se mueve hacia atrás, y el actuador A se mueva hacia adelante simulando el movimiento del pie de una persona, cuando ya ha recorrido por toda la banda, el pistón B comienza a retraer y el actuador A se expande, para la realización de este proceso se ha determinado un tiempo de 2s, para que luego el A se mueva hacia atrás y B hacia adelante, y entonces B proceda a expandirse y A realice el trabajo de contraerse, en un tiempo similar al anterior de 2s, este es el ciclo que va a cumplir tantas veces como se programa al contador que lleva incorporado, este contador es el encargado de parar la maquina cuando el conteo llegue al valor predeterminado por la norma para su análisis y comprobación de los resultados.

Figura 57

Simulación del movimiento de los actuadores, y motores



Nota. En la imagen se puede apreciar la simulación del movimiento de caminar de una persona, en donde podemos apreciar que el actuador A se encuentra expandido, y el motor lo está haciendo girar adelante, mientras que al otro lado podemos observar que el actuador B se encuentra retraído y el motor está girando hacia atrás.

Adicionalmente este circuito posee un paro de emergencia el cual es de suma importancia el momento de detener la maquina si existiera alguna emergencia o algún daño, al ser accionado este botón corta la energía directamente al sistema logrando que la máquina se detenga.

Capítulo IV

Construcción e implementación

En el presente capítulo se detalla el proceso de construcción e implementación, luego de haber obtenido un diseño óptimo y haber seleccionado, diferentes equipos y materiales que me permiten realizar la construcción e implementación, acorde a las necesidades del cliente.

Construcción.

Precedemos a la construcción de la caja reductora, la cual está conformada por engranes de 6 diente y 16 dientes, respectivamente, esto nos permite disminuir la velocidad de los motores y poder obtener un mayor torque.

Figura 58

Caja reductora



Para la construcción del prototipo de la máquina también se utilizó, piezas realizadas mediante impresión 3D, esto con la finalidad de poder obtener componentes que se ajusten de mejor manera a los requerimientos de nuestro diseño, además que este tipo de piezas no se las puede encontrar en el mercado.

Figura 59

Piezas realizadas mediante impresión 3D



Para la construcción de la estructura se usó perfil cuadrado, el cual presenta las características pertinentes para poder soportar el esfuerzo realizado por la maquina sin presentarse ningún tipo de deformaciones

Figura 60

Construcción de la estructura



En la construcción de los rodillos que me permitirán dar el movimiento a la superficie de desgaste se utilizó rodamientos, los cuales fueron colocados en cada uno de los extremos del tubo, para poder obtener una mejor movilidad, y su funcionamiento se ajuste a los requerimientos del cliente.

Figura 61

Colocación de los rodamientos



Montaje

Luego de ya tener listo los rodamientos y la superficie de desgaste procedemos a ensamblarlas, para verificar su funcionalidad y realizar los ajustes necesarios, las dimensiones de la superficie de desgaste deben ser precisas para evitar que cuando la maquina este en movimiento esta se pueda desprender y ocasionar averías.

Figura 62

Montaje de la superficie de desgaste



A continuación, procedemos con el montaje de las piezas que nos permiten que los resortes trabajen de manera adecuada y no tengan movimientos innecesarios, esto nos permitirá poder simular el peso de la persona junto con el movimiento de los actuadores y de la horma del pie.

Figura 63

Montaje de piezas realizadas mediante impresión 3D



Procedemos ya a unir las partes anteriormente montadas, para poder realizar el ensamble con el uso de los resortes y de la superficie de desgaste, cuando el pie presione hacia abajo la superficie de desgaste también se desplaza una mínima cantidad por medio de los resortes, lo que nos permite que se genere una fuerza que nos ayuda a simular el peso de una persona de estatura normal.

Figura 64

Montaje de los resortes y la superficie de desgaste



Colocamos los actuadores eléctricos y las hormas, junto con los motores seleccionados y los demás elementos, teniendo en cuenta que cada elemento este en perfectas condiciones, y sea ajustados correctamente para evitar problemas.

Figura 65

Colocación de los actuadores

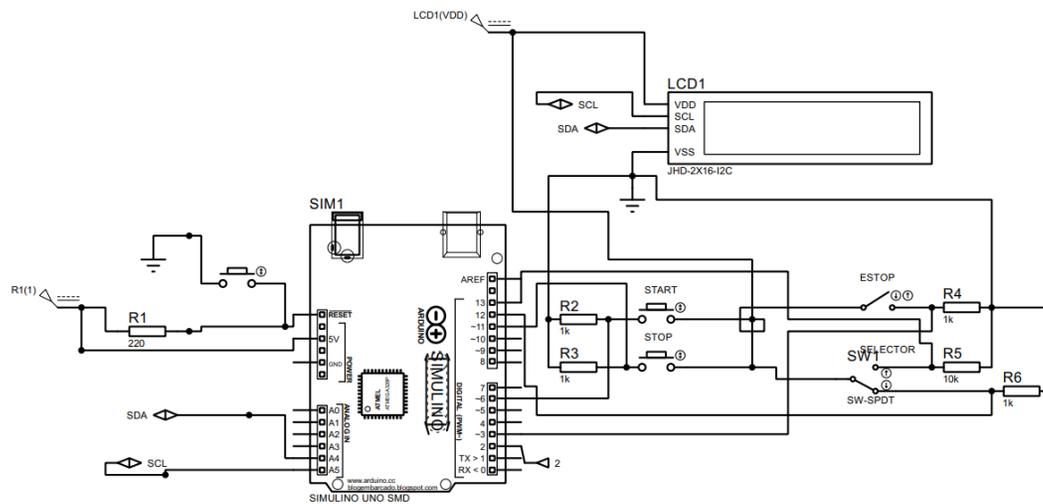


Conexiones eléctricas

Figura 66

Panel de control



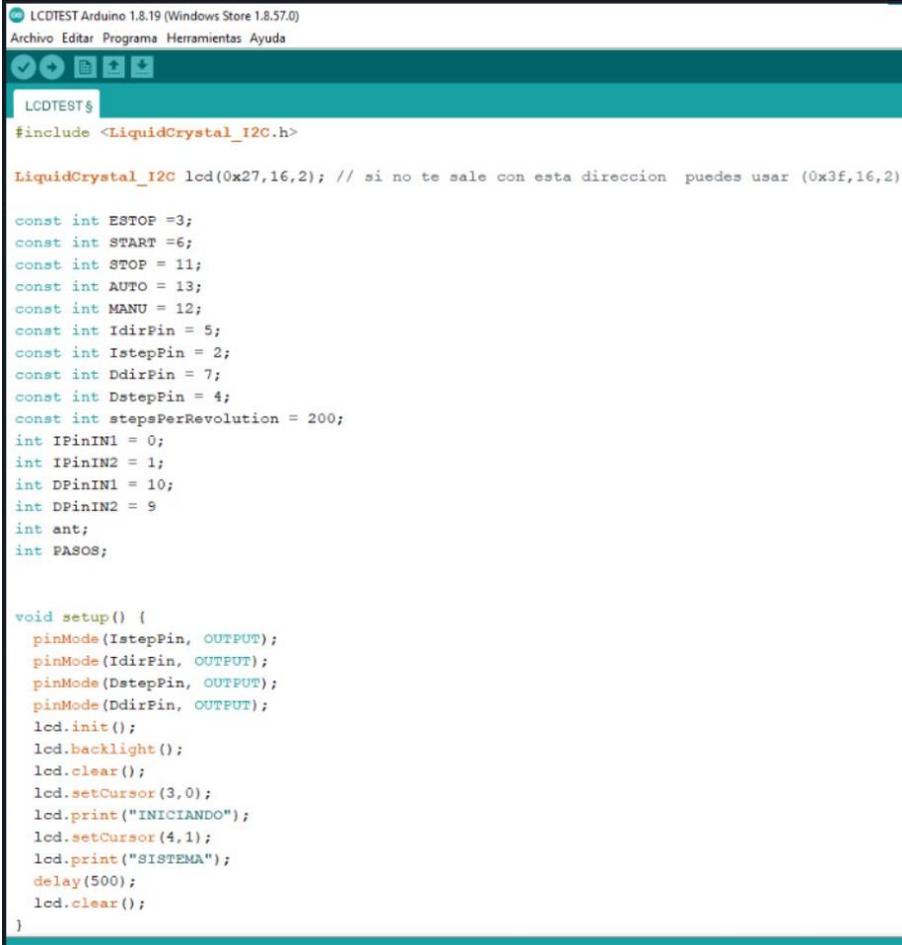
Figura 67*Conexiones eléctricas***Sistema de control****Figura 68***Sistema de control*

Nota. En la figura 68 se puede observar el diagrama de las conexiones eléctricas realizadas, usando un Arduino Uno y demás elementos requeridos.

Para realizar la programación de la secuencia se usó un Arduino uno, el cual fue programado con la ayuda de un software y siguiendo los parámetros de diseño para que de esta manera se pueda simular el movimiento de caminar de una persona, y se pueda determinar el desgaste por fricción y flexión.

Figura 69

Programa realizada, para ser cargada en el Arduino



```
LCDTEST Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda

LCDTEST$
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // si no te sale con esta direccion puedes usar (0x3F,16,2)

const int ESTOP =3;
const int START =6;
const int STOP = 11;
const int AUTO = 13;
const int MANU = 12;
const int IdirPin = 5;
const int IstepPin = 2;
const int DdirPin = 7;
const int DstepPin = 4;
const int stepsPerRevolution = 200;
int IPinIN1 = 0;
int IPinIN2 = 1;
int DPinIN1 = 10;
int DPinIN2 = 9
int ant;
int PASOS;

void setup() {
  pinMode(IstepPin, OUTPUT);
  pinMode(IdirPin, OUTPUT);
  pinMode(DstepPin, OUTPUT);
  pinMode(DdirPin, OUTPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print("INICIANDO");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print("SISTEMA");
  delay(500);
  lcd.clear();
}
```

Funcionamiento

El panel de control está conformado por un display LCD de 16x2 el cual nos mostrara el estado del selector de operación, estado y el número de pasoso en los dos modos de ejecución los cuales son Automático y Manual.

Primero Inicializa el sistema y muestra el estado de nivelación de los actuadores ubicados entre el calzado y el mecanismo rotacional anclado en la estructura.

Figura 70

Inicialización del sistema



Podemos observar el indicador SUBE en la pantalla lo que se interpreta como retracción de los actuadores, posteriormente después de 2 segundos. El estado cambia a BAJA lo que se interpreta como la expulsión del embolo.

Mediante el selector de 3 estados se puede escoger el modo de operación siendo: 1 estado modo automático, 2 estado Nivelación y 3 estado es el modo MANUAL

Figura 71

Modo de operación manual

**Figura 72**

Modo de operación automático



En el modo automatico los pasos son continuos, se puede visualizar el estado en la esquina inferior izquierda, el indicador EJEC, se interpreta como ejecutando. Mediante el pulsador Inicio ubicado en el panel en la esquina inferior izquierda, como un botón de color se iniciará el modo automático continuo. El botón de color rojo al costado derecho del panel es el

STOP el cual nos permite detener en ejecución, pausar el proceso y conteo de pasos, como también al pulsarlo dos veces nos reseteará el estado y cuenta de los pasos.

Figura 73

Presionamos el botón Stop



Figura 74

Contador del número de pasos



El incremento de pasos en el modo automático es de una unidad y la única limitación del número final es que sea mostrado en la LCD.

Capítulo V

Pruebas y resultados

En el presente capítulo se detallan el proceso de recolección de datos, para lo cual se es establecerán varias pruebas de funcionamiento que nos permitan verificar el correcto funcionamiento del equipo, y además el cumplimiento de las necesidades del cliente.

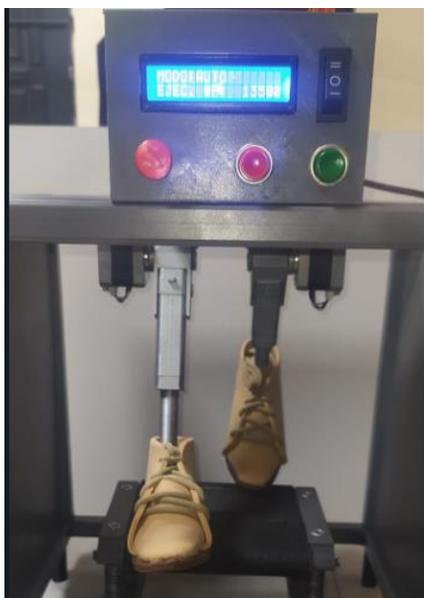
Pruebas

Se procedió a realizar el proceso de pruebas en base a normas ya establecidas, las cuales nos permiten analizar el estado del calzado luego de un número determinado de ciclos y de parámetros complementarios

Para la primera prueba se usó la norma ISO 20344 la cual nos menciona que admite una abertura de 6mm luego de haberse cumplido 35000 ciclos. Basándonos en lo anteriormente mencionado se procedió a realizar el proceso según los ciclos recomendados por la norma

Figura 75

Funcionamiento de la maquina según la norma ISO 20344



Luego de haber concluido el número ciclos de pudo determinar que el calzado se no se ha agrietado, evidenciando además que las condiciones en las que se encuentran no es la más optima, pero no presenta un desgaste significativo por el cual se tenga que dejar de usar el calzado.

Figura 76

Desgaste de la suela según la norma ISO 20344



Para la prueba se usó la norma ASTM F2412-05, referente a ensayos por flexión, la cual establece que la suela se debe flexionar a una distancia de 33 ± 1 milímetros desde su posición horizontal, y con ello se debe repetir 150000 ciclos, luego de lo cual se debe proceder a analizar daños ocasionados al calzado. Basándonos en lo anteriormente mencionado se procedió a realizar el número de ciclos tomando en cuenta la distancia, con lo que se pudo determinar que el desgaste es mucho mayor que en la anterior, puesto a que se debe analizar una cantidad de ciclos mucho mayor para que se cumpla la norma.

Figura 77

Funcionamiento de la maquina según la norma ASTM F2412-05



Luego de concluida la norma según el número de ciclos mencionado anteriormente se procede a realizar un análisis visual para determinar el estado del calzado, como se muestra continuación, de donde podemos concluir que el calzado fue desgastado mucho más que con la anterior prueba realizada, pero de igual manera el calzado no se ha destruido, logrando comprobar la durabilidad del calzado como se puede observar en la imagen 78.

Figura 78

Desgaste según la norma ASTM F2412-05



Validación de la hipótesis

En la parte inicial del desarrollo del presente proyecto se fundamentó la hipótesis de la siguiente manera. ¿El diseño e implementación de un sistema mecatrónico para ejecutar pruebas de control de calidad en calzado de uso militar permitirá determinar el desgaste por fricción y flexión continua del mismo?

Para poder validar la hipótesis se puede determinar dos parámetros fundamentales.

- Desgaste por flexión
- Desgaste por fricción

Analizando el desgaste por flexión, y tomando en cuenta los factores y resultados proporcionados mediante normas establecidas. La norma ISO 20344 y la norma ASTM F2412-05, las cuales nos estableces una cantidad de ciclos a efectuarse, luego de lo cual se debe analizar las el estado del calzado, como se puede evidenciar en la imagen 76 y 78 de pruebas realizadas. De donde podemos observar que la norma ASTM F2412-05 Requiere que se cumpla 150000 pasos un número mucho mayor a la norma ISO 20344, la cual se debe analizar con 35000 pasos, es por ello que se evidencia una variación de desgaste significativa al comparar los resultados después del análisis de las dos normas establecidas

Mientras que, para el análisis de fricción, se realizó una banda con rodillos y rodamientos, la cual nos permite cambiar la superficie de desgaste según el nivel de desgaste que se desee obtener, para la presente comprobación se usó lija número 60 de tela, debido a que otros tipos de lijas se ocasionan fisuras y se puede romper la banda y ocasionar daños.

Figura 79

Superficie de desgaste

**Validación de la maquina**

Al analizar el funcionamiento de la maquina se puede evidenciar el correcto funcionamiento de cada uno de los motores y actuadores usados, permitiendo que se genere el movimiento lo más similar al proceso de caminar de una persona, adicionalmente la máquina posee una superficie de desgaste la cual es intercambiable, según el nivel de desgaste deseado, está a su vez se puede mover con la ayuda de rodamientos, adicionalmente en la parte inferior de la misma se encuentran colocados unos resortes, mismos que junto con los actuadores me permiten simular el peso de una persona y obtener un mejor desempeño de la máquina.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Al finalizar el presente trabajo se logró diseñar e implementar un prototipo de análisis de desgaste y flexión, que me permitirá obtener un tiempo de vida aproximado del calzado analizado.
- Mediante la investigación previamente realizada se garantiza que la máquina logre satisfacer las necesidades del cliente, además de tomar en cuenta la norma ASTM F2412-05 y la ISO 20344, garantizando la funcionalidad de la máquina.
- El equipo es de fácil construcción, si se seleccionan los materiales e implementos según las necesidades del diseño y según la disponibilidad del mercado, con el fin de evitar inconvenientes al momento de su construcción.
- Mediante el gran rango de número de granos de lija que va desde el 60 hasta el 600 es posible generar el desgaste en diferente intensidad semejándose así a los distintos suelos a los que está sometido el calzado al caminar. El sistema es un sistema modular por lo que puede ser intercambiado las piezas tanto de desgaste como de generación de tracción (enfocándonos en los muelles) los cuales nos permitirán generar la fuerza en reacción al peso tomando en cuenta el coeficiente de restitución y la longitud de retracción generada por la trayectoria circular de la suela en su punto máximo vertical.
- La programación se la realizó en el lenguaje ladder, debido a que es un lenguaje de fácil comprensión usado con mucha frecuencia en la industria de la automatización, logrando obtener una simulación acorde al proceso de

caminado de una persona, para garantizar el funcionamiento del esquema ladder, se usaron simuladores, obteniendo una representación lo más real posible, para evitar problemas al momento de poner en funcionamiento la máquina.

Recomendaciones

- Se recomienda usar softwares de simulación para analizar las características que posee el diseño y evitar cometer errores al momento de realizar el proceso de construcción e implementación.
- Analizar el tiempo que va a estar en funcionamiento la máquina de forma continua, para poder obtener una correcta selección de los materiales y componentes que se van a usar, además de poder considerar los mantenimientos que se deben realizar para prolongar la vida útil de la máquina.
- Orientar de forma adecuada las piezas que se requieren imprimir en 3D de tal manera que me permita mejorar el tiempo de impresión, usar la menor cantidad de soportes y poder disminuir los costos de fabricación de las distintas piezas usadas, además se recomienda realizar un test de temperatura y nivelar la cama de impresión para obtener mejores resultados.
- El operador no debe detener el funcionamiento de la máquina de forma innecesaria sin haber terminado su proceso de análisis, para de esta forma evitar que se produzcan errores y garantizar que la información obtenida sea precisa y me permita determinar el tiempo aproximado de vida útil del calzado

Bibliografía

- Amazon.* (s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Mono-gatari-resistente-eléctrico-reclinable-eléctrica/dp/B09PYL1L3P?th=1>
- Amazon.* (7 de Marzo de 2014). Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/adelante-carcasa-controlador-elevación-interruptor/dp/B09V1MYWNZ/ref=sr_1_3?__mk_es_US=ÅMÅŽÕÑ&crd=30DG6MHABZSK7&keywords=PGFUN+Módulo+de+relé&qid=1690504735&srefix=pgfun+módulo+de+relé+%2Caps%2C154&sr=8-3
- Amazon.* (16 de Septiembre de 2014). Obtenido de https://www.amazon.com/Rastreador-Eco-Worthy-accionamiento-multifunción-electrónico/dp/B00NM8H6VS/ref=sr_1_1_sspa?__mk_es_US=ÅMÅŽÕÑ&crd=3NHCVR CUI1GHZ&keywords=linear%2Bactuador%2B1100n&qid=1690753360&srefix=linear%2Bactuador%2B1100n%2Caps%2C161&sr=8-1-s
- Ato.* (11 de Abril de 2022). *ATO Nema 34 Stepper Motor Specs*. Obtenido de <https://www.atoc.com/Content/doc/nema-34-stepper-motor-specs.pdf>
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la automatización industrial*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Carrasco, J. (01 de Diciembre de 2010). Diseño y construcción de una máquina para ensayos de flexión de suelas de calzado de seguridad de acuerdo con la norma ASTM F2412-05. (*Tesis de Ingeniería*). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2603/1/CD-3281.pdf>
- Changzhou Junqi International Trade CO., L. (s.f.). *2Nm Nema23 Closed Loop Stepper Motor Driver 57HSE2N-D25 HSS57 Driver*. Obtenido de

<https://www.bldcelectricmotor.com/sale-13575729-2nm-nema23-closed-loop-stepper-motor-driver-57hse2n-d25-hss57-driver.html>

Dipac. (12 de Mayo de 2022). *TUBO ESTRUCTURAL REDONDO*. Obtenido de

<https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-redondo-negro/>

GmbH, F. (14 de Septiembre de 2023). *Muelles / Resortes*. Obtenido de

<https://cesehsa.com.mx/cesehsa/wp-content/uploads/2018/09/muelles-resortes.pdf>

González, M. (29 de Mayo de 2017). *Diferencias y usos de la Tubería de Acero Negro y*

Galvanizado. Obtenido de <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tubería-de-acero>

Granados, M. (2020). *Arduini como PLC en lenguaje ladder*. Mexico: Gamma Consulting.

Guamán, R., & Ángel, V. (2013). Diseño y construcción de un controlador inalámbrico a través de microcontroladores para el funcionamiento de un automóvil eléctrico a escala. (*Tesis de tecnología*). Escuela Politecnica Nacional, Quito.

Madero, F. (30 de Julio de 2021). *Descripción y componentes del calzado táctico y bota militar*.

Obtenido de <https://calzadoduo.com/Blog/Botas-y-Zapatos/Descripción-y-componentes-del-calzado-táctico-y-bota-militar>

Moreno, J. (08 de Noviembre de 2018). *Anexo Interruptores diferenciales*. Obtenido de

https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/14_Gestion/Control_interruptores_diferenciales.pdf

Olmedo, M. (31 de Enero de 2022). *FICHAS TÉCNICAS PRODUCTOS DE CALZADO*.

Obtenido de <file:///E:/RESPALDOS.%202022/Downloads/26955861.pdf>

Puigcerver, S. (26 de Junio de 2012). *Cómo hacer flexible el calzado más clásico*. Obtenido de

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/38490/Puigcerver%3BGomez%3BSolves%](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/38490/Puigcerver%3BGomez%3BSolves%3B)

20-

%20Cómo%20hacer%20flexible%20el%20calzado%20más%20clásico.pdf?sequence=1

Reino, M., & Galán, G. (2020). *Cinemática de mecanismos planos*. España: Universidad de Extremadura Servicio de Publicaciones.

Roda, A., Mata, V., & Albelda, J. (2016). *Máquinas y mecanismos*. España: Editorial Politécnica de València.

Satra. (2015). *TM92*. Obtenido de Probador Digital De Fatiga Por Flexion De Calzado Completo (GW-009B): <https://great-win.en.made-in-china.com/product/QsvxnBGBAjVZ/China-Satra-TM92-Probador-Digital-De-Fatiga-Por-Flexion-De-Calzado-Completo-GW-009B-.html>

Satra. (2016). *TM174 GB/T9867*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_great-win/product_Satra-TM174-GB-T9867-Laboratory-Leather-Abrasion-Testing-Machine-GW-008-_euohsgyny.html

Satra. (Nobiembre de 2016). *TM92*. Obtenido de Resistance of footwear to flexing: https://www.satrap.com/test_methods/detail.php?id=70

Satra. (Agosto de 2017). *TM230*. Obtenido de Dynamic footwear water penetration test: https://www.satrap.com/test_methods/detail.php?id=186

Satra. (Enero de 2020). *TM404*. Obtenido de Rapid sole adhesion test - for complete footwea: https://www.satrap.com/test_methods/detail.php?id=289

Schneider. (s.f.). *Interruptor diferencial Acti9 iID 2P 25A tipo AC 30mA*. Obtenido de <https://www.se.com/co/es/product/A9R41225/interruptor-diferencial-acti9-ild-2p-25a-tipo-ac-30ma/?range=7559-interruptor-diferencial-acti-ild&selected-node-id=12144438694>

Siemens. (21 de Agosto de 2014). *LOGO! 8, 12/24RCE, Basismodul mit Display*. Obtenido de https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=P_ST70_XX_06805

SKF. (s.f.). Obtenido de Rodamientos rígidos de bolas: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>

SKF. (s.f.). *Rodamiento rígido de bolas*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>

Suárez, W., & Sánchez, A. (19 de Noviembre de 2018). *Nutrición Clínica en Medicina*. Obtenido de Índice de masa corporal: ventajas y desventajas de su uso en la obesidad. Relación con la fuerza y la actividad física: <http://www.aulamedica.es/nutricionclinicamedicina/pdf/5067.pdf>

Universo. (04 de Marzo de 2021). ¿Cuál es el peso ideal según mi sexo y altura?

Vázquez, Y. (18 de Octubre de 2019). *Cálculo del Índice de Masa Corporal (IMC) para deportistas*. Obtenido de https://www.sportlife.es/nutricion/indice-masa-corporal-imc-personas-deportistas_193167_102.html

Anexos