



Diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad para contribuir en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial

Morales Reinoso, Santiago Daniel y Pérez Acosta, Stephen Rubén

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Msc. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio

7 de febrero 2022



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad para contribuir en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial**” fue realizado por los señores **Morales Reinoso, Santiago Daniel y Pérez Acosta Stephen Rubén** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 7 febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**MILTON FABRICIO
PEREZ GUTIERREZ**

Msc. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio

C.C.: 1802565711



Tesis Maquina Lanzadora.pdf

Scanned on: 23:34 February 4, 2022 UTC



Overall Similarity Score

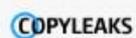


Results Found



Total Words in Text

Identical Words	239
Words with Minor Changes	74
Paraphrased Words	680
Ommited Words	0



Website | Education | Businesses



Firmado electrónicamente por:
**MILTON FABRICIO
PEREZ GUTIERREZ**

Msc. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio

C.C.: 1802565711



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Morales Reinoso, Santiago Daniel**, con cédula de ciudadanía N°1804910246 y **Pérez Acosta, Stephen Rubén**, con cédula de ciudadanía N°1804906749, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad para contribuir en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial”** 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, 7 febrero 2022

Morales Reinosos, Santiago Daniel

C.C.: 1804910246

Pérez Acosta, Stephen Rubén

C.C.: 1804906749



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Morales Reinoso, Santiago Daniel**, con cédula de ciudadanía N°1804910246 y **Pérez Acosta, Stephen Rubén**, con cédula de ciudadanía N°1804906749, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad para contribuir en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 3 febrero 2022

Morales Reinosos, Santiago Daniel

C.C.: 1804910246

Pérez Acosta, Stephen Rubén

C.C.: 1804906749

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación en primer lugar a mi Dios, que ha sido mi luz y guía durante toda mi vida universitaria, a mis padres Rodrigo y Enma por su cariño, amor y apoyo en los momentos más difíciles me han enseñado a superar cada obstáculo de la vida. A mis hermanos Pauly, Gaby y Diego por ser mi ejemplo de estudio y por brindarme su ayuda incondicional. A mi tío Alfredo, por compartir sus conocimientos e impulsarme a terminar el proyecto. A mi novia Jemimah por su apoyo y amor que me ha brindado en todo este tiempo, a todos mis familiares y amigos cercanos que siempre han estado pendientes de mi vida estudiantil.

Morales Reinoso, Santiago Daniel

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi familia, de manera especial a mis amados padres quienes han sido mi pilar fundamental y me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida para poder realizarme como persona y como ser humano. A mis hermanos por su cariño y aliento para seguir adelante, por ser mi inspiración y ejemplo a seguir.

Pérez Acosta, Stephen Rubén

Agradecimiento

“Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos. Amén”. Romanos 11:36

Doy gracias a Dios por sus cuidados en cada viaje diario de camino a la Universidad por mostrarme su amor y poder a través de todas las experiencias vividas, a mis padres por su amor y entrega incondicional, por cuidar de mí durante toda mi vida y ser mi fortaleza en toda mi carrera universitaria, gracias a mis hermanos por sus consejos y ayuda cuando más lo necesitaba, de manera especial a mi hermano Diego por ser mi guía y ejemplo con sus conocimientos en esta carrera. Agradezco a Jemimah por acompañarme en mi diario caminar y brindarme su amor y apoyo en cada cosa que realizo. A mi tío Alfredo por su apoyo y colaboración esencial en este proyecto. Agradezco a mi compañero Stephen que gracias a la amistad que hemos formado desde niños hemos conseguido culminar este trabajo de titulación. Agradezco a todos mis familiares, amigos, profesores y compañeros que me han apoyado en esta etapa de formación académica. De manera especial a nuestro tutor, Ing. Fabricio Pérez por la oportunidad en este proyecto y su colaboración en el desarrollo del mismo. A mi amigo Xavier Pérez por facilitarnos la cancha para las pruebas de entrenamiento.

Morales Reinoso, Santiago Daniel

Agradecimiento

Agradezco a Dios por bendecirme y brindarme la fortaleza necesaria. A mi amada familia porque con su apoyo incondicional me alentaron en todo el proceso de elaboración. A mis familiares y amigos cercanos por animarme y darme su consejo. A Santiago, mi compañero de tesis, porque el equipo de trabajo que hicimos juntos fue la mejor decisión para lograr titularnos. A Don Alfredo Toscano por darnos la oportunidad de trabajar en su taller y también por su ayuda incondicional en la elaboración del proyecto. A mi amigo Xavier Pérez por facilitarnos la ocupación de la cancha de fútbol para poder realizar las pruebas de funcionamiento.

Pérez Acosta, Stephen Rubén

Tabla de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Tabla de Contenidos	10
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras	16
Resumen.....	20
Abstract.....	21
Introducción	22
Antecedentes.....	22
Planteamiento del Problema.....	24
Descripción Resumida del Proyecto	25
<i>Análisis y Diseño de Sistemas</i>	26
<i>Modelamiento y Análisis Estructural</i>	26
<i>Visión Artificial</i>	27
<i>Control de Velocidad y Posición</i>	27
<i>Entorno de Usuario</i>	28
Justificación e Importancia.....	28
Objetivos	30

	11
<i>Objetivo General</i>	30
<i>Objetivos Específicos</i>	30
Metas	31
Hipótesis	32
Variables de Investigación.....	32
<i>Variable Independiente</i>	32
<i>Variable Dependiente</i>	32
Marco Teórico	33
Máquinas Lanzadoras.....	33
Sistemas de Propulsión	33
<i>Sistemas de propulsión por presión de aire</i>	34
<i>Sistemas de propulsión mecanismo tipo catapulta</i>	35
<i>Sistemas de propulsión por rodillos giratorios</i>	36
<i>Sistemas de Propulsión con dos rodillos</i>	37
<i>Sistema de propulsión por rodillos giratorios con bandas</i>	37
Máquinas en el mercado actual.....	39
<i>Powapass</i>	39
<i>FirstPitch Playmaker Soccer Machine</i>	40
<i>Globus Eurogoal 1500</i>	41
<i>The Ball Launcher</i>	42
Cinemática de los Rodillos Giratorios.....	43
<i>Contacto Esférico</i>	43
<i>Velocidad de rotación en los rodillos</i>	44
Análisis cinético de fuerzas.....	46
Motor Eléctrico	47

<i>Motor de corriente continua</i>	48
<i>Motor de corriente continua con escobillas</i>	48
<i>Motor de corriente continua sin escobillas</i>	49
<i>Modulación de Ancho de Pulso PWM</i>	50
Motor paso a paso	50
<i>Funcionamiento de Motor paso a paso</i>	52
Mecanismos.....	53
<i>Ruedas dentadas y cadena.</i>	54
Engranajes	54
Tornillo sinfín-corona.	55
Tarjeta de Control.	56
Arduino.....	56
<i>Arduino Uno.</i>	57
Raspberry.....	58
<i>Raspberry Pi 4 modelo B</i>	58
Comunicación Serial.....	59
Python.....	60
OpenCV	61
Histograma de Gradientes Orientados	61
<i>Preprocesamiento</i>	62
<i>Calcular el gradiente</i>	62
<i>Histograma del gradiente</i>	64
<i>Visualización del histograma</i>	67
Diseño de la maquina lanzadora de balones.	68
Diseño del Sistema de Propulsión.....	69

Diseño de ejes de rodillos de fricción	73
Dimensionamiento de motor de eje vertical	79
Diseño de eje de transmisión de eje vertical	85
Dimensionamiento de motor de eje horizontal	89
Diseño de eje de transmisión de eje horizontal	95
Sistema de Alimentación	99
<i>Fuente de Alimentación</i>	99
Validación de Diseños por medio de CAE (Ingeniería Asistida por computador).....	104
Construcción de la maquina lanzadora de balones	110
Pruebas y resultados	119
Interfaz Gráfica	119
Pruebas de funcionamiento.....	121
<i>Pruebas de reconocimiento de visión artificial</i>	122
<i>Pruebas de precisión en el lanzamiento</i>	126
<i>Pruebas de entrenamiento</i>	130
Validación de la hipótesis	139
Análisis de costos.....	142
Conclusiones y recomendaciones	144
Conclusiones.....	144
Recomendaciones	148
Bibliografía	149
Anexos.....	153

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación entre los sistemas de propulsión de la pelota</i>	38
Tabla 2 <i>Comparación entre motores a pasos bipolares y unipolares</i>	51
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas Arduino Uno</i>	57
Tabla 4 <i>Parámetros de diseño del motor</i>	69
Tabla 5 <i>Características Técnicas del CIM Motor</i>	72
Tabla 6 <i>Parámetros de diseño de los ejes de motores DC</i>	73
Tabla 7 <i>Características técnicas del controlador DM542T</i>	82
Tabla 8 <i>Características técnicas Motor NEMA 23</i>	85
Tabla 9 <i>Características técnicas del controlador DM860T</i>	92
Tabla 10 <i>Características técnicas Motor NEMA 23</i>	95
Tabla 11 <i>Corrientes y voltajes consumidos por los elementos</i>	99
Tabla 12 <i>Características técnicas Fuente 12Vcc/240W/20A</i>	100
Tabla 13 <i>Características técnicas Fuente 12Vcc/240W/20A</i>	101
Tabla 14 <i>Datos de distancia calculada a 6 metros</i>	122
Tabla 15 <i>Datos de distancia calculada a 10 metros</i>	123
Tabla 16 <i>Datos de distancia calculada a 14 metros</i>	124
Tabla 17 <i>Datos de distancia calculada a 18 metros</i>	125
Tabla 18 <i>Datos de la prueba de precisión realizada</i>	126
Tabla 19 <i>Datos penaltis realizados en la sesión 1</i>	131
Tabla 20 <i>Datos reacción realizados en la sesión 1</i>	132
Tabla 21 <i>Datos de ejercicios combinados realizados en la sesión 1</i>	133
Tabla 22 <i>Datos de penaltis realizados en la sesión 2</i>	133
Tabla 23 <i>Datos de ejercicios de reacción realizados en la sesión 2</i>	134
Tabla 24 <i>Datos de ejercicios combinados durante la sesión 2</i>	135
Tabla 25 <i>Datos de penaltis realizados en la sesión 3</i>	136
Tabla 26 <i>Datos de ejercicios combinados durante la sesión 3</i>	137

Tabla 27 <i>Datos de ejercicios combinados durante la sesión 3</i>	138
Tabla 28 <i>Resumen de las sesiones de entrenamiento</i>	139
Tabla 29 <i>Frecuencias observadas</i>	140
Tabla 30 <i>Frecuencias esperadas</i>	141
Tabla 31 <i>Detalle del análisis de costos</i>	142

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Máquina lanzadora de pelotas de béisbol y softball</i>	34
Figura 2 <i>Máquina lanzadora de cricket</i>	35
Figura 3 <i>Máquina lanzadora de béisbol</i>	36
Figura 4 <i>Globus Eurogoal</i>	37
Figura 5 <i>Máquina lanzadora de balones</i>	38
Figura 6 <i>Powapass TT10 Training Machine</i>	40
Figura 7 <i>2020 FirstPitch Playmaker Soccer Machine</i>	41
Figura 8 <i>Globus Eurogoal 1500</i>	42
Figura 9 <i>The Ball Launcher</i>	43
Figura 10 <i>Contacto entre dos esferas</i>	44
Figura 11 <i>Velocidades durante el lanzamiento</i>	44
Figura 12 <i>Diagrama de cuerpo libre</i>	46
Figura 13 <i>Diagrama de cuerpo libre simplificado</i>	47
Figura 14 <i>Motor de corriente continua</i>	48
Figura 15 <i>Motor CC con escobillas</i>	49
Figura 16 <i>Motor CC sin escobillas</i>	49
Figura 17 <i>Señales PWM</i>	50
Figura 18 <i>Motor paso a paso</i>	51
Figura 19 <i>Gráfica de funcionamiento</i>	52
Figura 20 <i>Transmisión circular</i>	53
Figura 21 <i>Piñones y cadena</i>	54
Figura 22 <i>Engranaje Recto</i>	55
Figura 23 <i>Tornillo sinfín-corona</i>	55
Figura 24 <i>Arduino Uno</i>	57
Figura 25 <i>Raspberry Pi 4-B</i>	59
Figura 26 <i>Transmisión de datos en serie</i>	59

Figura 27 Logo de Python.....	60
Figura 28 Logo de OpenCV.....	61
Figura 29 Imagen reducida para el cálculo de HOG.....	62
Figura 30 Cálculo del gradiente.....	63
Figura 31 Operador de Sobel en OpenCV.....	63
Figura 32 Magnitud y dirección del Gradiente.....	64
Figura 33 Imagen resultante del gradiente.....	64
Figura 34 Región de interés dividida en celdas	65
Figura 35 Información obtenida del gradiente.....	66
Figura 36 Matriz del Histograma de Gradiente	66
Figura 37 Visualización de la persona detectada	67
Figura 38 Diseño CAD de Maquina Lanzadora de balones.....	68
Figura 39 Motor CIM de VEX Robotics	71
Figura 40 Controlador Víctor SPX de VEX Robotics	72
Figura 41 Diagrama de cargas y fuerza cortante eje x de eje de motor DC	75
Figura 42 Diagrama de momento generado en eje x de eje de motor DC.....	75
Figura 43 Diagrama de cargas y fuerza cortante eje y de eje de motor DC	76
Figura 44 Diagrama de momento generado en eje y de eje de motor DC.....	76
Figura 45 Propiedades Físicas del ensamble final de eje vertical.....	80
Figura 46 Controlador DM542T.....	82
Figura 47 Curva de respuesta de motor NEMA modelo 23HS45-4204S.....	84
Figura 48 Motor NEMA 23 3Nm de torque.....	84
Figura 49 Diagrama de distribución de componentes de flecha de eje vertical.....	86
Figura 50 Diagramas de cargas, fuerza cortante y momento flexionante de flecha de eje vertical.....	88
Figura 51 Propiedades Físicas del ensamble final de eje horizontal	89
Figura 52 Controlador DM860T.....	91
Figura 53 Curva de respuesta de diferentes modelos de motor NEMA 34.....	94

Figura 54 <i>Motor NEMA 34 modelo 34h2068 300 4A</i>	94
Figura 55 <i>Diagrama de distribución de componentes de flecha de eje vertical</i>	96
Figura 56 <i>Diagramas de cargas, fuerza cortante y momento flexionante de flecha de eje vertical</i>	97
Figura 57 <i>Fuente 12Vcc/240W/20A</i>	100
Figura 58 <i>Fuente 36Vcc/600W/16.7A</i>	101
Figura 59 <i>Diagrama de Alimentación</i>	103
Figura 60 <i>Análisis por elementos finitos SolidWorks Simulation</i>	104
Figura 61 <i>Malla aplicada al modelo CAD de eje vertical</i>	105
Figura 62 <i>Análisis de tensión de Von Mises en eje vertical</i>	105
Figura 63 <i>Análisis de desplazamiento en eje vertical</i>	106
Figura 64 <i>Análisis de deformación unitaria en eje vertical</i>	106
Figura 65 <i>Análisis de factor de seguridad en eje vertical</i>	107
Figura 66 <i>Mallado de modelo CAD de eje horizontal</i>	107
Figura 67 <i>Tensión de Von Mises de eje horizontal</i>	108
Figura 68 <i>Análisis de desplazamiento en eje horizontal</i>	108
Figura 69 <i>Análisis de deformación unitaria en eje horizontal</i>	109
Figura 70 <i>Análisis de factor de seguridad de eje horizontal</i>	109
Figura 71 <i>Motores, controladores y accesorios comprados</i>	110
Figura 72 <i>Diseño preliminar de la estructura de la máquina</i>	110
Figura 73 <i>Armado de la estructura del soporte de los motores DC</i>	111
Figura 74 <i>Soldadura de U principal con anillo</i>	111
Figura 75 <i>Punteado para taladrado de agujeros de chumaceras</i>	112
Figura 76 <i>Instalación de chumaceras de apoyo de eje vertical</i>	112
Figura 77 <i>Primer modelo de rodillos de fricción realizados con tol</i>	113
Figura 78 <i>Montaje de los rodillos y los motores en el soporte</i>	113
Figura 79 <i>Rodillos de PVC montados en el soporte</i>	114
Figura 80 <i>Diseño final de la estructura base del eje horizontal</i>	114

Figura 81	<i>Sistema de transmisión reciclado propuesto inicialmente</i>	115
Figura 82	<i>Sistema de transmisión final de eje horizontal</i>	115
Figura 83	<i>Torreta de alimentación de los balones</i>	116
Figura 84	<i>Actuador de control de seguros de automóvil</i>	116
Figura 85	<i>Caja de control final</i>	117
Figura 86	<i>Masillado de la estructura</i>	117
Figura 87	<i>Máquina lanzadora finalizada su construcción</i>	118
Figura 88	<i>Interfaz Gráfica</i>	119
Figura 89	<i>Instrucciones</i>	120
Figura 90	<i>Calibración de la cámara</i>	120
Figura 91	<i>Interfaz de entrenamiento</i>	121

Resumen

En el presente trabajo de titulación se realiza el diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad con el objetivo de mejorar las habilidades de los arqueros de fútbol, utilizando visión artificial para poder identificar la distancia a la que se encuentra la máquina del portero a través de algoritmos disponibles en OpenCV. Por medio de la investigación previa de los sistemas de propulsión existentes en máquinas en el mercado, se optó por un sistema de doble rodillo giratorio para impulsar el balón, debido a sus características destacadas frente a otras configuraciones. Para el diseño se estudió los requerimientos y funcionalidades de la máquina para posteriormente realizar un modelado CAD/CAE usando el software SolidWorks estudiantil que permita bosquejar el proyecto y determinar la factibilidad de posicionamiento de estructuras y componentes. En el eje horizontal de la máquina se estudió los mecanismos usados comúnmente en máquinas similares, pero debido al alto costo de los mismos se decidió optar por un mecanismo de catarina-cadena que cumple con las mismas condiciones, pero a un costo considerablemente menor. A partir del modelado CAD previo de la máquina se validó el diseño de los ejes por medio de simulación de elementos finitos (MEF) en SolidWorks Simulation que es un método altamente utilizado para analizar diseños en ingeniería. El algoritmo de visión artificial fue implementado y compilado con OpenCV en Python 3.8, entre los detectores más robustos se eligió el método de HOG (Histograma de Gradientes Orientados), obteniendo alta eficiencia en la detección del portero a distancias cortas y lejanas. La librería TKINTER hizo posible el diseño de una interfaz gráfica que permite al usuario visualizar las instrucciones de uso de la máquina, calibración de la cámara y elegir el número de balones a disparar juntamente con el modo de entrenamiento. Por último, se realiza la validación de la hipótesis por medio de la prueba de Chi – Cuadrado el cual permitió afirmar que la máquina propuesta si permite mejorar las habilidades del arquero de fútbol.

Palabras Clave:

- **MÁQUINA LANZADORA**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **SISTEMAS DE PROPULSIÓN**
- **HOG**

Abstract

In the present degree work, the design and construction of a ball launcher machine with two degrees of freedom is carried out with the aim of improving the skills of soccer goalkeepers, using artificial vision to be able to identify the distance at which the ball is located from the goalkeeper through algorithms available in OpenCV. By means of previous research of the existing propulsion systems in machines on the market, a double rotating roller system was chosen to propel the ball, due to its outstanding characteristics compared to other configurations. For the design, the requirements and functionalities of the machine were studied to later carry out a CAD/CAE modeling using the student SolidWorks software that allows the project to be sketched and to determine the feasibility of positioning structures and components. In the horizontal axis of the machine, the mechanisms commonly used in similar machines were studied, but due to their high cost, it was decided to opt for a sprocket-chain mechanism that meets the same conditions, but at a considerably lower cost. From the previous CAD modeling of the machine, the design of the axes was validated by means of finite element simulation (FEM) in SolidWorks Simulation, which is a widely used method to analyze engineering designs. The artificial vision algorithm was implemented and compiled with OpenCV in Python 3.8, among the most robust detectors, the HOG (Histogram of Oriented Gradients) method was chosen, obtaining high efficiency in the detection of the goalkeeper at short and far distances. The TKINTER library made it possible to design a graphical interface that allows the user to view the instructions for use of the machine, camera calibration and choose the number of balls to shoot together with the training mode. Finally, the validation of the hypothesis is carried out by means of the Chi-Square test, which allowed us to affirm that the proposed machine does allow improving the skills of the soccer goalkeeper.

Key words:

- **PITCHING MACHINE**
- **ARTIFICIAL VISION**
- **PROPULSION SYSTEMS**
- **HOG**

Capítulo I

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El deporte más popular del mundo tuvo su inicio hace más de 100 años. Comenzó en 1863 en Inglaterra, donde separaron sus caminos los deportes conocidos como "rugby-football" (rugby) y el "association football" (fútbol), es allí donde se fundó la asociación más antigua del mundo: "Football Association" (Asociación de Fútbol de Inglaterra), el cual fue el primer órgano gubernativo del deporte. A partir de la creación de los primeros reglamentos de este deporte, las Reglas de Cambridge, la celebración de los primeros eventos con cobro de boletos, el fútbol se fue profesionalizando y difundiendo en todo el mundo, hasta llegar a la fundación de la FIFA (FIFA, 2007).

La globalización de este deporte ha provocado que entrenadores y jugadores modifiquen sus técnicas y mejoren cada día con nuevos métodos de juego, estrategias y tecnologías avanzadas para aumentar la competitividad en los diferentes torneos en que participan.

En Ecuador los diferentes clubes profesionales también se han ido apoyando en la tecnología con la incorporación de dispositivos tecnológicos tales como gafas estroboscópicas para mejorar reflejos de arqueros, barras de luces led para mejorar la agilidad de jugadores y se han implementado sistemas de cámaras para la grabación de atajadas de arqueros para corregir ciertas técnicas erróneas (Nuñez, 2020).

Las academias de fútbol y entrenamientos personalizados utilizan prácticas de pase y tiros que incorporan blancos de prueba. Estos blancos suelen ser primitivos y en gran parte de ellos dependen del entrenamiento para comprobar si el jugador ha mejorado la técnica de un ejercicio específico (Acadef, 2020).

Como un deporte de conjunto la responsabilidad que tienen los arqueros es mucho más incidente debido a su labor de defender la portería y ayudar desde su posición a crear oportunidades de juego ofensivo, por lo cual la preparación física, táctica y técnica definirá su rendimiento profesional y por ende el éxito de los equipos.

Actualmente los elementos técnico-tácticas del portero han sido aprendidos y enseñados de manera empírica, los criterios de entrenadores y especialistas del deporte indican que los métodos de enseñanza se han ido deteriorando y el dominio de nuevas técnicas es escaso. Se conserva el método tradicional de prácticas y acondicionamiento físico; en este contexto, el apareamiento de tecnología en el deporte ha ido en aumento, desde seguidores GPS para el control corporal y desplazamiento del jugador hasta salas tecnológicas de entrenamiento (Acadef, 2020).

Los sistemas lanza-balones se usan ampliamente en muchos deportes como el tenis, fútbol y béisbol. La mayoría de ellos tienen rasgos similares en su funcionamiento, pero la mayoría carece de independencia de control manual del usuario y diversidad en la complejidad de la entrega. En los deportes se deben considerar muchas características en el lanzamiento del balón, la aerodinámica del mismo es crítica para la predicción y estudio de la trayectoria. Se han usado varios modelos de túneles de viento y software de simulación y análisis de la física del balón (Crass, 2017).

Existen máquinas lanzadoras en deportes como el fútbol, voleibol y fútbol americano que poseen capacidades de ajuste de velocidad, dirección y control de ángulo de tiro, pero a pesar de que carecen de complejidad, no indican estadísticas de entrenamiento al usuario y tampoco ofrecen un trabajo automático.

SideKick una máquina diseñada y construida por Seattle Sports Science, posee ejercicios de manejo, ángulos y atajadas del portero, brinda un servicio constante, rápido y preciso para que el portero desarrolle su capacidad de reflejo a

diferentes distancias de lanzamiento, los ajustes para el balón se realizan mediante la manipulación de las perillas de velocidades de los rodillos neumáticos y el ángulo del mecanismo utilizado para el lanzamiento del balón. El Sidekick es utilizado por clubes de la Liga de Campeones como el Bayern de Múnich, la selección nacional masculina de EE. UU. y muchos clubes de la MLS (KeeperStop, 2016).

1.2 Planteamiento del Problema

La sociedad moderna apunta cada vez más a la tecnificación del deporte, como es el caso de las escuelas de fútbol y clubes profesionales que se dedican al desarrollo profesional de los jugadores. En casi todas las escuelas de fútbol y clubes profesionales el seguimiento y preparación en el entrenamiento de un portero es de la manera adecuada, sin embargo, se ha llevado un método de enseñanza empírico ya que no se usan nuevas tecnologías que permitan estimar el avance de los porteros en habilidades físicas y técnicas.

Los preparadores de arqueros realizan ejercicios de lanzamiento (fundamentales en entrenamientos clásicos) los mismos que dependen de las habilidades técnicas que posea el lanzador. Al realizar este ejercicio de forma continua el porcentaje de acierto va disminuyendo al igual que la fuerza con la que se realiza. Esto provoca que el portero no pueda seguir mejorando sus reflejos y destrezas para distintos lanzamientos, por lo cual se propone implementar nuevas tecnologías en el área del deporte, que muchas veces gracias a los elevados costos, las escuelas de fútbol y clubes amateur no pueden adquirir, estancándose y recurriendo al método tradicional de entrenamiento de porteros.

Los sistemas de lanzamiento de balones ya se utilizan ampliamente para muchos tipos de deportes en todo el mundo. Estos dispositivos que se encuentran escasos en el mercado tienen características similares en cuanto a función y propósito, pero muchos carecen de capacidades autónomas con el usuario y personalizaciones. Uno de los problemas más comunes de este tipo de máquinas es

que requieren de la asistencia continua del usuario para poder realizar los lanzamientos, esta carencia de autonomía hace que los centros de preparación de porteros decidan abstenerse de invertir en la tecnología dentro del deporte, pensando en que será una inversión sin resultados concretos.

Es por ello que es necesario implementar una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad que posea capacidades de movimiento del mecanismo de lanzamiento de la pelota, el seguimiento del movimiento del jugador, la entrega automática que se integrará con el dispositivo y una interfaz que pueda mostrar el avance de los entrenamientos empleados con la máquina.

1.3 Descripción Resumida del Proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de fútbol de dos grados de libertad para contribuir en el entrenamiento de arqueros utilizando control de velocidad, posición y análisis mediante visión artificial para diferentes distancias de lanzamiento.

El diseño e implementación se desarrollará en cinco secciones principales: análisis y diseño de los sistemas involucrados en la máquina, modelamiento CAD 3D, visión artificial a través del seguimiento del portero en tiempo real durante el entrenamiento, para toma de datos de posición del arco y portero, control de velocidad y posición de los actuadores para realizar lanzamientos de alta exigencia y desarrollo de un HMI que muestre las estadísticas del entrenamiento, donde se podrá visualizar los lanzamientos en los cuales se debe hacer énfasis para mejorar las habilidades del portero, estos datos permitirán comprobar la eficiencia en la programación y construcción de la máquina lanzadora de balones, para que se pueda validar el proyecto como contribución al mejoramiento de las habilidades físico – técnicas de los porteros de fútbol en el área deportiva.

1.3.1 Análisis y Diseño de Sistemas

Se realizará una investigación bibliográfica el cual permitirá realizar un análisis preliminar donde se tomará en consideración los distintos tipos y configuraciones de máquinas lanzadoras, con el objetivo de tener la información suficiente como para dar paso a una selección del tipo de configuración que permitirá el diseño de los sistemas involucrados en la máquina, se propone un sistema que permita impulsar la pelota de fútbol a la velocidad y el ángulo deseados, también constará de una torre de alimentación en la cual se depositará cierto número de balones para que se realice lanzamientos de forma seguida y automática, estos balones ingresarán al sistema de ruedas de fricción, donde serán impulsados mediante la presión que ambas ruedas ejerzan con fuerza y velocidad sobre los balones de fútbol.

1.3.2 Modelamiento y Análisis Estructural

En esta etapa el modelamiento 3D de la máquina se lo realizará con ayuda de diferentes softwares de diseño, donde se tomará en cuenta los resultados obtenidos a través de la investigación preliminar y la selección previa del tipo de configuración de la máquina lanzadora a implementar en sus aspectos principales como tamaño, robustez y peso, haciendo uso de las prestaciones de un software CAD/CAE que permita tener una mejor proyección visual de la máquina y a su vez, permita realizar un análisis estructural para evitar fallos debido a fractura, fatiga y sobredimensionamiento de la misma. Para su transporte es necesario que la máquina tenga un peso y tamaño adecuado debido a que los entrenamientos se los realiza en áreas abiertas o cerradas. De igual manera se considerará las condiciones climáticas en el diseño, a fin de que la máquina no tenga inconvenientes en presencia de lluvia o días intensos.

Posterior al análisis mencionado se procederá a la selección de componentes tanto electrónicos como mecánicos en función de la relación costo-

beneficio, finalmente se procederá a la construcción de la máquina lanzadora de balones.

1.3.3 *Visión Artificial*

En la etapa de visión artificial se realizará el seguimiento del portero en tiempo real durante el entrenamiento, tomando en cuenta que no será necesario un entorno controlado, pero sí deberá cumplir con condiciones mínimas aceptables de trabajo. Al inicio de cada ronda de entrenamiento se analizará la altura del portero a través de una cámara, mediante el algoritmo de visión se obtendrá el número de píxeles del recuadro marcado alrededor del portero, obteniendo así mediante experimentación la distancia a la que se encuentra la máquina, este valor de píxeles aumentará o disminuirá de acuerdo a la distancia a la que se coloque la máquina, determinando el ángulo al cual deben posicionarse los actuadores, la dirección del eje horizontal y vertical de la máquina, también de esta etapa dependerá la velocidad a la que deben girar los rodillos propulsores, con el fin de lanzar el balón lo más alejado del portero.

1.3.4 *Control de Velocidad y Posición*

En la cuarta etapa se realizará el control de la posición y velocidad del disparo, mediante los datos recibidos de visión artificial, se determinará la posición de los actuadores para el disparo del balón, se programará para realizar el lanzamiento automático con un determinado número de balones con distancias y ángulos distintos, se colocarán actuadores en los ejes vertical y horizontal para obtener un sistema automático de lanzamiento. Además, el usuario elegirá el nivel de entrenamiento que requiera: básico, medio o experto serán entre las opciones que podrá elegir. En cada nivel de entrenamiento será programado para una velocidad y posicionamiento distinto, de tal forma que el arquero deberá reaccionar rápidamente para intentar detener cada balón que la máquina ejecutará. Los sistemas que ya están en el mercado poseen lanzamientos que pueden no ser

realista en el entrenamiento de fútbol. Por lo que se tiene previsto implementar el control de velocidad en el sistema de lanzamiento de balones para un acercamiento más real a los lanzamientos que se realizan en un partido de fútbol.

1.3.5 Entorno de Usuario

Finalmente, en la última etapa el desarrollo de un HMI, donde el usuario tendrá varias opciones de entrenamientos, podrá elegir el número de balones que va a usar en el entrenamiento, la velocidad de disparo y el tiempo entre lanzamientos. Será un entorno fácil de manipular y muy intuitivo. Podrá visualizar el video en tiempo real de la imagen del portero para calibrar la cámara y verificar que la distancia mostrada sea la misma que la real.

1.4 Justificación e Importancia

La primera máquina de lanzar fue inventada por Charles Hinton, en 1890. Un matemático de la Universidad de Princeton, tras varios intentos sin éxito pudo conseguir una máquina lanzadora de peloteas de béisbol, usada por primera vez en 1987 y funcionaba con pólvora. Aunque por un tiempo su invento fue aceptado, dejó de usarse debido al riesgo que corría y el miedo que provocaba en los bateadores.

Los sistemas de lanzamiento de balones ya se utilizan ampliamente para muchos tipos de deportes en todo el mundo. Estudios indican que estos dispositivos han mejorado notablemente la preparación de los deportistas de distintas disciplinas, en el béisbol se ha implementado esta tecnología para el entrenamiento de sus jugadores, jaulas de bateo también están disponibles en muchas instalaciones recreativas en los Estados Unidos. Aquí, los jugadores de las edades de 5 años en adelante pueden hacer uso de las máquinas de pitcheo.

La evolución tecnológica en la sociedad ha ido aumentando a un ritmo sin precedentes y en el área del deporte no ha sido la excepción, el deporte más popular también ha visto cambiar la estructura de sus entrenamientos, ejercicios que

junto a tecnología de vanguardia ha permitido un desarrollo óptimo de los deportistas, ha permitido desarrollar aún más sus habilidades, numerosos clubes en todo el mundo han invertido en tecnología para complementar el trabajo de los entrenadores.

Existe una gran diferencia en la preparación física en equipos europeos frente a los latinoamericanos, principalmente la diferencia de salarios y capital que los clubes europeos poseen les permite adquirir la mejor tecnología disponible para mejorar las aptitudes físicas de sus jugadores, además de que han implementado nuevos modos de entrenamiento y su fusión con la tecnología ha sido esencial para que marquen esa gran diferencia de nivel de juego que en nuestro continente.

A nivel latinoamericano los equipos más importantes han seguido el modelo europeo, River Plate ha utilizado lanzadores de balones para el entrenamiento de sus porteros. En la etapa de Matías Almeyda al frente del equipo se implementaron rutinas de lanzamientos usando esta tecnología, teniendo como resultado el ascenso a primera división.

El gigante alemán Borussia Dortmund, posee sesiones de entrenamientos muy llamativas, en las cuales hacen uso de la tecnología para mejorar la reacción al recibir y entregar un pase, estas rutinas tan exigentes mejoraron notablemente la calidad de sus jugadores, llevando al equipo a disputar la final de la Liga de Campeones en la temporada 2012-2013. Los resultados de esta tecnología tuvieron un impacto inmediato en el equipo que al mando de Jürgen Klopp, un entrenador que siempre ha apostado por las nuevas tecnologías en el deporte, implementó un laboratorio con máquinas de lanzamiento y marcadores digitales para mostrarle al jugador rápidamente a donde debe enviar el balón, este tipo de sesiones simulan las situaciones de un partido real, en el cual el jugador se encuentra rodeado de oponentes y debe elegir rápida y precisamente el lugar por donde el balón puede ser entregado.

En nuestro país la tecnología a nivel deportivo es limitada y muy costosa, por lo que se pretende construir una máquina lanza pelotas de fútbol, que permita simular lanzamientos reales de un partido a diferentes distancias, enviando con precisión el balón a donde se requiera, debido a que un arquero en un entrenamiento normal los lanzamientos que recibe no tienen una alta efectividad en precisión por lo que no pueden tener un mejoramiento continuo de sus habilidades en la portería, también una interfaz gráfica que permita al usuario manejar la máquina en sus distintos modos de operación y sea de fácil uso.

La máquina será capaz de realizar lanzamientos en diferentes áreas del terreno de juego, simulando así situaciones de un partido real, sustituirá un lanzador en el entrenamiento, evitando que éste pueda presentar alguna lesión con el tiempo. Será una máquina capaz de generar lanzamientos aleatorios para el entrenamiento de arqueros, generando así un disparo imprevisto como sucede en un partido de fútbol.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar y construir una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad para contribuir en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Investigar sobre el uso e implementación de máquinas automáticas en el entrenamiento de fútbol para mejorar las habilidades de los arqueros.
- Diseñar los mecanismos y las piezas de la máquina mediante softwares CAD y CAE.

- Desarrollar la programación del controlador que determine la posición del arquero, la distancia de lanzamiento y la velocidad de disparo mediante un entorno de visión artificial.
- Implementar diferentes modos de operación dependiendo del tipo de entrenamiento necesario para el arquero para que pueda mejorar su velocidad, habilidad y elasticidad.
- Evaluar la eficiencia de cada uno de los sistemas que componen la máquina y su robustez.
- Determinar si la implementación de la máquina lanzadora de balones ayuda al mejoramiento de las habilidades del arquero mediante pruebas desarrolladas con arqueros de diferentes equipos de fútbol.

1.6 Metas

- Investigación sobre el uso e implementación de máquinas automáticas en el entrenamiento de fútbol para mejorar las habilidades de los jugadores mediante la recopilación de información en campos de entrenamiento y datos obtenidos por máquinas existentes en el mercado, se realizará en el primer mes.
- Diseño de los mecanismos y las piezas de la máquina mediante softwares CAD y CAE, tomando en cuenta la comprobación de medidas estándar y cálculos, se realizará en el segundo mes y las dos primeras semanas del tercer mes.
- Construcción de la máquina con un material determinado para cada pieza y de acuerdo a las medidas y formas establecidas en los diseños CAD y CAE, se ejecutará en el resto del tercer mes y cuarto mes.
- Implementación de un controlador que determine la posición del arquero, la distancia de lanzamiento y la velocidad de disparo mediante un entorno de visión artificial se lo realizará en el quinto mes.

- Implementación de diferentes modos de operación dependiendo del tipo de entrenamiento necesario para el arquero para que pueda mejorar su velocidad, habilidad y elasticidad se lo realizará en el sexto mes.
- Evaluación de la eficiencia de cada uno de los sistemas que componen la máquina y su robustez en el séptimo mes.
- Validación de la máquina lanzadora de balones en el mejoramiento de las habilidades del arquero mediante pruebas desarrolladas con arqueros de diferentes equipos de fútbol, se realizará en el octavo mes.

1.7 Hipótesis

¿El diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad contribuirá en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial?

1.8 Variables de Investigación

1.8.1 Variable Independiente

Una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad.

1.8.2 Variable Dependiente

Mejorar el entrenamiento de arqueros de fútbol.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1 Máquinas Lanzadoras

Existe en el mercado una amplia variedad de máquinas lanzadoras en deportes como el fútbol, baloncesto, tenis, baseball, etc. Estas máquinas contribuyen en el entrenamiento de los deportistas en las diferentes disciplinas y poseen distintos sistemas de operación y funcionamiento.

Es necesario realizar un estudio bibliográfico de los sistemas de propulsión del objeto a ser lanzado distinguiendo las características de cada uno de tal modo de que estas investigaciones previas sirvan para encontrar una relación entre conceptos, teorías y localizar diferentes perspectivas para aplicarlas correctamente.

2.2 Sistemas de Propulsión

Existen diversos sistemas de propulsión de objetos esféricos, entre los cuales tenemos:

- Por presión de aire.
- Por compresión y descompresión de resortes.
- Por catapulta.
- Por rodillos giratorios.

Es necesario revisar cada uno de estos sistemas por las características distintas en función al tamaño del objeto que va a ser lanzado, se toma en cuenta la velocidad y tiempo de lanzamiento continuo, la fuente de energía de alimentación del sistema, además de buscar un diseño funcional, costo de fabricación adecuado y factibilidad de construcción.

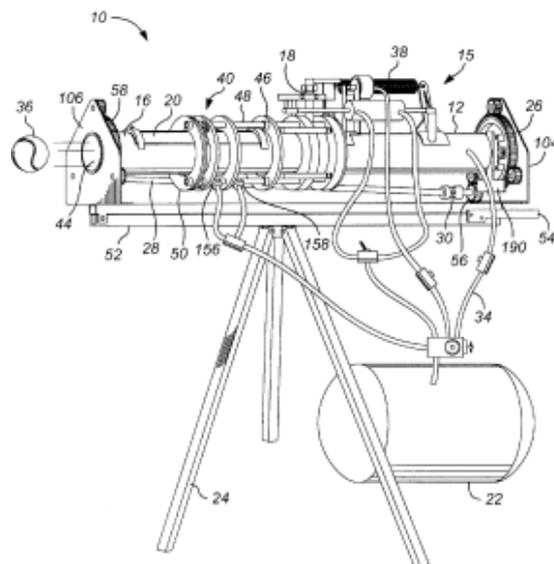
2.2.1 Sistemas de propulsión por presión de aire

Figura 1. En este sistema un lado se encuentra abierto y en el otro extremo sellado, el elemento a ser lanzado se coloca se dispone dentro del cilindro, el cual se divide en dos partes: en la primera se coloca la pelota de tenis y en la segunda contiene el aire comprimido que llega a una presión deseada usando un compresor de aire, las dos partes las conecta una válvula de apertura rápida que permite el paso de aire del compresor lo que le da el impulso a la pelota de béisbol a grandes velocidades.

Una de las grandes desventajas de este sistema es la necesidad de un compresor de aire y que requiere de una gran cantidad de tiempo para recargarse y el transporte del mismo, además el lanzamiento continuo de pelotas es lento debido a que por el mismo orificio de salida de las pelotas se debe ingresar la siguiente esto hace que el tiempo entre lanzamientos sea muy largo y no tan recomendable si se necesita disparos continuos.

Figura 1

Máquina lanzadora de pelotas de béisbol y softball



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de béisbol y softball.

Tomado de (O'Brien, 2001)

2.2.2 Sistemas de propulsión mecanismo tipo catapulta

Esta máquina tiene un sistema mecánico que consta de un motor eléctrico instalado con un reductor que transmite el movimiento por medio de una cadena haciendo girar a la catalina en el eje superior, el cual posee en cada extremo un mecanismo que permite al resorte helicoidal almacenar energía elástica, como se puede observar en la imagen, el brazo recibe esta energía que permite a la pelota caer y empezar a girar lentamente, después llega al punto en el cual este brazo actúa como catapulta al ser liberado el resorte y lanza la pelota a altas velocidades. Esta máquina es usada en el entrenamiento de cricket, que con el tiempo de uso se requiere un mantenimiento constante de la parte mecánica, en especial por el desgaste producido en el resorte helicoidal, en este tipo de mecanismos el tiempo de lanzamiento y espera es prolongado. También al ser un motor eléctrico trifásico el ruido que genera es considerable.

Figura 2

Máquina lanzadora de cricket



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de cricket. Tomado de (O'Brien, 2001).

2.2.3 Sistemas de propulsión por rodillos giratorios

Este tipo de sistemas es el más usado para máquinas lanzadoras de balones de fútbol. Dentro de este grupo existen algunas opciones de propulsión:

- Un solo rodillo giratorio.
- Dos rodillos giratorios.
- Rodillos giratorios con bandas.

2.2.3.1 Sistemas de propulsión de un solo rodillo

El sistema mostrado en la Figura 3 posee un motor eléctrico unido a un rodillo al cual lo hace girar con una velocidad angular determinada. La pelota de béisbol ingresa por el alimentador y es impulsada por la velocidad y presión que el rodillo ejerce sobre ella. Este tipo de máquina es ideal para lanzamiento de objetos pequeños, debido a su forma y disposición, posee un pequeño agujero de salida donde la pelota es lanzada a grandes velocidades. En cuanto a diseño y construcción esta máquina brinda ciertas características ergonómicas que permite que el usuario tenga una experiencia sencilla al usar esta lanzadora de pelotas.

Figura 3

Máquina lanzadora de béisbol



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de béisbol. Tomado de (Sports, 2020)

2.2.3.2 Sistemas de Propulsión con dos rodillos

El principio de funcionamiento de este tipo de sistemas es el mismo que el de un solo rodillo, la diferencia radica en que al emplear dos rodillos se pueden realizar lanzamientos curvos, mediante el control de velocidad de cada uno de los rodillos, al uno de ellos girar más rápido que el otro nos permitirá impulsar el balón con una trayectoria curva, lo que el sistema de un solo rodillo no nos permitía, pero de igual manera si se necesita un lanzamiento recto, ambos rodillos deben estar girando a la misma velocidad. La Figura 4 muestra una de las máquinas europeas más representativas.

Figura 4

Globus Eurogoal



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de fútbol Globus.

Tomado de (Globus, 2020).

2.2.3.3 Sistema de propulsión por rodillos giratorios con bandas

El tipo de sistema mostrado en la Figura 5 tiene un principio de funcionamiento muy parecido al de dos rodillos, posee tambores en los cuales están montadas las dos bandas unidas a los rodillos propulsores, este sistema tiene mayor superficie de contacto con el balón, lo que permite mayor velocidad de salida. Si bien se consigue elevar la velocidad de trayectoria del balón respecto a otros sistemas, el

inconveniente es la construcción, posee un sistema muy robusto y mecánicamente más difícil que los anteriores sistemas.

Figura 5

Máquina lanzadora de balones



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de fútbol Bender.

Tomado de (Brodbeck & Ullrich, 2008).

Tabla 1

Comparación entre los sistemas de propulsión de la pelota

	Aire	Catapulta	1 Rodillo	2 Rodillos	Banda
Criterios	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota
Manejo	0.1	0.15	0.2	0.25	0.15
Ejes Movibles	0.15	0.15	0.15	0.75	0.3
Transmisión	0.2	0.2	0.4	0.4	0.2
Manufactura	0.5	0.5	1.25	0.75	0.75
Velocidad	0.5	0.45	0.3	0.6	0.6
Alimentación	0.45	0.6	0.6	0.6	0.4
Portabilidad	0.1	0.3	0.5	0.3	0.2
Total	2	2.35	3.4	3.65	2.6
Lugar	5	4	2	1	3
¿Continuar?	No	No	No	Desarrollar	No

Nota. En cada sistema de propulsión se puede observar las ventajas y desventajas que cada uno nos ofrece, tomando en cuenta los criterios más importantes al momento de valorar la función del sistema de propulsión se observa que la configuración de dos rodillos resulta ser la más idónea.

2.3 Máquinas en el mercado actual

2.3.1 Powapass

La Figura 6 muestra la máquina patentada Powapass es un dispositivo para entrenamiento de fútbol, posee un control a distancia además de ser recargable y portátil. Esta máquina ha cambiado la forma de entrenar de clubes profesionales y escuelas de fútbol base. Puede disparar a diferentes alturas, velocidades y distancias. Posee 5 velocidades y se puede programar para que realice lanzamientos seguidos de hasta 5 balones en intervalos establecidos de 2,4,6 y 8 segundos. Al realizar lanzamientos continuos se pueden realizar entrenamientos de reacción rápida. También puede disparar balones colocados manualmente, el entrenador coloca los balones a ser disparados uno por uno cambiando la dirección de los mismos (TeamKits, 2020).

Características Técnicas:

- Peso aprox. 25kg.
- Control Remoto.
- Batería Recargable y 4 horas de entrenamiento continuo.
- Ángulos ajustables.
- 5 lanzamientos seguidos y por intervalos.
- 5 controles de velocidad.
- Motor de alta potencia.
- Zona de lanzamiento total de 45 m.
- Portátil y desmontable.

- Base giratoria.
- Ajustable para balones # 4 y #5.
- Velocidad de 10 a 100 km/h.
- Precio: \$ 2,765.00

Figura 6

Powapass TT10 Training Machine



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de fútbol Powapass. Tomado de (TeamKits, 2020).

2.3.2 FirstPitch Playmaker Soccer Machine

La empresa FirstPitch desarrolló una máquina lanzadora de balones de fútbol que permite una amplia variedad de ejercicios y simulaciones de juego real. Esta máquina es capaz de hacerle frente a las mejores marcas del mercado actual, pero a un costo considerablemente menor. Se aprecia la calidad y el ahorro de dinero al adquirir este dispositivo (Pitch, 2020).

Características Técnicas:

- Lanzamientos hasta 74 metros.
- Velocidad desde 30 a 160 km/h.
- Simula lanzamientos curvos de esquina y pases.
- Sistema de dos rodillos propulsores.

- Ajustable para balones #3, #4 y #5.
- Alimentación de 110V.
- Precio: \$2,349.00

Figura 7

2020 FirstPitch Playmaker Soccer Machine



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de fútbol FirstPitch.

Tomado de (Pitch, 2020).

2.3.3 Globus Eurogoal 1500

Eurogoal 1500 es el modelo de alta gama por excelencia en las máquinas de entrenamiento de fútbol. La Figura 8 muestra un sistema triaxial patentado por Globus, el entrenador puede regular el disparo hacia arriba, abajo, izquierda o derecha. También posee la capacidad de inclinar el punto de disparo hacia los lados cambiando así la curva de trayectoria, permite realizar tiros a portería, centros y tiros altos con un realismo superior a cualquier otra máquina y extrema eficacia. Útil para la formación de porteros, defensas y delanteros (Globus, 2020).

Características Técnicas:

- Regulación de la trayectoria Triaxial.
- No daña la pelota.
- Larga autonomía de su doble batería (110-220V).
- Pantalla digital.

- Cinco botones de memoria para almacenar velocidades.
- Velocidad de 10 a 140 km/h.
- Distancia máxima de lanzamiento 100 m.
- Compatible con diferentes tamaños de pelota.
- Precio: \$7,850.00

Figura 8

Globus Eurogoal 1500



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de fútbol Globus Eurogoal 1500. Tomado de (Globus, 2020).

2.3.4 The Ball Launcher

Una máquina funcional que acepta varios tamaños de pelota lo cual permite entrenamientos para cualquier grupo, edad y nivel. Desde jóvenes hasta profesionales. Posee una vida útil de batería de hasta 4 horas y la capacidad de lanzar más de 200 balones de fútbol por hora mostrada en la Figura 9. Fabricada en Gran Bretaña con los materiales de mayor calidad. (Launcher, 2021)

Características Técnicas:

- Peso: 42kg.
- Baterías con duración de 4 horas continuas de uso.
- Máxima distancia de 55 metros.

- Velocidades de 8 a 130 km/h.
- Ajuste de velocidad en ambos rodillos.
- Precio: \$5,465.58.

Figura 9

The Ball Launcher



Nota. La figura representa una máquina lanzadora de pelotas de fútbol The Ball Launcher. Tomado de (Launcher, 2021).

2.4 Cinemática de los Rodillos Giratorios

Al momento de estudiar a cuerpos con superficies curvas que se presionan entre sí, existe un contacto puntual o lineal que produce un área de contacto en ambas superficies. La cinemática es la encargada de estudiar el movimiento de un objeto en su trayectoria y en un tiempo determinado. Mediante estos análisis se puede encontrar la velocidad a la que está viajando el objeto móvil, la fuerza de rozamiento entre ambos cilindros y el torque necesario para impulsar al objeto.

2.4.1 Contacto esférico

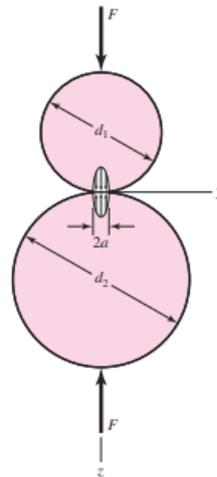
La Figura 10 muestra cuando dos cuerpos conocidos con diámetros definidos d_1 y d_2 se presionan entre sí, se obtiene un área circular con un radio a . La presión ejercida dentro de esta área de contacto se la define como ρ (Budynas & Nisbett, 2012).

$$\rho = \frac{3F}{2\pi a^2} \quad (1)$$

La ecuación (1) es general y aplicable para contactos de tipo esfera-superficie plana, o esfera-esfera intera. Pero en el caso de una superficie interna, el signo del diámetro cambiaría a negativo (Budynas & Nisbett, 2012).

Figura 10

Contacto entre dos esferas



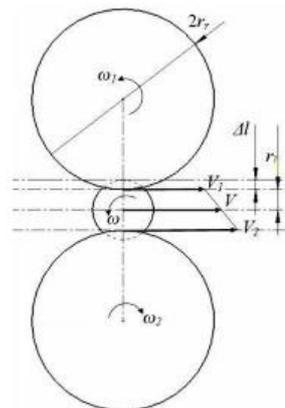
Nota. La figura representa la superficie de contacto entre dos objetos esféricos.

Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012).

2.4.2 Velocidad de rotación en los rodillos

Figura 11

Velocidades durante el lanzamiento



Nota. La figura representa las velocidades durante el lanzamiento. Tomado de (Wójcicki & Pucilowski, 2011).

La velocidad lineal y angular de la bola dependen de las velocidades circunferenciales de los rodillos, mostrados en las ecuaciones (2) y (3) (Wójcicki & Pucilowski, 2011).

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (2)$$

$$wr_l = \frac{V_2 - V_1}{2} \quad (3)$$

En la Figura 11 se observa el análisis de velocidades de los dos rodillos en contacto con el balón donde:

- V_1 Velocidad tangencial en el punto de contacto superior del rodillo con el balón expresado en [m/s].
- V_2 Velocidad tangencial en el punto de contacto inferior del rodillo con el balón expresado en [m/s].
- w Velocidad angular del balón expresada en [rad/s].
- r_l Radio del balón después de la deformación expresado en [m].

Conociendo las velocidades angulares de cada rodillo es posible determinar las velocidades tangenciales en cada punto de contacto del balón con los rodillos y por ende calcular la velocidad de salida del balón (Wójcicki & Pucilowski, 2011).

$$w_1 = \frac{V - wr_l}{r_r} \quad (4)$$

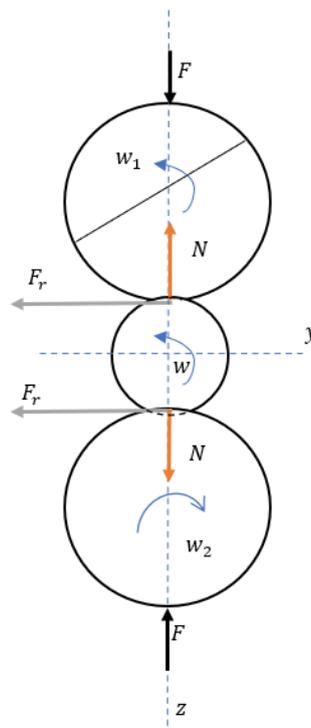
$$w_2 = \frac{2V}{r_r} - w_1 \quad (5)$$

2.5 Análisis cinético de fuerzas

Partiendo del análisis previo realizado en (Budynas & Nisbett, 2012) de contacto esférico y del estudio matemático de para una máquina lanzadora en (Wójcicki & Pucilowski, 2011). La Figura 12 comprende el diagrama de cuerpo libre del balón con ambos rodillos propulsores.

Figura 12

Diagrama de cuerpo libre



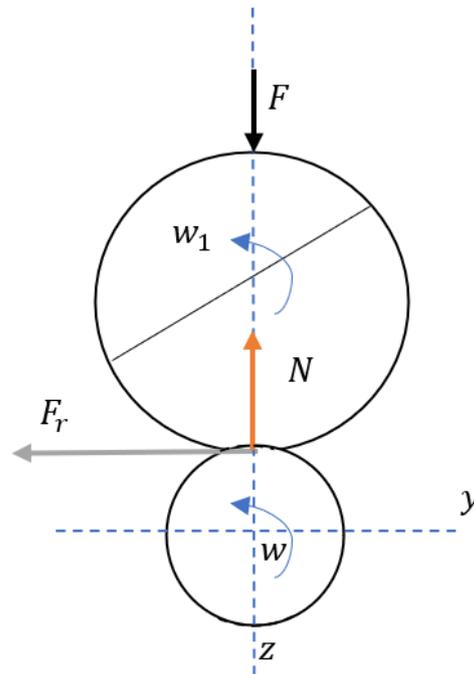
Donde:

- F fuerza de compresión de cada rodillo aplicado sobre el balón expresado en [N].
- F_r fuerza de rozamiento producida por el contacto entre el balón y cada rodillo expresado en [N].
- N fuerza normal opuesta o fuerza de reacción producida por el contacto entre el balón y cada rodillo expresado en [N].

Por motivos de análisis por sumatoria de fuerzas se divide al sistema, para tratar de manera individual las fuerzas que actúan en cada rodillo y el balón.

Figura 13

Diagrama de cuerpo libre simplificado



$$F_r = \mu N \quad (6)$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$F_r = \mu N$$

2.6 Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina rotatoria, que recibe energía eléctrica para posteriormente transformarla en la rotación de un eje, todo esto gracias a su composición interna, la cual posee bobinas que generan campos magnéticos. Estos motores se diferencian entre sí por la capacidad, tipo de control, alimentación que requieran (Transelec, 2020).

Para el movimiento de los rodillos propulsores es necesario implementar motores de corriente continua que transmitan la velocidad y torque necesarios para impulsar el balón a altas velocidades. Además, es necesario motores paso a paso en los ejes vertical y horizontal de la máquina, que tengan alto torque y buena precisión para realizar movimientos rápidos de cambio de dirección.

2.6.1 Motor de corriente continua

Este tipo de motores puede variar en su tamaño y potencia, existen desde motores usados en juguetes y electrodomésticos hasta de grandes capacidades para mover ascensores, automóviles y accionan laminadores de acero.

Cada vez se usa más este tipo de motor dentro de la industria, ya que el control de su velocidad es muy fácil de regular y para cambiar su sentido de giro simplemente se necesita invertir la polaridad. En la Figura 14 muestra este tipo de motor que tiene tres partes: estator, armadura y conmutador.

Figura 14

Motor de corriente continua



Nota. La figura representa un motor de corriente continua. Tomado de (Diéguez, 2020).

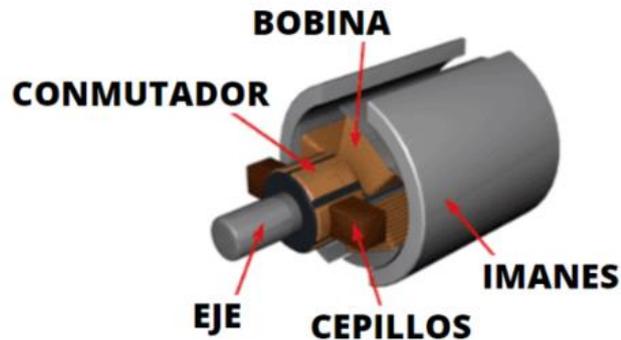
2.6.2 Motor de corriente continua con escobillas

Este tipo de motor usa escobillas conectadas a un colector para poder realizar el cambio de polaridad, para conmutar mecánicamente la corriente de las bobinas se usan estas escobillas. Este motor es mucho más conveniente que un motor sin escobillas o brushless. En la parte electrónica no necesita un circuito caro

y complejo para su funcionamiento, pero se producen pérdidas de calor lo que genera menor eficiencia (CLR, 2016).

Figura 15

Motor CC con escobillas



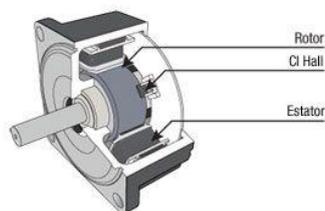
Nota. La figura representa un motor de corriente continua con escobillas. Tomado de (CLR, 2016).

2.6.3 Motor de corriente continua sin escobillas

Este tipo de motor al no tener escobillas su vida útil es mucho mayor, en su operación no se generará ruido ni desgaste, tampoco es necesario un mantenimiento continuo. En el aspecto económico es mucho más costoso, pero tiene una mayor eficiencia. Además, posee una mejor relación entre potencia y tamaño. De igual manera la relación entre su velocidad y el par motor es muy buena, un poco menor la del motor con escobillas.

Figura 16

Motor CC sin escobillas



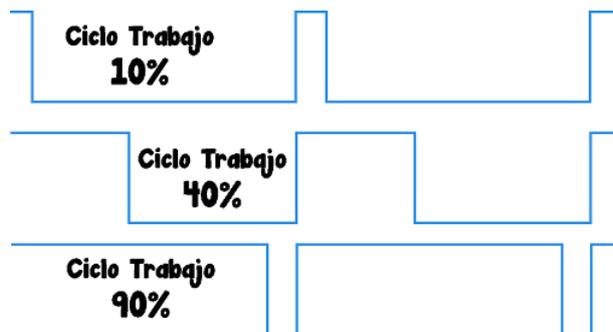
Nota. La figura representa un motor de corriente continua sin escobillas. Tomado de (CLR, 2016).

2.6.4 Modulación de Ancho de Pulso PWM

Uno de los métodos más frecuentes para controlar la velocidad de un motor de corriente continua es la modulación por ancho de pulso, es tan usual este método por su fiabilidad y sencillez. Consiste en enviar una señal digital cuadrada, la cual permite variar el ciclo de trabajo sin afectar la frecuencia. Al hablar de ciclo de trabajo se refiere a la cantidad de tiempo que la señal permanece en un estado lógico de alto, es decir, el porcentaje del tiempo total usado para completar un ciclo de trabajo. La frecuencia es la que determina la rapidez con la que se completa un ciclo, esto es la velocidad de cambio entre estados lógicos de alto y bajo.

Figura 17

Señales PWM



Nota. La figura representa tres señales PWM con diferentes ciclos de trabajo.

Tomado de (Gómez, 2017).

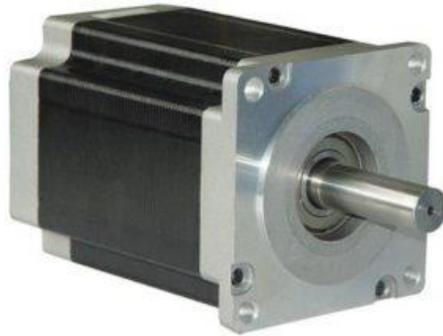
2.7 Motor paso a paso

Los motores a pasos son actuadores de movimiento rotatorio, se diferencian por su movimiento en ángulos específicos, lo cual los hace destacar como dispositivos de alta precisión y potencia. Estos motores son muy utilizados en diversas aplicaciones debido a que su control se lo realiza mediante trenes de impulsos desfasados y genera un movimiento angular al recibir la señal eléctrica.

Los sistemas de posicionamiento usan mucho este tipo de motor por su alta precisión de movimiento (Mecafenix, 2017).

Figura 18

Motor paso a paso



Nota. La figura representa un motor paso a paso (Mecafenix, 2017).

Los motores a pasos pueden ser unipolares o bipolares, se necesita de dos fuentes de poder o una conmutada cuando se emplea un motor bipolar, mientras que los unipolares solo necesitas una fuente de poder. La Tabla 2 detalla las características de cada uno.

Tabla 2

Comparación entre motores a pasos bipolares y unipolares

Bipolares	Unipolares
Mayor Torque	Menor Torque
Más pequeño	Más grande
Más económico	Más caro
Control más complicado	Control más simple
Mayor anclaje embobinados	Menor anclaje

Nota. En cada tipo de motor se puede observar las ventajas y desventajas que cada uno nos ofrece, tomando en cuenta los criterios más importantes al momento de

valorar la función del sistema de propulsión se observa que el bipolar nos ofrece las mejores prestaciones para el proyecto.

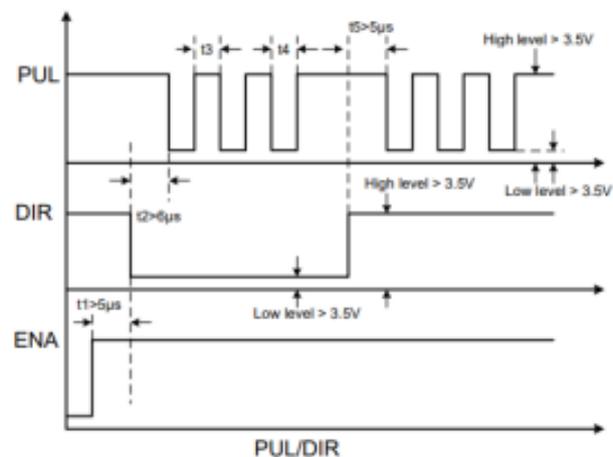
2.7.1 Funcionamiento de Motor paso a paso

Para realizar el control de este tipo de motores se necesita tres señales de control: Enable, dirección y pulso. Empleando estas señales para una aplicación específica se puede controlar el motor a pasos normalmente, por lo que se necesita de un driver que maneje estas señales al motor. Generalmente el motor a pasos tiene su controlador específico.

- Enable: Esta señal energiza al motor para empezar su trabajo.
- Dirección: Envía señales digitales de altos y bajos, cada uno indica el sentido de giro que esta con las manecillas del reloj o en contra.
- Pulso: Esta señal envía un impulso angular de un valor de grado específico y está unida a un tren de impulsos, esta es la señal que controla los grados que se requiere girar.

Figura 19

Gráfica de funcionamiento



Nota. La figura representa las señales de pulso de un motor paso a paso (Mechanics, 2012).

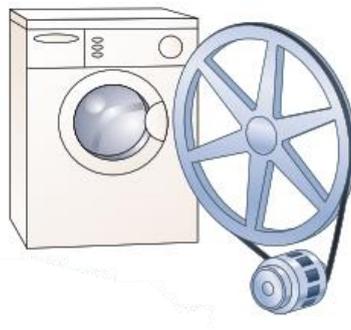
2.8 Mecanismos

Toda máquina sea esta simple o compuesta, estará formada por una serie de elementos, dentro de esta serie se tiene los mecanismos los cuales son capaces de transformar y transmitir movimientos y fuerzas, desde un conductor hacia un elemento conducido. Tomando en cuenta los movimientos que realizan estos mecanismos pueden ser de 4 tipos: lineal, alternativo, de rotación y oscilante. (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019)

Dentro de los 4 tipos de mecanismo se tiene el de transmisión circular el cual se utiliza para comunicar el movimiento entre 2 ejes, estos mecanismos también pueden modificar la fuerza y la velocidad de movimiento, dentro de los más utilizados se tiene: engranajes, ruedas de fricción, ruedas dentadas y cadena, tornillo sinfín-corona y las poleas de transmisión. (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019).

Figura 20

Transmisión circular



Nota. La figura representa un mecanismo de transmisión circular utilizada en un electrodoméstico. (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019)

2.8.1 Ruedas dentadas y cadena

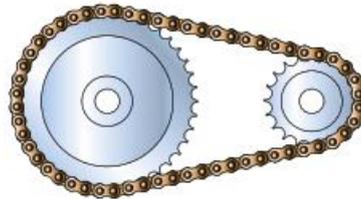
Conocido como piñón-cadena, siendo una rueda dentada que encaja en una cadena para transmitir movimiento a una rueda conducida, se puede modificar la fuerza y la velocidad, mas no el sentido de giro, es importante recalcar que los ejes siempre tienen que estar paralelos.

Para calcular la relación de transmisión, se utiliza en este caso el número de dientes de las ruedas dentadas a utilizar.

$$\text{Relación} = \frac{N.^{\circ}\text{dientes rueda conductora}}{N.^{\circ}\text{dientes rueda conducida}} \quad (7)$$

Figura 21

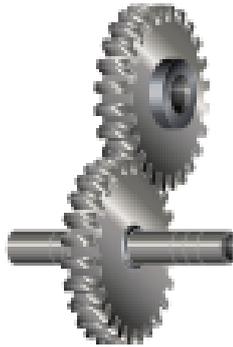
Piñones y cadena



Nota. El gráfico representa el mecanismo de transmisión de una rueda dentada y cadena. Tomado de (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019)

2.9 Engranajes

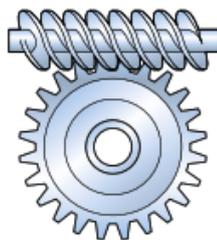
Los engranajes se definen como ruedas dentadas, cuyos dientes encajan entre sí, los mismos que transmiten la fuerza y el movimiento circular, la forma de los dientes determinan la posición y la función de los ejes, teniendo así engranajes rectos, cónicos y engranajes helicoidales. (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019).

Figura 22*Engranaje Recto*

Nota. La figura representa un engranaje recto el cual transmite el movimiento en ejes paralelos. Tomado de (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019)

2.10 Tornillo sinfín-corona.

Está formada por un tornillo y una rueda dentada que se conoce como corona. Este tipo de mecanismo se usa para transmitir movimiento circular entre dos ejes perpendiculares que se cruzan, donde el tornillo siempre es el elemento conductor y la corona el conducido. Se emplean en máquinas que necesitan una reducción de velocidad, como reductores de motores eléctricos, cuentakilómetros, manivelas para andamios y similares.

Figura 23*Tornillo sinfín-corona*

Nota. El gráfico representa el mecanismo de transmisión de un tornillo sinfín-corona. Tomado de (Cedenilla Magán & Cedenilla Magán, 2019)

2.11 Tarjeta de Control.

Es una unidad de control con un chip de memoria, y microprocesadores que van a permitir ejecutar la programación almacenada en la memoria antes mencionada. Por lo general es el microcontrolador el que está encargado de interpretar el lenguaje de programación y convertir las señales de entrada. Toda tarjeta de control requiere una fuente de poder para funcionar, además posee puertos de entrada y salida encargados de receptar y enviar señales tanto digitales como analógicas a velocidades configurables.

Las tarjetas electrónicas de control más utilizadas del mercado son: Arduino, Rasberry, LittleBits, PcDuino, entre otras.

2.12 Arduino

Es una plataforma de código abierto basada en hardware y software sencillos de usar. La placa es capaz de leer señales de entradas como la luz de un sensor o la activación de un botón y convertirlo en una señal de salida como activar un motor, encender un led, para dichas acciones la placa utiliza un lenguaje de programación basado en Wiring y el software Arduino IDE, basado en Processing.

Gracias a una interfaz simple y accesible con el usuario Arduino se ha utilizado en proyectos y diferentes aplicaciones, es posible ejecutar el software de programación en Mac, Windows y Linux. Hay muchos otros microcontroladores y plataformas de microcontroladores disponibles para computación física. Phidgets, MIT's Handyboard, Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24 y muchos otros, ofreciendo una funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los detalles de la programación de los microcontroladores y los transforman en un paquete fácil de usar. Arduino de igual manera simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores. Cabe mencionar algunas ventajas que ofrece sobre otros

sistemas: económicas, multiplataforma, entorno de programación simple y claro, software extensible y de código abierto. (Arduino, 2018)

2.12.1 Arduino Uno

La Arduino uno es una placa basada en el Atmega328P, posee 14 pines de entrada/salida digital de los cuales se puede usar como salidas PWM 6 pines, 6 entradas analógicas, un resonador de 16 MHz, con conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio, puede ser encendido con un adaptador CA a CC o una batería.

Figura 24

Arduino Uno



Nota. Tarjeta controladora Arduino Uno. Tomado de (Arduino, 2018).

Tabla 3

Especificaciones técnicas Arduino Uno

Elemento	Descripción	
Microcontrolador	ATmega328P	
Pines	Pin LED incorporado	13
	Pines de E/S digitales	14
	Pines de entrada analógica	6
	Pines PWM	6
Comunicación	UART	sí
	I2C	sí
	SPI	sí

Elemento	Descripción	
Energía	Voltaje de E/S	5V
	Voltaje de entrada (nominal)	7-12V
	Corriente CC por pin de E/S	20mA
	Conector de fuente de alimentación	Tapón de barril
Dimensiones	Peso	25g
	Ancho	53,4mm
	Longitud	68,6 mm

Nota. La tabla especifica las características técnicas de la tarjeta de control Arduino uno. Tomado de (Arduino, 2018).

2.13 Raspberry

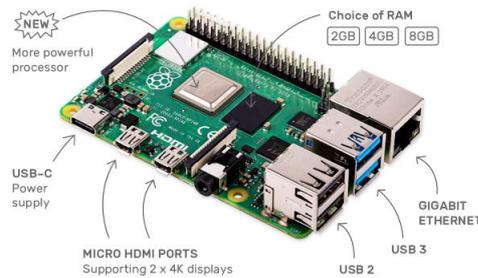
Es una serie de ordenadores de placa reducida u ordenadores de placa simple (SBC) de bajo costo, que busca poner al alcance de todas las personas el poder de la informática y la creación digital, el software es de código abierto, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, conocida como Raspberry Pi OS, en todas las versiones incluyen un procesador broadcom, memoria RAM, Gpu, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO y un conector para cámara, como se puede ver la marca de identidad de Raspberry es una placa base con funciones de mini PC y que se pueda adquirir a bajo costo.

2.13.1 Raspberry Pi 4 modelo B

Es la última versión de esta tarjeta de control, con un procesador de 4 núcleos ofrece tres veces el rendimiento de su predecesor, soporta internet inalámbrico ya que cuenta con WI-Fi y Bluetooth incorporado, el sistema operativo Raspbian es familiar para cualquier usuario de PC.

Figura 25

Raspberry Pi 4-B



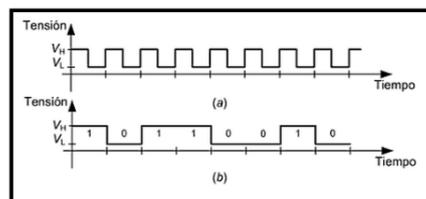
Nota. La figura representa la estructura general de la Raspberry Pi 4-B. Tomado de (Raspberry, 2020).

2.14 Comunicación Serial

Es el proceso de envío de datos bit a bit de modo secuencial a través del bus serial de la computadora. La transmisión de la información se da a través de una señal de datos que representa el 0 con un nivel de tensión bajo (V_L) y un nivel de tensión alto que representa el 1 (V_H). Estas dos señales en sincronismo con el período de una señal de reloj el mismo que determina la duración de un bit de la señal de datos, así como se muestra en la Figura 26 donde se puede observar la transmisión serial de un byte, en la sección (a) se observa la señal del reloj y en la sección (b) la transmisión de la señal de datos, cabe recalcar que la transmisión es sucesiva un bit a continuación del otro. (Acosta Portilla, 2014)

Figura 26

Transmisión de datos en serie



Nota. En la figura se puede observar la representación de la transmisión serial de datos. Tomado de (Valdés Pérez & Pallás Areny, 2007).

Entre el transmisor y el receptor existe formas de sincronización para que la transmisión sea interpretada correctamente por el receptor, en aplicaciones en que las distancias de transmisión son cortas, la señal de los datos típicamente es acompañadas por la señal del reloj, lo cual facilita la sincronización, cuando cumple estos parámetros la comunicación es síncrona; caso contrario cuando la distancia es mayor por lo general resulta imposible la transmisión de la señal del reloj, ya que significaría un incremento en el costo de implementación.

La coordinación entre el transmisor y el receptor se realizan de acuerdo a un protocolo de comunicación, basado en un conjunto de reglas entre el transmisor y receptor, asegurando la transferencia de datos; existen normas como por ejemplo la norma IEEE 802.3, dando a lugar dos tipos de comunicación serial conocidas como síncrona y asíncrona. (Acosta Portilla, 2014)

2.15 Python

Python es un lenguaje de programación de escritura rápida, en su estructura se considera un programa escalable, robusto, pero sobre todo se destaca por ser un programa de código abierto, con mucha información de apoyo y códigos al alcance de todos. Es compatible con sistemas operativos como Linux, Windows o Mac. Es de los lenguajes de programación más rápidos y simplificados, con aplicaciones en seguridad, dispositivos móviles, visión artificial y realidad virtual. (Robledano, 2019)

Figura 27

Logo de Python



Nota. Tomado de (Robledano, 2019).

2.16 OpenCV

Open Source Computer Vision por sus siglas en inglés, nace como una investigación de Intel, en 2006 aparece la primera versión como OpenCV 1.0. Se ha desarrollado múltiples algoritmos, funciones que han sido compatibles con muchos lenguajes de programación y plataformas. Posee más de 2500 algoritmos libres para usos académicos y comerciales. Es compatible con Java, C++ y Python en plataformas como Windows, Mac y Linux. (Marín, 2020)

Figura 28

Logo de OpenCV



Nota. Tomado de (Marín, 2020).

2.17 Histograma de Gradientes Orientados

Un histograma de gradientes orientados es un descriptor de características. Para poder determinar ciertas características de un objeto, este descriptor extrae la información útil y descarta el exceso de información. Por ejemplo, para diseñar un detector de objetivos detectando los botones de playeras o trajes, al ser redondos los botones, se puede realizar la detección de bordes, para este ejemplo tenemos como información útil a los bordes del botón, mientras que el color que poseen será considerado como información irrelevante. Además, se requiere que estas

características se puedan diferenciar de muchas otras, si existen objetos que se parezcan en su forma al botón. (Mallick, 2016)

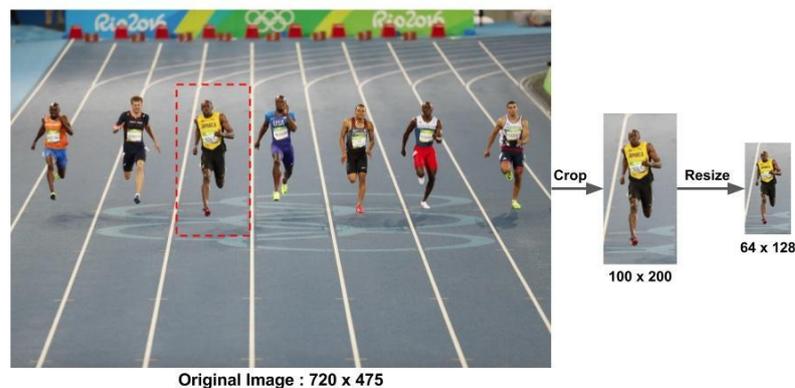
Para calcular el histograma de dirección del gradiente se necesita de algunos pasos:

2.17.1 Preprocesamiento

Para la detección de peatones la función HOG usa una imagen reducida de 64 x 128, cabe recalcar que la imagen original puede ser de cualquier tamaño. En este ejemplo se usa una imagen de 720 x 475, se recorta el área de interés para calcular las características del histograma. La Figura 29 muestra el tamaño original de la imagen, recorta el área de interés y ajusta al tamaño necesario. (Mallick, 2016)

Figura 29

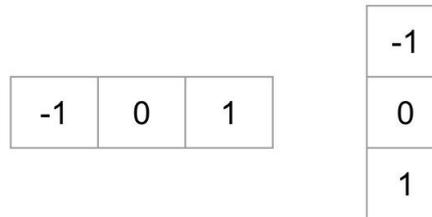
Imagen reducida para el cálculo de HOG



Nota. La figura representa el recorte del área de interés para determinar las características. (Mallick, 2016).

2.17.2 Calcular el gradiente

Para determinar las características primero se debe calcular el gradiente de la imagen en cada una de sus direcciones, tanto vertical como horizontal. Para poder calcularlo, se filtra la imagen original a través de la verificación. (Mallick, 2016).

Figura 30*Cálculo del gradiente*

Nota. La figura representa un ejemplo del gradiente. (Mallick, 2016).

En OpenCV se puede usar el operador de Sobel, para obtener el resultado.

Figura 31*Operador de Sobel en OpenCV*

```

1 # Python gradient calculation
2
3 # Read image
4 im = cv2.imread('bolt.png')
5 im = np.float32(im) / 255.0
6
7 # Calculate gradient
8 gx = cv2.Sobel(img, cv2.CV_32F, 1, 0, ksize=1)
9 gy = cv2.Sobel(img, cv2.CV_32F, 0, 1, ksize=1)

```

Nota. La figura representa el cálculo del gradiente con el operador de Sobel.

(Mallick, 2016).

De igual manera para determinar el valor de la magnitud y dirección del gradiente se lo obtiene con la función `cartToPolar` de OpenCV.

Figura 32

Magnitud y dirección del Gradiente

```
1 # Python Calculate gradient magnitude and direction ( in degrees
2 mag, angle = cv2.cartToPolar(gx, gy, angleInDegrees=True)
```

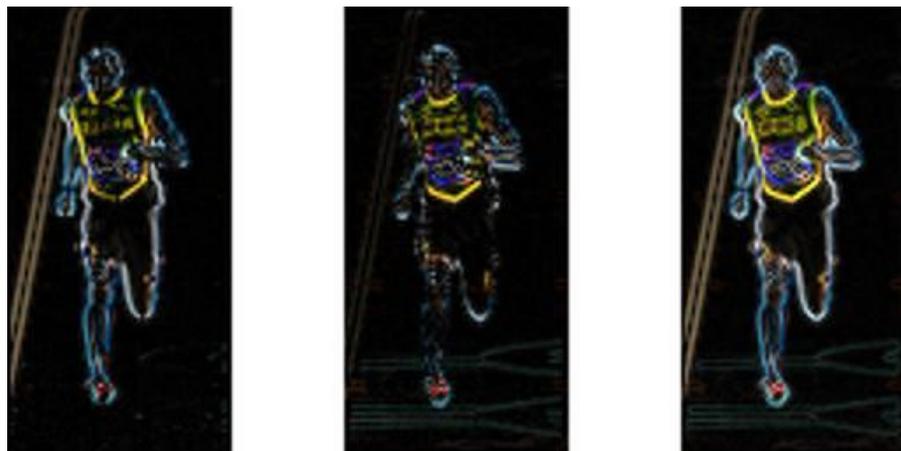
Nota. La figura representa el cálculo de la magnitud y dirección del gradiente.

(Mallick, 2016).

Al ejecutar estos códigos en Python, la imagen del gradiente calculado resultante se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Imagen resultante del gradiente



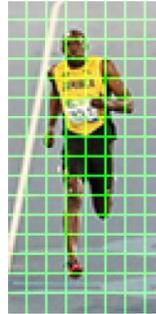
Nota. En la figura de la izquierda la amplitud del gradiente en X, en la central la amplitud en Y, en la derecha el mapa de amplitud del gradiente. (Mallick, 2016).

2.17.3 Histograma del gradiente

Para este proceso es necesario dividir en muchas celdas de 8x8, para poder calcular el histograma de estas celdas.

Figura 34

Región de interés dividida en celdas

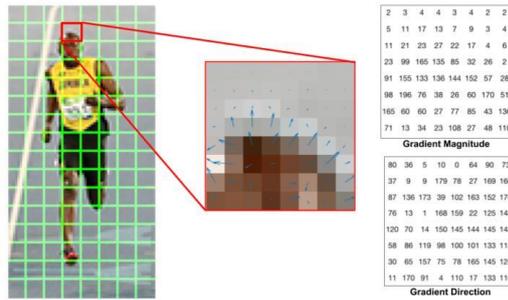


Nota. La figura representa la región de interés dividida en celdas. (Mallick, 2016).

Para determinar el histograma es necesario comprender por qué a la región se la divide en celdas de 8×8 . En los descriptores no se usa la imagen original completa en sí, porque se tendría mucha información que no se requiere, por lo que se busca una imagen más compacta, un bloque de 8×8 que contiene $8 \times 8 \times 3 = 192$ píxeles. Para cada píxel existe cierta información de gradiente donde se encuentra los valores de amplitud y dirección del gradiente, en un total de $8 \times 8 \times 2 = 128$ valores, los cuales representan un histograma de 9 contenedores en una matriz unidimensional. Al tener el histograma de un bloque de imagen convierte este método en uno mucho más robusto al ruido, HOG fue diseñado específicamente para detectar peatones en movimiento. Cada celda de 8×8 en un bloque de imágenes de peatones de 64×128 es lo que se necesita para obtener cada información de interés como el rostro, la parte superior de la cabeza, extremidades superiores e inferiores. En la Figura 35 se puede observar la información que nos otorga el gradiente (Mallick, 2016).

Figura 35

Información obtenida del gradiente

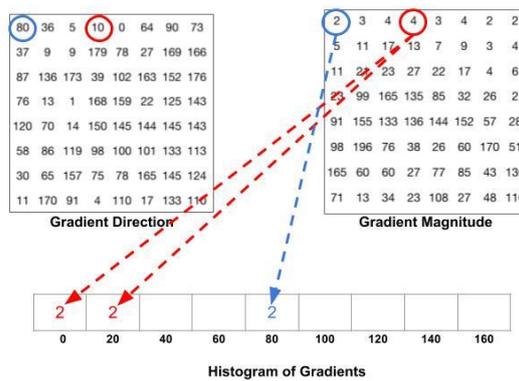


Nota. La figura representa la información obtenida del gradiente. (Mallick, 2016).

La Figura 36 explica la matriz unidimensional que se va llenando con la información proporcionada en dirección y magnitud del gradiente, cada posición se selecciona en función de la dirección del gradiente y del tamaño del mismo.

Figura 36

Matriz del Histograma de Gradiente



Nota. La figura representa la matriz obtenida con los valores de dirección y magnitud del gradiente. (Mallick, 2016).

2.17.4 Visualización del histograma

Para poder visualizar el objeto detectado, generalmente se dibuja en la imagen un bloque correspondiente al vector estandarizado de 9 x 1 de todas las celdas de 8 x 8. De esta manera se captura a la persona y se dibuja un rectángulo en el área detectada.

Figura 37

Visualización de la persona detectada



Nota. La figura representa la imagen detectada de una persona.

Capítulo III

3. Diseño de la maquina lanzadora de balones.

En el presente capitulo se detalla el diseño y construcción de la máquina lanzadora de balones para lo cual se analizó diversos diseños y modelos de máquinas existentes, tanto en el mercado como las realizadas en trabajos de investigación. El objetivo de este análisis es lograr un diseño que se adapte a los requerimientos y funcionalidades propuestas de la máquina para posteriormente realizar un modelado CAD/CAE usando el software SolidWorks que permita bosquejar el proyecto y determinar la factibilidad de posicionamiento de estructuras y componentes. A continuación, se presenta el diseño final de la estructura de la máquina la cual se fundamenta en el disparo de los balones mediante el impulso de dos rodillos giratorios.

Figura 38

Diseño CAD de Maquina Lanzadora de balones



Es apropiado dividir el diseño y dimensionamiento de los componentes de la máquina lanzadora de balones en distintos sistemas para proceder en orden a su construcción.

3.1 Diseño del Sistema de Propulsión

Para el sistema de propulsión es necesario el dimensionamiento de la potencia de dos motores que transmitirán el movimiento a los rodillos giratorios como está establecido en el diseño previo. Se determinan ciertas variables y datos de entrada como velocidad del testeo, presión del aire, etc. Como se muestra en la Tabla 4 la cual permite realizar los cálculos correspondientes.

Tabla 4

Parámetros de diseño del motor

Parámetro	Representación	Valor
Velocidad de testeo Fuente especificada no válida..	V_t	$50 \frac{Km}{h} = 13.89 \frac{m}{s}$
Presión estándar para juego al aire libre.	P	80000 Pa
Radio estándar del balón.	r_b	0.011m
Radio definido de los rodillos.	r	0.075m
Coefficiente de rozamiento de PVC.	μ	0.78

Se establece el radio de contacto entre el balón y el rodillo.

$$r_c = 0.02m$$

Con los parámetros de diseño establecidos se procede a calcular la fuerza normal que se origina entre el balón y los rodillos con la siguiente ecuación.

(Budynas & Nisbett, 2012)

$$N = \frac{2 * \pi * rc^2 * P}{3} \quad (8)$$

$$N = \frac{2 * \pi * (0.02m)^2 * 80000Pa}{3}$$

$$N = 67.02 N$$

Gracias a que se conoce la fuerza normal y el coeficiente de rozamiento se puede calcular la fuerza de rozamiento con la ecuación (6).

$$Fr = 67.02N * 0.78$$

$$Fr = 52.27 N$$

Se calcula el torque requerido.

$$T = Fr * r \quad (9)$$

$$T = 52.27N * 0.075m$$

$$T = 3.92Nm$$

Con los valores de radio del rodillo y la velocidad el balón se calcula la velocidad angular.

$$\omega = \frac{Vt}{r} \quad (10)$$

$$\omega = \frac{13.89m/s}{0.075m}$$

$$\omega = 185.2 \frac{rad}{s}$$

Para calcular la potencia del motor se utiliza los parámetros calculados de velocidad angular y torque. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$P = T * \omega \quad (11)$$

$$P = 3.92Nm * 185.2 \frac{rad}{s}$$

$$P = 725.98 W$$

$$P = 0.97Hp$$

Con la potencia del motor calculada, se decide utilizar un motor de corriente continua debido a sus prestaciones para el control mediante tarjetas de desarrollo. Se escoge el motor CIM de 12 voltios que tiene datos de rendimiento probados de la marca VEX Robotics.

Figura 39

Motor CIM de VEX Robotics



Nota. La figura representa el motor CIM de 12V. Tomado de (Vex Robotics, 2020).

Tabla 5*Características Técnicas del CIM Motor*

Característica Técnica	Valor
Alimentación	12V DC
Velocidad sin carga	5330 rpm
Corriente sin carga	2.7A
Potencia Máxima	337W
Corriente de Arranque	131A

Nota. La tabla representa las características técnicas del motor CIM de 12V (Vex Robotics, 2020).

De igual manera se escoge un driver que permita obtener las mejores características del motor por lo cual se decide adquirir el controlador Víctor SPX de la misma marca.

Figura 40

Controlador Víctor SPX de VEX Robotics



Nota. La figura representa el controlador Víctor SPX. Tomado de (Vex Robotics, 2020).

3.2 Diseño de ejes de rodillos de fricción

Es necesario diseñar el eje que transmite la potencia del motor a los rodillos para lo cual se establecen los siguientes parámetros de diseño.

Tabla 6

Parámetros de diseño de los ejes de motores DC

Parámetro	Representación	Valor
Masa de rodillos de fricción	mr	$2.1kg$
Radio definido de los rodillos	r	$0.075m$
Tiempo de contacto entre el balón y los rodillos	t	$0.7s$
Largo del eje	l	$0.10m$
Velocidad angular inicial	ω_0	$0 \frac{rad}{s}$
Velocidad Angular final	ω_f	$185.2 \frac{rad}{s}$

Con la velocidad angular obtenida anteriormente y el tiempo de contacto se calcula la aceleración angular. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{185.2rad/s - 0}{0.7s}$$

$$\alpha = 1037.12 \frac{rad}{s^2}$$

Se determina la inercia del rodillo de fricción.

$$I = mr * r^2 \quad (13)$$

$$I = 1kg * (0.075m)^2$$

$$I = 0.005626Kg m^2$$

Se determina la fuerza de disparo del balón por parte de los rodillos.

$$F = \frac{(I * \alpha) + (Fr * r)}{r} \quad (14)$$

$$F = \frac{\left(0.005626Kg m^2 * 140.21 \frac{rad}{s^2}\right) + (52.27N * 0.075m)}{0.075 m}$$

$$F = 157.44N$$

Se establece que la reacción ejercida en el plano X es correspondiente a la fuerza normal formada por el balón en los rodillos.

$$Rx = 67.02N$$

Esta reacción produce el siguiente momento en el eje x.

$$Mx = Rx * l \quad (15)$$

$$Mx = 67.02N * 0.1m$$

$$Mx = 6.702Nm$$

Figura 41

Diagrama de cargas y fuerza cortante eje x de eje de motor DC

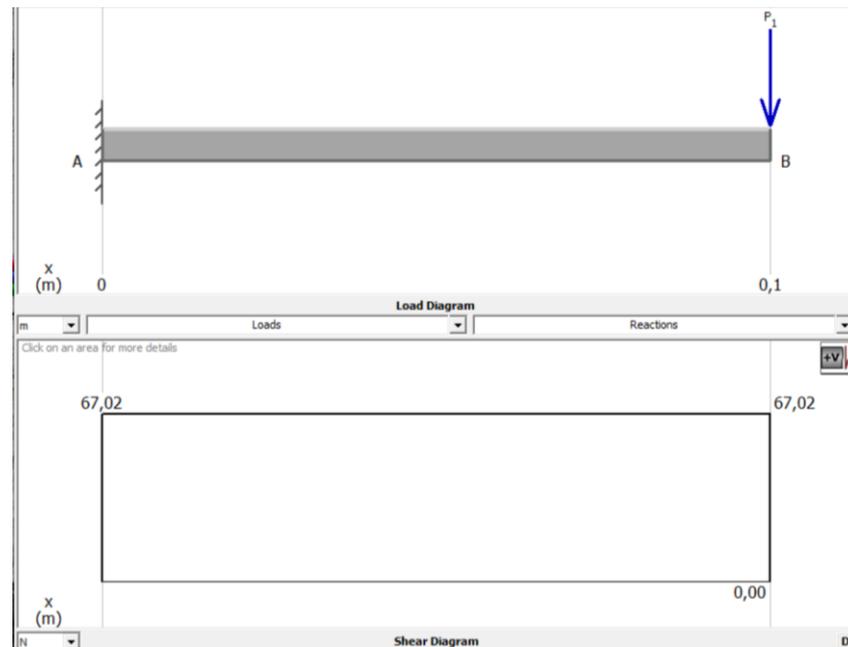
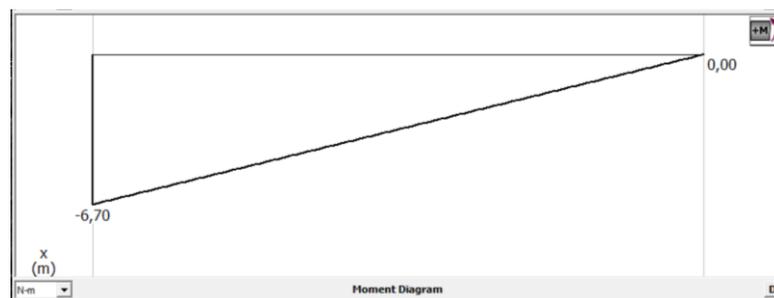
**Figura 42**

Diagrama de momento generado en eje x de eje de motor DC



Para el eje y del eje diseñado se resta la fuerza de rozamiento de la fuerza de expulsión.

$$R_y = F - Fr$$

$$R_y = 157.44N - 52.27N$$

$$R_y = 105.17N$$

Esta reacción genera el siguiente momento:

$$M_y = R_y * l$$

$$M_y = 10.51N * 0.1m$$

$$M_y = 10.51Nm$$

Figura 43

Diagrama de cargas y fuerza cortante eje y de eje de motor DC

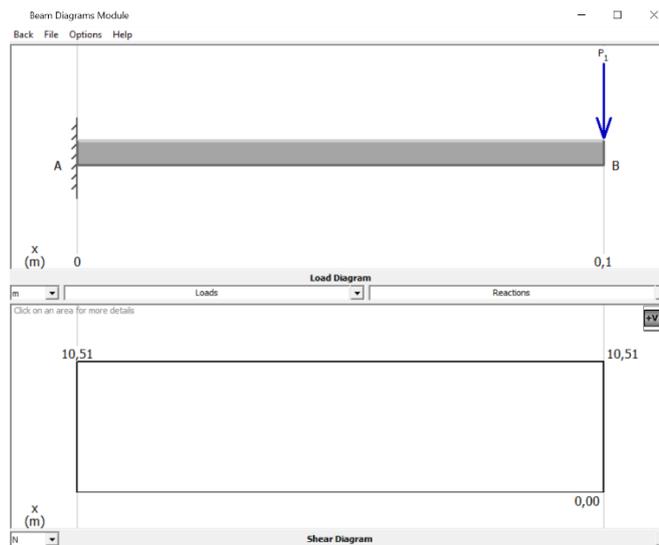
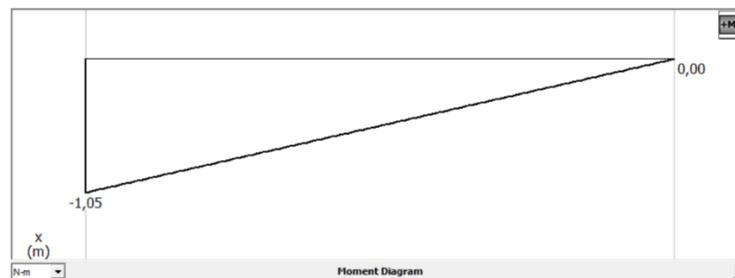


Figura 44

Diagrama de momento generado en eje y de eje de motor DC



Se determinan los siguientes factores de diseño. (Mott, 2006)

Factor de seguridad establecido para ejes.

$$N = 2$$

Facto de diseño para ejes con un cuñero en trineo.

$$K_t = 1.6$$

Resistencia a la cadencia del aluminio.

$$S_y = 55MPa$$

Resistencia máxima.

$$S_u = 124MPa$$

Con los factores de diseño mencionados se procede a calcular la resistencia a la fatiga.

$$S_n = 0.5 * S_u \quad (16)$$

$$S_n = 62Mpa$$

Se plantea el factor de tamaño de acuerdo a las dimensiones del eje suministrado por el fabricante del motor $D = 12mm$. (Mott, 2006)

$$C_s = (D/7.62)^{-0.11} \quad (17)$$

$$C_s = (12/7.62)^{-0.11}$$

$$C_s = 0.95$$

Para una confiabilidad deseada de 0.999 se establece el siguiente factor.

$$C_R = 0.75$$

Con todos los datos anteriores se puede proceder al cálculo de la resistencia a la fatiga modificada.

$$S'_n = S_n * C_S * C_R \quad (18)$$

$$S'_n = 62MPa * 0.95 * 0.75$$

$$S'_n = 44.17MPa$$

Se procede a calcular las reacciones y los momentos resultantes en los planos x , y .

$$M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

$$M_R = \sqrt{(6.702Nm)^2 + (1.051Nm)^2}$$

$$M_R = 6.7839Nm$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{(67.02N)^2 + (10.51N)^2}$$

$$R = 67.83N$$

Se calcula el diámetro del eje con los datos obtenidos.

$$D = \left[\left(\frac{32N}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{KtM_R}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 } \right]^{1/3} \quad (19)$$

$$D = \left[\left(\frac{32(2)}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{1.6(6.7839Nm)}{44.17MPa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{3.92Nm}{55MPa} \right)^2 } \right]^{1/3}$$

$$D = 0.017m$$

$$D = 17mm$$

Se calcula el diámetro usando la fuerza resultante. (Mott, 2006)

$$D = \sqrt{2.94 Kt(R)N/S'_n} \quad (20)$$

$$D = \sqrt{2.94 (1.6)(67.83N)(2)/(44.17MPa)}$$

$$D = 0.0038m$$

$$D = 3.8mm$$

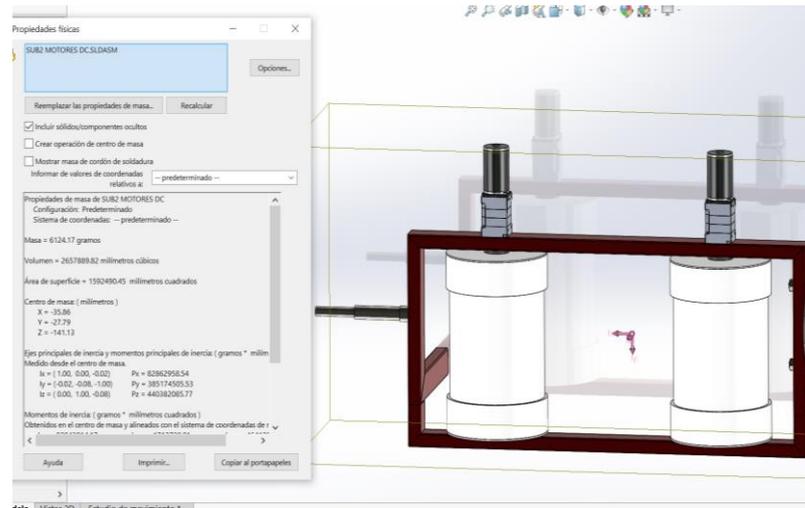
Se concluye que el diámetro de 17mm se tomará como fundamento de diseño del eje del motor. El proveedor del motor proporcionó un eje de 12 mm por lo que se necesitó realizar un acople tipo caja con un eje de 20mm con lo cual se alcanza un diseño seguro.

3.3 Dimensionamiento de motor de eje vertical

Para el dimensionamiento de este motor se tomó en cuenta la carga a la que va a estar sometido, la cual consta de la estructura, los motores DC, rodillos, ejes y chumaceras. Para tener una idea de esta carga se realizó el diseño CAD de esta parte de la maquina y se obtuvo el peso de todos los componentes.

Figura 45

Propiedades Físicas del ensamble final de eje vertical



El resultado aproximado del peso de los componentes es de 6 kg y por motivos de diseño se considerará 10 kg como la masa total de el ensamble de eje vertical.

Se escoge un motor paso a paso para el movimiento de este eje debido a la precisión de este tipo de motores además de que por sus características permite controla su posición angular y encajaría perfectamente en el diseño de la máquina para la realización de un simple y preciso sistema de control a lazo abierto.

Se establece que la transmisión del motor al eje será a través de un cuñero con una chaveta. Se requiere saber la longitud de arco que se recorrería al mover el eje $\alpha = 45^\circ$.

$$S = r * \alpha \quad (21)$$

$$S = 0.015m * \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

$$S = 0.011m$$

Con este dato se puede calcular el trabajo y posteriormente la potencia requerida por el motor.

$$W = F * S \quad (22)$$

$$W = 10kg * \frac{9.81m}{s^2} * 0.011m$$

$$W = 1.0791Nm$$

Con el propósito de que la máquina sea veloz se establece que el movimiento de todos los componentes del eje vertical se realice en $t = 0.5seg$ por consiguiente.

$$P = \frac{W}{t} \quad (23)$$

$$P = \frac{1.0791Nm}{0.5seg}$$

$$P = 2.15Watt$$

$$P = 2.8930 \times 10^{-3}Hp$$

Con el fin de que el controlador sea robusto, rápido y que rinda la cantidad de pulsos necesarios para mover el eje vertical con facilidad. Se escoge el StepperOnline DM542T que trabaja con motores NEMA 17 al 24 y que posee las siguientes características técnicas.

Figura 46

Controlador DM542T



Nota. La figura representa el controlador DM542T. Tomado de (StepperOnline O. , 2021).

Tabla 7

Características técnicas del controlador DM542T

Características	Valor
Corriente pico de salida	4.2A
Voltaje de entrada lógico	20 – 50VDC
Corriente de pulso de señal	7 – 16 mA
Frecuencia de pulso de entrada	200KHz
Ancho de pulso mínimo	3.5us
Micro pasos	400 – 25600 steps/rev

Nota. La tabla representa las características técnicas del controlador DM542T. Tomado de (StepperOnline O. , 2021).

Para encontrar la cantidad de pulsos necesarios para mover la distancia requerida de $S = 0.011m$ se tiene que:

$$0.011m * \frac{1Rev}{0.094m} * \frac{25000pulsos}{rev} = 2925.5 pulsos$$

Se requiere mover la estructura del eje vertical en aproximadamente 1.5seg.

$$2900 \frac{pulsos}{1.5 seg} = 1950.3 pulsos/seg$$

En este caso se enviarán los pulsos a través de una placa Arduino la cual tiene una señal de 490Hz.

Se calcula las RPM necesarias para mover la distancia especificada.

$$0.011m * \frac{1 rev}{0.094m} = 0.1170rev$$

$$\frac{0.1170rev}{7seg} = \frac{0.078rev}{seg} * \frac{3600 seg}{1min} = 60RPM$$

Con estos datos es factible calcular el torque requerido por el motor aplicando la siguiente formula en Kg.m.

$$T = \frac{Hp * 716}{RPM} \quad (24)$$

$$T = \frac{2.8930 \times 10^{-3} Hp * 716}{60RPM}$$

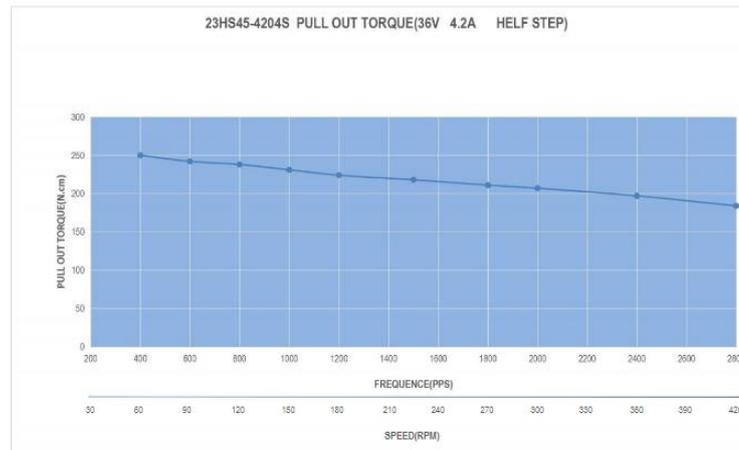
$$T = 0.03452Kgf.m$$

$$T = 0.3385 Nm * \frac{100cm}{1m} = 33.85 N cm$$

Con el dato de torque se puede realizar la selección del motor a partir de gráficas que provee el fabricante del controlador en el que muestra la respuesta del torque de arranque, frecuencia y velocidad usando el controlador DM542T.

Figura 47

Curva de respuesta de motor NEMA modelo 23HS45-4204S



Nota. La figura representa la curva de respuesta del motor Nema. Tomado de (StepperOnline O. , 2021).

Por lo tanto, se escoge el motor NEMA 23 de alto par de torsión el cual cumple con los requerimientos para el movimiento del eje vertical y el cual presenta las siguientes características técnicas:

Figura 48

Motor NEMA 23 3Nm de torque



Nota. La figura representa el motor Nema 23 de alto torque. Tomado de (StepperOnline, 2021).

Tabla 8*Características técnicas Motor NEMA 23*

Características	Valor
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Ángulo de paso	1.8°
Par de sujeción	3Nm
Corriente nominal	4.2A
Resistencia de fase	0.9Ω
Inductancia	3.8mH +/-20% (1KHz)

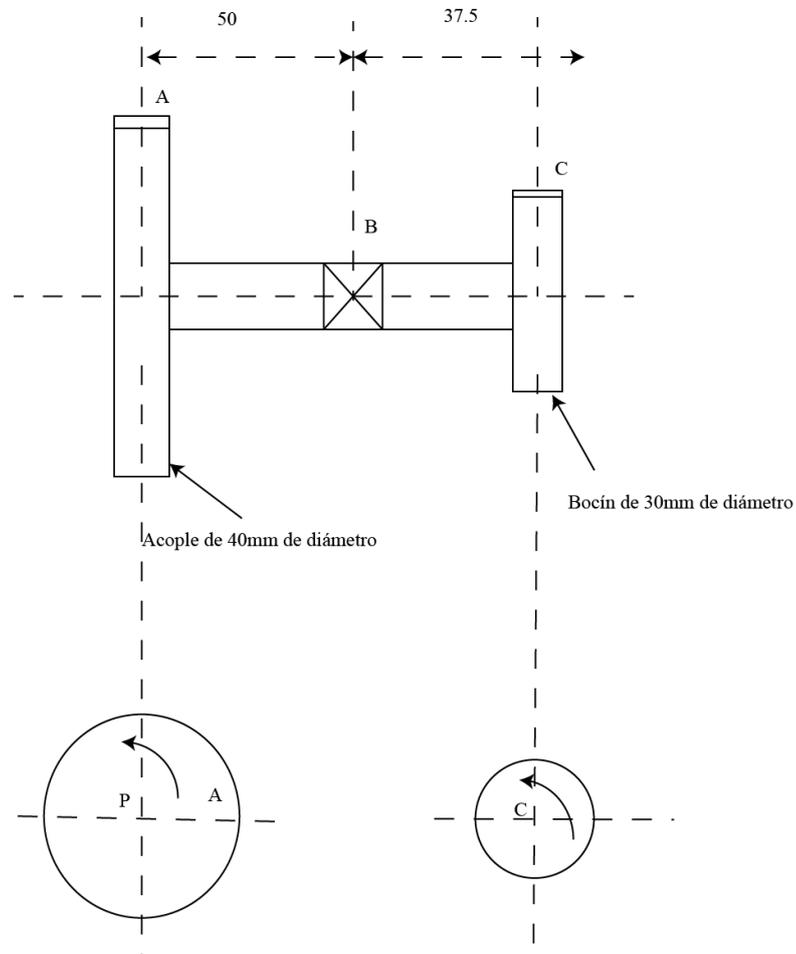
Nota. La figura representa las características técnicas del motor Nema 23 de alto torque. Tomado de (StepperOnline, 2021).

3.4 Diseño de eje de transmisión de eje vertical

Se requiere diseñar un eje que transmita el movimiento de 60RPM del motor NEMA 23 de 3Nm de torque de arranque por medio de un cuñero-chaveta. El material del eje y la chaveta es de acero ASTM A36. El factor de seguridad para los dos componentes es $N=2$ y la resistencia a la fluencia del acero es de $S_y = 250MPa$

Figura 49

Diagrama de distribución de componentes de flecha de eje vertical



Se determinan los siguientes factores de diseño:

Factor de seguridad establecido para ejes. (Mott, 2006)

$$N = 2$$

Factor de diseño para ejes con un cuñero en trineo.

$$K_t = 1.6$$

Resistencia a la tracción del acero.

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

Resistencia máxima.

$$S_u = 400MPa$$

Con los factores de diseño mencionados se procede a calcular la resistencia a la fatiga con la ecuación (16) .

$$S_n = 200Mpa$$

Para una confiabilidad deseada de 0.999 se establece el siguiente factor:

$$C_R = 0.75$$

Con todos los datos anteriores se puede proceder al cálculo de la resistencia a la fatiga modificada con la ecuación (18).

$$S'_n = 200Mpa * 0.95 * 0.75$$

$$S'_n = 142.5MPa$$

Se calculan las fuerzas que actúan sobre el engranaje A y C donde:

D representa el diámetro de paso del engranaje.

W_t representa la fuerza tangencial.

$$W_{tA} = \frac{TA}{(D_A/2)} \quad (25)$$

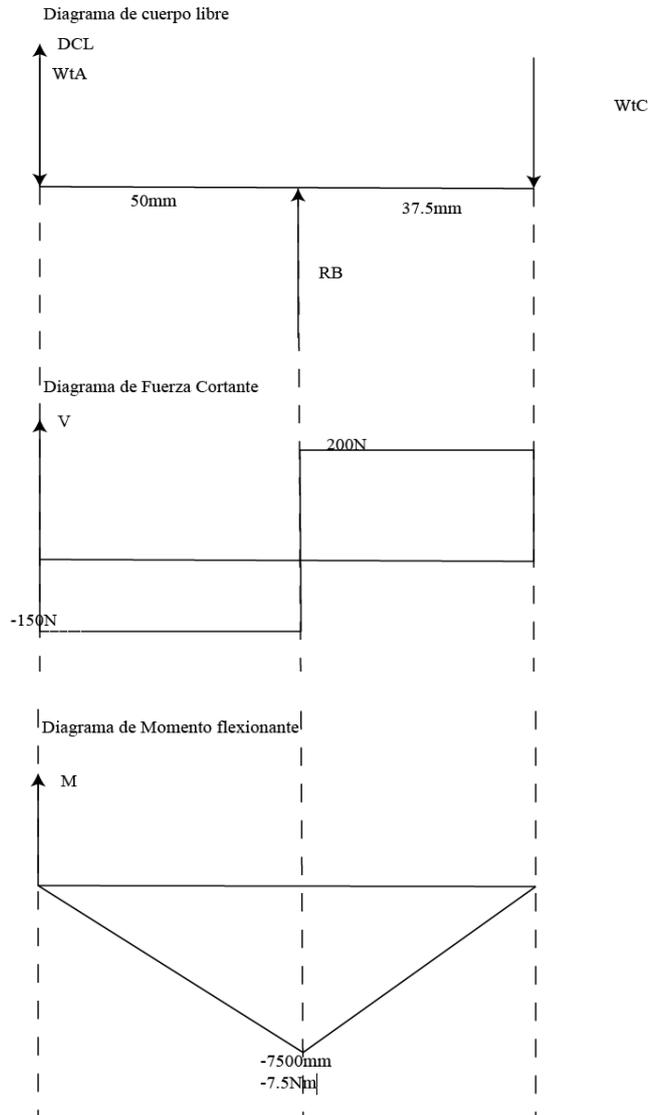
$$W_{tA} = \frac{3Nm}{(0.04m/2)} = 150N$$

$$W_{tC} = \frac{TC}{(D_c/2)} = 200N$$

Se calculan las reacciones, los diagramas de fuerza cortante y momento flexionaste en cada punto de interés en el plano tangencial.

Figura 50

Diagramas de cargas, fuerza cortante y momento flexionante de flecha de eje vertical



Se calcula el diámetro en A de acuerdo a la torsión. (Mott, 2006)

$$D = \left[\left(\frac{32N}{\pi} \right) \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad (26)$$

$$D = \left[\left(\frac{32 * 2}{\pi} \right) \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{3\text{Nm}}{250 \times 10^6 \text{Pa}} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 5\text{mm}$$

Se calcula también el diámetro de acuerdo a las condiciones de esfuerzo combinado presentadas de acuerdo a la ecuación (19).

$$D = \left[\left(\frac{32 * 2}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{1.6 * 7.5Nm}{142.5 \times 10^6 Pa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{3Nm}{25 \times 10^6 Pa} \right)^2 } \right]^{1/3}$$

$$D = 12mm$$

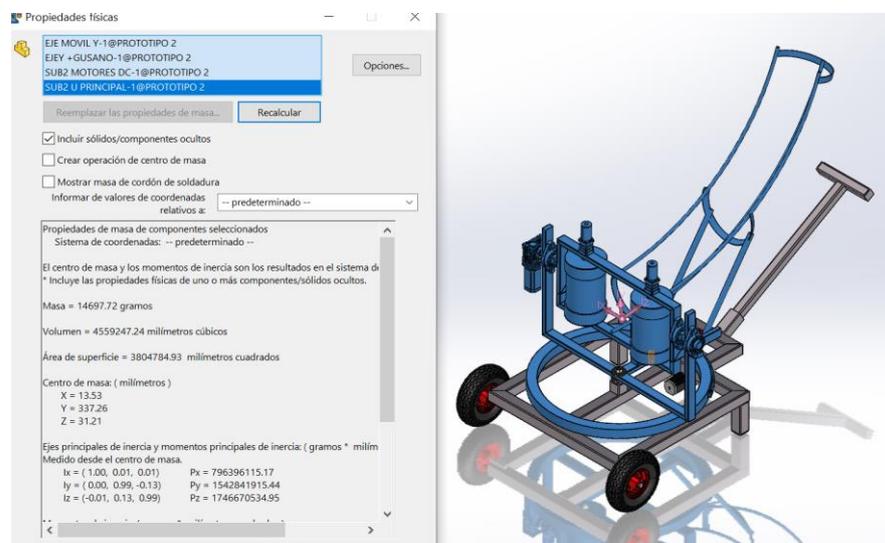
Por lo tanto, se escoge el diseño de mayor dimensión $D = 12mm$.

3.5 Dimensionamiento de motor de eje horizontal

Para el dimensionamiento de este motor se estableció como carga al peso de la estructura del eje vertical junto con el anillo de transmisión y además de todos sus componentes electrónicos incorporados. De igual manera se bosquejó con un diseño CAD preliminar para conocer un valor aproximado de la carga.

Figura 51

Propiedades Físicas del ensamble final de eje horizontal



El resultado aproximado del peso de los componentes es de 14.6 *kg* y por motivos de diseño se considerará 18 *kg* como la masa total de el ensamble de eje horizontal.

De la misma manera se escoge un motor paso a paso por todas las facilidades y aplicaciones favorables a este proyecto para poder realizar un sencillo y preciso control en lazo abierto.

Se establece que la transmisión del motor al eje será a través de un cuñero con una chaveta. Se requiere saber la longitud de arco que se recorrería al mover el eje $\alpha = 90^\circ$ mediante la aplicación de la ecuación (21).

$$S = 0.02m * \frac{\pi}{2} rad$$

$$S = 0.03141m$$

Con este dato se puede calcular el trabajo y posteriormente la potencia requerida por el motor usando la ecuación (22).

$$W = 20kg * \frac{9.81m}{s^2} * 0.01570m$$

$$W = 6.1638Nm$$

Se establece que el eje horizontal realizará un movimiento de 90° en $t = 2seg$ por consiguiente se calcula la potencia con la ecuación (23).

$$P = \frac{3.08Nm}{2seg}$$

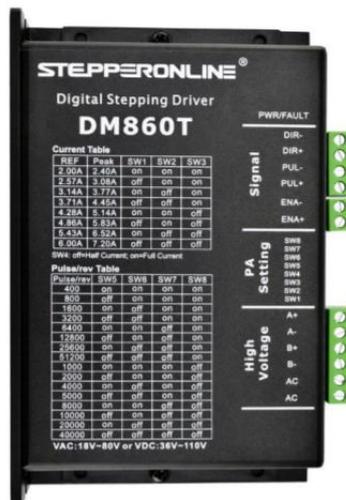
$$P = 3.08Watt$$

$$P = 4.13034 \times 10^{-3} Hp$$

Con el objetivo de que este eje de movimiento sea igualmente ágil y de respuesta precisa se pensó en su robustez al usar el controlador StepperOnline DM860T que trabaja con motores NEMA 24 al 34 y que posee las siguientes características técnicas.

Figura 52

Controlador DM860T



Nota. La figura representa el controlador StepperOnline DM860T. Tomado de (StepperOnline O. , 2021).

Tabla 9

Características técnicas del controlador DM860T

Características	Valor
Corriente pico de salida	47.2A
Voltaje de entrada lógico	36 – 110VDC 18 – 80VAC
Corriente de pulso de señal	7 – 16 mA
Frecuencia de pulso de entrada	200KHz
Ancho de pulso mínimo	2.5us
Micro pasos	400 – 40000 <i>steps/rev</i>

Nota. La tabla representa las características técnicas del controlador DM860T.

Tomado de (StepperOnline, 2021).

Para encontrar la cantidad de pulsos necesarios para mover la distancia requerida de

$S = 0.03141m$ se tiene que:

$$0.03141m * \frac{1Rev}{0.1256m} * \frac{30000pulsos}{rev} = 7502.38 pulsos$$

Se requiere mover la estructura del eje vertical en aproximadamente 2seg.

$$7500 \frac{pulsos}{1.5 seg} = 5000 pulsos/seg$$

Para la operación de este motor se enviarán los pulsos a través de los pines 5 y 6 de la placa Arduino la cual tiene una señal de 980Hz.

Se calcula las RPM necesarias para mover la distancia especificada.

$$0.03141m * \frac{1 rev}{0.1256m} = 0.25rev$$

$$\frac{0.25rev}{3seg} = \frac{0.08333rev}{seg} * \frac{3600 seg}{1min} = 300RPM$$

Con estos datos es factible calcular el torque requerido por el motor aplicando la ecuación (24).

$$T = \frac{Hp * 716}{RPM}$$

$$T = \frac{4.13034x10^{-3}Hp * 716}{300RPM}$$

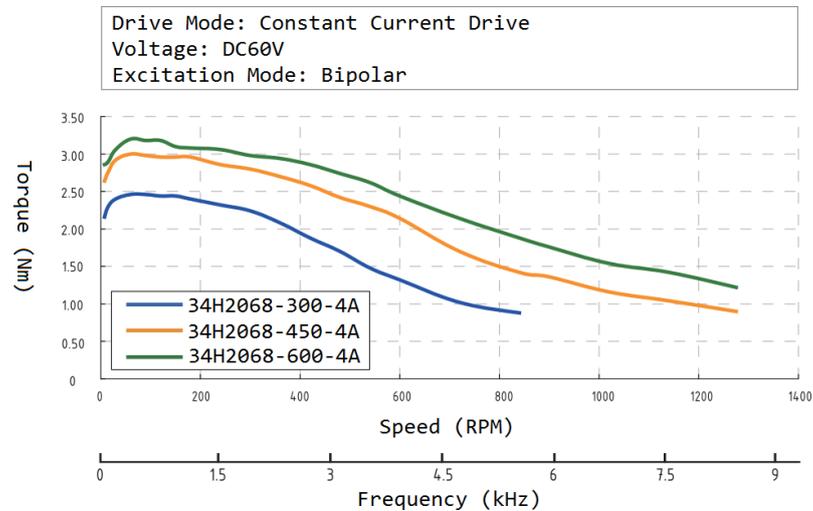
$$T = 9.85x10^{-3}Kgf.m$$

$$T = 0.9667 Nm * \frac{100cm}{1m} = 96.67 N cm$$

Con el dato de torque se puede realizar la selección del motor a partir de gráficas que provee el fabricante del controlador en el que muestra la respuesta del torque de arranque, frecuencia y velocidad usando el controlador DM860T.

Figura 53

Curva de respuesta de diferentes modelos de motor NEMA 34



Nota. La figura representa las curvas de respuesta del motor Nema 34.

Tomado de (Dings, 2021).

Por lo tanto, se escoge el motor NEMA 34 modelo 34h2068 300 4A el cual cumple con los requerimientos para el movimiento del eje horizontal y presenta las siguientes características técnicas mostradas en la Tabla 10

Figura 54

Motor NEMA 34 modelo 34h2068 300 4A



Nota. La figura representa el motor Nema 34. Tomado de (StepperOnline, 2021).

Tabla 10

Características técnicas Motor NEMA 23

Característica	Valor
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Ángulo de paso	1.8°
Par de sujeción	8.5Nm
Corriente nominal	6A
Resistencia de fase	0.5Ω
Inductancia	6mH +/-20% (1KHz)

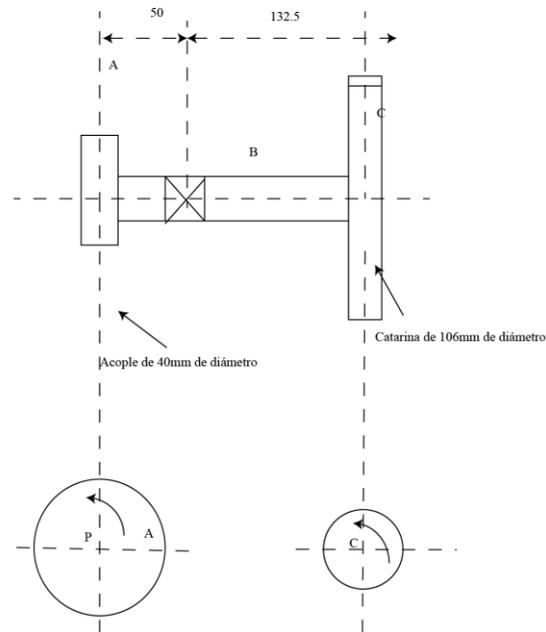
Nota. La tabla representa las características técnicas del motor Nema 34. Tomado de (StepperOnline, 2021).

3.6 Diseño de eje de transmisión de eje horizontal

Para este eje de debe transmitir el movimiento de 300RPM del motor NEMA 34 de 8Nm de torque de arranque por medio de un cuñero-chaveta a una Catarina que actuará en forma de un sistema piñón-cremallera adaptado, realizado de esta manera la transmisión debido al alto costo de un sistema manufacturado. El material del eje y la chaveta es de acero ASTM A36. El factor de seguridad para los dos componentes es $N=2$ y la resistencia a la fluencia del acero es de $S_y = 250MPa$.

Figura 55

Diagrama de distribución de componentes de flecha de eje vertical



Se determinan los siguientes factores de diseño:

Factor de seguridad establecido para ejes. (Mott, 2006)

$$N = 2$$

Factor de diseño para ejes con un cuñero en trineo.

$$K_t = 1.6$$

Resistencia a la cadencia del acero.

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

Resistencia máxima.

$$S_u = 400 \text{ MPa}$$

Con los factores de diseño mencionados se procede a calcular la resistencia a la fatiga con la ecuación (16).

$$S_n = 200 \text{ MPa}$$

Para una confiabilidad deseada de 0.999 se establece el siguiente factor:

$$C_R = 0.75$$

Con todos los datos anteriores se puede proceder al cálculo de la resistencia a la fatiga modificada en este eje con el uso de la ecuación (18).

$$S'_n = 200\text{MPa} * 0.95 * 0.75$$

$$S'_n = 142.5\text{MPa}$$

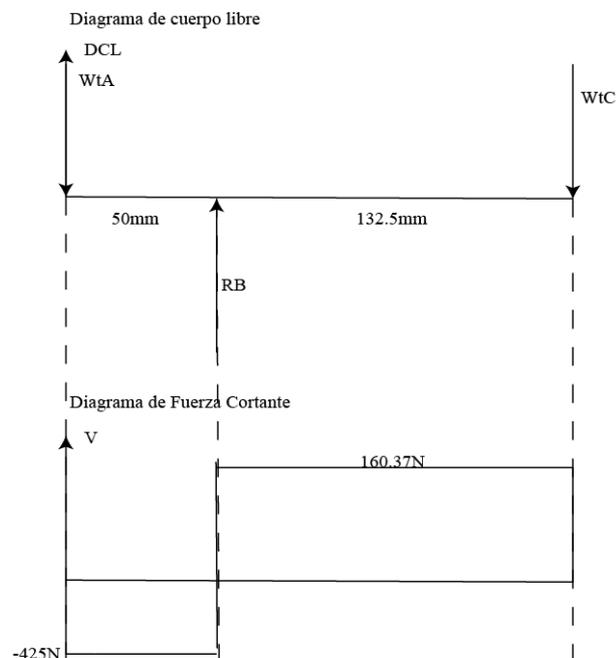
Se calculan las fuerzas que actúan sobre el engranaje A y C con la aplicación de la ecuación (25).

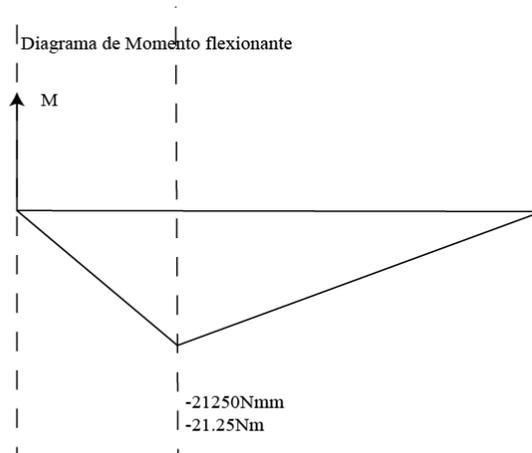
$$W_{tC} = \frac{TC}{(D_c/2)} = 160.37\text{N}$$

Se calculan las reacciones, los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en cada punto de interés en el plano tangencial.

Figura 56

Diagramas de cargas, fuerza cortante y momento flexionante de flecha de eje vertical





Se calcula el diámetro en A de acuerdo a la torsión mediante la ecuación (26).

$$D = \left[\left(\frac{32 * 2}{\pi} \right) \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{8.5Nm}{250 \times 10^6 Pa} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 8.4mm$$

Se calcula también el diámetro de acuerdo a las condiciones de esfuerzo combinado presentadas con la ya conocida ecuación (19).

$$D = \left[\left(\frac{32 * 2}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{1.6 * 21.25Nm}{142.5 \times 10^6 Pa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{8.5Nm}{250 \times 10^6 Pa} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 16.98mm \approx 17mm$$

Por lo tanto, se escoge el diseño de mayor dimensión $D = 17mm$.

3.7 Sistema de Alimentación

3.7.1 Fuente de Alimentación

En el punto anterior, se definió cada uno de los componentes electrónicos que cumplen con los requerimientos del diseño del equipo y estos se enlistan en la Tabla 11, por lo cual es necesario determinar una fuente AC/DC para proporcionar los voltajes y corrientes necesarias para asegurar un funcionamiento adecuado de la máquina en las sesiones de entrenamiento.

Tabla 11

Corrientes y voltajes consumidos por los elementos

Características	Cantidad	Voltaje	Corriente
Motor CIM	2	12V	10.8A
Motor InstallGear	2	12V	2A
Motor Nema 23	1	24V	4.2A
Motor Nema 34	1	36V	6A
Raspberry Pi4 B+	1	5V	3.5A
Arduino Uno	1	5V	46mA

Para la selección de las fuentes se dividirá en dos grupos. El primer grupo estará conformado por: Motor CIM, Installgear, Raspberry Pi4 B+ y Arduino Uno en los cuales se utilizará una fuente de máximo 12Vcc. En el segundo grupo se encuentran los motores Nema 23 y 34 los cuales necesitan una alimentación de 24 y 36 Vcc. Por lo cual es necesario calcular la potencia requerida en estos dos grupos de elementos:

$$P_{0-12V} = 12v * (10.8A + 2A + 3.5A + 46mA)$$

$$P_{0-12V} = 200W$$

Por lo tanto, para el primer grupo se elige una fuente con un voltaje de salida de 12 Vcc y una potencia mayor a 200W.

Figura 57

Fuente 12Vcc/240W/20A



Nota. La figura muestra la Fuente 12Vcc/240W/20A. Tomado de (GrupoVelasco, 2020).

Tabla 12

Características técnicas Fuente 12Vcc/240W/20A

Característica	Valor
Voltaje de Salida	12Vcc
Corriente	20A
Potencia máxima	240W
Protección	IP60
Reducción de Ruido	Si

La fuente mostrada en la Figura 57 presenta las mejores prestaciones en el mercado, con una potencia mucho mayor a la requerida, el tamaño es ideal para el acople dentro de la caja de control y adicionalmente una protección IP60 y reducción de ruido que mantiene el voltaje y corriente requeridas durante su funcionamiento, asegurando un correcto funcionamiento de los equipos.

Para los elementos del segundo grupo se determina la potencia requerida por la fuente:

$$P_{12-36V} = 36v * (6A + 4.2A)$$

$$P_{12-36V} = 368W$$

Por lo tanto, para los elementos del segundo grupo se elige una fuente con un voltaje de salida de 36 Vcc y una potencia mayor a 368W.

Figura 58

Fuente 36Vcc/600W/16.7A



Nota. La figura muestra la Fuente 36Vcc/600W/16.7A Tomado de (GrupoVelasco, 2020).

Tabla 13

Características técnicas Fuente 12Vcc/240W/20A

Característica	Valor
Voltaje de Salida	36Vcc
Corriente	16.7A

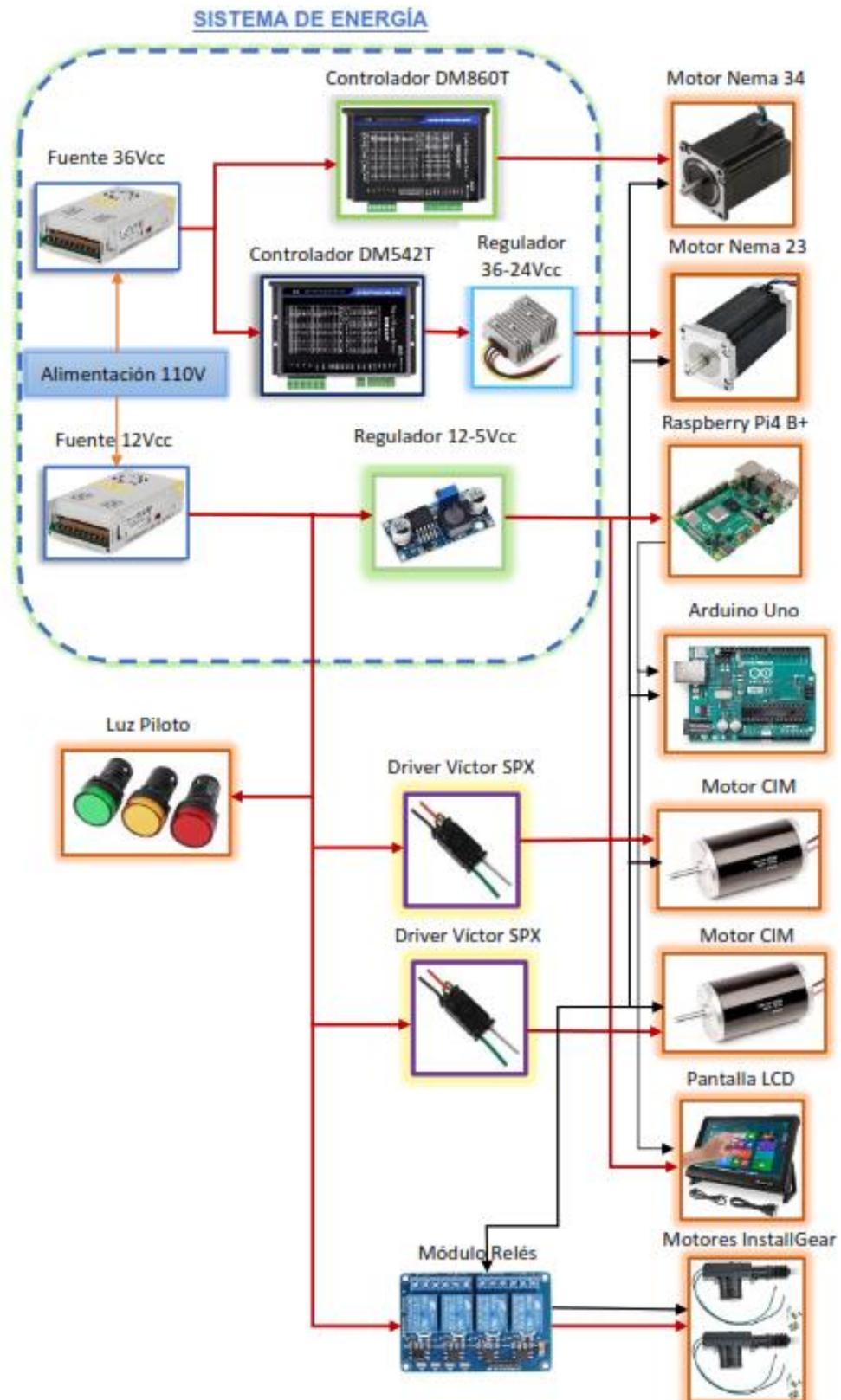
Característica	Valor
Potencia máxima	600W
Protección	IP60
Reducción de Ruido	Si

La fuente mostrada en la Figura 58 presenta las mejores prestaciones en el mercado, con una potencia mucho mayor a la requerida, el tamaño es ideal para el acople dentro de la caja de control y adicionalmente una protección IP60 y reducción de ruido que mantiene el voltaje y corriente requeridas durante su funcionamiento, asegurando un correcto funcionamiento de los equipos.

La Figura 59 detalla el diagrama de alimentación de todo el sistema, en el cual se puede observar las dos fuentes utilizadas y la distribución de energía en el sistema, fue necesario el uso de reguladores de voltaje para satisfacer los requerimientos de voltaje de cada elemento.

Figura 59

Diagrama de Alimentación



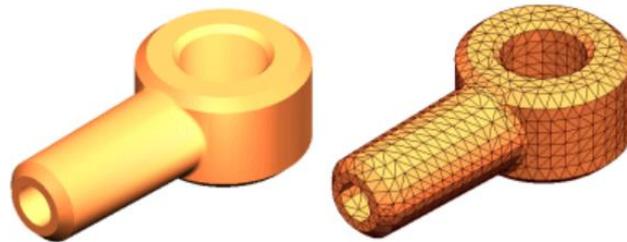
3.8 Validación de Diseños por medio de CAE (Ingeniería Asistida por computador)

A partir del modelado CAD previo de la máquina se puede iniciar procedimientos de validación por medio de simulación de elementos finitos (MEF) en SolidWorks Simulation (estudiantil) que es un método altamente utilizado para analizar diseños en ingeniería.

En este proceso se divide el modelo en numerosas piezas que están unidas entre si mediante nodos, lo cual produce un mallado que permite analizar el comportamiento del elemento bajo la aplicación de las diferentes cargas y soportes mecánicos. (Solidworks, 2021)

Figura 60

Análisis por elementos finitos SolidWorks Simulation

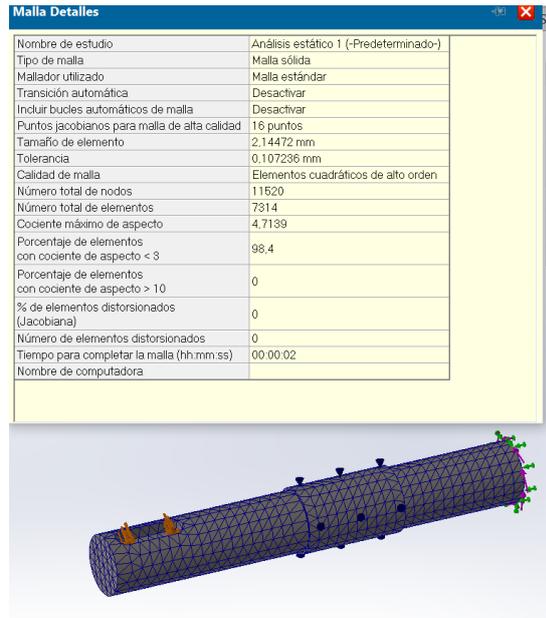


Nota. La figura representa el análisis de elementos finitos de SolidWorks Simulation. Tomado de (Solidworks, 2021).

Se utilizó este método de análisis para validar el diseño del eje vertical el cual se procedió a realizar el mallado y aplicación de cargas y soportes para su posterior procesamiento.

Figura 61

Malla aplicada al modelo CAD de eje vertical



Posteriormente, se ejecuta el análisis obteniendo diferentes resultados de tensión de Von Mises, desplazamientos, deformación unitaria y factor de seguridad como se muestra a continuación.

Figura 62

Análisis de tensión de Von Mises en eje vertical

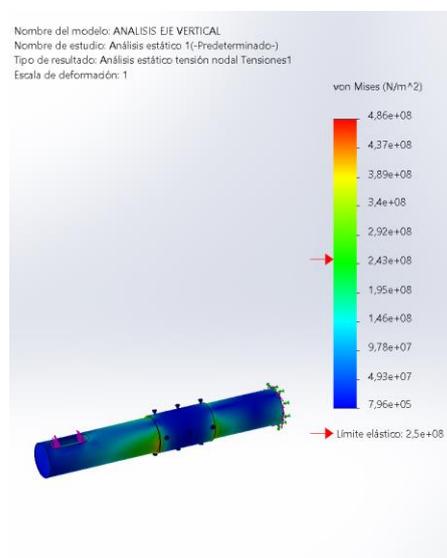
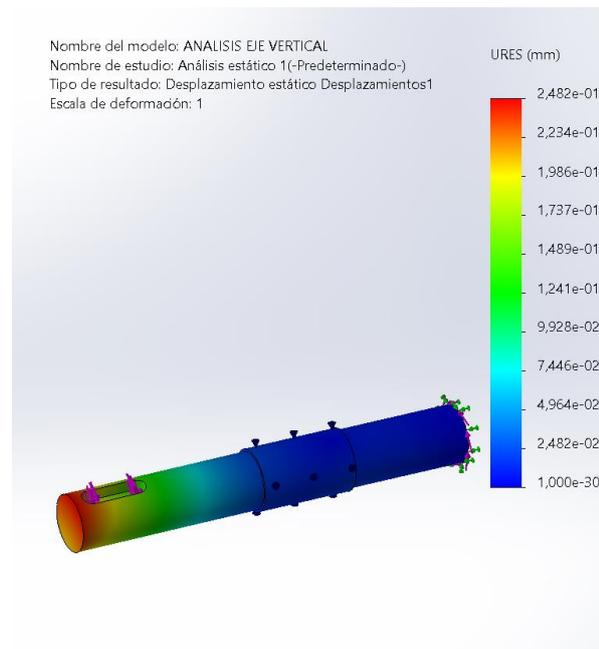


Figura 63

Análisis de desplazamiento en eje vertical

**Figura 64**

Análisis de deformación unitaria en eje vertical

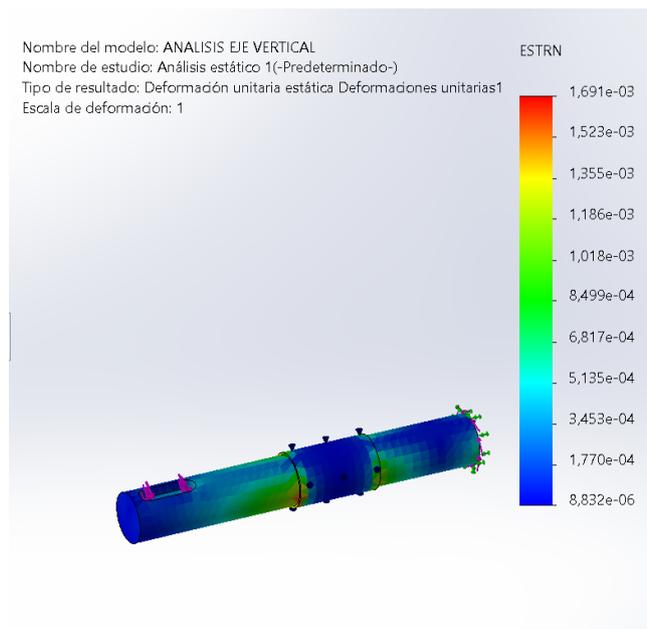
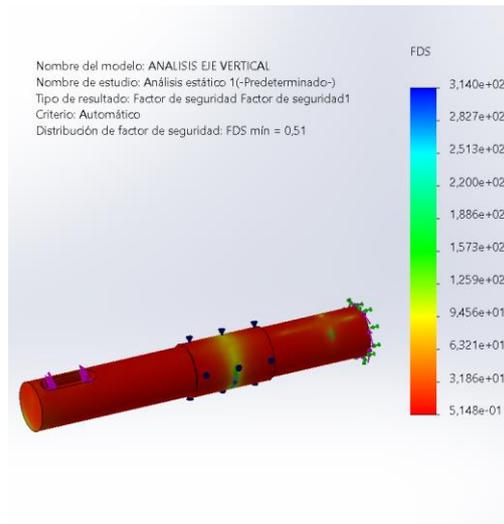


Figura 65

Análisis de factor de seguridad en eje vertical



Realizando una comparativa entre el factor de seguridad mínimo resultado del análisis de elementos finitos $FDS_{mín} = 0,51$ el cual es mucho menor que el factor de seguridad establecido en los cálculos de $N = 2$. Se puede concluir que el diseño realizado es fiable y que no fallará frente a las cargas aplicadas en el eje vertical.

Posteriormente se somete al mismo análisis de validación al eje horizontal estableciendo la malla a aplicar, las cargas y las sujeciones para finalmente obtener resultados de tensión de Von Mises, desplazamientos, deformación unitaria y factor de seguridad.

Figura 66

Mallado de modelo CAD de eje horizontal

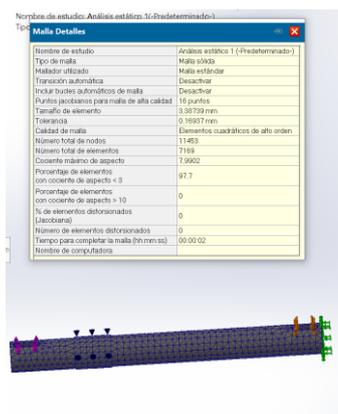


Figura 67

Tensión de Von Mises de eje horizontal

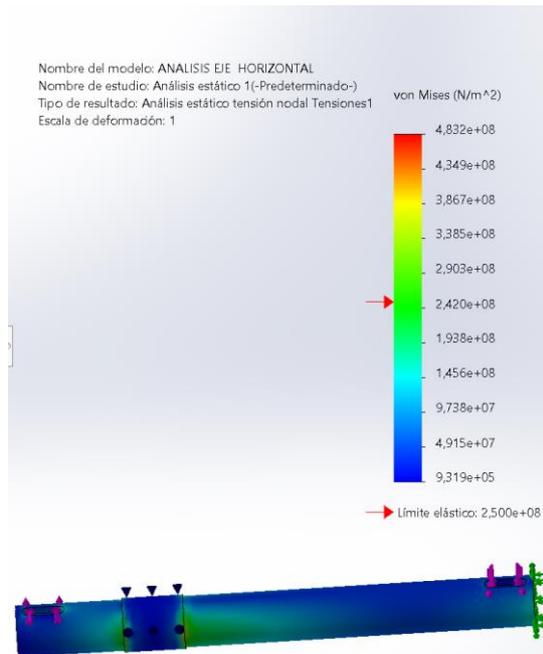


Figura 68

Análisis de desplazamiento en eje horizontal

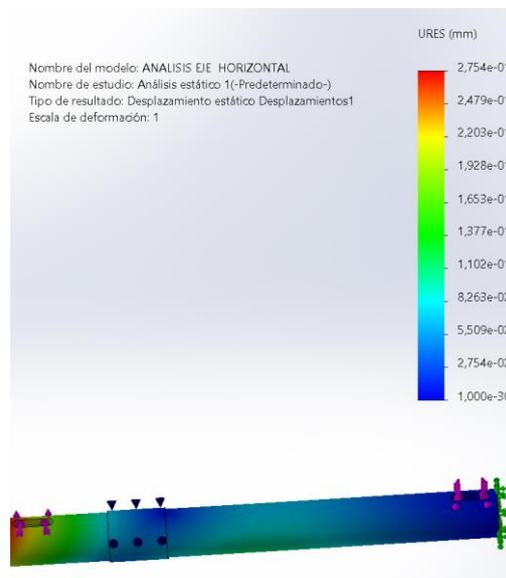
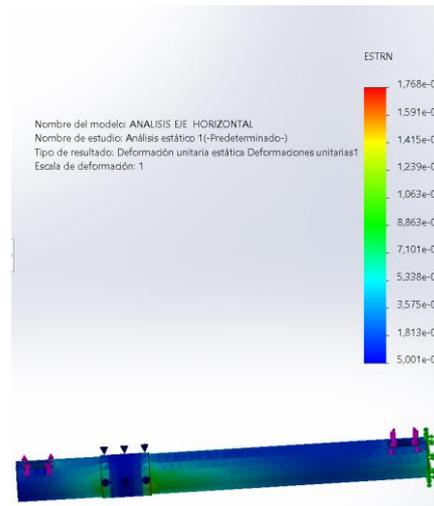
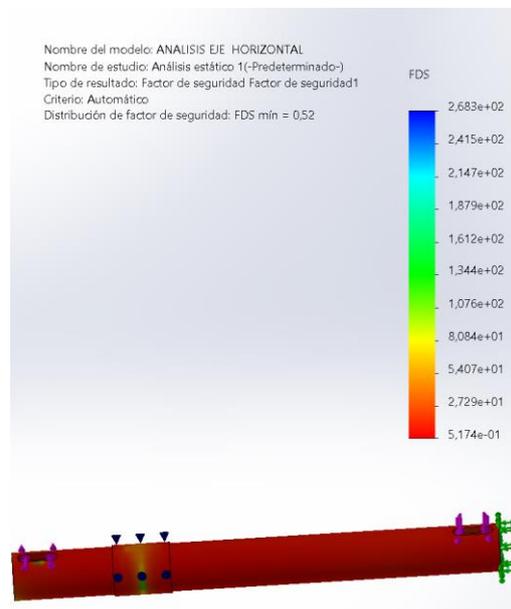


Figura 69

Análisis de deformación unitaria en eje horizontal

**Figura 70**

Análisis de factor de seguridad de eje horizontal



Realizando una comparativa entre el factor de seguridad mínimo resultado del análisis de elementos finitos $FDS_{mín} = 0,52$ el cual es mucho menor que el factor de seguridad establecido en los cálculos de $N = 2$. Se puede concluir que el diseño realizado es fiable y que no fallará frente a las cargas aplicadas en el eje horizontal.

Capítulo IV

4. Construcción de la maquina lanzadora de balones

Con el diseño previamente establecido, los resultados de los cálculos y la selección de los motores se procedió a la compra de todos los componentes necesarios para la movilidad de la máquina.

Figura 71

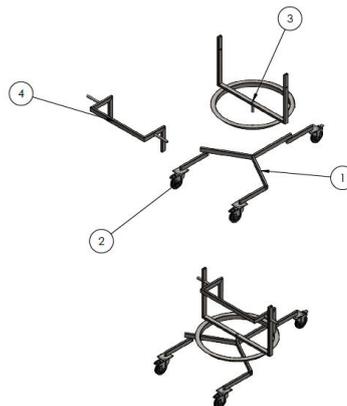
Motores, controladores y accesorios comprados



Con los planos del diseño CAD, se inició la construcción de la estructura de la máquina la cual fue sometida a validaciones previas encontrando que la estabilidad y funcionalidad no eran óptimas por lo que se modificó el diseño preliminar para disminuir las vibraciones y aumentar su robustez mejorando así la estabilidad del sistema.

Figura 72

Diseño preliminar de la estructura de la máquina



Con este nuevo diseño estructural se compró el material para el corte, armado y soldadura de la estructura principal de la máquina.

Figura 73

Armado de la estructura del soporte de los motores DC



Figura 74

Soldadura de U principal con anillo



Después de la construcción de la estructura principal fue necesario el uso de rodamientos que permitan el movimiento del eje vertical, para que la parte fija que está conectada al eje del motor puede tener un apoyo en el extremo y se produzca el movimiento conducido por el motor, en este caso se usó chumaceras de pared.

Figura 75

Punteado para taladrado de agujeros de chumaceras



Figura 76

Instalación de chumaceras de apoyo de eje vertical



Se procedió a realizar pruebas de funcionamiento de los rodillos de fricción con tol y PVC, buscando cuál de ellos tiene un balanceo aceptable. Se encontró que, al realizar varias pruebas, el tol producía mucho bamboleo debido a la falta de uniformidad en su cuerpo, mientras que al usar tubería PVC el movimiento fue mucho más estable y uniforme en todo su recorrido. Finalmente, se ensambló los rodillos de fricción en el soporte junto con los motores DC, completando así el sistema de propulsión de los balones.

Figura 77

Primer modelo de rodillos de fricción realizados con tol



Figura 78

Montaje de los rodillos y los motores en el soporte



Figura 79

Rodillos de PVC montados en el soporte



Con la estructura y los componentes del eje vertical ensamblados se procedió a la manufactura de la estructura base del eje horizontal, el diseño preliminar de la base fue un soporte triangular, que fue reemplazado por un soporte cuadrangular, agregando mayor estabilidad al sistema y disminuyendo vibraciones producidas por el movimiento de los rodillos de fricción.

Figura 80

Diseño final de la estructura base del eje horizontal



Para la transmisión de movimiento del eje horizontal se diseñó inicialmente un sistema piñón-cremallera, pero los altos costos en el mercado tanto nuevo como reciclado impidió la puesta en marcha de este sistema, por lo que se reemplazó por un sistema de transmisión cadena-catarina que ofrece las mismas prestaciones que el anterior sistema, pero a un costo considerablemente menor.

Figura 81

Sistema de transmisión reciclado propuesto inicialmente



Figura 82

Sistema de transmisión final de eje horizontal



Con la estructura y los componentes de los ejes principales ensamblados se procedió a la fabricación de la torreta de alimentación de los balones.

Figura 83

Torreta de alimentación de los balones



Para el control de la alimentación de los balones, se necesitó dos actuadores que posean un movimiento lineal a través de un cilindro. La mejor opción en el mercado que cumplía con las necesidades del sistema de detención e impulso de los balones fueron los motores usados para el control de seguro de automóviles.

Figura 84

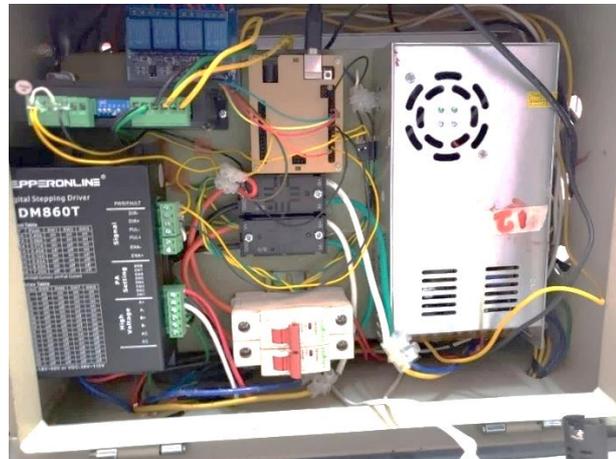
Actuador de control de seguros de automóvil



Para el montaje de todos los componentes electrónicos se adquirió una caja con las normas establecidas donde se colocó fuentes y drivers de los motores, así como la placa de control de los mismos.

Figura 85

Caja de control final



Con todos los sistemas accionados y probados se procedió a darle acabados a la estructura con el masillado, fondeado y pintado de la máquina. De igual manera se realizó el ordenamiento y protección de cables.

Figura 86

Masillado de la estructura



Figura 87

Máquina lanzadora finalizada su construcción



Capítulo V

5. Pruebas y resultados

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas, se analizarán los resultados obtenidos con el fin de evaluar el correcto funcionamiento de la máquina lanzadora de balones. Para ello, se parte del análisis de visión artificial comprobando la correcta detección del arquero a diferentes distancias de lanzamiento. Luego se realizarán varios ensayos de lanzamientos a distintos puntos en el arco que pondrá a prueba el control de velocidad y posición existente en la máquina, finalmente se realizará la validación de la hipótesis planteada.

5.1 Interfaz Gráfica

Mediante la librería TKINTER se diseñó la interfaz gráfica, en donde su pantalla de inicio muestra los modos de operación básica del sistema y varios botones que brindan información adicional al usuario.

Figura 88

Interfaz Gráfica

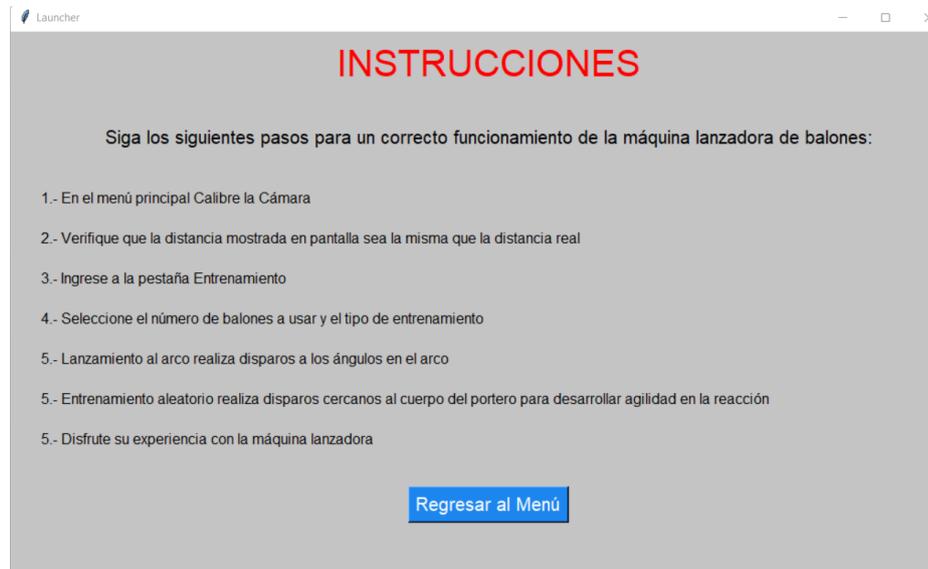


Se presenta un diseño sencillo de control de la máquina lanzadora de balones, provista de 4 pestañas en el menú. El usuario al elegir Instrucciones se

despliega una nueva ventana con los pasos a seguir para un correcto funcionamiento.

Figura 89

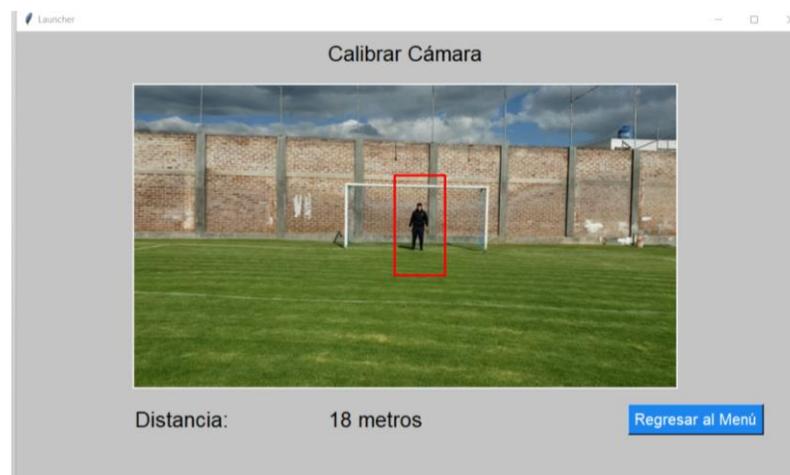
Instrucciones



En la pestaña calibrar cámara el usuario debe verificar si la distancia calculada mediante el algoritmo de visión artificial es el correcto.

Figura 90

Calibración de la cámara



Para iniciar con el entrenamiento de porteros el usuario tiene algunas opciones en las cuales debe elegir. Primero debe seleccionar el número de balones que se usarán en la práctica, tiene como opciones de uno a cinco balones. También se puede configurar la velocidad de disparo (baja, media y alta) entre las opciones a seleccionar. De acuerdo al tipo de entrenamiento a ejecutar se puede elegir entre penaltis, ejercicios de reacción rápida, combinado, tiro libre y aleatorio. Se debe seleccionar el intervalo de tiempo entre lanzamientos desde 1 a 4 segundos. Finalmente, seleccionadas todas las opciones el usuario debe pulsar en el botón iniciar para empezar con el entrenamiento diseñado.

Figura 91

Interfaz de entrenamiento



5.2 Pruebas de funcionamiento

Para evaluar la máquina, se plantea tres tipos de pruebas:

- Pruebas de detección con visión artificial.
- Pruebas de precisión en el lanzamiento.

- Pruebas de entrenamiento.

5.2.1 Pruebas de reconocimiento de visión artificial

Para el desarrollo de las pruebas de detección del arquero se evaluará el algoritmo de visión artificial a campo abierto, en una cancha de césped natural a distancias de lanzamiento de 6, 10, 14 y 18 metros de distancia con referencia al arco.

Tabla 14

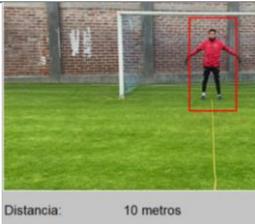
Datos de distancia calculada a 6 metros

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
1		6 metros	100%
2		6 metros	100%
3		6 metros	100%

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
4		6 metros	100%
Porcentaje de fiabilidad		100%	100%

Tabla 15

Datos de distancia calculada a 10 metros

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
1		10 metros	100%
2		10 metros	100%
3		10 metros	100%

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
4		10 metros	100%
Porcentaje de fiabilidad		100%	100%

Tabla 16*Datos de distancia calculada a 14 metros*

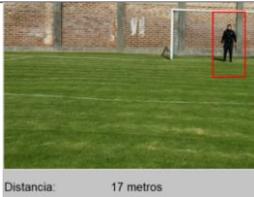
Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
1		14 metros	100%
2		14 metros	100%
3		14 metros	100%

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
4		14 metros	100%
Porcentaje de fiabilidad		100%	100%

Tabla 17

Datos de distancia calculada a 18 metros

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
1		18 metros	100%
2		18 metros	100%
3		18 metros	100%

Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
4		17 metros	95%
Porcentaje de fiabilidad		98%	98%

5.2.2 Pruebas de precisión en el lanzamiento

El objetivo de esta prueba es evaluar la precisión en el posicionamiento de los ejes horizontal y vertical de acuerdo al objetivo planteado en cada prueba. Se realiza lanzamientos a la mitad del cuadrante derecho del poste superior.

Tabla 18

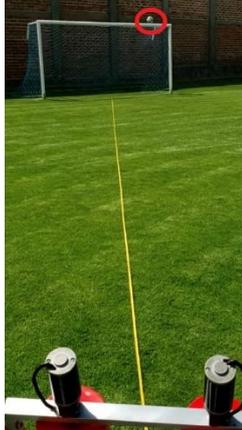
Datos de la prueba de precisión realizada

Hora de inicio: 12:00		Hora de fin: 13:30	
Clima:		Despejado, 16 °C	
Número de Lanzamiento	Foto	Distancia	% Acierto
1		18 metros	100%
2		18 metros	100%

Hora de inicio: 12:00		Hora de fin: 13:30	
Clima:		Despejado, 16 °C	
Número de Lanzamiento	Foto	Distancia	% Acierto
3		18 metros	100%
4		18 metros	100%
5		18 metros	0%
6		18 metros	100%

Hora de inicio: 12:00		Hora de fin: 13:30	
Clima:		Despejado, 16 °C	
Número de Lanzamiento	Foto	Distancia	% Acierto
7		11 metros	100%
8		11 metros	100%
9		8 metros	0%
10		11 metros	100%

Hora de inicio: 12:00		Hora de fin: 13:30	
Clima:		Despejado, 16 °C	
Número de Lanzamiento	Foto	Distancia	% Acierto
11		11 metros	100%
12		11 metros	0%
13		11 metros	100%
14		11 metros	100%

Hora de inicio: 12:00		Hora de fin: 13:30	
Clima:		Despejado, 16 °C	
Número de Lanzamiento	Foto	Distancia	% Acierto
15		11 metros	100%
16		18 metros	100%
Porcentaje de fiabilidad		82%	82%

5.2.3 Pruebas de entrenamiento

Para las pruebas de entrenamiento se eligió a cuatro porteros experimentados, poniendo a prueba sus habilidades en sesiones de entrenamiento que duran alrededor de 1 hora cada una. Los ejercicios a realizarse son: penaltis, reacción y combinados.

Sesión 1

La primera sesión se realizan los tres ejercicios de entrenamiento, la hora de inicio 11:30 am, clima despejado a 17°C.

Tabla 19*Datos penaltis realizados en la sesión 1 con 20 lanzamientos*

Penaltis			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		15	5
2		9	11
3		5	15
4		8	12

Tabla 20

Datos reacción realizados en la sesión 1 con 10 lanzamientos

Portero	Foto	Reacción	
		Atajados	Gol
1		7	3
2		3	7
3		2	8
4		5	5

Tabla 21

Datos de ejercicios combinados realizados en la sesión 1 con 10 lanzamientos

Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		2	8
2		4	6

Sesión 2

La segunda sesión se realizan los tres ejercicios de entrenamiento, la hora de inicio 9:00 am, clima despejado a 19°C.

Tabla 22

Datos de penaltis realizados en la sesión 2 con 20 lanzamientos

Penaltis			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		14	6

Penaltis			
Portero	Foto	Atajados	Gol
2		13	7
3		8	12
4		9	11

Tabla 23

Datos de ejercicios de reacción realizados en la sesión 2 con 10 lanzamientos

Reacción			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		8	2

Reacción			
Portero	Foto	Atajados	Gol
2		5	5
3		7	3
4		6	4

Tabla 24

Datos de ejercicios combinados durante la sesión 2 con 10 lanzamientos

Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		4	6

Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol
2		5	5

Sesión 3

La tercera sesión se realizan los tres ejercicios de entrenamiento, la hora de inicio 10:00 am, clima despejado a 15°C.

Tabla 25

Datos de penaltis realizados en la sesión 3 con 20 lanzamientos

Penaltis			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		18	2
2		15	5

Penaltis			
Portero	Foto	Atajados	Gol
3		14	6
4		16	4

Tabla 26

Datos de ejercicios combinados durante la sesión 3 con 10 lanzamientos

Reacción			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		10	0
2		9	1

Reacción			
Portero	Foto	Atajados	Gol
3		9	1
4		9	1

Tabla 27

Datos de ejercicios combinados durante la sesión 3 con 10 lanzamientos

Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		9	1
2		10	0

La Tabla 28 presenta los datos finales de los entrenamientos realizados, los disparos atajados con éxito y los goles en cada sesión de entrenamiento.

Tabla 28

Resumen de las sesiones de entrenamiento

	Penaltis		Reacción		Combinados	
	Atajados	Gol	Atajados	Gol	Atajados	Gol
Sesión 1	37	43	17	23	6	14
Porcentaje	46%	54%	23%	77%	30%	70%
Sesión 2	44	36	26	14	9	11
Porcentaje	55%	45%	65%	35%	45%	55%
Sesión 3	63	17	38	2	19	1
Porcentaje	78%	22%	95%	5%	95%	5%

5.3 Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada para el presente proyecto es:

¿El diseño y construcción de una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad contribuirá en el entrenamiento de arqueros de fútbol, utilizando lanzamiento automático controlado mediante visión artificial?

De lo cual se identifican las variables dependiente e independiente de la investigación:

- Variable dependiente:

Mejorar el entrenamiento de arqueros de fútbol.

- Variable independiente:

Una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad.

Para la validación de la hipótesis, se utiliza el método estadístico descriptivo Chi-Cuadrado, para determinar si existe o no relación entre las variables cuantitativas según su distribución de frecuencia, por lo que es necesario plantear las respectivas hipótesis nula e hipótesis alternativa.

H0 (hipótesis nula), la máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad no contribuirá en el entrenamiento de arqueros de fútbol.

H1 (hipótesis alternativa), la máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad contribuirá en el entrenamiento de arqueros de fútbol.

Tabla 29

Frecuencias observadas

Resultado de la sesión final	Penaltis	Reacción	Combinados	TOTAL
Atajados	63	38	19	117
Gol	17	2	1	23
TOTAL	80	40	20	140

Los datos representados en la Tabla 30, se obtienen a partir de la frecuencia esperada (27).

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O} \quad (27)$$

Donde:

O_i : Valor total de la fila

O_j : Valor total de la columna

O : Valor total de todas las muestras

La Tabla 30, representa las frecuencias esperadas obtenidas al aplicar la relación en cada celda de la tabla de frecuencias observadas.

Tabla 30

Frecuencias esperadas

Resultado de la sesión final	Penaltis	Reacción	Combinados
Atajados	66,85	33,42	16,71
Gol	13,14	6,51	3,28

Al obtener estos resultados se calcula el valor del Chi-Cuadrado utilizando la ecuación (28):

$$x^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (28)$$

Donde:

x^2 : Chi-Cuadrado

r : número de filas

k : número de columnas

O_{ij} : Frecuencias observadas en la fila i de la columna j

E_{ij} : Frecuencias esperadas en la fila i de la columna j

Obteniendo como valor:

$$x^2 = 7,39$$

Después se calcula el grado de libertad con la ecuación (29).

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1) \quad (29)$$

$$v = (2 - 1) * (3 - 1)$$

$$v = 2$$

Con esto se determina el valor de Chi-Cuadrado de la tabla, con un margen de error del 5% ($\alpha = 0.05$), obteniendo un valor de:

$$x_{TABLA}^2 = 5.991$$

Como el Chi-Cuadrado calculado es mayor que el Chi-Cuadrado de la tabla, se descarta la Hipótesis Nula, lo cual nos indica que la afirmación de la hipótesis alternativa es correcta, esto es, la máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad contribuirá en el entrenamiento de arqueros de fútbol.

5.4 Análisis de costos

Se realizó el análisis de costos del proyecto, donde se detallan los componentes utilizados y su precio, tanto en la parte mecánica y electrónica.

Tabla 31

Detalle del análisis de costos

Componentes	Cantidad	Precio (\$)
Motor CIM 12V	2	100
Víctor SPX	2	55
Motor Nema 34	1	70
Controlador DM860T	1	70
Fuente 36V 10A	1	40

Componentes	Cantidad	Precio (\$)
Engrane de Gusano NMRV-040 20:1	1	110
Motor Nema 23	1	60
Controlador DM542T	1	40
Engrane de Gusano NMRV-030 30:1	1	90
Fuente 12V 40A	1	40
Motores 12V	2	25
Canakit Raspberry Pi4 B+	1	150
Quima Pantalla táctil LCD 7"	1	100
Reguladores de Voltaje	2	50
Materiales Estructura	1	350
Tubo PVC	1	20
Tapas tubo PVC	2	5
Costos de importación	1	100
Cable flexible	1	20
Chumaceras	1	25
Llantas	2	20
Breakers	2	10
Módulo Relés	2	10
Borneras	20	15
Pintura, macilla, tiner	1	25
Elementos de sujeción	30	20
Catarina	1	5
Cadena	1	10
Botones, luces piloto	3	10
TOTAL		1,655

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se investigó sobre el estado actual que incorporan las máquinas lanzadoras de balones existentes en el mercado, uno de los mejores sistemas lo posee la empresa europea Eurogoal; con sus múltiples máquinas para entrenamiento de fútbol y otras disciplinas del deporte, estas máquinas poseen velocidades de lanzamiento elevadas, movimiento en los ejes horizontal y vertical, el entrenador se encarga de posicionar manualmente a la máquina para conseguir la dirección y ángulo necesario para el disparo.
- Existen varias configuraciones de máquinas lanzadoras que se pueden clasificar según el sistema de propulsión que posean, los grados de libertad y el número de actuadores giratorios. Cada una de estas configuraciones permite a la máquina realizar disparos a altas velocidades y tener autonomía respecto al usuario. Sin embargo, cada configuración posee ventajas y desventajas relacionadas con la eficiencia del disparo, es por ello que el sistema de propulsión por dos rodillos giratorios es la configuración que presenta las mejores prestaciones de construcción y costo, ofrece una mayor velocidad de disparo a larga distancia, siempre y cuando se tome en cuenta el peso de los rodillos acoplados a los motores, para implementar con mayor facilidad el control de velocidad y un diseño mecánico más sencillo.
- Se logró establecer parámetros de diseño por medio del diseño CAD de las piezas y posteriormente validar el diseño mecánico por medio de Ingeniería Asistida por computador (CAE) usando el Software SolidWorks (estudiantil), en primer lugar realizando el diseño CAD de cada una de las piezas de la máquina para poder establecer un monto preliminar de las cargas que se aplicarán a los motores con los pesos que se obtienen en las propiedades físicas del software, estableciéndose que el eje vertical y horizontal soportarán 10kg y 18kg respectivamente. Posteriormente

se sometió las piezas de interés a análisis de esfuerzos con lo cual se verificó la correcta aplicación del factor de seguridad obteniendo un factor de seguridad mínimo de 0,51 para el eje vertical y 0,52 para el eje horizontal en el software tomando en cuenta que el factor de seguridad establecido para el diseño mecánico fue de $N=2$ por lo tanto se concluye que el diseño realizado es fiable y que no fallará frente a las cargas aplicadas en los ejes horizontal y vertical.

- La implementación del algoritmo de visión fue desarrollado junto con la recopilación de conceptos que intervienen dentro del procesamiento de imágenes en el video en tiempo real que son importantes para poder obtener las características esenciales dentro de la imagen, se realizó una búsqueda de técnicas de reconocimiento de personas en ejemplos de algoritmos pre entrenados en las librerías existentes en OpenCV, de las cuales el algoritmo más robusto para detección de personas fue el de HOG (Histograma de Gradientes Orientados), desarrollado por OpenCV principalmente para la detección de peatones en tiempo real, obteniendo como resultados una alta efectividad de reconocimiento de los cuatro arqueros a una distancia inicial de 6 metros con un porcentaje de fiabilidad de 100%, a 10 metros el algoritmo posee una efectividad del 100%, a 14 metros un porcentaje del 100% y a 18 metros obteniendo un 98%.
- Mediante el algoritmo de visión artificial se determinó la distancia a la que se encontraba la máquina del arquero, el Histograma de gradientes permitió obtener las coordenadas en píxeles que son ubicados en las esquinas de un rectángulo dibujado alrededor del portero, se calculó el área que el portero adquiriría dentro de la imagen, al momento de realizar las pruebas se determinó los valores en píxeles a los que cambiaba en cada distancia obtenida, para el desarrollo del control de velocidad y posición se realizó pruebas de lanzamiento a distintas distancias, determinando los valores máximos y mínimos de posición y velocidad para cada distancia de lanzamiento, permitiendo así el control de velocidad y posición de cada actuador que fue programado mediante Arduino tomando como dato de entrada el número de

balones a entrenar, tipo de entrenamiento, la distancia de lanzamiento obtenida mediante la detección por visión artificial y el intervalo de tiempo entre lanzamientos.

- Se implementó varios modos de operación dependiendo el tipo de entrenamiento, los cuales son: penaltis, reacción rápida, combinado, tiro libre y aleatorio. Para todos los modos de operación, el algoritmo de visión artificial reconoce la distancia a la que se encuentra el portero al momento que el usuario selecciona la opción “Calibrar Cámara” en el menú principal del HMI, también debe elegir el número de balones a ser disparados, el tiempo de intervalo entre cada lanzamiento y la velocidad de disparo, estos datos son enviados por comunicación serial al Arduino, el cual está programado para cambiar la velocidad y posicionamiento de los actuadores de acuerdo a la distancia a la que se encuentra el portero.
- Se evaluó la eficiencia de cada uno de los sistemas que componen la máquina mediante las pruebas realizadas, en cuanto al algoritmo de visión artificial se comprobó la alta eficacia que existe al reconocer al portero a distancias cortas, así como a distancias largas. El movimiento que posee la máquina en el eje x permite un posicionamiento muy rápido y preciso a 300 rpm en 2 segundos debido a que la máquina es muy liviana, de igual manera el eje vertical posee un movimiento rápido para posicionarse en el ángulo deseado a 60 rpm en un tiempo de 1,5 segundos. Las pruebas de precisión realizadas evaluaron la robustez existente en la programación de los actuadores teniendo como resultados una fiabilidad del 82% en la precisión de los disparos que se realizaron a 8, 11 y 18 metros, obteniendo así los resultados planteados al inicio del proyecto.
- Se realizaron pruebas de entrenamiento a cuatro porteros durante tres sesiones de entrenamiento en las cuales se plantearon tres ejercicios que permitan desarrollar y mejorar las habilidades de los porteros simulando situaciones en un juego real, para la prueba de penaltis en la primera sesión se obtuvo 37 disparos

atajados frente a 43 que culminaron en gol, para la última sesión 63 disparos atajados y 17 que terminaron en gol, lo que denota una mejoría del 32% en penaltis atajados entre la primera y la última sesión de entrenamiento. En la prueba de reacción se tuvo 17 disparos atajados y 23 no atajados en la primera sesión, la última sesión 38 disparos atajados y 2 no atajados, teniendo como resultado el aumento en un 53% en disparos atajados entre la primera y la última sesión. En la prueba combinada durante la primera sesión se obtuvo 6 lanzamientos atajados y 14 no atajados, la última sesión 19 balones atrapados y 1 que terminó en gol, con una mejoría del 65% entre la primera y última sesión. Con los resultados mediante la prueba del Chi-Cuadrado ($x_{cal}^2 = 7,39 > x_{TABLA}^2 = 5,991$) con lo que se procedió a tomar la hipótesis alternativa, la cual sostiene que la máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad contribuirá en el entrenamiento de arqueros de fútbol.

6.2 Recomendaciones

- Al momento de realizar las pruebas de precisión en el lanzamiento se recomienda usar balones que posean características similares en su medida y presión interna, ya que se comprobó que al tener balones a distintas presiones internas la dirección del disparo no era el deseado.
- El proceso de calibración de la cámara es indispensable para que el algoritmo de visión pueda reconocer la distancia a la que se encuentra el objetivo y enviar estos datos a la tarjeta Arduino que es la encargada de controlar los actuadores en la máquina.
- Debido a la baja disponibilidad de componentes en el país y su costo elevado se recomienda adquirir los actuadores con un tiempo prudencial debido a que el proceso de importación puede ser extenso y retrasar la ejecución del proyecto.

Bibliografía

- Acadef. (29 de Abril de 2020). *Acadef*. Recuperado el 12 de Julio de 2021, de Acadef: <https://www.acadef.es/la-tecnologia-en-el-futbol/>
- Acosta Portilla, L. (2014). *Convertidor de señales ecl paralelo serial para la compatibilidad de interface de las grabadoras ampex en el instituto espacial ecuatoriano, Estación Cotopaxi*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Arduino. (5 de Febrero de 2018). *Arduino*. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Brodbeck, L., & Ullrich, F. (12 de Junio de 2008). *Swiss Federal Institute of Technology Zurich*. Recuperado el 3 de Enero de 2022, de Swiss Federal Institute of Technology Zurich: http://www.bendit.ethz.ch/download/BA_FULB.pdf
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. New York: Mc Graw Hill.
- Cedenilla Magán, E., & Cedenilla Magán, M. (2019). *Tecnología A ESO*. Mcgraw Hill.
- CLR. (12 de Julio de 2016). *Compañía Levantina de Reductores*. Recuperado el 28 de Julio de 2021, de Compañía Levantina de Reductores: <https://clr.es/blog/es/diferencias-motores-con-escobillas-brushless/>
- Crass, S. (3 de Enero de 2017). *Cornell University*. Recuperado el 12 de Octubre de 2021, de Cornell University: <https://arxiv.org/pdf/1404.3170.pdf>
- Diéguez, L. (19 de Mayo de 2020). *Kolwidi*. Recuperado el 2 de Agosto de 2021, de Kolwidi: <https://kolwidi.com/blogs/blog-kolwidi/intriduccion-al-motor-dc-o-motor-de-corriente-continua>
- Dings. (15 de Enero de 2021). *Dings Motion USA*. Recuperado el 15 de Octubre de 2021, de Dings Motion USA: <https://dingsmotionusa.com/nema-34-rotary>
- FIFA. (11 de Octubre de 2007). *FIFA.com*. Recuperado el 4 de Agosto de 2021, de FIFA.com:

<https://web.archive.org/web/20071011134324/http://es.fifa.com/classicfootball/history/game/historygame1.html>

Globus. (6 de Marzo de 2020). *Globus Italian Excellence*. Recuperado el 4 de Agosto de 2021, de Globus Italian Excellence:

<https://www.globuscorporation.com/en/product/eurogoal-1500/>

Gómez, E. (19 de Diciembre de 2017). *Rincón Ingenieril*. Recuperado el 5 de Agosto de 2021, de Rincón Ingenieril: <https://www.rinconingenieril.es/que-es-pwm-y-para-que-sirve/>

GrupoVelasco. (2020). *Grupo Velasco*. Recuperado el 10 de Agosto de 2021, de Grupo Velasco: <http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=2798>

KeeperStop. (24 de Febrero de 2016). *KeeperStop.com*. Recuperado el 12 de Agosto de 2021, de KeeperStop.com:

https://www.keeperstop.com/goalkeeper_drills-diving_extensions_reaction_saves-goalkeeper_drills_with_the_sidekick_ball_machine

Launcher, B. (7 de Junio de 2021). *Ball Launcher*. Recuperado el 15 de Agosto de 2021, de Ball Launcher: <https://www.ball-launcher.com/shop-c8/ball-launcher-pro-p21>

Mallick, S. (6 de Diciembre de 2016). *LearnOpenCV*. Recuperado el 16 de Agosto de 2021, de LearnOpenCV: <https://learnopencv.com/histogram-of-oriented-gradients/>

Marín, R. (12 de Febrero de 2020). *Revista Digital INESEM*. Recuperado el 19 de Agosto de 2021, de Revista Digital INESEM:

<https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/opencv/>

Mecafenix, I. (20 de Abril de 2017). *Ingeniería Mecafenix*. Recuperado el 25 de Agosto de 2021, de Ingeniería Mecafenix:

<https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>

- Mechanics, E. (20 de Marzo de 2012). *Electro Mechanics Co.* Recuperado el 16 de Octubre de 2021, de Electro Mechanics Co.: <https://www.jmc-motor.com/file/1806082314.pdf>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación .
- Núñez, R. (13 de Enero de 2020). *El Telégrafo*. Recuperado el 28 de Agosto de 2021, de El Telégrafo: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/futbol/1/clubes-ecuador-tecnologia>
- O'Brien, N. J. (20 de Marzo de 2001). *Patent images*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US6202636.pdf>
- Pitch, F. (6 de Mayo de 2020). *First Pitch.com*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2021, de First Pitch.com: <https://firstpitch.com/product/playmaker-soccer-machine/>
- Raspberry. (13 de 01 de 2020). *Raspberrypi*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2021, de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Robledano, A. (23 de Septiembre de 2019). *OpenWebinars*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2021, de OpenWebinars: <https://openwebinars.net/blog/que-es-python/>
- Sogears. (7 de Septiembre de 2019). *Sogears.com*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2021, de Sogears.com: <https://es.sogears.com/resumen-de-productos/Caja-de-cambios-de-movimiento-lineal-40>
- Solidworks. (19 de Enero de 2021). *Solidworks Help*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2021, de Solidworks Help: http://help.solidworks.com/2016/spanish/solidworks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm
- Sports, H. (10 de 12 de 2020). *Heater Sports*. Obtenido de Heater Sports: <https://www.heatersports.com/pdf/Deuce-DC899.pdf>

- StepperOnline. (11 de Enero de 2021). *Amazon*. Recuperado el 25 de Octubre de 2021, de Amazon: https://www.amazon.com/-/es/STEPPERONLINE-Motor-torsi3n-4-488-fresadora/dp/B00PNEPW4C/ref=sr_1_2?crid=4UNDQQKHJH1T&keywords=nema+23+high+torque&qid=1641490177&sprefix=%2Caps%2C154&sr=8-2
- StepperOnline, O. (11 de Enero de 2021). *OMC StepperOnline*. Recuperado el 26 de Octubre de 2021, de OMC StepperOnline: <https://www.omc-stepperonline.com/digital-stepper-driver-10-42a-20-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-dm542t.html>
- TeamKits. (4 de Marzo de 2020). *TeamKits Club*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2021, de TeamKits Club: <https://teamkits.net/product/ball-machine-powapass-tt10-training-machine/>
- Transelec. (19 de Julio de 2020). *Transelec*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2021, de Transelec: <https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>
- Vald3s P3rez, F., & Pall3s Areny, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC*. Espa1a: Marcombo.
- Vex Robotics. (2020). Obtenido de Vex Robotics: <https://www.vexrobotics.com/217-9191.html>
- Vex Robotics. (2020). Recuperado el 12 de Noviembre de 2021, de Vex Robotics: https://www.vexrobotics.com/217-2000.html#attr-vex_kit_contents
- W3jcicki, K., & Pucilowski, K. (8 de Agosto de 2011). *Baztech*. Obtenido de Baztech: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPB2-0062-0016>

ANEXOS