



TRABAJO DE TITULACIÓN

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA, CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TEMA:

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 mediante visión artificial.

AUTORES:

MORALES REINOSO SANTIAGO DANIEL
PÉREZ ACOSTA STEPHEN RUBÉN

DIRECTOR:

ING. PÉREZ GUTIÉRREZ, MILTON FABRICIO

LATACUNGA - 2022



CONTENIDO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA

PRUEBAS Y RESULTADOS

VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



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. 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.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Los ejercicios de lanzamiento con los que entrenan los arqueros de fútbol dependen de las habilidades del lanzador el cual que disminuye la eficacia y fuerza a lo largo del entrenamiento lo que provoca que los arqueros no sigan mejorando sus habilidades y reflejos.
- Muchos de los sistemas de lanzamiento de balones 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 necesario implementar una máquina lanzadora de balones 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.



OBJETIVOS

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.

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.



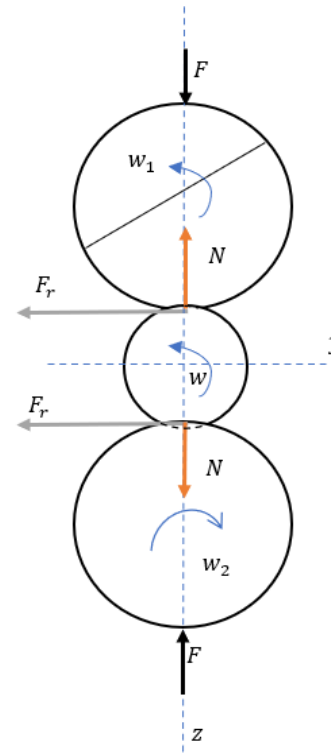
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- **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.
- **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.
- **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



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

The Ball Launcher



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Motor de Corriente Continua

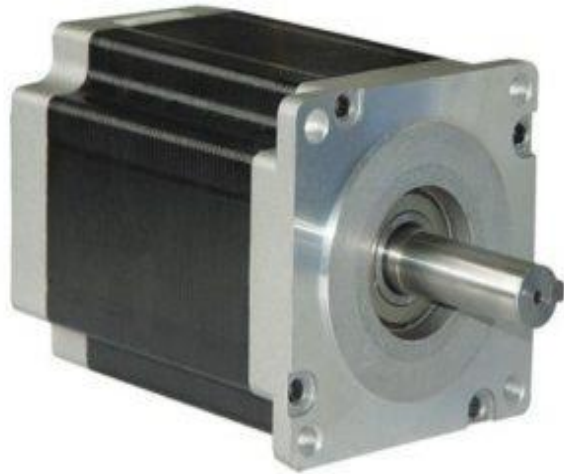


Motor usando en varias aplicaciones debido a que el control de su velocidad es muy fácil de regular y para cambiar su sentido de giro simplemente se necesita invertir la polaridad.



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Motor paso a paso

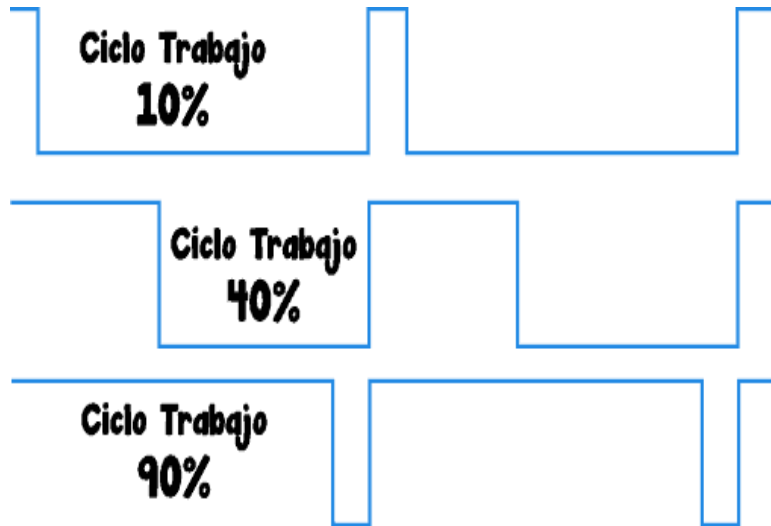


Motores son muy utilizados en diversas aplicaciones debido a que su control se lo realiza mediante trenes de impulsos desfasados y genera un movimiento angular al recibir la señal eléctrica. Los sistemas de posicionamiento usan mucho este tipo de motor por su alta precisión de movimiento



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Modulación de Ancho de Pulso PWM



Método para variar la velocidad de un motor de corriente continua que 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.



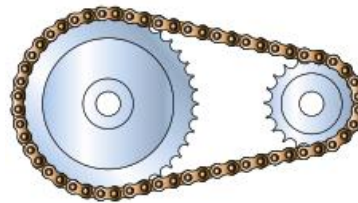
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Mecanismo de rueda dentada 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 tienes que estar paralelos.

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

Relación de Transmisión

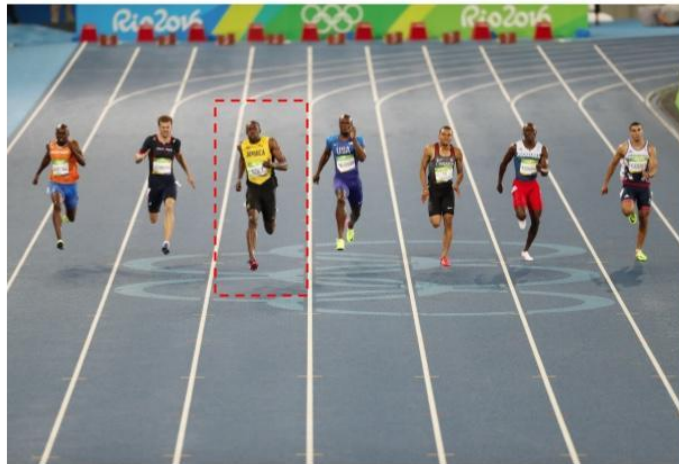


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

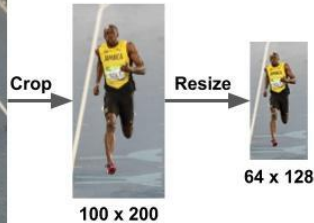
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Visión Artificial

Preprocesamiento



Original Image : 720 x 475



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.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Cálculo del Gradiente

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

```
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)
```

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.

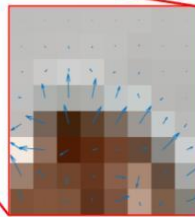
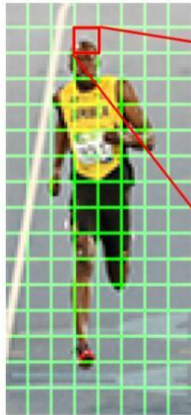


FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Resultante del Gradiente



Histograma del gradiente



2	3	4	4	3	4	2	2
5	11	17	13	7	9	3	4
11	21	23	27	22	17	4	6
23	99	165	135	85	32	26	2
91	155	133	136	144	152	57	28
98	196	76	38	26	60	170	51
165	60	60	27	77	85	43	136
71	13	34	23	108	27	48	110

Gradient Magnitude

80	36	5	10	0	64	90	73
37	9	9	179	78	27	169	166
87	136	173	39	102	163	152	176
76	13	1	168	159	22	125	143
120	70	14	150	145	144	145	143
58	86	119	98	100	101	133	113
30	65	157	75	78	165	145	124
11	170	91	4	110	17	133	110

Gradient Direction

80	36	5	10	0	64	90	73
37	9	9	179	78	27	169	166
87	136	173	39	102	163	152	176
76	13	1	168	159	22	125	143
120	70	14	150	145	144	145	143
58	86	119	98	100	101	133	113
30	65	157	75	78	165	145	124
11	170	91	4	110	17	133	110

Gradient Direction

Gradient Magnitude



Histogram of Gradients



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Se analizó diversos diseños y modelos de máquinas existentes, tanto en el mercado como las realizadas en trabajos de investigación con el objetivo de 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.



*Diseño CAD de
Maquina Lanzadora de
balones.*



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

- Diseño del Sistema de Propulsión

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

$$P = T * \omega$$

$$P = 0.97Hp$$

Motor CIM de VEX Robotics



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

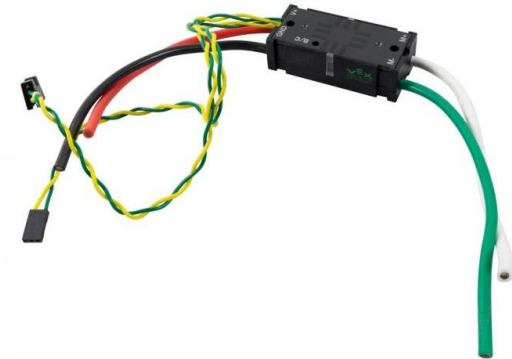
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

- Diseño del Sistema de Propulsión

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

Controlador Víctor SPX de VEX

Robotics

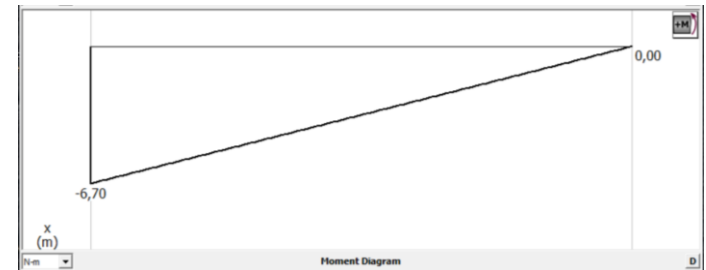
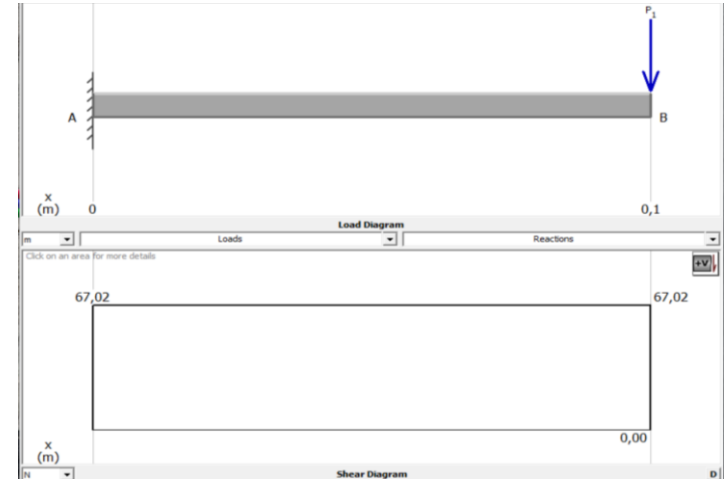


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

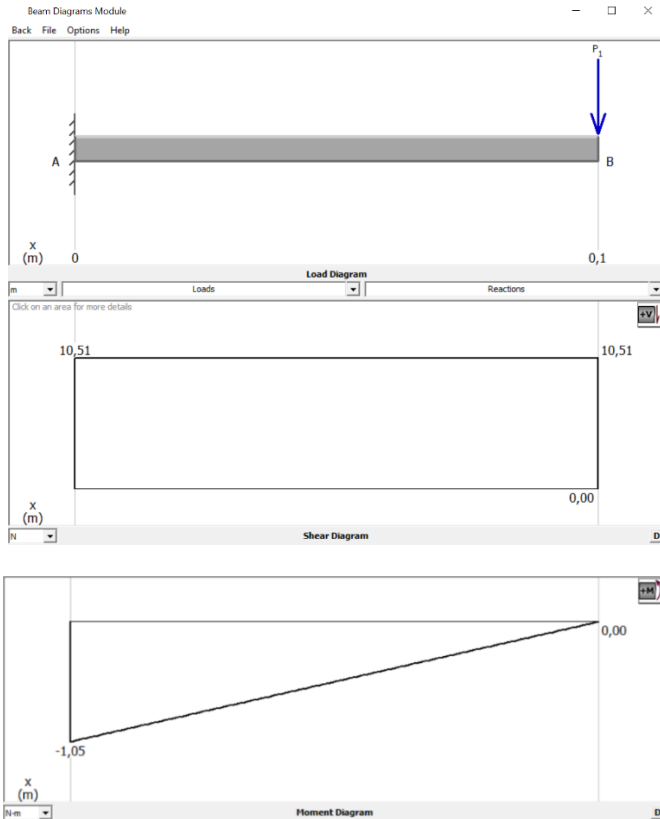
- Diseño de ejes de rodillos de fricción

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 Fuente especificada no válida.	t	$0.7s$
Largo del eje	l	$0.10m$
Velocidad angular inicial	ω_0	$0 \frac{rad}{s}$
Velocidad Angular final	ω_f	$185.2 \frac{rad}{s}$



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

- Diseño de ejes de rodillos de fricción



Factor de seguridad establecido para ejes.

$$N = 2$$

Factor de diseño para ejes con un cuñero en trineo.

$$K_t = 1.6$$

Resistencia a la cadencia del aluminio.

$$S_y = 55MPa$$

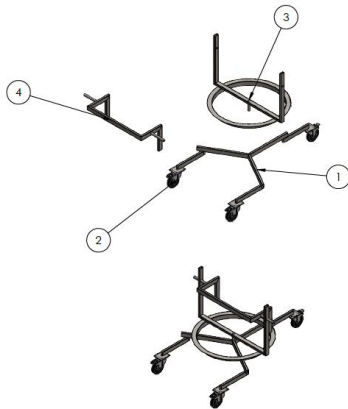
Resistencia a la fatiga modificada.

$$S'_n = S_n * C_S * C_R$$

$$S'_n = 44.17MPa$$

CONSTRUCCIÓN

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.



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.



CONSTRUCCIÓN

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



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.



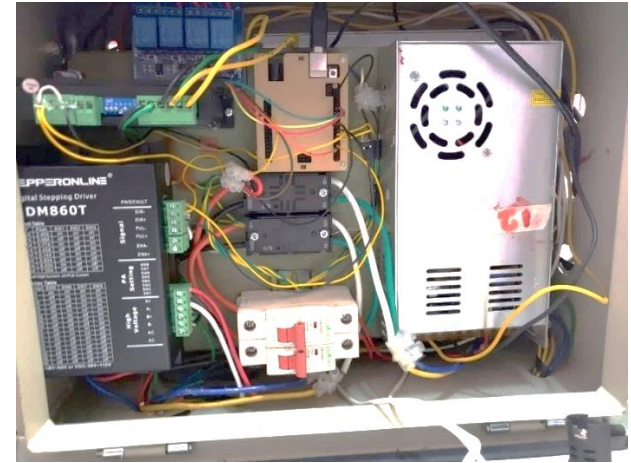
CONSTRUCCIÓN

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.



CONSTRUCCIÓN

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.



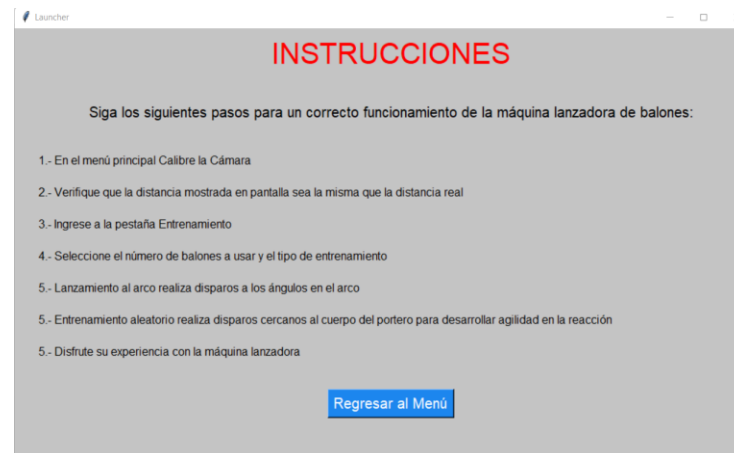
PRUEBAS Y RESULTADOS

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.



PRUEBAS Y RESULTADOS

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.



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

PRUEBAS Y RESULTADOS

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.



Entrenador

Bienvenido al Entrenamiento de Arqueros de Fútbol

Número de balones:

Tipo de Entrenamiento:

Velocidad de disparo:

Intervalos:

[Regresar al Menú](#) [INICIAR](#)



PRUEBAS Y RESULTADOS

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.

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.



PRUEBAS Y RESULTADOS

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.




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.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de reconocimiento de visión artificial


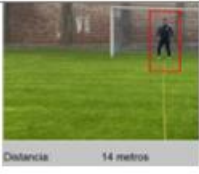

Hora de inicio: 7:30		Hora de fin: 8:30	
Clima:		Despejado, 14 °C	
Sujeto de Prueba	Foto	Distancia	% Acierto
1		6 metros	100%
2		6 metros	100%
3		6 metros	100%




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



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de reconocimiento de visión artificial





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









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



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de precisión en el lanzamiento











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%

7		11 metros	
8		11 metros	
9		8 metros	
10		11 metros	
11		11 metros	100%
12		11 metros	0%
13		11 metros	100%
14		11 metros	100%



PRUEBAS Y RESULTADOS




Pruebas de entrenamiento




Penaltis				Reacción				Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol	Portero	Foto	Atajados	Gol	Portero	Foto	Atajados	Gol
1		15	5	1		7	3	1		2	8
2		9	11	2		3	7	2		4	6
3		5	15	3		2	8				
4		8	12	4		5	5				



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de entrenamiento

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

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

Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol
1		4	6

Combinado			
Portero	Foto	Atajados	Gol
2		5	5



PRUEBAS Y RESULTADOS

Resumen de la pruebas 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%



PRUEBAS Y RESULTADOS

VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

- **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?

Se debe tener variable dependiente e independiente en el proceso de validación de hipótesis, se muestran a continuación:

Variables de la Investigación

- Variable Independiente: Mejorar el entrenamiento de arqueros de fútbol.
- Variable dependiente: Una máquina lanzadora de balones de dos grados de libertad.

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.



PRUEBAS Y RESULTADOS

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.

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



PRUEBAS Y RESULTADOS

Se determina las frecuencias esperadas obtenidas al aplicar la relación de cada celda de la tabla de frecuencias observadas

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O}$$

Donde:

O_i : Valor total de la fila

O_j : Valor total de la columna

O : Valor total de todas las muestras

Frecuencias esperadas

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



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

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

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

Donde:

χ^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



PRUEBAS Y RESULTADOS

Obteniendo como valor:

$$x^2 = 7,39$$

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

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

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

$$v = 2$$

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.



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.



CONCLUSIONES

- 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.



CONCLUSIONES

- 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%.



CONCLUSIONES

- 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.



CONCLUSIONES

- 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.



CONCLUSIONES

- 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 ($\chi_{cal}^2=7,39 > \chi_{TABLA}^2=5,991$) 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.



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.



Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA