



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE PELOTAS DE TENIS DE CAMPO”**

**BONILLA NARANJO EDGAR FABRICIO  
NOGUERA CUNDAR ADRIANA PAOLA**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

# **INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-09-28

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**BONILLA NARANJO EDGAR FABRICIO  
NOGUERA CUNDAR ADRIANA PAOLA**

---

Titulado:

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE  
PELOTAS DE TENIS DE CAMPO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Edwin Viteri Núñez  
**DIRECTOR**

---

Ing. Ángel Silva Conde  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** BONILLA NARANJO EDGAR FABRICIO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE PELOTAS DE TENIS DE CAMPO”

**Fecha de Examinación:** 2016-06-16

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Ángel Silva Conde <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** NOGUERA CUNDAR ADRIANA PAOLA

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA LANZADORA DE PELOTAS DE TENIS DE CAMPO”

**Fecha de Examinación:** 2016-06-16

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Ángel Silva Conde <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Bonilla Naranjo Edgar Fabricio**

---

**Noguera Cundar Adriana Paola**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Bonilla Naranjo Edgar Fabricio y Noguera Cundar Adriana Paola, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

---

**Bonilla Naranjo Edgar Fabricio**  
Cedula de Identidad: 180333577-5

---

**Noguera Cundar Adriana Paola**  
Cedula de Identidad: 060453877-7

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a toda mi familia, en especial a mi padre, Gonzalo, que me está mirando desde el cielo y desde ahí sigue siendo mi fortaleza, a mi madre, Luisa, y a mis hermanos Luis Gonzalo y Juan Manuel.

**Fabricio Bonilla Naranjo**

Dedico este trabajo a mis padres Gonzalo y Adriana, a mi hermano Andrés y a mi abuelita Luz quienes han sido día tras día el apoyo y la alegría para culminar mis estudios porque gracias a su paciencia, dedicación, amor, y entrega me dieron la fortaleza para llegar a alcanzar cada una de las metas trazadas y así yo poder retribuir a todos sus esfuerzos dándoles el orgullo y la satisfacción de verme crecer tanto en conocimientos profesionales como en valores morales.

**Adriana Noguera Cundar**

## **AGRADECIMIENTO**

Le doy gracias a Dios por regalarme la oportunidad de dar este importante paso hacia adelante en mi vida. Así como también agradezco a todas las personas con quien he compartido a lo largo de la carrera, quienes me han dejado valiosas enseñanzas para la vida. Gracias a todos.

**Edgar Fabricio Bonilla Naranjo**

Agradezco a la Virgen Dolorosa que bajo su manto sagrado ha guiado mis pasos hacia el camino correcto, me ha bendecido con la presencia de mi familia y ha puesto en este recorrido a personas incondicionales que han sido un gran apoyo en situaciones decisivas de mi vida estudiantil. El más profundo agradecimiento a las personas que estuvieron a mi lado durante este trayecto que estuvo lleno de desafíos y que compartieron tanto buenos como malos momentos. A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por las experiencias y conocimientos impartidos.

**Adriana Paola Noguera Cundar**

# CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	3
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	<i>Objetivo General</i> .....	5
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	5
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Origen y evolución de las máquinas lanzadoras de pelotas de tenis .....	6
2.1.1	<i>Revisión de patentes</i> .....	6
2.1.1.1	<i>Máquina lanzadora de baseball</i> .....	6
2.1.1.2	<i>Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos</i> .....	7
2.1.1.3	<i>Dispositivo con ruedas para lanzar pelotas de tenis</i> .....	8
2.1.1.4	<i>Máquina lanzadora de pelotas de tenis</i> .....	9
2.2	Características técnicas de las máquinas lanzadoras de pelotas de tenis del mercado internacional.....	10
2.2.1	<i>Tipos de lanzadoras de pelotas disponibles en el mercado internacional</i> .....	10
2.3	Variables para el diseño.....	12
2.3.1	<i>Pelota de tenis de campo</i> .....	12
2.3.1.1	<i>Características de las pelotas de tenis</i> .....	13
2.3.2	<i>Cancha de tenis de campo</i> .....	14
2.4	Efectos sobre la pelota de tenis de campo .....	15
2.4.1	<i>Slice o efecto cortado</i> .....	15
2.4.2	<i>Topspin o efecto liftado</i> .....	15
2.4.3	<i>Flatspin o plano</i> .....	15
2.5	Motores de corriente directa .....	16
2.5.1	<i>Componentes del motor de corriente directa</i> .....	16
2.5.2	<i>Control de velocidad de motores CC</i> .....	17
2.5.3	<i>Control de giro de motores CC</i> .....	17
2.6	Principios teóricos de diseño .....	18
2.6.1	<i>Mecanismo cuatro barras</i> .....	18
2.6.1.1	<i>Partes de un mecanismo</i> .....	18
2.6.1.2	<i>Grados de libertad – ecuación de Gruebler</i> .....	18
2.6.1.3	<i>Criterio de Grashoff</i> .....	19
2.6.1.4	<i>Análisis de carga</i> .....	20
2.6.2	<i>Esfuerzos</i> .....	22
2.6.3	<i>Cálculo del eje o árbol</i> .....	22
2.6.4	<i>Teoría de fallas por fatiga ante esfuerzos variables</i> .....	23
2.7	Estudio de alternativas .....	24
2.7.1	<i>Análisis preliminar</i> .....	24
2.7.1.1	<i>Alternativa 1</i> .....	25
2.7.1.2	<i>Alternativa 2</i> .....	25
2.7.1.3	<i>Alternativa 3</i> .....	26
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE DETALLE DE LA MÁQUINA LANZADORA DE PELOTAS DE TENIS</b>	
3.1	Evaluación de alternativas .....	27

3.2	Diseño modular.....	31
3.3	Bosquejos iniciales utilizando SolidWorks .....	34
3.4	Ecuación de Gruebler .....	37
3.5	Cálculo del requerimiento del motor movimiento vertical.....	38
3.5.1	<i>Análisis cinemático</i> .....	38
3.5.1.1	<i>Análisis de velocidades</i> .....	38
3.5.1.2	<i>Análisis de aceleraciones</i> .....	41
3.5.1.3	<i>Cálculo de las propiedades de la masa</i> .....	45
3.6	Cálculo del requerimiento del motor ruedas.....	50
3.7	Calculo del eje .....	52
3.8	Diseño chaveta y chavetero .....	56
3.9	Selección de rodamientos .....	58
3.10	Cálculo de la velocidad de lanzamiento .....	61
3.11	Análisis de cargas usando el software ANSYS .....	62
3.11.1	<i>Base inferior</i> .....	62
3.11.2	<i>Base superior</i> .....	65
3.11.3	<i>Eje</i> .....	66
<b>4.</b>	<b>PROCESOS Y CONSTRUCCIÓN</b>	
4.1	Construcción de la máquina lanzadora de pelotas de tenis. ....	68
4.1.1	<i>Sección mecánica</i> .....	68
4.1.2	<i>Sección electrónica</i> .....	75
4.1.2.1	<i>Líneas de programación</i> .....	81
<b>5.</b>	<b>FASE EXPERIMENTAL</b>	
5.1	Validación de la máquina lanzadora de pelotas de tenis .....	83
5.1.1	<i>Pruebas</i> .....	84
5.1.1.1	<i>Pruebas de velocidad</i> .....	84
5.1.1.2	<i>Prueba de distancia y posicionamiento</i> .....	86
5.2	Manual de usuario de la máquina lanzadora de pelotas de tenis .....	89
5.3	Plan de mantenimiento de la máquina lanzadora de pelotas de tenis .....	89
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
6.1	Costos .....	90
6.2	Costos directos.....	90
6.3	Costos indirectos.....	92
6.4	Costos totales.....	93
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones.....	94
7.2	Recomendaciones .....	95

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Comparación entre máquinas del mercado..... 11
2	Características pelotas de tenis ..... 14
3	Tipos de mecanismos de cuatro barras ..... 20
4	Tipos y principios de funcionamiento máquina lanzadora de tenis..... 24
5	Evaluación de cada criterio..... 28
6	Evaluación de las soluciones respecto al costo ..... 28
7	Evaluación de las soluciones respecto a la funcionalidad ..... 29
8	Evaluación de las soluciones respecto al fácil uso ..... 29
9	Evaluación de las soluciones respecto a la mantenibilidad ..... 29
10	Evaluación de las soluciones respecto a la frecuencia de lanzamiento ..... 29
11	Evaluación de las soluciones respecto a la seguridad..... 30
12	Evaluación de las soluciones respecto al peso..... 30
13	Evaluación de las soluciones respecto a los repuestos ..... 30
14	Evaluación de las soluciones respecto a la estética ..... 30
15	Conclusiones para selección de la alternativa ..... 31
16	Sistemas de ecuaciones..... 49
17	Dimensiones de la chaveta ..... 57
18	Tipos de rodamientos y comparación con su desempeño..... 59
19	Pruebas usando cinemática básica ..... 85
20	Pruebas usando Tennis Radar Gun..... 86
21	Pruebas sistema manual..... 88
22	Lista de materiales y costos ..... 90
23	Costos de mano de obra..... 92
24	Costos indirectos..... 92
25	Costos totales..... 93

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos ..... 7
2	Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos ..... 8
3	Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos, alimentación ..... 8
4	Cilindros rotatorios ..... 9
5	Dispositivo con ruedas para lanzar pelotas de tenis ..... 9
6	Máquina lanzadora de pelotas de tenis con aire comprimido..... 10
7	Pelota de tenis ..... 12
8	Ensayo de resistencia a la compresión ..... 13
9	Dimensiones cancha de tenis ..... 14
10	Trayectoria efecto slice ..... 15
11	Trayectoria efecto topspin ..... 15
12	Trayectoria efecto flatspin o plano ..... 16
13	Componentes de motor CC..... 16
14	Inversión de giro de un motor..... 18
15	Esquemas mecanismos de cuatro barras ..... 20
16	Gráfico de análisis estático de un eslabón ..... 21
17	Mecanismo lanzador de pelotas-resorte ..... 25
18	Lanzador de pelotas de tenis neumático ..... 26
19	Lanzadora de pelotas de tenis – ruedas rotatorias ..... 26
20	Módulo de alimentación ..... 32
21	Módulo de ubicación ..... 32
22	Módulo de aplastamiento..... 33
23	Conjunto de módulos..... 33
24	Primer esquema de lanzador de pelotas..... 34
25	Segundo esquema de lanzador de pelotas..... 35
26	Tercer esquema de lanzador de pelotas ..... 35
27	Análisis geométrico del manivela-balancín..... 36
28	Dimensiones teóricas del manivela-balancín ..... 37
29	Esquema mecanismo manivela-balancín..... 37
30	Esquema cinemático ..... 38
31	Diagrama de velocidades B/C ..... 39
32	Diagrama velocidades X..... 41
33	Diagrama de aceleraciones C/B..... 43
34	Diagrama aceleraciones X ..... 44
35	Diagrama de cuerpo libre del desmodrómico..... 46
36	Movimiento parabólico..... 50
37	Diagrama de cuerpo libre eje..... 52
38	Esquema plano de cargas XZ ..... 53
39	Esquema plano de cargas XY ..... 54

40	Diagrama de esfuerzo cortante .....	55
41	Diagrama momento cortante .....	55
42	Dimensiones chaveta chavetero.....	57
43	Especificaciones motor.....	61
44	Análisis de esfuerzo equivalente de Von Mises en la placa inferior mediante el uso de software ANSYS .....	63
45	Análisis de esfuerzo equivalente de Von Mises en la placa inferior mediante el uso de software ANSYS .....	64
46	Análisis de factor de seguridad en fatiga para la placa inferior mediante el uso de software ANSYS.....	64
47	Resultados de esfuerzo, deformación y factor de seguridad del Análisis en ANSYS de la Base Superior.....	65
48	Resultados deformación del Análisis en ANSYS de la Base Superior .....	65
49	Resultados del factor de seguridad del análisis realizado ANSYS de la base superior .....	66
50	Resultados de deformación del análisis en ANSYS del eje. ....	67
51	Resultados del análisis de esfuerzos en el eje usando el software ANSYS.....	67
52	Resultados del análisis de factor de seguridad en el eje usando el software ANSYS. ....	67
53	Cuerpo principal .....	68
54	Eje de transmisión .....	68
55	Anillos de retención.....	69
56	Soporte de motor .....	69
57	Ruedas .....	70
58	Motor .....	70
59	Montaje chumaceras .....	71
60	Montaje soporta motores .....	71
61	Motor limpia parabrisas.....	71
62	Tubo de alimentación .....	72
63	Sistema de alimentación .....	72
64	Montaje de elementos .....	73
65	Carcasa.....	73
66	Sistema de transporte.....	74
67	Máquina lanzadora de pelota de tenis.....	74
68	Arduino Nano .....	75
69	Antena inalámbrica direccional por radio frecuencia.....	75
70	Pantalla azul 16x2.....	76
71	Circuito control armado en protoboard .....	76
72	Circuito Arduino-led-potenciómetro-Proteus 8.....	77
73	Circuito con mosfet .....	78
74	Placa circuito con mosfet.....	79
75	Relé de potencia.....	80
76	Placa relé potencia .....	80
77	Programación receptor.....	81

78	Programación transmisor .....	82
79	Relación componentes sistema de pruebas.....	83
80	Esquema de un movimiento parabólico.....	85
81	Zonas cancha de tenis .....	87

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

ITF	International Tennis Federation
USP	United States Patent
CC	Corriente Continua
ASTM	Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales
CAD	Dibujo asistido por computadora
LPT	Lanzadora de Pelotas de Tenis

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Proporciones estándar para el diseño de chaveta-chavetero
- B** Escala para el cálculo de la vida nominal básica de los rodamientos
- C** Factores X e Y. Cálculo carga radial equivalente para rodamientos
- D** Dimensiones y Factores Rodamiento
- E** Pruebas usando Tennis Radar Gun
- F** Manual del usuario
- G** Plan de mantenimiento

## RESUMEN

Se diseña y fabrica una máquina prototipo de lanzamiento de pelotas de tenis de campo mediante el uso de ruedas giratorias y movimiento vertical controlado para un sistema de entrenamiento programado.

El cumplimiento de los objetivos se sustentó en: método de revisión bibliográfica; método dialéctico, para tener un manejo de la información y método histórico, debido a que se utilizó fuentes anteriores que ayudaron a encontrar las principales características de este tipo de máquinas existentes en el mercado internacional. Se consiguió dar tres efectos a la pelota de tenis gracias a la variación de velocidad en motores CC utilizando Arduino y con un control remoto. Se usó herramientas CAD para la simulación y diseño de los mecanismos presentes en la máquina.

Se obtuvo una máquina provista de ruedas que, al girar con una velocidad de 2750 rpm, consiguen transmitirle suficiente energía cinética a la pelota de tenis logrando el disparo con tres efectos de lanzamiento: Slice, Top Spin y Flat Spin, similar a un jugador promedio. Posee un alcance variable que abarca la longitud de la cancha; la velocidad promedio de disparo de la pelota de tenis es de 56 m/s, esto se comprobó por dos métodos: mediante el uso de una aplicación para teléfono inteligente y resolviendo las ecuaciones de cinemática.

Se recomienda que se haga uso de máquinas para entrenamiento de tenis como esta para facilitar la enseñanza y perfeccionamiento de este deporte. Este prototipo servirá como guía para futuras investigaciones y desarrollos en este ámbito.

## **ABSTRACT**

Designing and manufacturing of a prototype machine launch of tennis ball of field by using rotating wheels and controlled vertical movement for a scheduled training system.

The fulfillment of the objectives was based on: bibliographic review, dialectic method, to have a management of the information and historical method, due to was used previous sources that helped find the main features of this type of machines on the international market. It managed to give three effects to the tennis ball thanks to the variation of speed in CC motors using Arduino and with a remote control. It was used Computer Assisted Draw tools (CAD) for the simulation and design of the mechanisms present in the machine.

It was obtained a machine fitted with wheels that, when turning with a speed of 2750 rpm, manage to transmit enough kinetic energy to the tennis ball getting the shoot with three effects of launch: Slide, Top Spin and Flat Spin, similar to a player average. It has a variable range that spans the length of the court; the average speed of shot of tennis ball is 56 m/s, this was confirmed by two methods: by using of an application for smart phone and solving equations of kinematics.

It is recommended that you make use of machines of tennis training like this one to facilitate the teaching and improvement of this spot. This prototype will serve as guide for future research and developments in this field.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La evidencia histórica sobre el diseño, fabricación de maquinaria apropiada para facilitar la práctica del tenis se remonta al año 1978. Jack C. Scott patentó la primera máquina lanzadora de pelotas de tenis. Su principal característica era la capacidad de controlar los lanzamientos de derecha y de revés con varias velocidades y giros logrando simular las condiciones que se producen en un juego verdadero. Por otro lado, el sistema tiene un par de ruedas que giran independientemente, la pelota pasa por el medio de estas dos ruedas y de este modo son arrojadas con una velocidad y dirección determinadas. (SCOTT, 1978)

En 1983, Gilbert A. Stokes propuso una máquina de lanzar pelotas de tenis que usaba un sistema neumático. El principio de funcionamiento de este sistema es que las pelotas se encuentran dentro de un ducto de sección circular y son arrojadas por una fuerza externa producida por un cilindro neumático. Las direcciones y velocidades de la pelota, varían en función de la disposición angular del ducto. (STOKES, 1986)

La investigación realizada por Paulson Kerry en el año 2000, presenta una máquina lanzadora de pelotas que incluye un par de ruedas rotatorias cuyo material es de caucho o un elastómero sintético, el diámetro de estas ruedas está dentro de un rango entre 6-14 pulgadas. En la estructura principal de este diseño, se encuentran instalados un par de motores eléctricos, cada uno de estos están acoplados a cada rueda. Este mecanismo hace uso de las baterías como fuente de energía principal para que los motores eléctricos funcionen. (KERRY, 2004)

El estudio llevado a cabo en Junio de 2013 por la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Malasia como trabajo de grado, Design And Fabrication Of Throwing Mechanism For Tennis Ball Machine presentado por Khairul Amzar Bin Mohd Kassim como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico (AMZAR, 2013) ayuda a la comprensión del cambio de energía cinética rotacional a lineal para la

elaboración de la presente Máquina Prototipo de Entrenamiento para Tenis de Campo. Además ilustra sobre materiales y partes para su construcción.

Los avances hechos en los contextos mencionados anteriormente, contrastan con el entorno del Ecuador pues en el país no se conoce de desarrollos de esta índole ya sea a nivel de diseño o de fabricación. Ahora, se busca el cambio de la matriz productiva, que básicamente consiste en estimular emprendimientos locales que hagan uso de su creatividad para producir innovaciones. Debido a que la economía ecuatoriana se ha dedicado a exportar materias primas e importar derivados a costos mayores. Es el momento de aprovechar esta oportunidad y explotar este nicho de mercado.

El tenis tradicionalmente ha sido un deporte con práctica limitada a pequeñas elites. Sin embargo, el Ministerio del Deporte en su afán de proveer de oportunidades a un amplio sector de interés, ha invertido muchos millones de dólares en programas para la masificación de los deportes entre ellos el tenis los mismos que en un futuro podrían financiar programas de tecnificación que facilite la enseñanza y la práctica de deportes mediante el uso de maquinaria.

El estudio previo realizado por Amzar guía esta investigación porque provee una visión más amplia y profunda sobre características de forma, ergonomía e incluso tecnología que puede ser utilizada en el enfoque que se quiere dar a esta máquina de pelotas de tenis para hacerla más eficiente y que pueda tener un alcance mayor en el mercado. Se debe analizar la posibilidad del uso de materiales adecuados que estén al alcance del mercado local y su optimización mediante geometrías apropiadas.

Los prototipos que se encuentran en el mercado internacional y nacional (los cuales son importados) manejan un sistema de lanzamiento en tres direcciones y distintas fuerzas lo cual ayuda al deportista a lograr un entrenamiento con mayor desempeño y preparándolo a manejar o a responder frente a cualquier tipo de lanzamiento. Los costos de dichos prototipos son bastante elevados debido a los impuestos asignados a las importaciones.

La idea que se ha tomado del escrito es lograr la construcción de un lanzador de pelota que utiliza básicamente dos rodillos giratorios para arrojar la pelota de tenis según una

distancia o dirección requeridas. Las ruedas son alimentadas por motores eléctricos que van a provocar su giro. La velocidad inicial de la pelota depende de la velocidad de rotación de las ruedas de este modo la pelota es lanzada gracias a la presión ejercida por las dos ruedas y por su velocidad. Para lo cual se va a poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Mecánica como son: mecanismos, electrónica y diseño que son las áreas que juegan un papel importante dentro del desarrollo de esta investigación.

## **1.2 Justificación**

Este trabajo se justifica porque no existe máquinas lanzadoras de pelotas de tenis de fabricación nacional, mientras que las importadas tienen costos elevados. Además para su diseño se requiere de la ayuda de la ingeniería mecánica y su manufactura representaría generación de trabajo para el país.

Dentro de las muchas aristas a tomar en cuenta para justificar la realización de este trabajo de desarrollo tecnológico se deben apuntar las siguientes:

El tenis de campo es un deporte que tiene costos elevados es por esta razón que en nuestro país no muchos sectores se ven dirigidos a practicarlo, entonces con el fin de prestar una opción viable y económica para ayudar a la masificación de este deporte y hacer un aporte al mejoramiento del desarrollo de las distintas destrezas que tienen que perfeccionar los deportistas durante sus entrenamientos.

El cambio de la matriz productiva que se pretende en el Ecuador debe traducirse en el desarrollo de las tecnologías que al momento no están presentes en el país, que por cierto no necesariamente son complicadas, sino que más bien representan la oportunidad de desarrollar y potenciar la capacidad de producción ecuatoriana.

Este es el caso de este prototipo, que permitirá entrenar de una manera más eficiente a deportistas que practican el tenis de campo, y de este modo masificar la práctica del tenis de campo.

Esta máquina que se pretende estudiar, dimensionar y construir necesita de la ciencia, a través de la mecánica, en el área del diseño de los elementos de la máquina que puedan

lograr un impulso suficiente a la pelota de tenis y que le dé un efecto que se asemeje a los que un tenista puede encontrar en una competencia real y a los que debe responder correctamente. Es por esto que se justifica como un proyecto de desarrollo tecnológico digno de que la ingeniería se ocupe de él y dé soluciones que favorezcan tanto a su funcionalidad como a su ergonomía.

El mercado hacia donde se dirige esta máquina es el deportivo, en donde se nota que existen falencias en el tenis de campo. Hoy en día este tipo de máquina se encuentra en el mercado en las ciudades más importantes del país dentro de los Clubes de Tenis, pero estas son importadas y no son producidas nacionalmente. En Riobamba no se produce y su uso es nulo o muy limitado, es por esto que se establece un nuevo nicho de mercado tanto en las instituciones gubernamentales como privadas relacionadas con el tenis. De este modo se invierte en el país, se crean fuentes de empleo, y el dinero se queda en el país en vez de gastar considerables sumas de dinero importándolas.

Desde el punto de vista deportivo, la práctica del tenis no está desarrollada en el Ecuador, sea por limitantes económicas o tecnológicas. Se suele necesitar en primer lugar una pareja de juego y un instructor que controle y corrija la técnica. Con esta máquina se podrá entrenar solo y mejorar la forma de golpear para responder a un determinado tipo de situación o tener un plan de entrenamiento programado.

La práctica de deportes como el tenis contribuye al desarrollo integral de la persona y de la sociedad, esta máquina pondrá un poco más cerca de las personas el practicar tenis en busca de su masificación no solo desde el punto de vista de competencia sino de un entretenimiento lúdico. Si se facilita el acceso a la práctica de tenis de campo la juventud está más protegida de caer en vicios propios de la sociedad actual como las drogas o el alcohol, manteniendo su cuerpo y mente sanos.

El desarrollo de esta máquina busca un relacionamiento amigable con el ambiente, y eficiente en el uso de energía. Además se pretende hacer de elementos que puedan ser reciclables de modo que no represente una carga fuerte para el ecosistema cuando este acabe su vida útil. Además se presenta la oportunidad de estudiar el uso de materiales reciclados para la construcción del prototipo. Las partes y piezas que compongan la máquina prototipo de entrenamiento para tenis de campo pueden ser reemplazadas

fácilmente cuando lleguen a su etapa de desgaste para garantizar un mayor tiempo de vida útil.

### **1.3       Objetivos**

**1.3.1**       *Objetivo General.* Diseñar y fabricar una máquina prototipo de lanzamiento de pelotas de tenis de campo mediante el uso de ruedas giratorias para un sistema de entrenamiento programado.

**1.3.2**       *Objetivos Específicos:*

- Realizar el estudio bibliográfico relevante acerca del diseño y construcción de máquinas lanzadoras de pelotas de tenis.
- Hacer el diseño conceptual de la máquina lanzadora de pelotas de tenis.
- Proponer un diseño de detalle eficiente con respecto a su funcionalidad y uso al cumplir con las especificaciones requeridas como son: un sistema que sea amigable con el usuario y transportable.
- Fabricar una máquina lanzadora de pelotas de tenis de campo.
- Realizar pruebas de funcionalidad de la máquina lanzadora de tenis y verificar los tipos de lanzamientos y la velocidad de la pelota asegurando su correcto funcionamiento.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Origen y evolución de las máquinas lanzadoras de pelotas de tenis

Para conocer y sintetizar las máquinas lanzadoras de tenis de campo, se realiza un estudio bibliográfico de las patentes intentando distinguir las características que signifiquen un aporte a este trabajo de titulación de tal modo de que estas investigaciones previas sirvan para encontrar una relación entre conceptos, teorías, y localizar perspectivas diferentes para aplicarlas.

**2.1.1** *Revisión de patentes.* La United States Patent tiene una gran variedad de patentes de máquinas lanzadoras de pelotas, de tenis de campo, de tenis de mesa, de pelotas de fútbol y de béisbol que cuentan con sistemas para facilitar el entrenamiento de los distintos deportes.

A continuación se exponen algunas de las publicaciones realizadas y las principales características que tienen cada una de las patentes en orden cronológico, para ver los cambios y mejoras que se han realizado a través del tiempo.

**2.1.1.1** *Máquina lanzadora de baseball (baseball throwing machine).* Este mecanismo fue diseñado y construido con el fin de reducir el costo de otras máquinas lanzadoras de pelotas, utiliza un resorte que está sujeto en un par de brazos fijos.

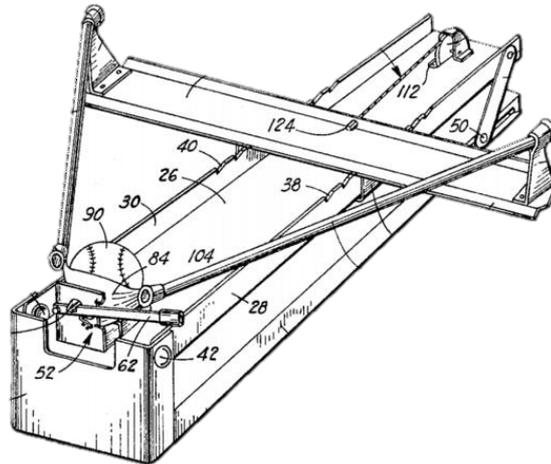
La pelota es colocada en el medio del tensor cuando este se encuentra estirado y dependiendo de cuán tenso esté, la pelota adquirirá la fuerza y la distancia esperada.

El sistema está montado sobre una base móvil que es accionada por motores y la transmisión de movimiento se logra mediante un conjunto de cables y poleas con lo que se logra la posición deseada de la pelota, facilitando la práctica de bateo.

Debido a que el sistema principal de lanzamiento está montado sobre una base plana, es muy simple la variación del ángulo con respecto a la horizontal y así brindarle al

sistema una inclinación independientemente de lo que se desee, además presenta la posibilidad de variar la longitud de los brazos que sostienen el resorte en situaciones donde se requiera alterar la extensión del resorte para darle a la pelota más o menos fuerza de lanzamiento.

Figura 1. Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos



Fuente: (PANKRATZ, 1966)

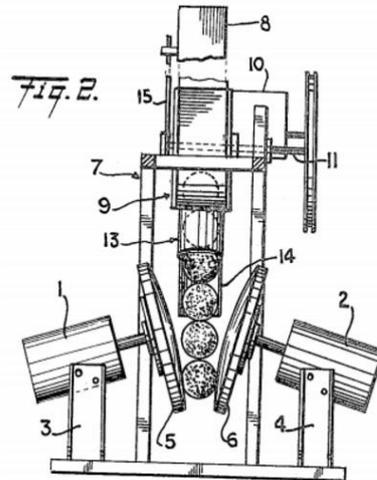
**2.1.1.2** *Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos (ball throwing machine having two rotatable discs)*. El principio de funcionamiento de este dispositivo para lograr la expulsión de las pelotas es la siguiente: los motores una vez energizados empiezan a girar en la misma dirección y a alta velocidad de alrededor de 45 m/s, es decir la velocidad aproximada de una pelota de tenis al ser golpeada.

Cuando los discos rotatorios alcanzan su máxima velocidad, las pelotas caen al espacio que existe en medio de los dos discos, los cuales ejercen presión a la pelota. Debido a la fricción ejercida entre la pelota y la superficie de las ruedas, durante el contacto la pelota adquiere la velocidad entregada por los motores al punto que la pelota es expulsada de la máquina. El ángulo de expulsión de la pelota se logra mediante la variación de la posición de los motores y de las ruedas que trabajan solidarias a los motores.

El mecanismo de alimentación de pelotas, como se muestra en la figura 3, consiste en cuatro aspas que giran lentamente, las cuales se encuentran dentro de una cubierta de acero, sobre la cual se encuentra la tolva de almacenamiento. Adherido a la cubierta, se encuentra un tubo de salida que es el encargado de guiar a las pelotas hacia las ruedas.

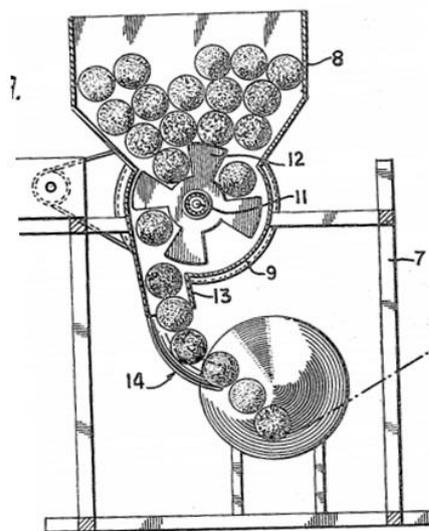
El giro de las aspas es controlado por un motor que se encuentra en el exterior de la cubierta y controla al eje sobre el que están montado las aspas mediante una banda con lo cual logra una disminución en la velocidad de giro.

Figura 2. Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos



Fuente: (SWARTOUT, 1968)

Figura 3. Lanzadora de pelotas con dos discos rotativos, alimentación



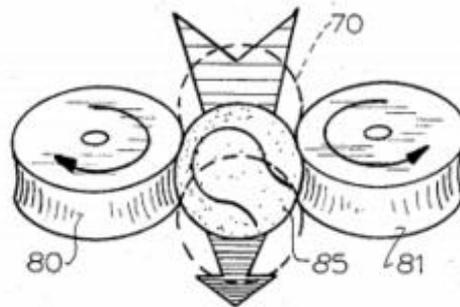
Fuente: (SWARTOUT, 1968)

**2.1.1.3** *Dispositivo con ruedas para lanzar pelotas de tenis (device having coacting wheels for projecting tennis balls).* Las pelotas son colocadas en la tolva de alimentación y una a una van pasando por una compuerta rotatoria hasta deslizarse a través de un ducto que las dirige al mecanismo de expulsión que consiste en un par de cilindros separados montados en ejes paralelos que giran sincronizados a un par de motores eléctricos, los cilindros están dispuestos en posición horizontal. Las pelotas al

pasar por los cilindros son comprimidas momentáneamente y al instante de salir, adquieren una velocidad muy similar a la velocidad angular de los cilindros en rotación.

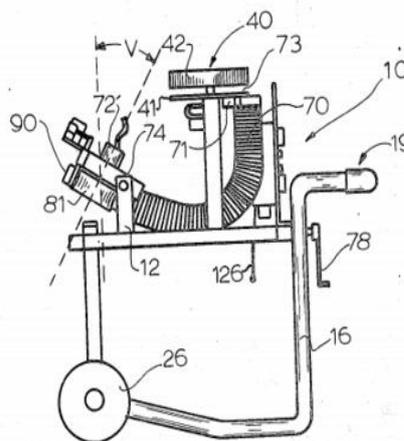
En la figura 4 se muestra el paso de la pelota a través de los cilindros rotatorios que giran en sentidos contrarios y en la figura 5 se el dispositivo en conjunto:

Figura 4. Cilindros rotatorios



Fuente: (HOLLOWAY, y otros, 1973)

Figura 5. Dispositivo con ruedas para lanzar pelotas de tenis



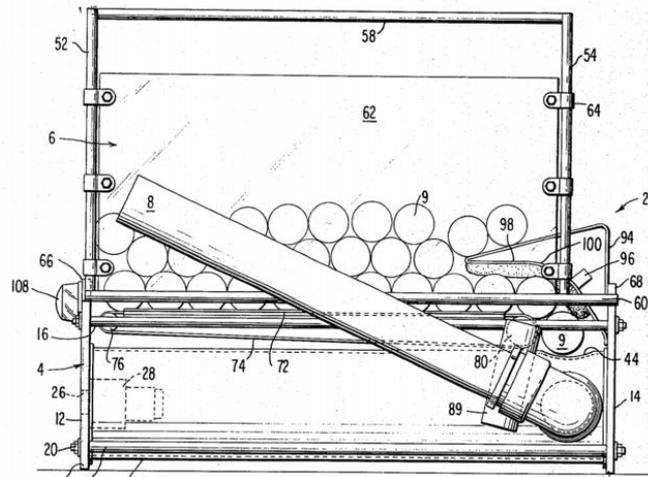
Fuente: (HOLLOWAY, y otros, 1973)

**2.1.1.4 Máquina lanzadora de pelotas de tenis (tennis ball throwing machine).** El objetivo de esta patente es proveer una máquina que expulse periódicamente pelotas de tenis con una fuerza uniforme y en distintas direcciones, utilizando al aire comprimido como recurso principal de emisión de fuerza.

Para ello se utilizó una bomba de aire que suministra el aire a través de una sección de tubería en cuyo extremo se encuentra una válvula de compuerta normalmente abierta para evitar un posible retorno de las pelotas; dado que cuando la pelota entra el ducto de salida, ésta causa momentáneamente una contrapresión que ocasionaría el retorno de la

bola, pero gracias a que la válvula se cierra, la velocidad del aire que se encuentra detrás de la pelota incrementa, por ende la pelota es expulsada con fuerza por el ducto inclinado, en lugar de regresar al sistema.

Figura 6. Máquina lanzadora de pelotas de tenis con aire comprimido



Fuente: (STOKES, 1986)

La variación de velocidad sigue el principio de Bernoulli de los fluidos en movimiento y el principio de la energía cinética. Dentro del cilindro de salida se forma un alto volumen de aire y por la disminución de sección transversal de la tubería, aumenta la velocidad a lo largo de la tubería. La energía contenida en la masa de aire en movimiento es absorbida por el incremento de velocidad y a su vez es absorbida por la pelota.

## 2.2 Características técnicas de las máquinas lanzadoras de pelotas de tenis del mercado internacional

**2.2.1** *Tipos de lanzadoras de pelotas disponibles en el mercado internacional.* En el mercado internacional hay algunos tipos de lanzadores de pelotas que siguen distintos criterios y características de diseño, las mismas que se presentan a continuación donde se muestra una comparación entre las máquinas existentes, usando como referencia las guías, manuales y catálogos que son proporcionados en línea por los vendedores o fabricantes.

Las máquinas lanzadoras de pelotas de tenis más comunes son las de marca Lobster que son manufacturadas en los Estados Unidos y es por eso que se las ha tomado como principal referencia, además son las más comercializadas en páginas de venta en

internet como eBay® y Mercado Libre®. Sus características más importantes son: su bajo peso, fácil portabilidad, su tamaño es manejable, se obtienen tres tipos de golpes, y la tecnología que utilizan es alta al poder controlarlas a control remoto.

Tabla 1. Comparación entre máquinas del mercado

Modelo		Lobster Sports Phenom II Club Series Machine	Lobster Elite Grandslam V Limited	Tennis Tutor Tower with Multi-function Remote
Imagen				
Característica	Unidad			
Precio	Dólar	3495	2500	2426
Velocidad máxima	[m/s]	35	35	38
Velocidad mínima	[m/s]	6	9	4
Capacidad	Pelotas	250	150	225
Alimentación	[s]	2-9	2-12	1.5-8
Energía	-	AC	Batería	AC
Elevación	-	Si	No	No
Oscilación horizontal	-	Si	No	No
Control golpe	-	Top-back spin	Top-back spin	Flat-Top spin
Peso	[kg]	45	20	27
Transportable	-	Si	Si	Si
Dimensiones	[plg]	H32"xL25"xW50"	-	H44"xL23"xW22"
Comunicación		Control Remoto	Control Remoto	Aplicación

Fuente: Autores

Como se aprecia en la tabla 1, existen varios modelos de máquinas que poseen distintas características como en el precio, la velocidad máxima y mínima, capacidad de almacenamiento de pelotas, tipo de suministro de energía, y si posee o no elevación y oscilación horizontal además de sus características en el peso y sus dimensiones. Todas estas características van de acuerdo a los requerimientos del usuario. Observando las particularidades de estas máquinas, es necesario notar que la más completa es la Lobster

Sports Phenom II Club Series Machine al tener una mayor capacidad de almacenamiento de pelotas, variación de oscilación vertical y horizontal y 2 tipos de golpe, las desventajas es el alto precio y peso.

### **2.3 Variables para el diseño de la máquina lanzadora de pelotas de tenis de campo**

Para cualquier diseño que se requiera es importante conocer los parámetros de los cuales partir pues ellos van a ser los responsables de proporcionar la información necesaria para obtener los requerimientos físicos, sin los cuales sería inapropiada la fabricación de cualquier artefacto.

**2.3.1 Pelota de tenis de campo.** Las pelotas de tenis necesitan ciertas características y propiedades mecánicas que aporten al mejor desempeño en el juego, como por ejemplo: mejor resistencia al choque, condiciones óptimas de rebote, deformabilidad, resistencia al desgaste y resistencia al viento.

La ITF (International Tennis Federation), es la responsable de regular y monitorear el proceso de manufactura y las especificaciones de las Pelotas de tenis para su posterior aprobación mediante la realización de ensayos de resistencia a la compresión y rebote, comprobación de su tamaño, peso y material.

Es por esto que las pelotas a utilizar en las competencias deben ser elaboradas de los siguientes materiales (INTERNATIONAL TENNIS, 2015):

- Núcleo de caucho hueco (presurizado o no).
- Cubierta de un material textil compuesto de lana, nylon y algodón.

Figura 7. Pelota de tenis



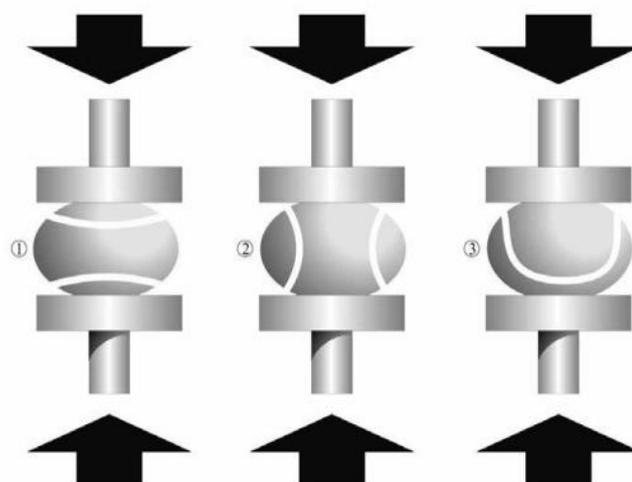
Fuente: (GOLAS, 2011)

**2.3.1.1 Características de las pelotas de tenis.** Es claro que las características del juego dependen de la pelota que es usada, de su construcción, tipo de tela y de la presión interna con la que fue fabricada.

Por lo tanto la ITF normaliza las particularidades de las pelotas con el fin de obtener uniformidad, para ello somete a las pelotas a tres pruebas que controlan: masa, tamaño y resistencia a la compresión, estos ensayos se efectúan de la siguiente manera:

- **Masa.** Se usa una balanza electrónica de laboratorio con una capacidad de 100 gramos, y una a una se va comprobando el peso de las pelotas para que no supere un rango de 36 a 57,6 g.
- **Tamaño.** Se usan aros calibrados cuyos diámetros varían desde la medida más grande hasta la más pequeña permisible. Esta prueba consiste en hacer pasar a las pelotas por cada uno de estos aros para determinar su tamaño, es decir, el menor y menor diámetro permitido de las pelotas es de 6,35 a 6,67 cm.
- **Resistencia a la compresión.** Se aplica una fuerza a lo largo del diámetro de la pelota y se mide la deformación resultante. Este ensayo se lo realiza por tres ocasiones y en diferentes direcciones como se indica en la siguiente figura:

Figura 8. Ensayo de resistencia a la compresión



Fuente: (INTERNATIONAL TENNIS, 2015)

Simplificando, las pelotas de tenis son fabricadas bajo los siguientes rangos (tabla 2), que están normalizados por la ITF, consiguiendo las mejores características.

Tabla 2. Características pelotas de tenis

Característica	Descripción
Material	Núcleo de caucho y cubierta de lana, nylon y algodón
Color	Amarillo y blanco
Tamaño	6,35-6,67 cm
Masa	36-57,6 g
Resistencia a la compresión	4,6-5,2 kgf/plg <sup>2</sup>
Rebote	105-141 cm

Fuente: (WANG, 2011)

**2.3.2 Cancha de tenis de campo.** Del mismo modo la ITF regula las dimensiones oficiales de la cancha de tenis para conseguir uniformidad especialmente en los campeonatos oficiales controlando la geometría y la topografía de la misma. La definen como una superficie rectangular de 23,78 m de largo por 10,97 m de ancho la misma que puede ser de distintos tipos de suelos como de arcilla, hormigón o conglomerado asfáltico, o incluso de césped natural y artificial.

Las especificaciones de la ITF contienen además las dimensiones de la ubicación de las líneas laterales singles, líneas central de servicio, línea de dobles, línea del servicio, línea base y marca central, que van a ser las medidas de referencia para la realización del presente trabajo porque serán las zonas de alcance de la máquina lanzadora de pelotas de tenis.

Figura 9. Dimensiones cancha de tenis



Fuente: (BÁEZ, 2014)

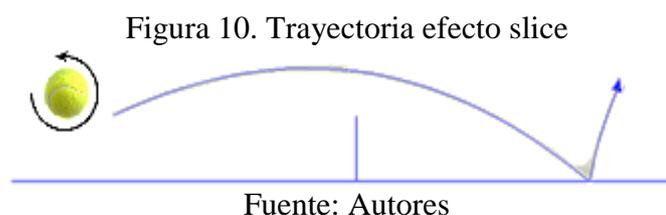
La cancha está dividida en dos partes iguales por una red tensada de 0,914 m de altura que está suspendida por dos postes elevados de 1,07 m los mismos que están ubicados

en los extremos laterales de la cancha a una distancia de 11,89 m medidos desde la línea base. La red determina la zona de juego de los deportistas.

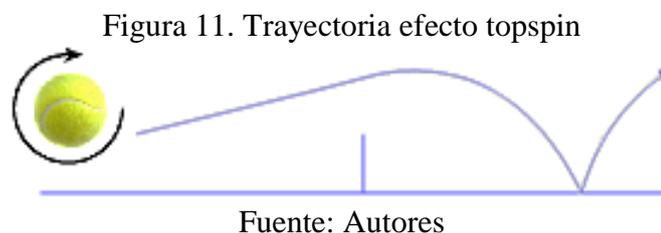
## 2.4 Efectos sobre la pelota de tenis de campo

El tenis de campo tiene tres tipos de efectos que son fundamentales para tener un juego versátil y que permitirán que el deportista desarrollar sus posteriores habilidades e ir mejorando su ritmo de juego. Los efectos son el slice o efecto de cortado, el topspin o efecto liftado y el flatspin o plano.

**2.4.1** *Slice o efecto cortado.* Consiste en proporcionar a la pelota tanto rotación como translación. La rotación es en contra de las manecillas del reloj, de este modo la pelota adquiere una trayectoria baja y a la vez produce que, después del rebote intente regresar hacia la red, dependiendo de la fuerza con la que esta sea golpeada.

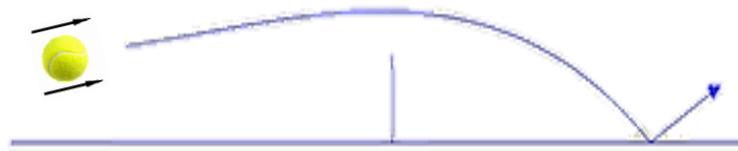


**2.4.2** *Topspin o efecto liftado.* Con este golpe la pelota adquiere una mayor velocidad y después del rebote tiende a elevarse hacia el competidor rival. Debido a la alta velocidad y a la rotación hacia adelante que adquiere la pelota, tiene una fuerte dependencia con la energía de translación y con la energía rotacional.



**2.4.3** *Flatspin o plano.* Este efecto es utilizado generalmente en los saques y consiste darle translación pura a la pelota, debido a que la línea de acción de la fuerza del golpe atraviesa el centro de gravedad de la pelota. La trayectoria tiende a describir mejor un tiro parabólico debido a que se disminuye el rozamiento con el aire.

Figura 12. Trayectoria efecto flatspin o plano



Fuente: Autores

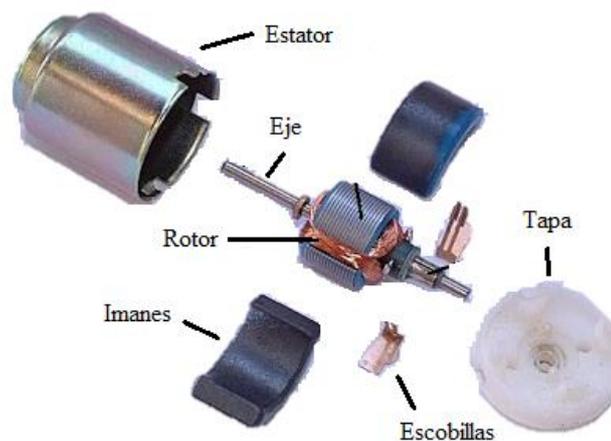
## 2.5 Motores de corriente directa

Para accionar este tipo de motores es necesario conectar los bornes a una fuente de corriente continua o directa, o en su defecto conectarla a una fuente de corriente alterna pero con la ayuda de un rectificador para convertir de CA en CC mediante el uso de diodos que solamente permiten el paso de corriente en una sola dirección, una vez conectado el motor DC, este comenzará con su movimiento.

La característica principal de este tipo de motores es la facilidad que tienen para ser controlados tanto la velocidad como el sentido de giro además de la autonomía energética que le brinda el uso de baterías de CC, pero la desventaja que presentan es que no se posicionan.

**2.5.1** *Componentes del motor de corriente directa.* Como su nombre lo indica su principal característica es la fuente de alimentación de corriente continua y se componen principalmente elementos como: estator, rotor, imanes, escobillas, eje y carcasa, los mismos que ensamblan como se explican en la siguiente figura:

Figura 13. Componentes de motor CC



Fuente: (GRACÍA, 2012)

- Estator. Es la parte fija del motor, está situado alrededor del rotor y es el encargado de producir el campo magnético que es generado por la corriente continua que atraviesa las bobinas.
- Rotor. Se encuentra dentro del estator. El rotor tiene un movimiento rotacional y se encuentra montado sobre un eje. Aquí se encuentra el bobinado inducido.
- Escobillas. Se encuentran en el estator, son las encargadas de conducir la energía desde el estator hasta el rotor.
- Imanes. Son los responsables de generar el campo magnético cuando el rotor se encuentra en movimiento. (GRACÍA, 2012)

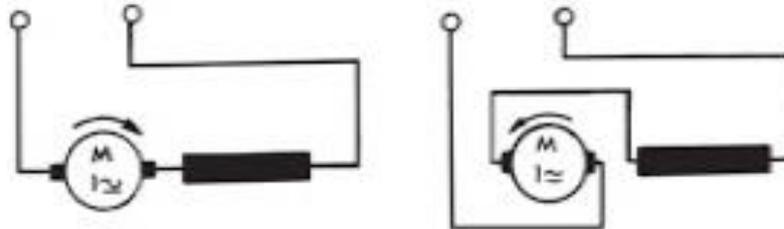
**2.5.2** *Control de velocidad de motores CC.* Existen algunas maneras de controlar la velocidad estos pueden ser mediante métodos eléctricos o electrónicos, pero los procedimientos más principales y sencillos se presentan a continuación:

- Modificando la resistencia de campo, con esto el flujo de campo o corriente disminuye pero la corriente de inducido aumenta y por lo tanto la velocidad del inducido incrementa también.
- Modificando el voltaje terminal, en este caso se le aplica el aumento del voltaje directamente al inducido y así la corriente también aumenta por ende ocurre la misma situación anteriormente mencionado.
- Mediante el uso de rectificadores e inductancias electrónicos que controlan el voltaje entregado por la fuente y con esto se controla la velocidad; a mayor voltaje en el inducido, mayor velocidad y a menor voltaje en el inducido disminuirá la velocidad. (CANTOS, 2004)

**2.5.3** *Control de giro de motores CC.* Este objetivo se lo logra solo con cambiar las fases del motor de este modo se invertirá el sentido de giro. Si la conexión está dada: la fase positiva del motor con el borne positivo de la fuente y la fase negativa con el borne negativo el motor puede girar en sentido horario. Para lograr el cambio de sentido de

giro, se debe conectar la fase positiva del motor con el borne negativo de la fuente y la fase negativa con el borne positivo, de este modo el motor girará en sentido contrario. Para impulsar la pelota se requiere que los motores giren en sentidos opuestos.

Figura 14. Inversión de giro de un motor



Fuente: (CLARA, 2010)

## 2.6 Principios teóricos de diseño

Es pertinente la realización de una revisión de conceptos básicos y teorías de cálculo con el fin de diseñar los elementos mecánicos a utilizar, además hacer una recopilación de procedimientos de selección de los elementos estándares y disponibles en el mercado como son cojinetes, rodamientos, tonillos. Con esto se previene las fallas para resguardar la seguridad del usuario y la vida útil de la máquina.

**2.6.1 Mecanismo cuatro barras.** El padre y promotor de la cinemática Franz Reuleaux define mecanismo como una "combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo y cuyo propósito es transformar el movimiento" (RELEAUX, 1876). Uno de los mecanismos más usados es el de cuatro barras que, gracias a su versatilidad se considera útil para este trabajo.

**2.6.1.1 Partes de un mecanismo.** Las partes de un mecanismo se designan por la función que cumplen. Es así que un mecanismo está constituido básicamente por pares que son articulaciones formadas por la unión de dos elementos, eslabones o cuerpos resistentes; y el eslabón fijo bastidor o marco. El eslabón que no está unido directamente al bastidor se designa como acoplador.

**2.6.1.2 Grados de libertad – ecuación de Gruebler.** La ecuación de Gruebler sirve para determinar la movilidad de un mecanismo mediante el cálculo de los grados de

libertad, es decir ayuda a conocer si el mecanismo está bloqueado o en capaz de moverse y cuantos movimientos de entrada necesita para producir un movimiento.

$$M = 3(n - 1) - 2j_p - j_h \quad (1)$$

Dónde:

$M$  = Grados de libertad

$n$  = Número de eslabones

$j_p$  = Número de uniones principales

$j_h$  = Número de uniones de orden superior

**2.6.1.3** *Criterio de Grashoff*. Es importante aplicar este criterio para determinar si es factible o no la utilización de un eslabón manivela, o sea que pueda describir una vuelta completa sin restricciones geométricas, además el criterio de Grashoff determina los tipos de mecanismos dependiendo de la disposición y características de los eslabones y articulaciones.

El enunciado del criterio de Grashoff dice “en un eslabonamiento plano de cuatro barras, la suma de las longitudes más corta y más larga de los eslabones no puede ser mayor que la suma de las longitudes de los dos eslabones restantes, si es que se desea que exista una rotación relativa continua entre dos elementos” (Moreno, 2012). Y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$s + l \leq p + q \quad (2)$$

Dónde:

$s$  = Longitud del eslabón más corto [m]

$l$  = Longitud del eslabón más largo [m]

$p$  = Longitud de uno de los eslabones de longitud intermedia [m]

$q$  = Longitud del otro eslabón de longitud intermedia [m]

Basados en este criterio se presentan cinco tipos de mecanismos dependiendo de la función del eslabón más pequeño en el mecanismo. De acuerdo a Miszka las categorías

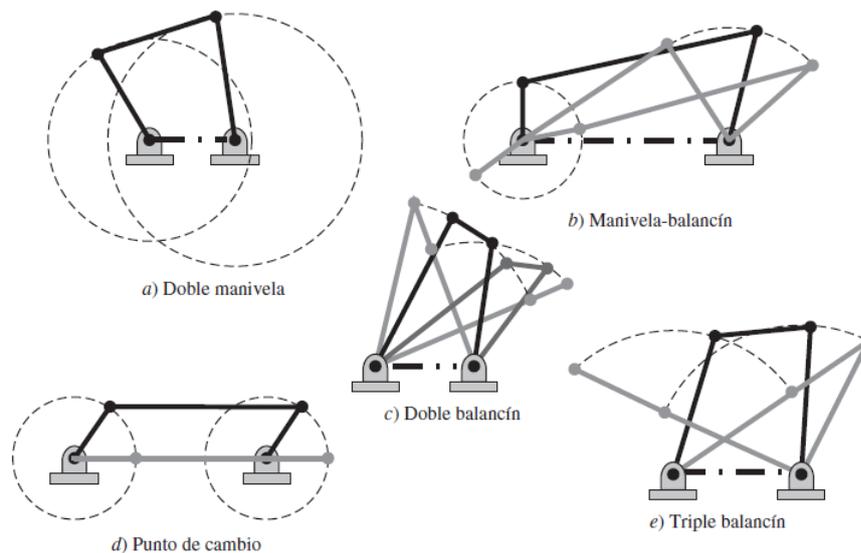
en las que se divide los mecanismos son: doble manivela, manivela-balancín, doble balancín, punto de cambio y triple balancín. Las categorías se muestran en la tabla 3 y los esquemas se encuentran en la figura 15.

Tabla 3. Tipos de mecanismos de cuatro barras

Caso	Criterios	Eslabón más corto	Categoría
1	$s+l < p+q$	Triple balancín	Doble manivela
2	$s+l < p+q$	Lado	Manivela-balancín
3	$s+l < p+q$	Acoplador	Doble balancín
4	$s+l = p+q$	Cualquiera	Punto de cambio
5	$s+l > p+q$	Cualquiera	Triple balancín

Fuente: (MYSZKA, 2012)

Figura 15. Esquemas mecanismos de cuatro barras



Fuente: (MYSZKA, 2012)

**2.6.1.4 Análisis de carga.** Es importante determinar que los elementos mecánicos sean capaces de soportar las fuerzas y momentos a los que están sometidos al instante de realizar su trabajo. Según Rafael Sánchez profesor de la universidad de Huelva, este análisis se desarrolla de forma simplificada mediante el método de superposición o de forma más compleja mediante un análisis matricial. (SÁNCHEZ, 2007)

- Método de superposición. Este método establece que “el efecto resultante de varias fuerzas sobre un cuerpo, es equivalente a la suma de los efectos parciales, sobre el mismo, de cada una de ellas” (SÁNCHEZ, 2007) esto quiere decir que se requiere hacer un análisis por separado de cada una de las fuerzas que actúan en el

mecanismo. Por lo tanto se hace un análisis estático de equilibrio de cada uno de los eslabones por separado, teniendo que:

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad (3)$$

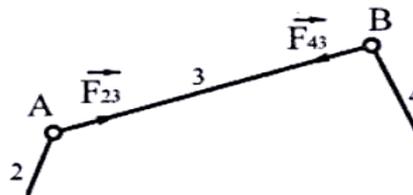
$$\Sigma \vec{M}_o = 0 \quad (4)$$

Donde:

$F$  = Fuerza total

$M_o$  = Momento total respecto del punto "o"

Figura 16. Gráfico de análisis estático de un eslabón



$$\vec{F}_{23} + \vec{F}_{43} = 0$$

Fuente: (SÁNCHEZ, 2007)

- Método matricial: este método contempla el estudio dinámico de las cargas sobre el mecanismo. Entonces es necesario un análisis cinemático preliminar para determinar las velocidades y aceleraciones relativas, una vez resuelto el problema cinemático se aplica las leyes de Newton para hacer un balance de fuerzas y momentos inerciales, de donde se conoce el estado tensional de los elementos. Las ecuaciones útiles para resolver este problema se solucionan mediante el uso de matrices, de ahí el nombre de este método.

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot a \quad (5)$$

$$\Sigma \vec{M}_o = I \cdot \alpha \quad (6)$$

Dónde:

$F$  = Fuerza total

$M_o$  = Momento total respecto del punto "o"

$m$  = Masa [kg]

$a$  = Aceleración [ $m/s^2$ ]

$I$  = Momento de inercia [ $kg.m^2$ ]

$\alpha$  = Aceleración angular [ $rad/s^2$ ]

**2.6.2** *Esfuerzo.* Todos los elementos están expuestos a deformación debido a las fuerzas a las que están sometidos. Se debe estudiar el comportamiento de estos elementos para determinar si tienen deformación plástica o elástica después de haber sido expuestos a cargas.

Lo ideal es que los elementos tengan un comportamiento elástico, es decir, que después de haber sido sometidos a una carga, los elementos vuelva a tener sus características iniciales.

Al esfuerzo se lo denomina como la intensidad de fuerza sobre unidad de área:

$$S = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (7)$$

Dónde:

$S$  = Esfuerzo [ $N/m^2$ ]

$\Delta F$  = Diferencial de fuerza [N]

$\Delta A$  = Diferencial de área [ $m^2$ ]

**2.6.3** *Cálculo del eje o árbol.* La Real Academia de la Lengua define al eje como la pieza mecánica que transmite el movimiento de rotación en una máquina, pero esta definición queda un tanto inconclusa y ambigua, así que se opta por decir que el eje es un elemento generalmente de forma cilíndrica escalonada que ayuda al movimiento rotacional de otras piezas como ruedas, piñones, poleas, rotores y ruedas dentadas. Se debe considerar que el eje debe tener las siguientes características:

- Fácil montaje y desmontaje. Mediante el buen uso de accesorios como tornillos de fijación, pasadores, manguitos y anillos de retención.

- Fácil mantenimiento. Debe ser accesible para darle el mantenimiento correspondiente en un período de tiempo.
- Compactos. Para minimizar los costos y los esfuerzos a flexión.
- Omitir los cambios bruscos de sección. Para evitar la concentración de esfuerzos en un mismo punto o área.

**2.6.4** *Teoría de fallas por fatiga ante esfuerzos variables:* Para el diseño de uno de los elementos más importantes dentro de cualquier máquina, es necesario utilizar una de las teorías de diseño para que cumplan con las condiciones a los que van a ser expuestos. (BUDYNAS, y otros, 2008)

- Soderberg

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (8)$$

- Goodman modificada

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (9)$$

- Gerber

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad (10)$$

- ASME Elíptica

$$\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1 \quad (11)$$

Dónde:

$\sigma_a$  = Esfuerzo amplitud [N/m<sup>2</sup>]

$\sigma_m$  = Esfuerzo medio [N/m<sup>2</sup>]  
 $S_e$  = Resistencia a la fatiga [N/m<sup>2</sup>]  
 $S_y$  = Resistencia a la fluencia [N/m<sup>2</sup>]  
 $n$  = Coeficiente de seguridad  
 $S_{ut}$  = Resistencia última [N/m<sup>2</sup>]

Estas ecuaciones han sido sustituidas por los esfuerzos de Von Mises para que el diámetro pueda ser calculado más rápidamente, en este caso solo se ilustra uno de ellos:

- ASME

$$d = \left\{ \frac{32n}{\pi} \left[ \left( k_f \frac{M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (12)$$

Dónde:

$d$  = Diámetro del eje  
 $n$  = Factor de seguridad  
 $k_f$  = Factor de concentración de esfuerzo  
 $M$  = Momento flector [Nm<sup>2</sup>]  
 $S_e$  = Esfuerzo límite de fatiga  
 $T$  = Momento cortante o torsor [Nm<sup>2</sup>]  
 $S_y$  = Esfuerzo de fluencia

## 2.7 Estudio de alternativas

**2.7.1** *Análisis preliminar.* Basándose en el estudio bibliográfico se concluye que existen tres principales tipos de máquinas lanzadoras de pelotas de tenis:

Tabla 4. Tipos y principios de funcionamiento máquina lanzadora de tenis

<b>Tipos</b>	<b>Descripción</b>
Mecánico	Energía potencial elástica
Neumático	Compresibilidad del aire
Electro-Mecánico	Energía cinemática

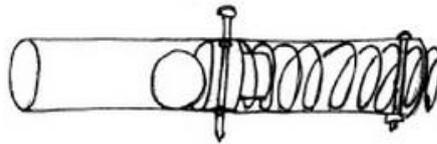
Fuente: Autores

**2.7.1.1** *Alternativa 1.* Lanzador de pelotas de tenis usando un resorte. Las pelotas de tenis se encuentran dentro de una tolva que las almacena, una por una y dependiendo de los requerimientos de velocidad de despache viajan a través de un cilindro que servirá como salida del lanzamiento. El mecanismo de lanzamiento es accionado por un motor principal, este a su vez acciona un resorte, el cual está unido a una base que va a hacer contacto con la pelota provocando el golpe inicial que determinará la fuerza y la distancia que alcanzará la pelota.

Este método proporciona un diseño compacto y simple pero el inconveniente que presenta es que los resortes de alta durabilidad son escasos y costosos, mientras que los del mercado no tienen una alta durabilidad cuando son sometidos a acciones repetitivas, por lo tanto el resorte tendría que ser reemplazado con frecuencia y los mantenimientos que se le realice a la máquina tendrán que ser consecutivos.

El mecanismo por resorte se muestra en la figura 17 mostrando un esquema bastante simple.

Figura 17. Mecanismo lanzador de pelotas-resorte



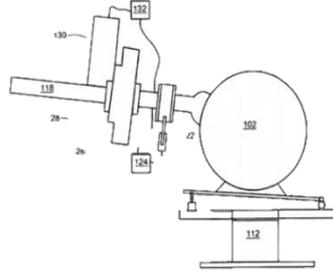
Fuente: (MONFARDINI, 2012)

**2.7.1.2** *Alternativa 2.* Lanzador de pelotas de tenis neumático según Gilbert A. Stokes. Este diseño es accionado neumáticamente mediante aire comprimido, la presión del aire es muy importante para asegurar una buena trayectoria de la pelota de tenis y la velocidad inicial de la misma.

Las pelotas de tenis están almacenadas en una tolva, estas caen por gravedad hacia el tubo de salida, cuando están ahí, son golpeadas por un cilindro neumático logrando que la pelota tenga un alcance correcto, así mismo la dirección de la pelota puede ser ajustada por el grado de elevación del tubo de salida. Este diseño no tiene partes móviles, algunas partes deberían ser fabricadas, se le puede dar distintas distancias de lanzamiento. Como inconveniente se presenta la necesidad de una instalación de un tanque de aire comprimido lo cual aumentaría los costos del mecanismo y el peso del

mismo haciéndolo poco transportable. Necesita una fuente alimentación de CA En la figura 18 se muestra una patente presentada por Thompson Paul en el año 2004:

Figura 18. Lanzador de pelotas de tenis neumático

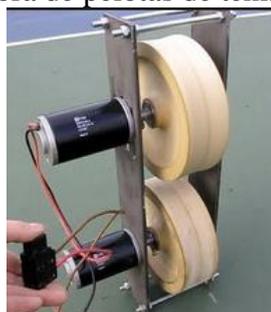


Fuente: (THOMPSON, 2004)

**2.7.1.3 Alternativa 3.** Lanzadora de pelotas de tenis – ruedas rotatorias según Amzar. Este mecanismo de lanzamiento utiliza dos ruedas giratorias que generalmente están impulsados por motores eléctricos. Del mismo modo las pelotas se encuentran en una tolva, una a una caen por un tubo hasta llegar a las dos ruedas que se encuentran girando. La pelota al entrar en contacto con las ruedas sale expulsada con una velocidad inicial que depende de la velocidad de rotación de las ruedas, además la velocidad de las ruedas determina la distancia y fuerza de la pelota.

Las ventajas de este método son su fácil manejo y portabilidad, sus componentes son fácilmente encontrados en el mercado, para la variación de la velocidad de los motores se emplea la electrónica para que la pelota alcance varias distancias y efectos. La desventaja que muestra este sistema es la cantidad de partes móviles que tiene el mecanismo lo que podría ocasionar dificultades al momento de accionar el lanzador. La figura 19 muestra las ruedas giratorias y los motores de un mecanismo rudimentario lanzador de pelotas de tenis.

Figura 19. Lanzadora de pelotas de tenis – ruedas rotatorias



Fuente: (EBO, 2013)

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE DETALLE DE LA MÁQUINA LANZADORA DE PELOTAS DE TENIS

#### 3.1 Evaluación de alternativas

La selección de las alternativas es la parte más crucial para la construcción de un nuevo producto puesto que se debe considerar los mejores conceptos de diseño capaces de satisfacer los requerimientos del consumidor pero que a su vez no eleven demasiado los costos de producción, caso contrario si no se cumplen estos requisitos, el nuevo prototipo no será lo suficientemente oportuno para responder a las contemplaciones del diseño, ni podrá ser considerado como un buen modelo. El análisis para determinar la mejor alternativa se basa en el Método de Evaluación de Soluciones con Criterios Ponderados, el cual se realiza en base a la relación de importancia que existe entre los criterios citados y su comparación dentro de una matriz de evaluación, atribuyendo una valoración de 0 ó 0,5 ó 1 basados en su grado de importancia siendo el cero el valor más bajo y el uno el más alto.

De este modo si la característica asignada en la columna tiene mayor trascendencia en el diseño que la característica de la fila, entonces se le asignará 1, caso contrario será 0, pero si los dos criterios son considerados que tienen un mismo efecto sobre el diseño entonces se estipula un valor de 0,5. (RIBA, 2002)

La ponderación ayuda a determinar qué criterio debe ser más determinante a la hora de diseñar así como que alternativa de diseño es más adecuada de entre las tres que se han mencionado en el capítulo anterior.

Para el análisis se llamará Alternativa 1 a la que consiste en el aprovechamiento de la energía potencial elástica en un resorte, Alternativa 2 a la que se ayuda de un actuador neumático para impulsar la pelota y Alternativa 3 a la que la pelota es impulsada en medio de dos ruedas impulsadas por motores eléctricos. Los criterios de ponderación a analizar son: Costo, Funcionalidad, Fácil uso, Mantenibilidad, Frecuencia, Seguridad, Peso, Repuestos, Estética

Tabla 5. Evaluación de cada criterio

	Costo	Func.	Fácil uso	Manten.	Frecuencia	Seguridad	Peso	Repuestos	Estética	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	6	0,133
Funcionalidad	0,5		1	0	1	0,5	0,5	0	0,5	5	0,111
Fácil uso	0,5	0		0,5	1	0	0,5	0	0,5	4	0,089
Mantenibilidad	0,5	1	0,5		1	0	1	0,5	1	6,5	0,144
Frecuencia	0,5	0	0	0		0,5	0,5	0	0,5	3	0,067
Seguridad	0,5	0,5	1	1	0,5		1	0,5	1	7	0,156
Peso	0	0,5	0,5	0	0,5	0		0,5	0	3	0,067
Repuestos	0,5	1	1	0,5	1	0,5	0,5		0,5	6,5	0,144
Estética	0	0,5	0,5	0	0,5	0	1	0,5		4	0,089
<b>Sumatoria</b>										45	1

Fuente: Autores

A continuación se muestra el análisis uno por uno de los parámetros que son necesarios para la evaluación de alternativas:

Tabla 6. Evaluación de las soluciones respecto al costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,25
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,25
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3					

Fuente: Autores

Para cada criterio de ponderación se realizó un análisis individual con el objetivo de conocer que ventajas o desventajas que tiene cada una de las alternativas, en las tablas desde la tabla 7 hasta la tabla 14 se reseña el análisis individual.

Tabla 7. Evaluación de las soluciones respecto a la funcionalidad

<b>Funcionalidad</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	0	0	1	0,17
Alternativa 2	1	-	0,5	2,5	0,42
Alternativa 3	1	0,5	-	2,5	0,42
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 2 = Alternativa 3 > Alternativa 1					

Fuente: Autores

Tabla 8. Evaluación de las soluciones respecto al fácil uso

<b>Fácil uso</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	1	0	2	0,33
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,25
Alternativa 3	1	0,5	-	2,5	0,42
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2					

Fuente: Autores

Tabla 9. Evaluación de las soluciones respecto a la mantenibilidad

<b>Mantenibilidad</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	0	0	1	0,17
Alternativa 2	1	-	0,5	2,5	0,42
Alternativa 3	1	0,5	-	2,5	0,42
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 2 = Alternativa 3 > Alternativa 1					

Fuente: Autores

Tabla 10. Evaluación de las soluciones respecto a la frecuencia de lanzamiento

<b>Frecuencia</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5	-	0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1	-	3	0,50
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					

Fuente: Autores

Tabla 11. Evaluación de las soluciones respecto a la seguridad

<b>Seguridad</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	1	-	2,5	0,42
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					

Fuente: Autores

Tabla 12. Evaluación de las soluciones respecto al peso

<b>Peso</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	0	1	0,17
Alternativa 3	0	1	-	2	0,33
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2					

Fuente: Autores

Tabla 13. Evaluación de las soluciones respecto a los repuestos

<b>Repuestos</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,25
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,25
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3					

Fuente: Autores

Tabla 14. Evaluación de las soluciones respecto a la estética

<b>Estética</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1	-	0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5	-	2	0,33
<b>Sumatoria</b>				6	1
Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					

Fuente: Autores

Después del análisis entre los tipos de lanzadores de pelotas de tenis anteriormente expuestos, se escoge la alternativa 3 (cinemático) que consiste en dos ruedas impulsadas por motores eléctricos, al considerarlo más apropiado y que abarca los conocimientos de diseño, materiales, dinámica, automatización y otras materias afines a la mecánica.

A continuación en la tabla 15, se resume las conclusiones para la selección de la alternativa a seleccionar:

Tabla 15. Conclusiones para selección de la alternativa

<b>Conclusión</b>	<b>Alternativa 1 Mecánico-Resorte</b>	<b>Alternativa 2 Neumático</b>	<b>Alternativa 3 Electro-Mecánico</b>
Costo	0,067	0,033	0,033
Funcionalidad	0,019	0,046	0,046
Fácil Uso	0,030	0,022	0,037
Mantenibilidad	0,024	0,060	0,060
Frecuencia	0,017	0,017	0,033
Seguridad	0,039	0,052	0,065
Peso	0,033	0,011	0,022
Repuestos	0,072	0,036	0,036
Estética	0,030	0,030	0,030
$\Sigma+1$	0,330	0,307	0,363
Prioridad	2	3	1

Fuente. Autores

### 3.2 Diseño modular

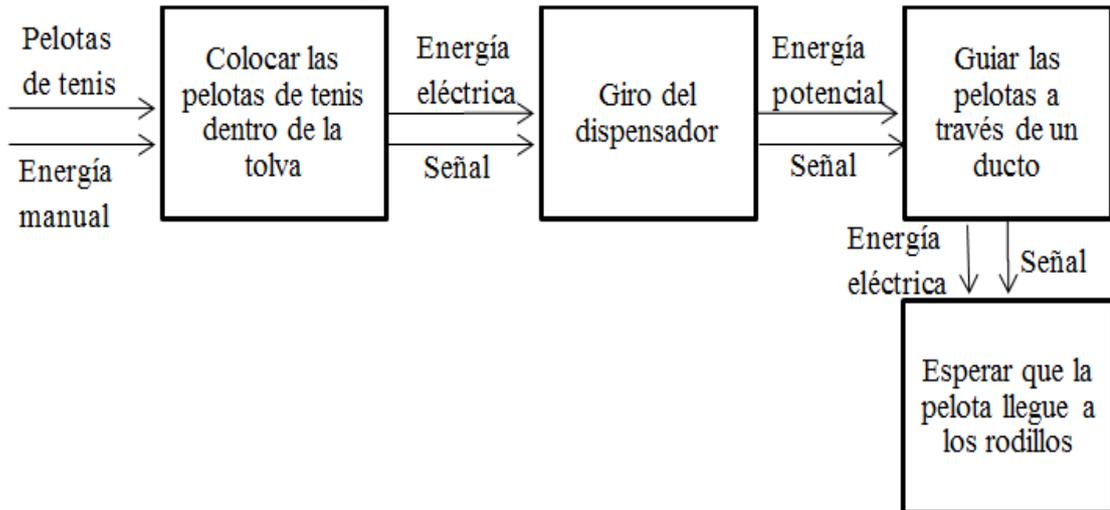
El diseño modular permite comprender los sistemas que van a formar parte de la máquina para poder observar su funcionalidad tanto de manera independiente como global. Da mayor información sobre las alternativas que den solución a los requerimientos que se desea cumplir.

#### Módulo de alimentación

Este módulo tiene la función de suministrar de manera periódica al sistema con las pelotas de tenis que estén contenidas en la tolva mediante el giro de un servo. Consiste de las siguientes funciones:

- Colocar las pelotas de tenis dentro de la tolva
- Giro del dispensador
- Guiar las pelotas a través de un ducto
- Esperar que la pelota llegue a los rodillos
- Energía eléctrica y potencial

Figura 20. Módulo de alimentación



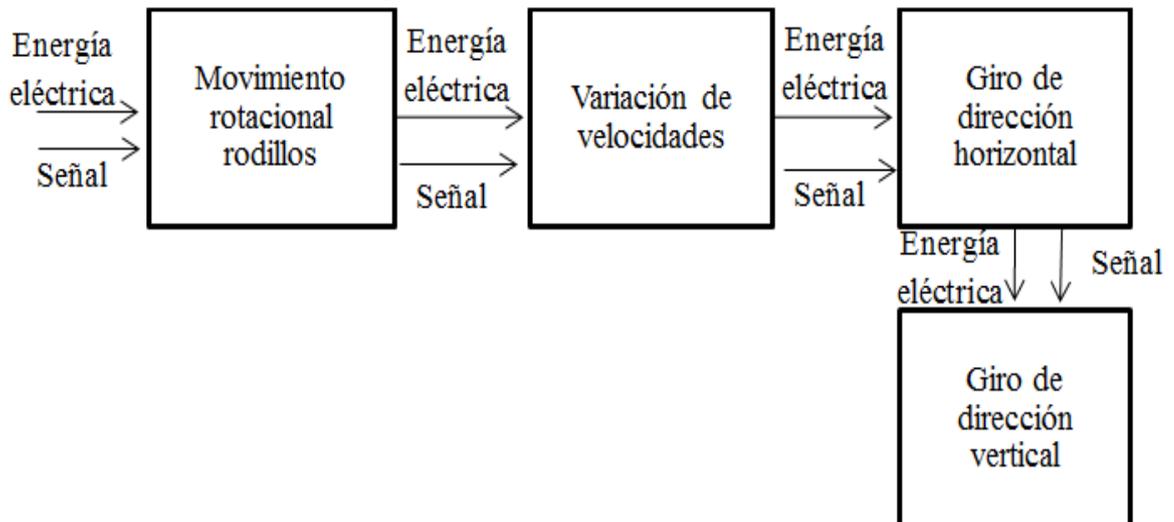
Fuente: Autores

### Módulo de ubicación

Este módulo consiste básicamente en el posicionamiento del disparo de la máquina lanzadora de pelotas de tenis para que lance a las pelotas al lugar que el usuario requiera, y consta de las siguientes funciones:

- Movimiento rotacional rodillo: impulsa la pelota aplicándole fuerza y torque.
- Variación de velocidades: da efectos de rotación y traslación.
- Giro de direccionamiento horizontal: direcciona el lanzamiento de forma manual.
- Giro de direccionamiento vertical: direcciona el lanzamiento por control remoto.

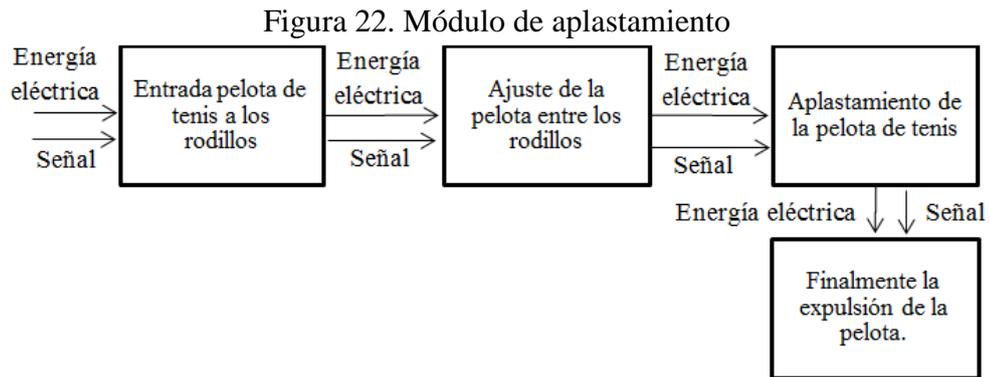
Figura 21. Módulo de ubicación



Fuente: Autores

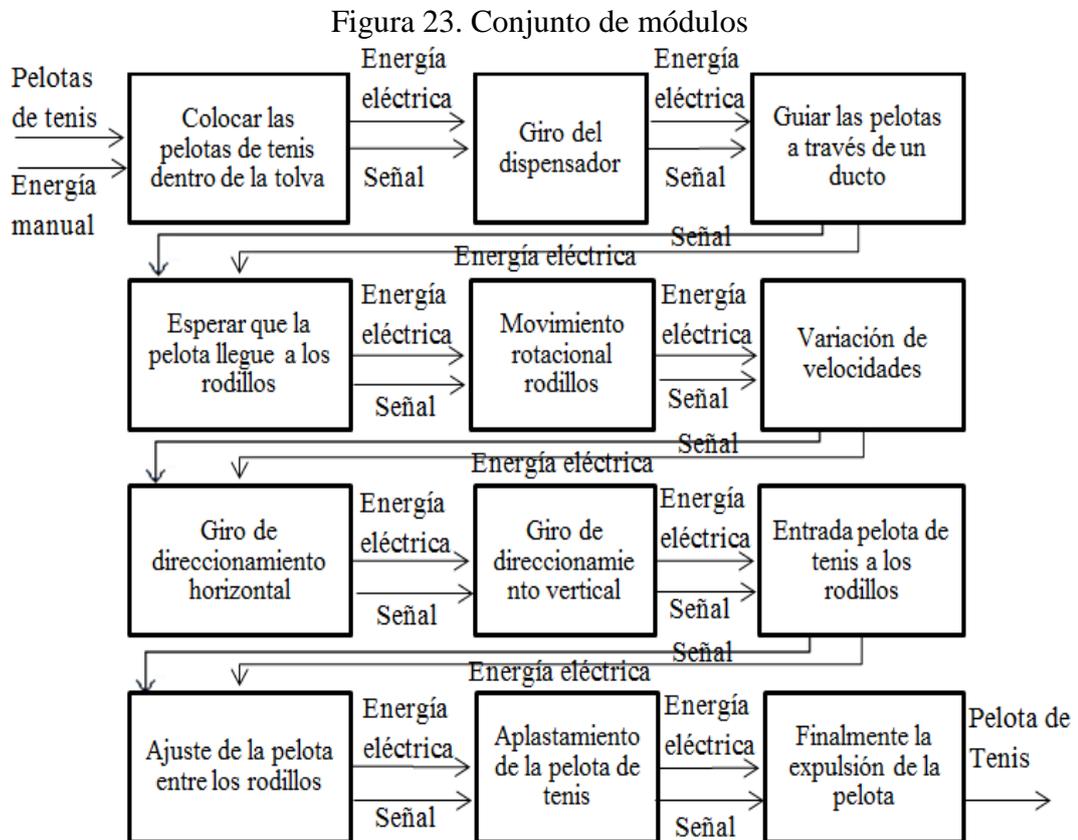
## Módulo de aplastamiento

- Entrada pelota de tenis a los rodillos
- Ajuste de la pelota entre los rodillos
- Aplastamiento de la pelota de tenis
- Finalmente la expulsión de la pelota.



Fuente: Autores

## Conjunto de módulos



Fuente: Autores

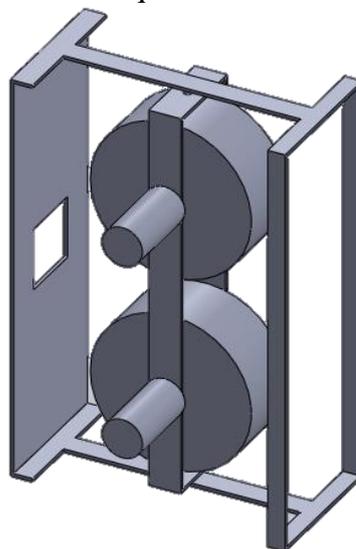
### 3.3 Bosquejos iniciales utilizando SolidWorks

No siempre se obtiene un buen diseño al primer intento, es por eso que se recurre a las herramientas digitales donde se realizan bosquejos de los elementos para conseguir un mecanismo que se adapte mejor a los requerimientos de tamaño, peso, facilidad de construcción y el diseño industrial, del mismo modo se van realizando cambios de las dimensiones de manera rápida ayudando a obtener un diseño adecuado.

El primer bosquejo creado muestra un sistema de lanzamiento de pelotas con una base bastante estable, la entrada de las pelotas hacia el sistema tiene ciertas dificultades al no tener el suficiente acercamiento a las ruedas, lo cual podría provocar que la pelota caiga fuera del sistema y ocasionar un atascamiento.

El mecanismo que tiene las ruedas el cual es el responsable de lanzar las pelotas, gira de manera horizontal sobre su propio eje, pero en la misma estructura podrían chocar las pelotas y salir hacia la cancha con un ángulo distinto dificultando la práctica del deportista o peor aun rebotando hacia dentro del sistema produciendo averías.

Figura 24. Primer esquema de lanzador de pelotas

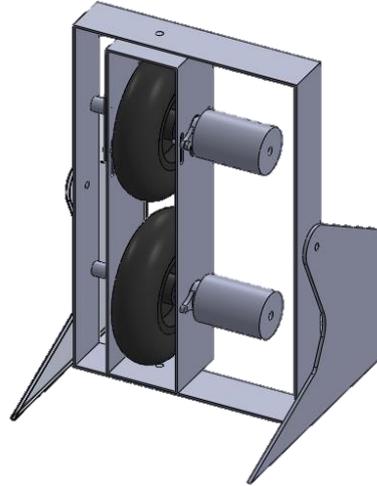


Fuente: Autores

El segundo bosquejo está compuesto por marcos, el sistema de lanzamiento está montado dentro de un marco que permitirá estabilidad, a su vez este está montado sobre un par de apoyos paralelos que permitirán el movimiento vertical. Si bien es cierto que esta propuesta no muestra ningún tipo de problema aparente, es claro que el material

ocupado es mayor y por ende el peso y precio aumentará, además la estabilidad de la máquina no es muy equilibrada.

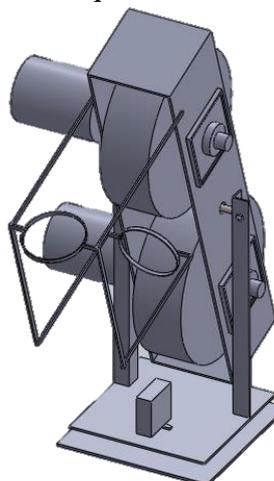
Figura 25. Segundo esquema de lanzador de pelotas



Fuente: Autores

Tercer bosquejo, para sostener el sistema de lanzamiento se plantea la utilización de un par de apoyos colocados en los lados laterales del sistema de lanzamiento para el movimiento vertical mientras que para el movimiento horizontal se planea el uso de un rodamiento axial o de empuje colocado en la base lo cual permitiría una oscilación. Todo esto va montado sobre otra base lo que ayudaría a obtener una mejor estabilidad. El ducto conductor de pelotas de tenis estará montado sobre dos aros que servirán de guía y que se encuentran lo suficientemente cerca de las ruedas, de tal modo de conducir a la pelota hacia el sistema de lanzamiento.

Figura 26. Tercer esquema de lanzador de pelotas



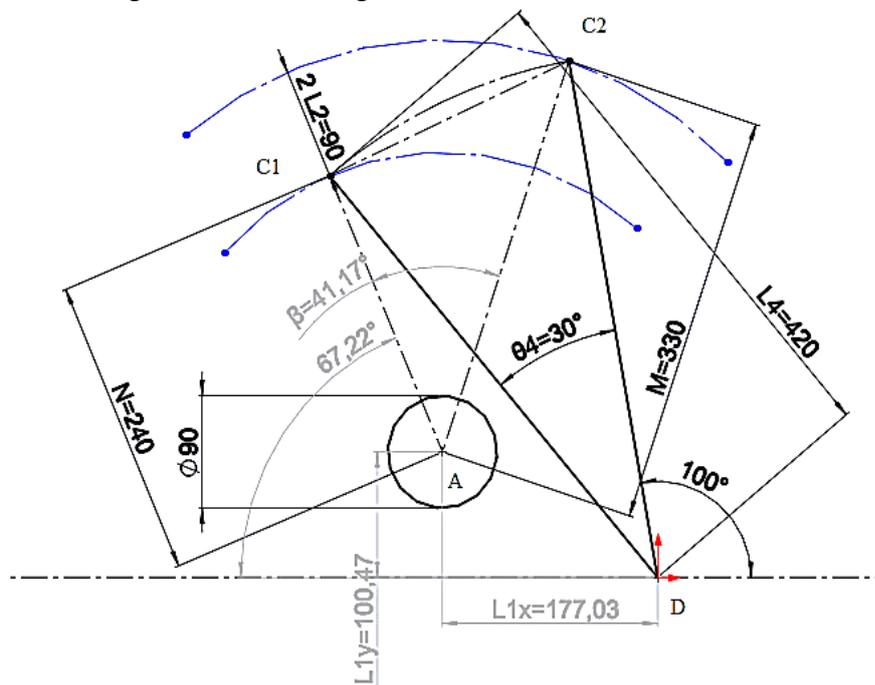
Fuente. Autores

Este tercer esquema se usó como base para la realización del prototipo final, pero se realizaron algunas modificaciones. No se pudo utilizar servos para el posicionamiento debido a los costos elevados, en lugar de eso se trabajó con un mecanismo de cuatro barras capaz de realizar un movimiento alternativo de manivela-balancín.

Este diseño está basado en el procedimiento planteado por David H. Myszka en el capítulo 5, página 116 (MYSZKA, 2012) y los resultados del mecanismo obtenidos se muestran a continuación.

En la figura 27 se observa que el mecanismo fue diseñado de tal manera que se cumplan los siguientes parámetros: desplazamiento angular de balancín  $\theta_4 = 30^\circ$ , longitud de la manivela = 45mm, inclinación inicial =  $100^\circ$ , longitud del balancín  $L_4 = 420$ mm y longitud de la biela = 285mm, de este modo se dimensionó el mecanismo para que el movimiento sea continuo.

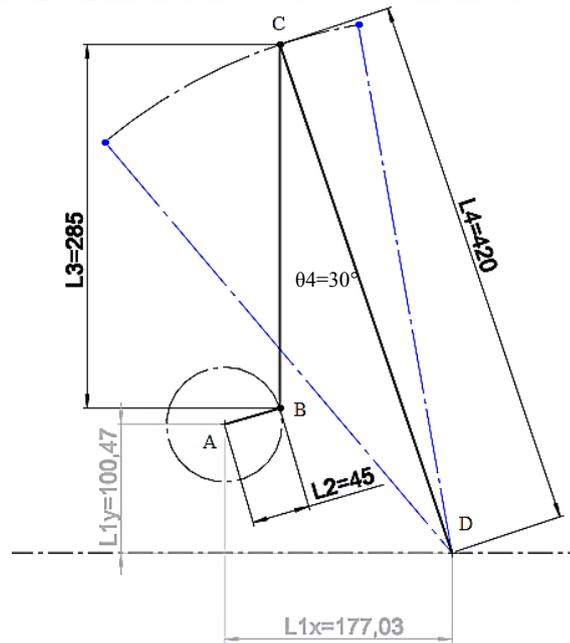
Figura 27. Análisis geométrico del manivela-balancín



Fuente: Autores

El motor está ubicado en el punto A, este gira constantemente conjuntamente con la manivela que es el eslabón más corto, el cual mueve a otro eslabón que hará que el balancín o eslabón de salida, forme un movimiento de vaivén y se balancee conforme el motor se encuentra girando. Para así lograr el posicionamiento de las pelotas.

Figura 28. Dimensiones teóricas del manivela-balancín

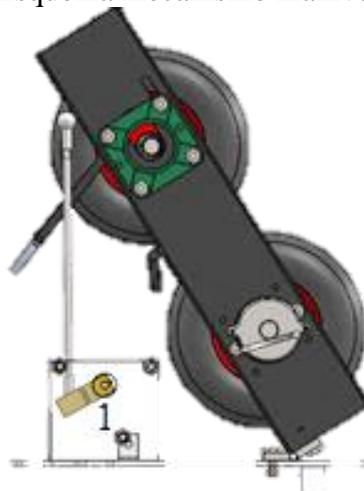


Fuente: Autores

### 3.4 Ecuación de Gruebler

Después de que se determinó que la máquina lanzadora de pelotas de tenis requiere de un mecanismo de cuatro barras o desmodrómico, que permite transformar el movimiento rotatorio del motor a uno de balancín, solucionando el problema del posicionamiento vertical controlado. Se verifica el movimiento mediante la ecuación de Gruebler que determina los grados de libertad del dispositivo y de ese modo comprueba si la máquina se mueve o no, y si lo hace, con que complejidad:

Figura 29. Esquema mecanismo manivela-balancín



Fuente: Autores

$$M = 3 * (n - 1) - 2j_p - j_h \quad (13)$$

$$M = 3 * (4 - 1) - 2 * (4) - 0$$

$$M = 3 * (3) - 8$$

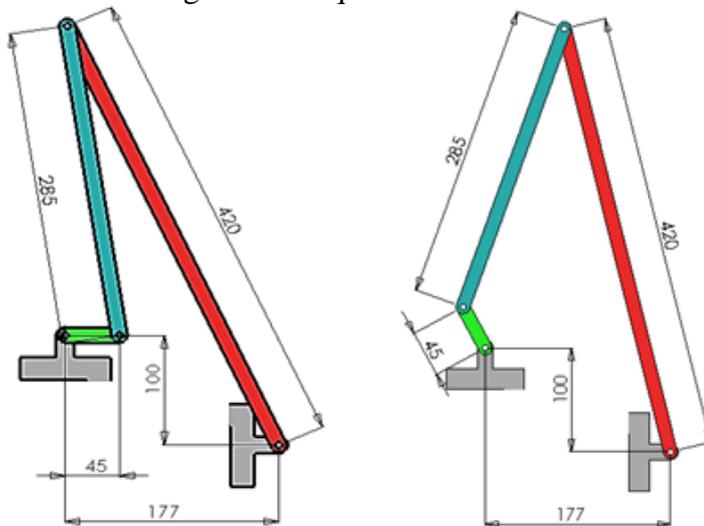
$$M = 1 \text{ grado de libertad}$$

Como M es mayor que 0, entonces el mecanismo planteado tiene movilidad. Con tan solo el giro del eslabón 1, se consigue el movimiento del eslabón 2 y 3, logrando así el posicionamiento vertical de la máquina lanzadora de pelotas de tenis.

### 3.5 Cálculo del requerimiento del motor movimiento vertical

#### 3.5.1 Análisis cinemático.

Figura 30. Esquema cinemático



Fuente: Autores

**3.5.1.1 Análisis de velocidades.** La velocidad angular que se considera adecuada para lograr un posicionamiento apropiado no debe ser muy elevada, para tener una mayor precisión al momento de calibrar la colocación del mecanismo. A criterio del diseñador se propone que el eslabón motor  $\overline{AB}$  dé una revolución cada 2 segundos.

$$\omega_A = \frac{1 \text{ rev}}{2 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Eslabón  $\overline{AB}$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{B/A} \quad (14)$$

$$\vec{v}_B = 0 + \vec{\omega}_A * \vec{r}_{B/A}$$

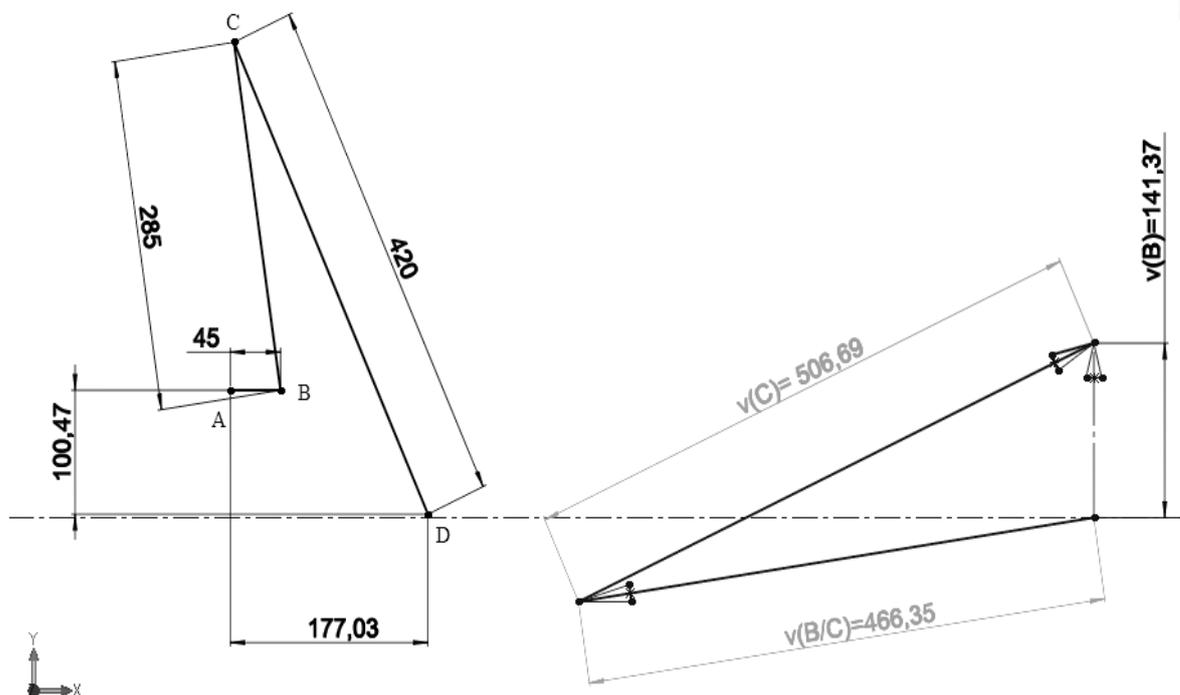
$$\vec{v}_B = (\pi \vec{k}) \frac{rad}{s} * (45 \vec{i}) mm$$

$$\vec{v}_B = 141,37 \vec{j} \frac{mm}{s}$$

Eslabón  $\overline{BC}$

Mediante el uso del triángulo de velocidades se obtiene que:

Figura 31. Diagrama de velocidades B/C



Fuente. Autores

$$\vec{v}_C = \left( 506,69 \frac{mm}{s} ; 24,33^\circ \right)$$

$$\vec{v}_{B/C} = \left( 466,35 \frac{mm}{s} ; 188,40^\circ \right)$$

Velocidad B/C:

$$\overrightarrow{v_{B/C}} = \overrightarrow{\omega_{B/C}} * \overrightarrow{r_{B/C}}$$

$$(-466,35 \overrightarrow{i''}) \frac{mm}{s} = (\omega_{B/C} \overrightarrow{k''}) \frac{rad}{s} * (-285 \overrightarrow{j''}) mm$$

$$(-466,35 \overrightarrow{i''}) \frac{mm}{s} = (285 \omega_{B/C} \overrightarrow{i''}) \frac{mm}{s}$$

$$\omega_{B/C} = -1,636 \frac{rad}{s}$$

Eslabón  $\overline{CD}$ :

$$\overrightarrow{v_C} = \overrightarrow{v_D} + \overrightarrow{v_{C/D}} \quad (15)$$

$$\overrightarrow{v_C} = 0 + (\overrightarrow{\omega_C} * \overrightarrow{r_{C/D}})$$

$$(506,69 \overrightarrow{i'}) \frac{mm}{s} = (\omega_C \overrightarrow{k'}) \frac{rad}{s} * (420 \overrightarrow{j'}) mm$$

$$(506,69 \overrightarrow{j'}) \frac{mm}{s} = (-420 \omega_C \overrightarrow{j'}) \frac{mm}{s}$$

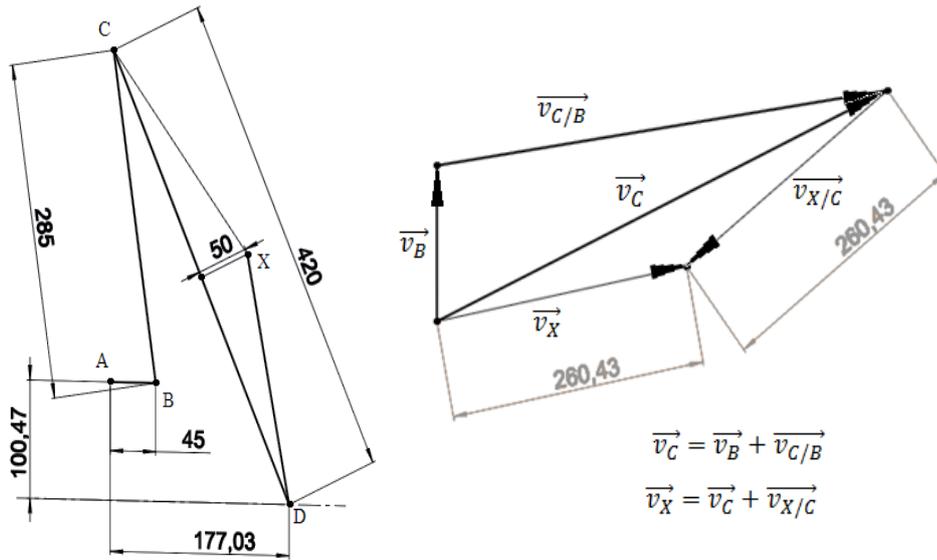
$$\omega_C = -1,206 \frac{rad}{s}$$

Análisis del centro de masa: el eslabón CD es el único que tiene una masa representativa debido a que es éste el que comprende las ruedas, ejes, y estructuras con las que se mueve solidariamente. Su masa ha sido determinada mediante el modelado en SolidWorks y es una medida aproximada y se ubica en el punto X en el centro del brazo y a 50 milímetros de la línea de acción del brazo.

$$\overrightarrow{v_X} = \overrightarrow{v_C} + \overrightarrow{v_{X/C}} \quad (16)$$

$$\overrightarrow{v_X} = \overrightarrow{v_D} + \overrightarrow{v_{X/D}} = \overrightarrow{v_{X/D}}$$

Figura 32. Diagrama velocidades X



Fuente. Autores

$$\vec{v}_{X/D} = \vec{v}_X = 260,43 \frac{mm}{s}$$

$$\vec{v}_X = \vec{\omega}_X * \vec{r}_{X/D} \quad (17)$$

$$(260,43 \vec{i}') \frac{mm}{s} = (\omega_X \vec{k}') \frac{rad}{s} * (215,87 \vec{j}') mm$$

$$(260,43 \vec{j}') \frac{mm}{s} = (-215,87 \omega_X \vec{j}') \frac{mm}{s}$$

$$\omega_X = -1,206 \frac{rad}{s}$$

### 3.5.1.2 Análisis de aceleraciones.

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{C/B} \quad (18)$$

$$\vec{a}_C^t + \vec{a}_C^n = (\vec{a}_B^t + \vec{a}_B^n) + (\vec{a}_{C/B}^t + \vec{a}_{C/B}^n)$$

Análisis aceleración normal de C:

$$\vec{a}_C^n = \vec{\omega}_C * (\vec{\omega}_C * \vec{r}_{C/D}) \quad (19)$$

$$\vec{a}_C^n = (-1,206 \vec{k}') \frac{rad}{s} * (-1,206 \vec{k}') \frac{rad}{s} * (420 \vec{j}') mm$$

$$\vec{a}_C^n = (-611,28 \vec{j}') \frac{mm}{s^2}$$

$$\vec{a}_C^n = \left( 611,28 \frac{mm}{s^2} ; 294,42^\circ \right)$$

Análisis aceleración tangencial de B:

$$\vec{a}_B^t = (\vec{\alpha}_B * \vec{r}_{B/A}) = 0 \quad (20)$$

Análisis aceleración normal de B:

$$\vec{a}_B^n = \vec{\omega}_B * (\vec{\omega}_B * \vec{r}_{B/A}) \quad (21)$$

$$\vec{a}_B^n = (\pi \vec{k}') \frac{rad}{s} * (\pi \vec{k}') \frac{rad}{s} * (45 \vec{i}') mm$$

$$\vec{a}_B^n = (-51,28 \vec{i}') \frac{mm}{s^2}$$

$$\vec{a}_B^n = \left( 51,28 \frac{mm}{s^2} ; 180^\circ \right)$$

Aceleración normal C/B:

$$\vec{a}_{C/B}^n = \vec{\omega}_{C/B} * \vec{\omega}_{C/B} * \vec{r}_{B/C} \quad (22)$$

$$\vec{a}_{C/B}^n = (-1,636 \vec{k}') \frac{rad}{s} * (-1,636 \vec{k}') \frac{rad}{s} * (-285 \vec{j}') mm$$

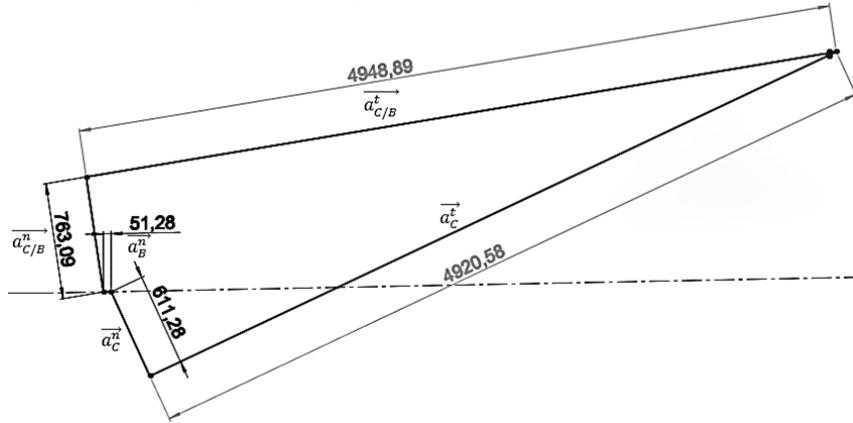
$$\vec{a}_{C/B}^n = (763,09 \vec{j}') \frac{mm}{s^2}$$

$$\vec{a}_{C/B}^n = \left( 763,09 \frac{mm}{s^2} ; 98,4^\circ \right)$$

Aceleración C:

$$\vec{a}_C^n + \vec{a}_C^t = (\vec{a}_B^n) + (\vec{a}_{C/B}^n + \vec{a}_{C/B}^t) \quad (23)$$

Figura 33. Diagrama de aceleraciones C/B



Fuente. Autores

$$\vec{a}_{C/B}^t = \left( 4\,948,89 \frac{mm}{s^2} ; 8,4^\circ \right)$$

$$\vec{a}_C^t = \left( 4\,920,58 \frac{mm}{s^2} ; 24,43^\circ \right)$$

Aceleraciones angulares eslabones 2 y 3:

$$\alpha_2 = \frac{a_{C/B}^t}{r_{CB}} = \frac{4\,948,89 \frac{mm}{s^2}}{285 \text{ mm}} = 17,36 \frac{rad}{s^2}$$

$$\alpha_3 = \frac{a_C^t}{r_{CB}} = \frac{4\,920,58 \frac{mm}{s^2}}{420 \text{ mm}} = 11,71 \frac{rad}{s^2}$$

Aceleración X:

$$\vec{a}_x = \vec{a}_x^n + \vec{a}_x^t \quad (24)$$

Aceleración normal X:

$$\vec{a}_x^n = \vec{\omega}_x * (\vec{\omega}_x * \vec{r}_{X/D}) \quad (25)$$

$$\vec{a}_X^n = (-1,206 \vec{k}) \frac{\text{rad}}{\text{s}} * (-1,206 \vec{k}) \frac{\text{rad}}{\text{s}} * (215,87 \vec{i}') \text{ mm}$$

$$\vec{a}_X^n = (-314,18 \vec{i}') \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{a}_X^n = \left( 314,18 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} ; 281,034^\circ \right)$$

Aceleración tangencial X:

$$\vec{a}_X^t = \vec{\alpha}_3 * \vec{r}_{X/D} \quad (26)$$

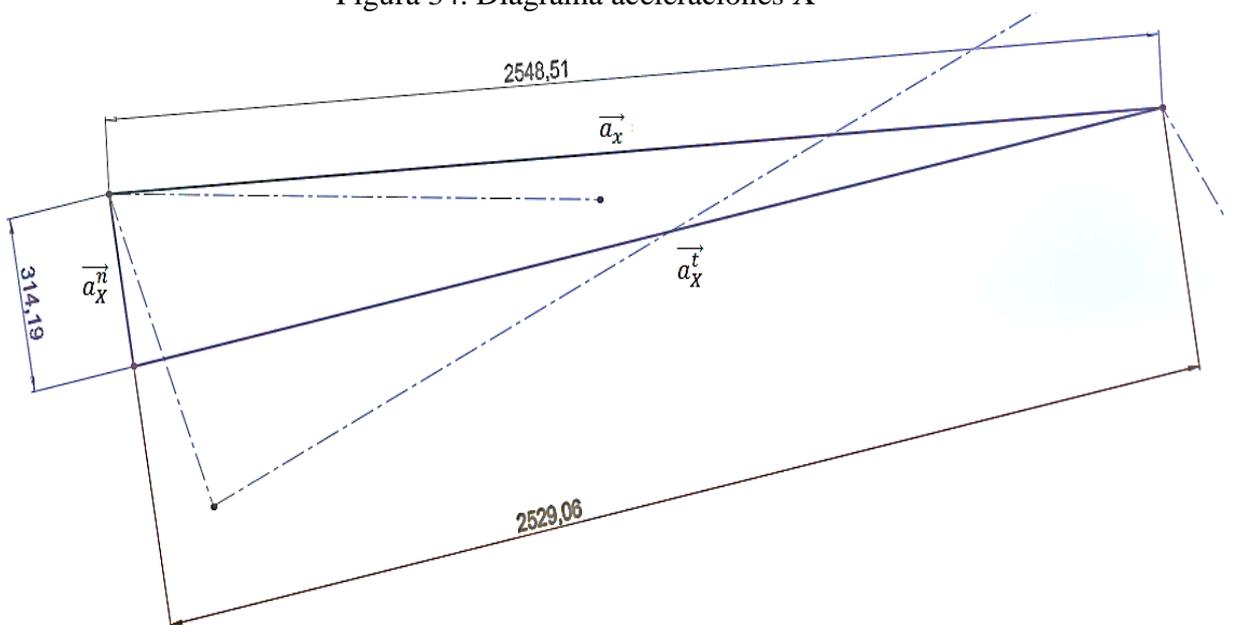
$$\vec{a}_X^t = (-11,71 \vec{k}) \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} * (215,87 \vec{i}') \text{ mm}$$

$$\vec{a}_X^t = -2529,064 \vec{j}' \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{a}_x = \vec{a}_X^n + \vec{a}_X^t = -314,18 \vec{i}' - 2529,064 \vec{j}'$$

$$\vec{a}_x = \left( 2548,51 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} ; 3,952^\circ \right)$$

Figura 34. Diagrama aceleraciones X



Fuente: Autores

### 3.5.1.3 Cálculo de las propiedades de la masa:

Eslabón 1: Es la manivela del mecanismo desmodrómico, se lo considera como placa plana para facilitar la resolución. Este elemento tiene una masa de 37,53 g valor que se obtuvo del software SolidWorks. Las dimensiones principales de la placa son 50mm de largo y 20 de ancho con un espesor despreciable. Se realiza en cálculo del momento de inercia con respecto al eje local y:

$$I_{g1} = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2) \quad (27)$$

$$I_{g1} = \frac{1}{12} * (37,53 \text{ g}) * (50^2 \text{ mm} + 20^2 \text{ mm})^2$$

$$I_{g1} = 9\,069,75 \text{ g mm}^2 = 9,07 \text{ Kg mm}^2$$

Eslabón 2: Es el eslabón conector del mecanismo se lo ha considerado como barra delgada de longitud 320 milímetros y posee una masa aproximada de 147,63 g según el análisis realizado mediante el software SolidWorks.

Debido a ser una barra delgada, la inercia en el eje local x es igual a la del eje local y.

$$I_{g2} = \frac{1}{12} ml^2 \quad (28)$$

$$I_{g2} = \frac{1}{12} * (147,63 \text{ g}) * (320 \text{ mm})^2 = 1\,259\,776 \text{ g mm}^2$$

$$I_{g2} = 1\,259,77 \text{ Kg mm}^2$$

Eslabón 3: Este eslabón comprende las ruedas, la estructura, los ejes, las chumaceras, y los motores, se lo ha considerado como un prisma rectangular debido a la complejidad de los cálculos debido a la irregularidad de la configuración geométrica. La masa del conjunto es de 47 485,94 g (dato tomado de SolidWorks). El análisis se lo realiza en el eje local z donde la longitud del prisma es 500 mm y su ancho es 100 mm.

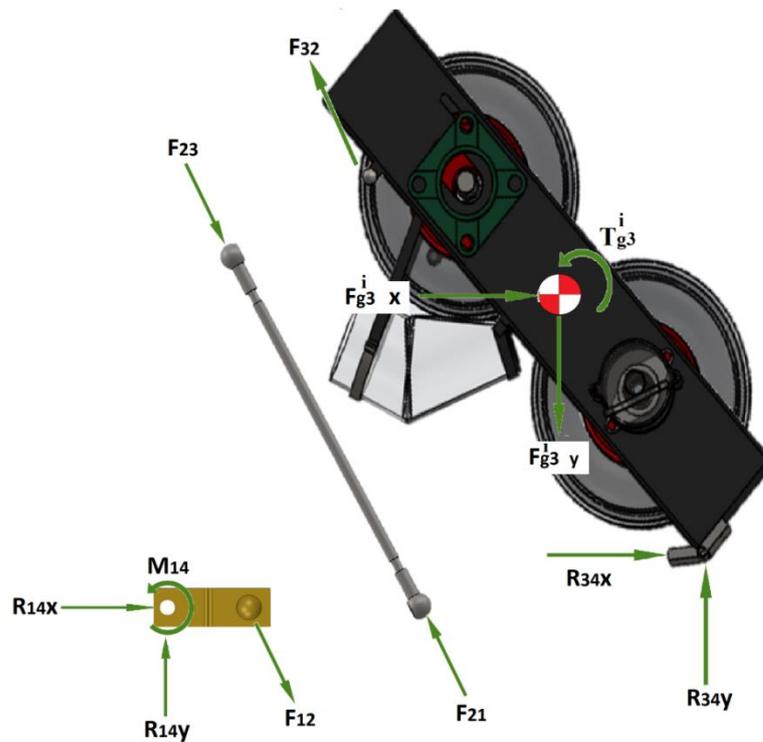
$$I_{g3} = \frac{1}{12} m * (a^2 + b^2) \quad (29)$$

$$I_{g3} = \frac{1}{12} (47\,485,94\text{ g})(500\text{ mm} + 100\text{ mm})^2$$

$$I_{g3} = 1\,028\,862\,033\text{ g mm}^2 = 1\,028\,862,033\text{ Kg mm}^2$$

Podemos concluir que tanto las inercias como las masas de los eslabones 1 y 2 son despreciables respecto a la del eslabón 3, que es donde se concentra la masa de la máquina propiamente, así que de aquí en adelante no se consideraran para los cálculos del mecanismo.

Figura 35. Diagrama de cuerpo libre del desmodrómico.



Fuente: Autores

Cálculo de la fuerza inercial

$$\overrightarrow{F_{g3}^l} = -m_3 \overrightarrow{a_x} \quad (30)$$

$$\overrightarrow{F_{g3}^l} = - (47\,485,94\text{ g}) * \left( 2\,548,51 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} \right)$$

$$\overrightarrow{F_{g3}^l} = (121,018\text{ N} ; 183,953^\circ)$$

Cálculo del torque inercial

$$\overrightarrow{T}_{3g}^I = I_{g3} \overrightarrow{\alpha}_3 \quad (31)$$

$$\overrightarrow{T}_{3g}^I = (1,028 \text{ Kg m}^2) * \left(11,71 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right)$$

$$\overrightarrow{T}_{3g}^I = 12,053 \text{ Nm en sentido antihorario}$$

Planteamiento del sistema de ecuaciones

Eslabón 1

$$\rightarrow \Sigma F_X = 0$$

$$R_{14}^x - F_{12}^x = 0 \quad (32)$$

$$R_{14}^x - F_{12} * \cos(81,6^\circ) = 0$$

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0$$

$$R_{14}^y - F_{12}^y = 0 \quad (33)$$

$$R_{14}^y - F_{12} * \sin(81,6^\circ) = 0$$

$$\curvearrowright \Sigma M_A = 0$$

$$M_{14} - (F_{12}^y * \overline{AB}) = 0 \quad (34)$$

$$M_{14} - (F_{12} * \sin(81,6^\circ) * \overline{AB}) = 0$$

Eslabón 2

$$\Sigma F = 0$$

$$\vec{F}_{21} - \vec{F}_{23} = 0$$

Eslabón 3

$$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \end{array} \Sigma F^x = 0$$

$$-F_{32}^x + F_{g3}^x + R_{34}^x = 0 \quad (35)$$

$$-F_{32}^x + R_{34}^x = -F_{g3}^x$$

$$-F_{32} * \cos(81,6^\circ) + R_{34}^x = -F_{g3} * \cos(3,95^\circ)$$

$$\begin{array}{c} + \\ \uparrow \end{array} \Sigma F^y = 0$$

$$F_{32}^y - F_{g3}^y + R_{34}^y = 0 \quad (36)$$

$$F_{32}^y + R_{34}^y = F_{g3}^y$$

$$F_{32} * \sin(81,6^\circ) + R_{34}^y = F_{g3} * \sin(3,95^\circ)$$

$$\begin{array}{c} + \\ \curvearrowright \end{array} \Sigma M_D = 0$$

$$T_{g3}^i + (F_{3g}^y * \overline{XG}) - (F_{3g}^x * \overline{YG}) + (F_{32}^x * \overline{XC}) - (F_{32}^y * \overline{XC}) = 0 \quad (37)$$

$$(F_{32}^x * \overline{YC}) - (F_{32}^y * \overline{XC}) = (F_{3g}^y * \overline{XG}) - (F_{3g}^x * \overline{YG}) - T_{g3}^i$$

$$\begin{aligned} & (F_{32} \cos(81,6^\circ) * \overline{YC}) - (F_{32} \sin(81,6^\circ) * \overline{XC}) \\ & = (F_{g3} \sin(3,95^\circ) * \overline{XG}) - (F_{g3} \cos(3,95^\circ) * \overline{YG}) - T_{g3}^i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & F_{32} [( \cos(81,6^\circ) * \overline{YC}) - ( \sin(81,6^\circ) * \overline{XC})] \\ & = F_{g3} [( \sin(3,95^\circ) * \overline{XG}) - ( \cos(3,95^\circ) * \overline{YG})] - T_{g3}^i \end{aligned}$$

De este modo obtenemos un sistema de 6 ecuaciones (32), (33), (34), (35), (36), (37),

con 6 incógnitas que se resuelven matricialmente. Esto se logra multiplicando la matriz inversa de incógnitas por la matriz de respuestas. Una vez realizada esta operación se cuenta con los resultados de las reacciones, fuerzas y momentos de los eslabones:

Tabla 16. Sistemas de ecuaciones

$\mathbf{R}_{1-4\ y}$	$\mathbf{R}_{1-4\ x}$	$\mathbf{F}_{12}$	$\mathbf{M}_{14}$	$\mathbf{R}_{34x}$	$\mathbf{R}_{34y}$	=	$\mathbf{K}$
0	1	-0,14616	0	0	0	=	0
1	0	-0,98926	0	0	0	=	0
0	0	-44,5167	1	0	0	=	0
0	0	-0,14616	0	1	0	=	120,73
0	0	0,98926	0	0	1	=	8,3422
0	0	-115,923	0	0	0	=	-37979

Fuente: Autores

Resultados:

$$R_{14}^x = 47,886\ N$$

$$R_{14}^y = 324,1\ N$$

$$F_{21} = F_{23} = 327,62\ N$$

$$M_{14} = 14585\ N\ mm$$

$$R_{34}^x = 168,62\ N$$

$$R_{34}^y = -315,76\ N$$

$$Pot = \tau * \omega \tag{38}$$

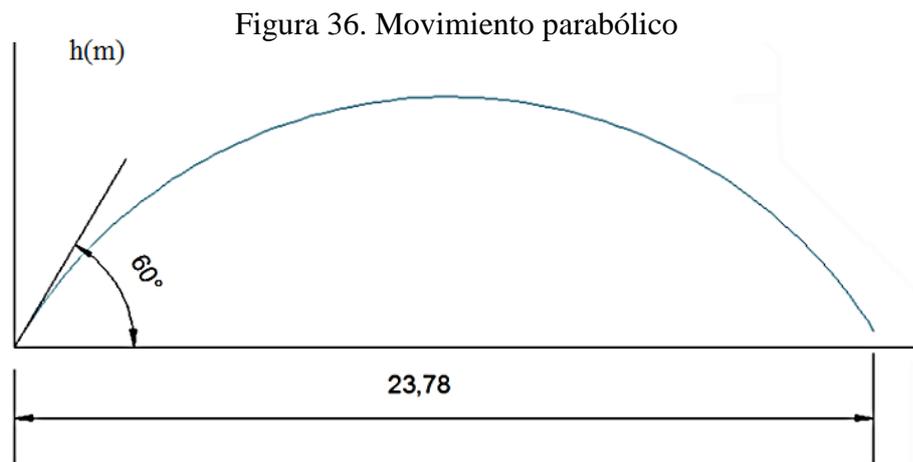
$$Pot = 14,585\ Nm * \pi \frac{rad}{s} = 45,818\ Watt$$

Este cálculo nos permite conocer el torque de trabajo que demandará este mecanismo, así tenemos un requerimiento para comprar el motor de 46 vatios de potencia a una velocidad de 30 revoluciones por minuto. Como se ha demostrado que no hay un requerimiento grande se selecciona un motor de limpiaparabrisas que cumple con estas

especificaciones y es fácil de reemplazar.

### 3.6 Cálculo del requerimiento del motor ruedas

Para poder calcular la potencia necesaria de los motores se parte de la distancia máxima que se requiere alcanzar, entonces tomando en cuenta que la cancha tiene una longitud de 23,78 m, por lo tanto:



Fuente. Autores

$$x_{max} = 23,78 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$x_{max} = \frac{v^2 \operatorname{sen} 2\beta}{g} \quad (39)$$

$$v = \sqrt{\frac{x_{max} g}{\operatorname{sen} 2\beta}} \quad (40)$$

$$v = \sqrt{\frac{(23,78\text{m}) (9,81 \text{ m/s}^2)}{\operatorname{sen} 2(60^\circ)}} = 16,413 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{16,413 \text{ m/s}}{0,105 \text{ m}} = 156,31 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega = 1492,65 \text{ rpm}$$

El peso máximo que puede tener una pelota de tenis es de 57,6 g, como se mencionó en el estudio bibliográfico.

$$F = m * a \quad (41)$$

$$m = 0,0576 \text{ kg}$$

$$a = \frac{v}{\Delta t}$$

$$F = (0,0576 \text{ kg}) * \left( \frac{16,413 \text{ m/s}}{0,05 \text{ s}} \right)$$

$$F = 18,904 \text{ N}$$

Se calcula el torque:

$$T = F * d \quad (42)$$

$$T = (18,904 \text{ N}) * (0,105 \text{ m}) = 1,985 \text{ Nm}$$

Se calcula la potencia:

$$P = T * \omega = (1,985 \text{ Nm}) * \left( 156,31 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 310,268 \text{ W}$$

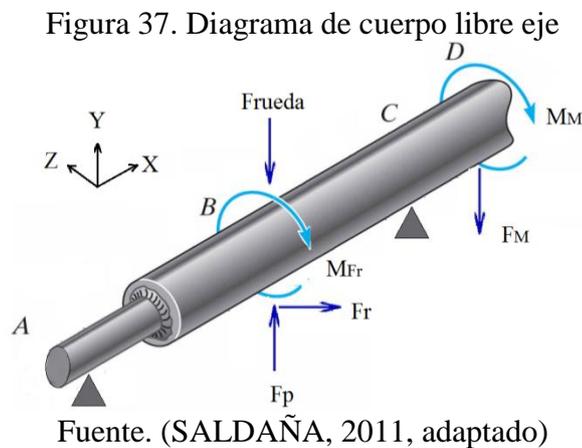
$$P = 0,42 \text{ hp}$$

Entonces, para escoger el motor para esta aplicación se requiere una potencia de 0,42 hp, pero al no encontrar en el mercado un motor con esa característica se utiliza uno de 0,56 hp y altas revoluciones.

Los motores adquiridos que se ajustan a este requerimiento son los utilizados en una patineta scooter de segunda mano que tienen una velocidad angular de 2750 rpm.

### 3.7 Cálculo del eje

Para este análisis se utilizan los valores máximos de las fuerzas que van a ser soportadas por el eje, a continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre.



Peso del motor:

$$F_M = 1,2 \text{ kg} = 11,77 \text{ N}$$

Momento máximo motor:

$$M_M = 64 \text{ Nm}$$

Peso rueda:

$$F_{rueda} = 0,68 \text{ kg} = 6,67 \text{ N}$$

La pelota de tenis de campo tiene una presión interna que ha sido obtenida de la bibliografía consultada donde:

$$P_{Interna} = 5,6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 549,2 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Área de contacto entre la pelota y la llanta

$$A = \frac{\pi}{4} * r^2 = \frac{\pi}{4} * (0,01\text{m})^2 = 0,0079 \text{ m}^2$$

$$F_p = P_{Interna} * A = 549,2 \frac{N}{m^2} * 0,0079 m^2 = 4,338 N$$

La fuerza de rozamiento entre la pelota y las ruedas

$$Fr = \mu * N = \mu * \frac{F_p}{2}$$

$$Fr = (0,25) * \frac{4,338 N}{2}$$

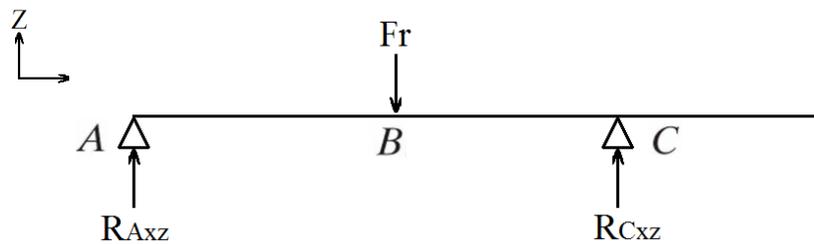
$$Fr = 0,542 N$$

$$M_{Fr} = Fr * r_{rueda} = 0,542 N * 0,105m$$

$$M_{Fr} = 0,0569 N.m$$

Plano XZ

Figura 38. Esquema plano de cargas XZ



Fuente: Autores

$$\Sigma M_A = 0$$

$$Fr * \overline{AB} - R_{C_{xz}} * \overline{AC} = 0$$

$$0,542 N * 0,05 m - R_{C_{xz}} * 0,1 m = 0$$

$$R_{C_{xz}} = 0,271 N$$

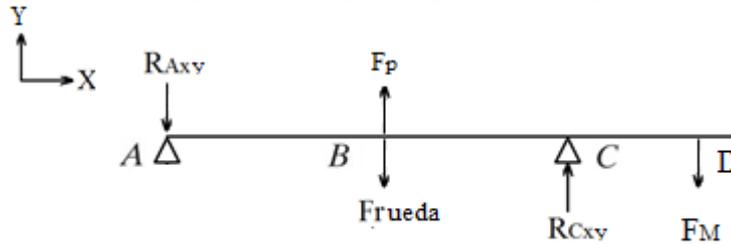
$$\Sigma F_z = 0$$

$$R_{Axz} + R_{Cxz} - Fr = 0$$

$$R_{Axz} = 0,271 \text{ N}$$

Plano XY:

Figura 39. Esquema plano de cargas XY



Fuente: Autores

Sumatoria de momentos punto A

$$\Sigma M_A = 0$$

$$Frueda \cdot \overline{AB} - Fp \cdot \overline{AB} - R_{Cxy} \cdot \overline{AC} + F_M \cdot \overline{AD} = 0$$

$$R_{Cxy} = \frac{Frueda \cdot \overline{AB} - Fp \cdot \overline{AB} + F_M \cdot \overline{AD}}{\overline{AC}}$$

$$R_{Cxy} = \frac{6,6 \text{ N} \cdot 0,05\text{m} - 4,338\text{N} \cdot 0,05\text{m} + 11,77\text{N} \cdot 0,17\text{m}}{0,1\text{m}}$$

$$R_{Cxy} = 21,14 \text{ N}$$

Sumatoria de fuerzas en Y

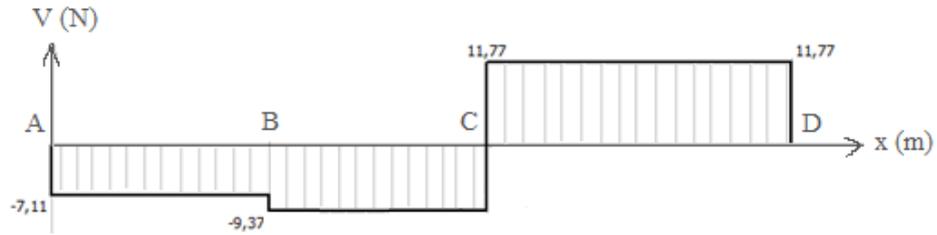
$$\Sigma F_y = 0$$

$$-R_{Axy} - Frueda + Fp + R_{Cxy} - F_M = 0$$

$$R_{Axy} = -6,6 \text{ N} + 4,338 \text{ N} + 21,14\text{N} - 11,77\text{N}$$

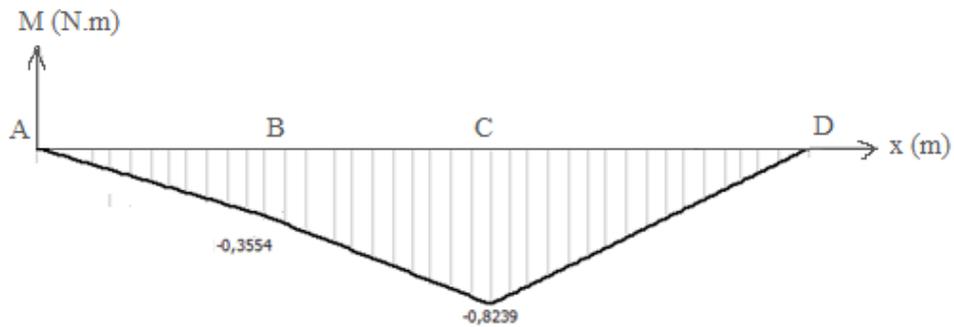
$$R_{Axy} = 7,108 \text{ N}$$

Figura 40. Diagrama de esfuerzo cortante



Fuente: Autores

Figura 41. Diagrama momento cortante



Fuente: Autores

Diseño a cargas pico

$$F_{ruedap} = 2 * F_{rueda} = 2 * (6,67 \text{ N}) = 13,34 \text{ N}$$

$$F_{pp} = 2 * F_p = 2 * (4,338 \text{ N}) = 8,676 \text{ N}$$

$$F_{rp} = 2 * F_r = 2 * (0,542 \text{ N}) = 1,084 \text{ N}$$

$$F_M = 2 * (11,77 \text{ N}) = 23,54 \text{ N}$$

Se ha escogido un acero de medio carbono SAE 1045:

$$S_y = 531 \text{ MPa} = 531 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$S_{ut} = 627 \text{ MPa} = 627 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Aplicando el criterio de ASME para el cálculo del diámetro:

$$d = \left\{ \frac{32n}{\pi} \left[ \left( k_f \frac{M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (43)$$

$$S_e = k's * S_e'$$

$$S_e = k's * 0,5 * S_{ut}$$

$$S_e = 0,4 * \left( 0,5 * 627 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \right)$$

$$S_e = 125,4 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Entonces:

$$d = \left\{ \frac{32.1,5}{\pi} \left[ \left( 1 * \frac{0,8239 Nm}{125,4 \times 10^6 \frac{N}{m^2}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{64 Nm}{531 \times 10^6 \frac{N}{m^2}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (44)$$

$$d = 0,012 m$$

$$d = 12 mm \approx 12 mm$$

Pero por cuestiones de falta de disponibilidad de un porta rodamientos con un diámetro tan pequeño, se requiere el uso de un eje de mayor diámetro, utilizando un eje de 17 mm al que le corresponde un factor de seguridad de 4,5. El tiempo de importación demoraba aproximadamente 2 meses y el costo acrecentaba, es por esto que se realizó esta consideración.

### 3.8 Diseño chaveta y chavetero

Para la construcción de la chaveta y chavetero, se hace uso de la tabla del anexo que muestra las proporciones estándar para la obtener buenas dimensiones de la chaveta para que tenga la función de proteger al eje y a todo el sistema en una situación de

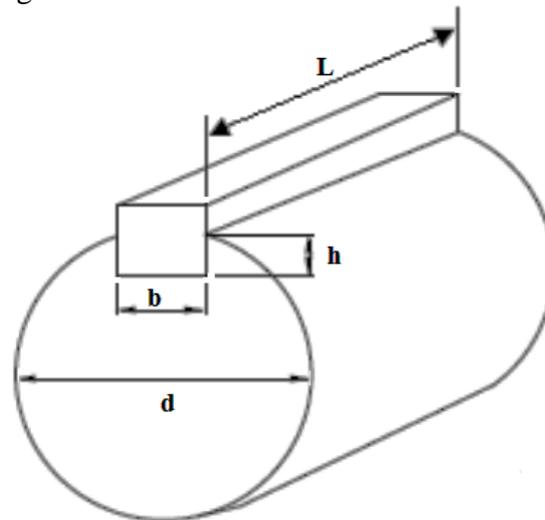
sobrecarga o sobrepresión. Entonces para un diámetro del eje de 17 mm se recomienda medidas para la sección transversal de la chaveta:

Tabla 17. Dimensiones de la chaveta

Diámetro del eje [mm]	17
Ancho (b) [mm]	6
Profundidad (h) [mm]	6

Fuente: Autores

Figura 42. Dimensiones chaveta chavetero



Fuente: (GODOY, y otros, 2009)

Fuerza de corte:

Potencia motor:

$$P = 0,56 \text{ HP} = 417,59 \text{ W}$$

$$P = T * N$$

$$P = Fc * r * N$$

$$P = Fc * \frac{d}{2} * N$$

$$Fc = \frac{2 * P}{d * N}$$

$$F_c = \frac{2 * 417,59 W}{0,012 m * 20,856 \frac{rad}{s}}$$

$$F_c = 3336,969 N$$

$$\text{Área de corte} = A_c = b * L \quad (45)$$

$$\frac{S_y}{2n} = \frac{F_c}{A_c} \quad (46)$$

Se ha escogido un acero AISI 1010 debido a que tiene las siguientes características: su facilidad a ser soldado, maquinabilidad, alta tenacidad, dureza brinell de 95 HB. Se asume un factor de seguridad  $n = 1$ , para que la chaveta funcione como fusible, entonces:

$$\frac{305 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{2} = \frac{3336,969 N}{A_c}$$

$$A_c = 2,18 \times 10^{-5} m^2$$

$$\therefore L = 0,03 mm$$

La chaveta debe tener las siguientes dimensiones:  $b=6$ ,  $h=6$  y  $L=0,03$  mm, pero al ser una medida difícilmente realizable, se considera hacer una chaveta de 6 mm de longitud.

### 3.9 Selección de rodamientos

Se hace uso del catálogo de rodamientos de la fábrica de NTN por contar con la información más idónea, como se ve en la tabla 18 el rodamiento de bolas se ajusta al poseer características de soportar tanto carga radial como axial. La capacidad de soportar altas velocidades también es un factor muy importante a considerar, del mismo modo el bajo ruido/vibración y el bajo torque friccional son particularidades especiales que influyen en la selección del rodamiento.

Tabla 18. Tipos de rodamientos y comparación con su desempeño

Tipos de rodamientos	Rodamientos rígidos de bolas	Rodamientos de bolas a contacto angular	Rodamientos de doble hilera de bolas a contacto angular	Rodamientos de bolas a contacto angular apareados	Rodamientos autoalineables de bolas	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos cilíndricos de una sola pestaña	Rodamientos de rodillos cilíndricos de doble pestaña	Rodamientos de doble hilera de rodillos cilíndricos	Rodamientos de agujas
Características										
Capacidad de manejo de carga										
Carga axial										
Alta velocidad <sup>•</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
Alta precisión rotacional <sup>•</sup>	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆		☆☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	
Bajo ruido/vibración <sup>•</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆		☆		☆	☆	☆	☆	☆
Bajo torque friccional <sup>•</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆	☆				
Alta rigidez <sup>•</sup>			☆☆	☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆
Resistencia a los choques/vibración <sup>•</sup>			☆		★	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Desalineamiento permitido para anillos int./ext. <sup>•</sup>	☆				☆☆☆	☆				
Fijo en la dirección axial	⊙	○	⊙	⊙ Para arreglos DB y DF	⊙		○	⊙		
Movible en la dirección axial	○		○	○ Para arreglos DB	○	⊙			⊙	⊙
Anillos interior/exterior separables						○	○	○	○	○

Fuente: (NTN Corporation, 2004)

- Capacidad de carga equivalente y vida del rodamiento

$$Pr = XFr + YFa \quad (47)$$

Dónde:

$Pr$  = Carga radial dinámica equivalente [N]

$Fr$  = Fuerza radial aplicada [N]

$Fa$  = Fuerza axial aplicada [N]

$X$  = Factor de carga radial

$Y$  = Factor de carga axial

Los factores de carga  $X$  e  $Y$  se encuentran en el anexo B

$$Pr = XFr + YFa$$

Chequeo a carga dinámica:

$$\frac{Fa}{Fr} = \frac{Fa}{R_{Cxy}} \quad (48)$$

$$\frac{Fa}{R_{cxy}} = \frac{0 N}{21,14 N} = 0; \leq e$$

$$\therefore X = 1 \quad Y = 0$$

$$Pr = 1 * 21,14 N$$

$$Pr = 21,14 N$$

$$n = 5400 \text{ rpm} \therefore fn = 0,18 \text{ Anexo 2}$$

$$fh = \frac{fn * Cr}{Pr} \tag{49}$$

$$fh = \frac{0,18 * (2,23kN)}{21,14 N} = \frac{0,18 * (2\ 230 N)}{21,14 N}$$

$$fh = 18,988$$

$$L_{10} = 500 * fh^3$$

$$L_{10} = 500 * (18,988)^3$$

$$L_{10} = 3\ 422\ 843,86 \text{ horas}$$

Se justifica la vida tan larga del rodamiento debido al coeficiente de seguridad de 4,5 anteriormente expuesto en el cálculo del eje.

Chequeo a carga estática:

$$Por = 0,6 Fr + 0,5 Fa$$

$$Por = 0,6 * 21,14 N$$

$$Por = 12,684 N$$

$$P_{or} < F_r \rightarrow P_{or} = F_r = 21,14 \text{ N}$$

Verificación de resistencia del rodamiento

$$C_{o'} = f_s * P_{or}$$

$$C_{o'} = 1,2 * 21,14 \text{ N}$$

$$C_{o'} = 25,36 \text{ N}$$

$$C_{o'} \leq C_{or} \therefore \text{El rodamiento soporta}$$

### 3.10 Cálculo de la velocidad de lanzamiento

Conociendo que la velocidad angular del motor ( $\omega$ ) es de 2750 rpm y que el radio de la rueda ( $r$ ) encontrada en el mercado es 0,105 m.

Figura 43. Especificaciones motor

Modelo	MY 1010
Voltaje/potencia	24 V/250W
Corriente nominal	11,5 A
Velocidad nominal	2750 rpm

Fuente: Autores

$$V = \omega * r$$

$$V = 2750 \frac{rev}{min} * 0,105m$$

$$V = 287,979 \frac{rad}{s} * 0,105m$$

$$V = 30,238 \frac{m}{s} = 108,857 \text{ km/h}$$

Esta es la velocidad tangencial en el borde de la rueda, en donde entra en contacto con la pelota. Como existen dos ruedas, la pelota tendrá un doble impulso que sería

idealmente el doble de V. La misma que sería equiparable a un nivel profesional. Un tenista profesional alcanza una velocidad de respuesta de 90 a 120 km/h, mientras que un jugador amateur se maneja entre 30 a 70 km/h.

Dada esta situación se ha considerado pertinente hacer trabajar a los motores a la mitad de su capacidad para que los rangos de velocidades sean de un nivel amateur. Entonces para las pruebas de validación de la máquina, se ha reducido electrónicamente la capacidad de los motores de 2750 a 1375 rpm.

### **3.11 Análisis de cargas usando el software ANSYS**

El software ANSYS es un programa que permite hacer análisis de elemento finito y de este modo aplicar de forma más real los principios teóricos que rigen fenómenos como el esfuerzo mecánico, la transferencia de calor, entre otros. Para este trabajo se usa este software para determinar los esfuerzos a que están sometidos los elementos mecánicos y si estos resisten o no, teóricamente.

Así mismo, las cargas que causan esfuerzos y la ubicación de las mismas se determinaron experimentalmente y con la ayuda del software SolidWorks, principalmente la carga debido al peso de los elementos que están soportados en cada elemento a analizar mientras que las fuerzas debidas al propio funcionamiento de la máquina lanzadora de pelotas de tenis se determinaron por análisis teóricos.

Este análisis de elemento finito mediante el software ANSYS se ha aplicado a elementos que se ha considerado críticos y cuyo análisis teórico sería complicado, y los resultados obtenidos sirven para validar su diseño cumpliendo los parámetros de funcionalidad, resistencia y estabilidad.

Es así que el análisis abarca los componentes como la base inferior, la base superior, el eje y el carrito que soporta toda la máquina lanzadora de pelotas de tenis.

**3.11.1 Base inferior.** La base inferior es un elemento que tiene como función actuar de pivote fijo para regular el movimiento de la máquina a su alrededor. Está formada por una plancha de acero laminado a la que se ha practicado un taladro para soldar un tubo hueco de acero en donde se aloja el rodamiento que ayuda al giro horizontal

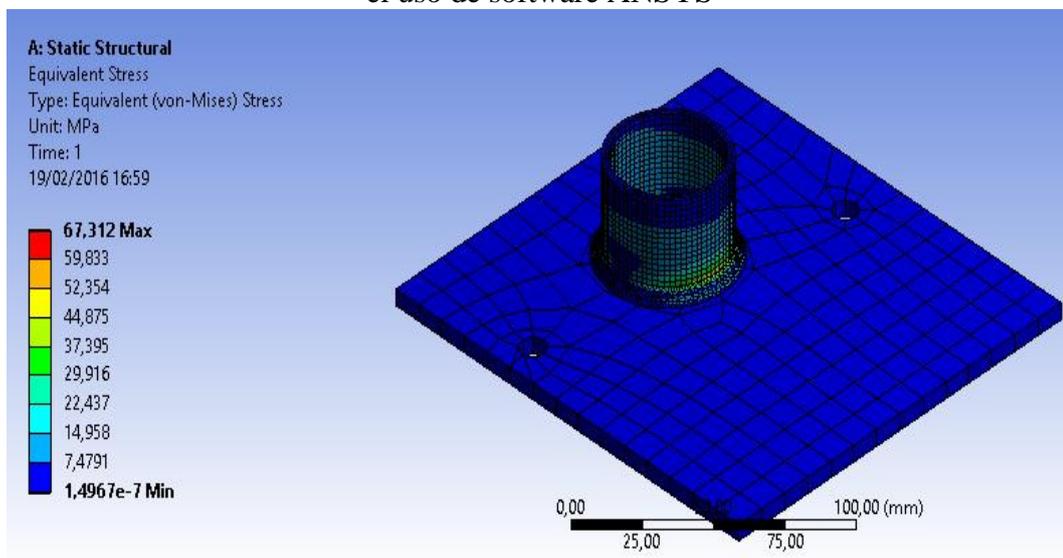
manual de la máquina lanzadora de pelotas de tenis.

Todo este elemento está asentado de manera fija en una plancha de acero por la parte inferior que actúa como soporte de este elemento y está en contacto con rodamientos mediante un ajuste fijo, y es justamente ahí donde se transmite la carga del peso de muchos elementos más de la máquina a la cara interior del cilindro, entonces a este elemento se lo debe analizar debido a que es un punto crítico donde todas las cargas están concentradas.

Debido al propio funcionamiento de la máquina la carga de mayor relevancia, el peso, no tiene una posición fija con respecto a el elemento analizar, se mueve se un rango de posiciones que oscila de izquierda a derecha, entonces su centro de gravedad es considerado como variable.

De estos escenarios y según el análisis el caso más crítico es cuando la máquina se encuentra en posición neutral, ahí se produce el factor de seguridad más bajo. Gracias al análisis en SolidWorks se determinó que la carga soportada es de 41,8 kg que provocan una fuerza de 411 N en el centro de gravedad, mismo que se encuentra fuera y por encima de la placa a una distancia de 329 mm y causa una distribución de esfuerzos que es como se muestra en la figura 44. De ahí se desprende que el esfuerzo máximo que experimenta teóricamente este elemento es de 52 MPa.

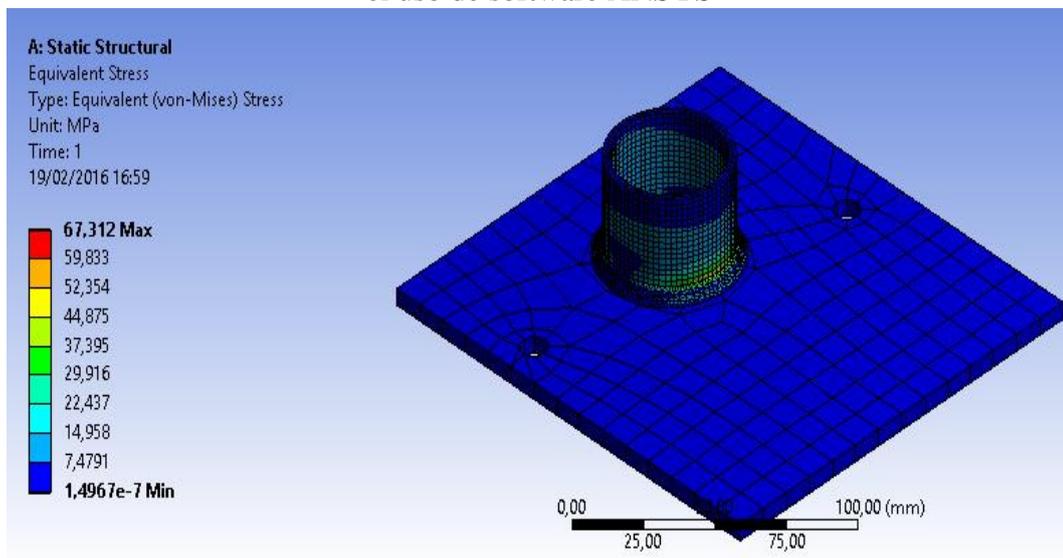
Figura 44. Análisis de esfuerzo equivalente de Von Mises en la placa inferior mediante el uso de software ANSYS



Fuente: Autores

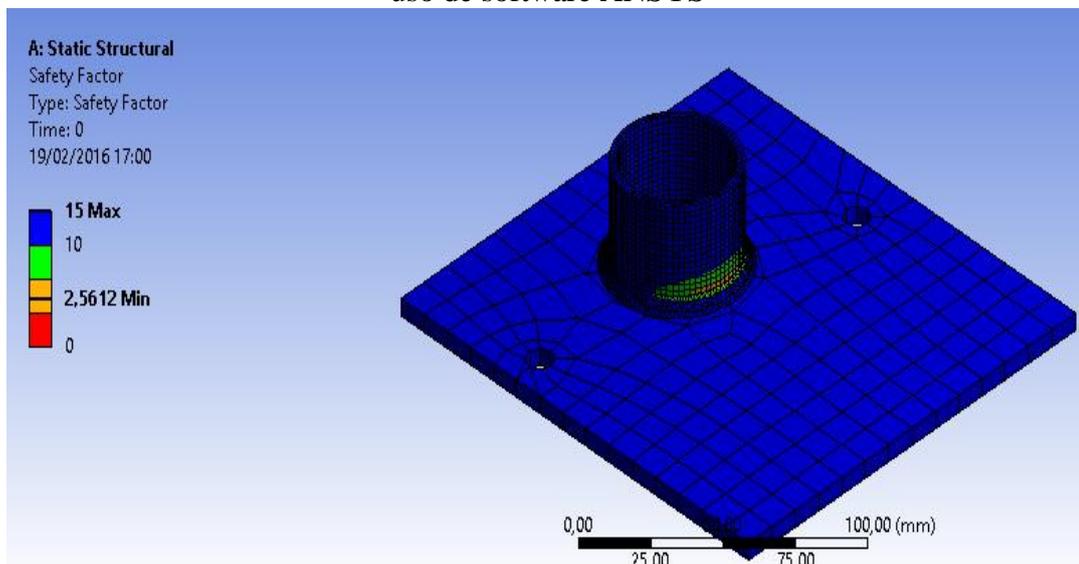
Esto se debe a que la carga, provocada tanto por el peso como por el trabajo, se aplica en de forma remota a esta placa y genera esfuerzos debido al peso y los momentos resultantes. La parte más afectada, de acuerdo este análisis de elemento finito, es la soldadura, esto debido a su geometría que es un concentrador de esfuerzos. En donde el factor de seguridad llega a 2,56 según la figura 45 sacada del mismo análisis anterior. Y como resultado de este análisis se concluye que la placa base inferior soportara las cargas a las que estará sometida y el diseño es aceptable.

Figura 45. Análisis de esfuerzo equivalente de Von Mises en la placa inferior mediante el uso de software ANSYS



Fuente: Autores

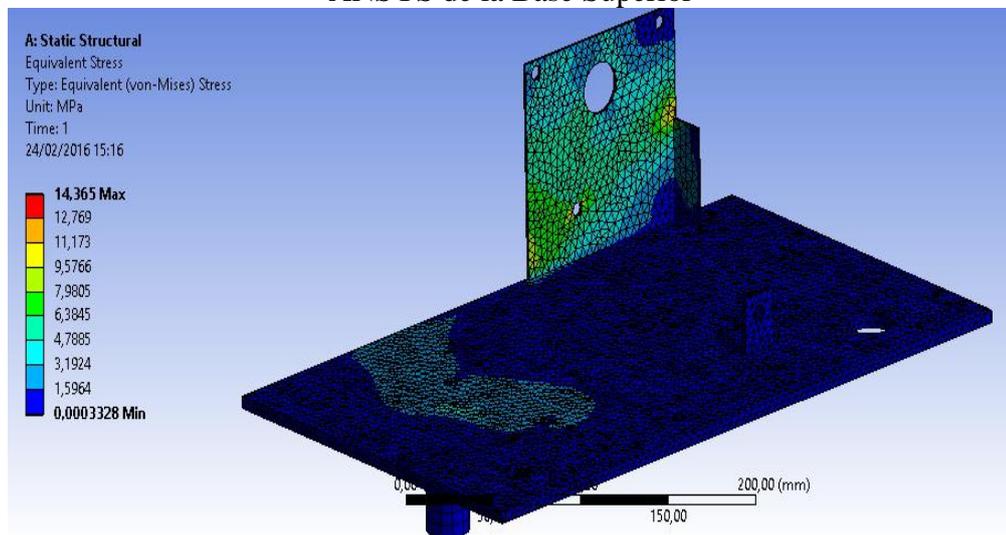
Figura 46. Análisis de factor de seguridad en fatiga para la placa inferior mediante el uso de software ANSYS



Fuente: Autores

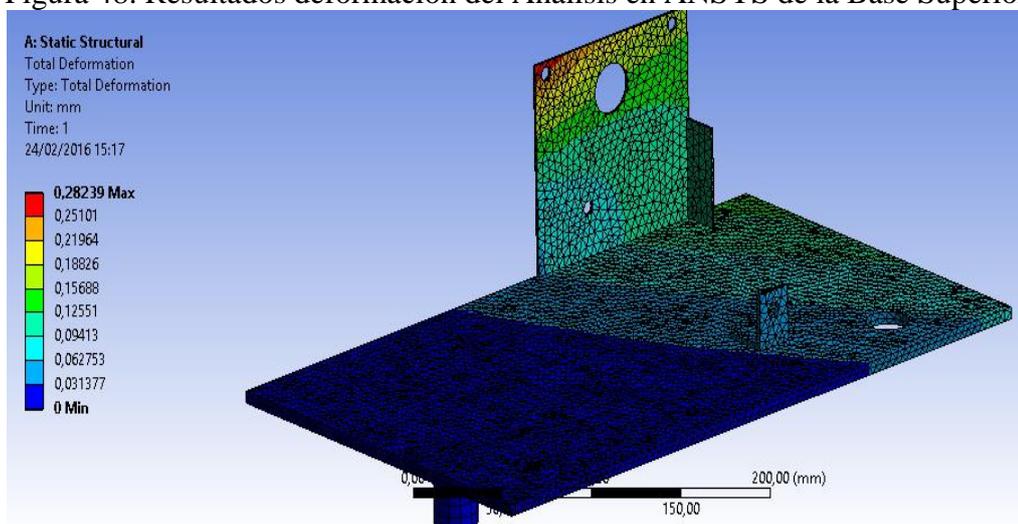
**3.11.2 Base superior.** Este elemento es similar a la base inferior en cuanto a su funcionalidad y forma, del mismo modo está formado por una plancha de acero laminado a la que se le ha practicado la soldadura de un eje que embona en el agujero que se le practicó a la base inferior, sin embargo tiene una longitud considerable genera un momento en la soldadura del eje. Para determinar las cargas que afectan a este elemento se ha usado el software SolidWorks en lo referente a una aproximación del peso de los componentes soportados y su ubicación espacial. En las figuras 47, 48 y 49 siguientes se muestran los resultados del análisis de elemento finito usando el software ANSYS.

Figura 47. Resultados de esfuerzo, deformación y factor de seguridad del Análisis en ANSYS de la Base Superior



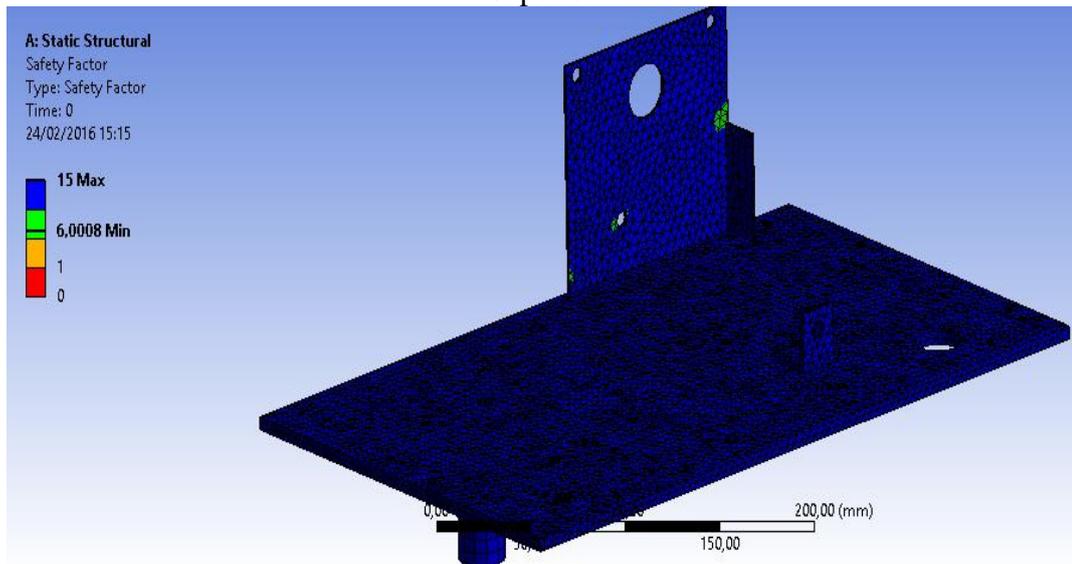
Fuente: Autores

Figura 48. Resultados deformación del Análisis en ANSYS de la Base Superior



Fuente: Autores

Figura 49. Resultados del factor de seguridad del análisis realizado ANSYS de la base superior



Fuente: Autores

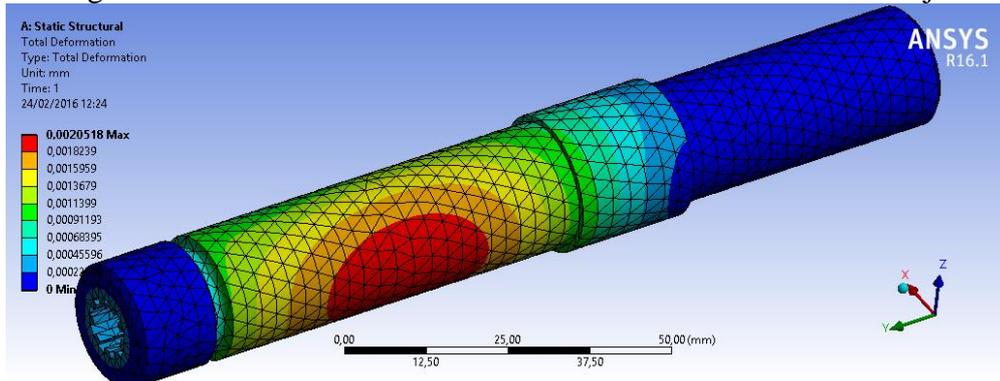
El análisis en el software ANSYS arrojó resultados favorables en cuanto a la resistencia del elemento para esfuerzos y deformación. Teniéndose un factor de seguridad mínimo de 6 lo que indica un sobredimensionamiento, a pesar de ello, por motivos de factibilidad y disponibilidad de recursos se considera que es la opción más adecuada y se da como satisfactorio el uso de este elemento, y queda abierta la ventana para una posible futura mejora de eficiencia.

**3.11.3 Eje.** Se cree también conveniente el análisis de elemento finito de la flecha que soporta a las ruedas que, con su rotación, impulsan las pelotas de tenis. Para el cálculo de las cargas se ha admitido valores referenciales en base al trabajo que realiza el eje.

Este elemento esta hecho de acero de transmisión SAE 1045 y está soportado por una chumacera, por un lado y directamente por el motor, por el otro. Los resultados del análisis se muestran en las figuras subsiguientes.

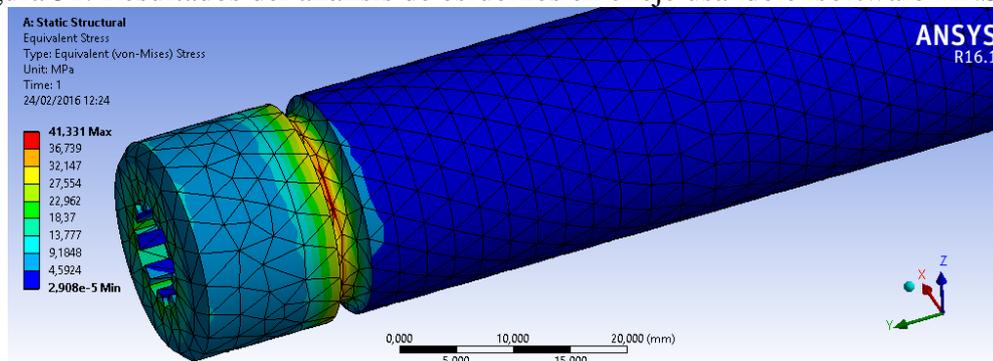
Como resultado de las figuras, el eje fleja pero su deformación es admisible, además se genera un punto de concentración de esfuerzos en la hendidura para la vincha que fija el desplazamiento de la rueda y del eje mismo. Es aquí donde se genera el esfuerzo combinado mayor con un factor de seguridad mayor 3, sin embargo es suficiente para que el eje pueda trabajar de forma correcta.

Figura 50. Resultados de deformación del análisis en ANSYS del eje.



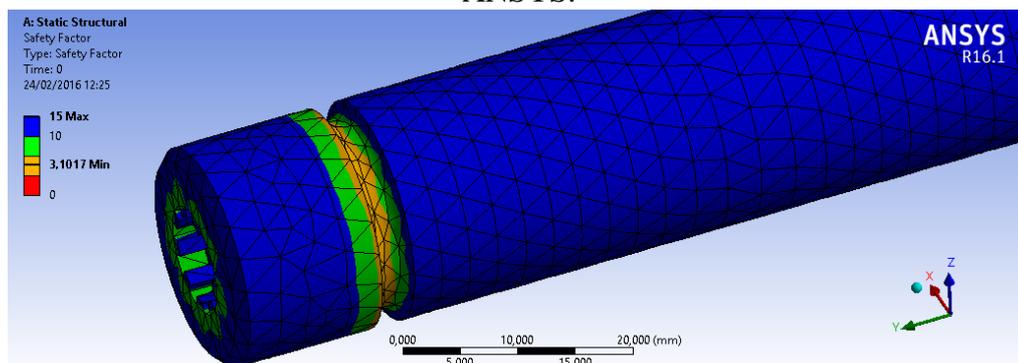
Fuente: Autores

Figura 51. Resultados del análisis de esfuerzos en el eje usando el software ANSYS.



Fuente: Autores

Figura 52. Resultados del análisis de factor de seguridad en el eje usando el software ANSYS.



Fuente: Autores

De esta forma se ha validado las dimensiones y geometrías de los elementos críticos de la máquina lanzadora de pelotas de tenis, y se concluye que estos resisten adecuadamente a las cargas a que están sometidos. Cabe recalcar que el análisis de elemento finito que se aplicó gracias a la ayuda del software ANSYS se ha validado de datos aproximados teóricamente con la ayuda del software SolidWorks y representan un estudio previo a la construcción.

## CAPÍTULO IV

### 4. PROCESOS Y CONSTRUCCIÓN

#### 4.1 Construcción de la máquina lanzadora de pelotas de tenis.

**4.1.1 Sección mecánica.** Se escogió una plancha delgada de acero SAE A36 al carbono laminada en frío de 3mm de espesor para la elaboración del cuerpo principal del mecanismo, debido a su bajo precio y estabilidad. Consiste en un cuerpo rectangular de cuatro caras donde se montaron los elementos de lanzamiento de las pelotas que se explica a continuación: en la parte inferior se realizaron agujeros en los cuales va montado el eje y los pernos que sujetan los porta motores. Del mismo modo, en la parte superior se realizaron aberturas lo suficientemente largas como para tener la facilidad de ajustar al eje a una altura idónea que permita que las ruedas se encuentren separadas una distancia capaz de darle a la pelota la presión necesaria para que salga expulsada.

Figura 53. Cuerpo principal



Fuente: Autores

Los ejes fueron realizados de acero SAE 1045 mediante procesos de cilindrado y refrentado, y siguen las recomendaciones citadas en el marco teórico puesto que son totalmente desmontables para facilitar el mantenimiento, sus dimensiones son compactas y no existen cambios bruscos de sección debido a los chaflanes que fueron utilizados para disminuir los esfuerzos concentrados. El eje adquiere su rotación directamente de los motores de 0,56 hp, el eje a su vez transmite potencia, velocidad y rotación a las ruedas de impulso.

Figura 54. Eje de transmisión



Fuente: Autores

Se utilizaron anillos de retención para la seguridad de los ejes que se acoplan directamente a la ranura que fue mecanizada. La función de este elemento es ajustar al eje en una posición estable pese al movimiento de la máquina.

Figura 55. Anillos de retención



Fuente: Autores

Para los soporte de motores se consideró un acero SAE 1020 al ser un material adecuado para maquinarse y para soportar soldadura, además este elemento no va a estar sometido a cargas dinámicas es por esto que este material se ajusta perfectamente.

Los soportadores de los motores son los encargados de la estabilización y posicionamiento de los elementos que tienen alta importancia en este trabajo, es decir los motores de corriente continua encargados del giro de las ruedas.

Figura 56. Soporte de motor



Fuente: Autores

Las ruedas se relacionan directamente con la pelota, por ende fue muy importante su selección debido a que su función principal es permitir un contacto adecuado con la pelota para que esta se adhiera a la llanta, además servirán como guía para que la pelota sea expulsada del sistema con una velocidad semejante a la velocidad de rotación de las llantas.

Estas llantas tienen la característica de que el aire a presión está contenido entre la llanta y el rin es decir, no posee un tubo inflable, se escogió esta característica dado que se

logra regular la presión interna de las ruedas y obtener otros efectos en la pelota. El material de la llanta también fue considerado para su selección de tal modo de que no cause daños considerables a la textura y forma de la pelota.

Del mismo modo el tamaño fue otro parámetro a seleccionar, estas llantas tienen un diámetro de 210 mm con lo que se logra aumentar el torque de salida de la pelota.

Figura 57. Ruedas



Fuente: (XINYUE, Taizhou, 2010)

Los motores funcionan con corriente continua y brindan al sistema una velocidad angular aproximada de 2750 rpm en plena carga, tienen una potencia de 0,56 hp, suficiente para arrojar a la pelota hacia el otro lado de la red de tenis con una velocidad lineal de 59,38 m/s y suministran al mecanismo la fuerza suficiente para soportar así la presión de la pelota sin sufrir ningún daño.

Figura 58. Motor



Fuente: Autores

Se montan uno a uno los componentes al cuerpo principal del mecanismo, procurando que todo sea desmontable para que sea sencilla la mantenibilidad del sistema. Pudiendo así reemplazar los elementos en el caso de sufrir deterioro. Como se observan en las figuras siguientes, tanto las chumaceras como los soporta motores son ajustados mediante el uso de tuercas y tornillos, para asegurar la sujeción.

Figura 59. Montaje chumaceras



Fuente: Autores

Figura 60. Montaje soporta motores



Fuente: Autores

Para el movimiento vertical se utilizó un motor de corriente continua que son generalmente usados para mover los limpia parabrisas de los automóviles. Al motor va acoplado un mecanismo desmodrómico para la transformación de movimiento. Funcionan con 12 voltios y consumen 3 amperios.

El distintivo especial de estos motores es que el movimiento es conducido por un tornillo sin fin el cual hace girar una rueda dentada y este a su vez mueve un eje que hace girar la biela.

Figura 61. Motor limpia parabrisas



Fuente: Autores

Las pelotas de tenis tienen un diámetro entre 6,35 y 6,67 cm, entonces para el sistema de alimentación, se consideró utilizar un tramo de tubería de 3" y un codo de 45° de PVC. Al tramo de tubería se le realizó un destaje para que la alimentación se encuentre a menor distancia de las ruedas, el tamaño del destaje es lo suficientemente grande de tal modo que una de las ruedas cabe en él.

Además, cumple la función de impulsar a la pelota desde el ducto y direccionarla hacia las ruedas. El sistema de alimentación está sujeto al cuerpo principal por medio de platinas de hierro.

Otro componente importante de la alimentación es la parte móvil que une al codo con la tolva, esta pieza tiene que ser lo suficiente flexible para que se estire y se contraiga, permitiendo que las pelotas rueden. Se realizó un espiral tomando como material al tubo de PVC, el paso del espiral es de 5 cm que es suficiente para que la pelota no se atasque en el trayecto.

Figura 62. Tubo de alimentación



Fuente: Autores

Figura 63. Sistema de alimentación



Fuente: Autores

Figura 64. Montaje de elementos



Fuente: Autores

El NX es un software de simulación virtual que brinda soluciones para el diseño y la manufactura digital de partes y piezas. Para la elaboración de la carcasa se utilizó esta herramienta CAD/CAM para la optimización del diseño.

Una vez obtenidos los planos de la carcasa se procedió a cortar y doblar la plancha de tol negro de 0,9 mm. De igual manera, la carcasa es totalmente desmontable para poder realizar el mantenimiento de la máquina.

Figura 65. Carcasa



Fuente: Autores

La máquina lanzadora de pelotas de tenis tiene que ser transportable, para ello se elaboró un sistema de materiales reciclados, para el cuerpo se utilizó un perfil G y placas de hierro para los soportes que sobraron en una construcción. Además se utilizaron ruedas de nylon para evitar el daño en la cancha de tenis. De este modo es posible llevar a la máquina de un lado a otro con tan solo hacerla rodar.

Figura 66. Sistema de transporte



Fuente: Autores

Finalmente se obtiene el prototipo de la máquina lanzadora de tenis de campo con todos los elementos ya montados, dando un diseño bastante cómodo para el usuario y con una capacidad en la tolva de más de 50 pelotas de tenis para un entrenamiento continuo. Cuenta además con la característica que cuando el dispositivo no esté en funcionamiento, al dar la vuelta a la tolva, ésta se acopla a la carcasa, siendo un diseño más compacto y funcional para trasladarlo o guardarlo.

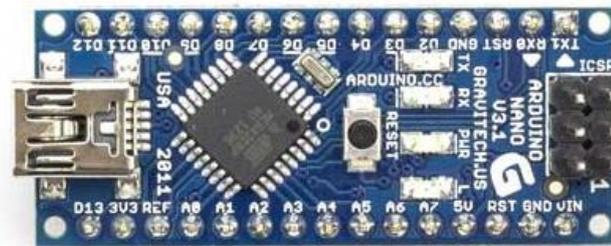
Figura 67. Máquina lanzadora de pelota de tenis



Fuente: Autores

**4.1.2 Sección electrónica.** El control de la máquina lanzadora de pelotas de tenis se lo hace por medio de Arduino Nano debido a su pequeño tamaño para adaptarlo a un control remoto que podrá ser portátil para facilidad del deportista o del entrenador para controlar la máquina a largas distancias, el lenguaje de programación es sencillo y la comunicación se la realiza mediante la conexión de un puerto Mini-B USB en el Arduino y un puerto USB en la computadora.

Figura 68. Arduino Nano



Fuente: (ARDUINO, 2016)

Para la comunicación entre el usuario y la máquina se consideró la utilización de bluetooth pero el existente en el mercado tiene un alcance de 15 m que es insuficiente para cubrir la longitud de la cancha de tenis que es de 23,78 m, es por ello que se decidió utilizar otro tipo de red inalámbrica, en este caso la red por radio fue la solución más idónea ocupando un Transceiver Cy2198TR como método de comunicación. Esta comunicación inalámbrica tiene un mayor rango alcanzando hasta un máximo de 100 m, recibiendo ondas de radio en 64 frecuencias

Figura 69. Antena inalámbrica direccional por radio frecuencia



Fuente: (CARROD, 2014)

La máquina lanzadora de pelotas de tenis va a ser utilizada por usuarios de distintas edades, es por esto que la interfaz del control remoto tiene que ser lo más amigable para que la comunicación entre el usuario y la máquina sea favorable.

Para la visualización de las opciones de la máquina entre automático y manual y para que el usuario pueda observar las variaciones de velocidad y posición de la máquina se utiliza una pantalla azul 16x2 que funciona con 5V.

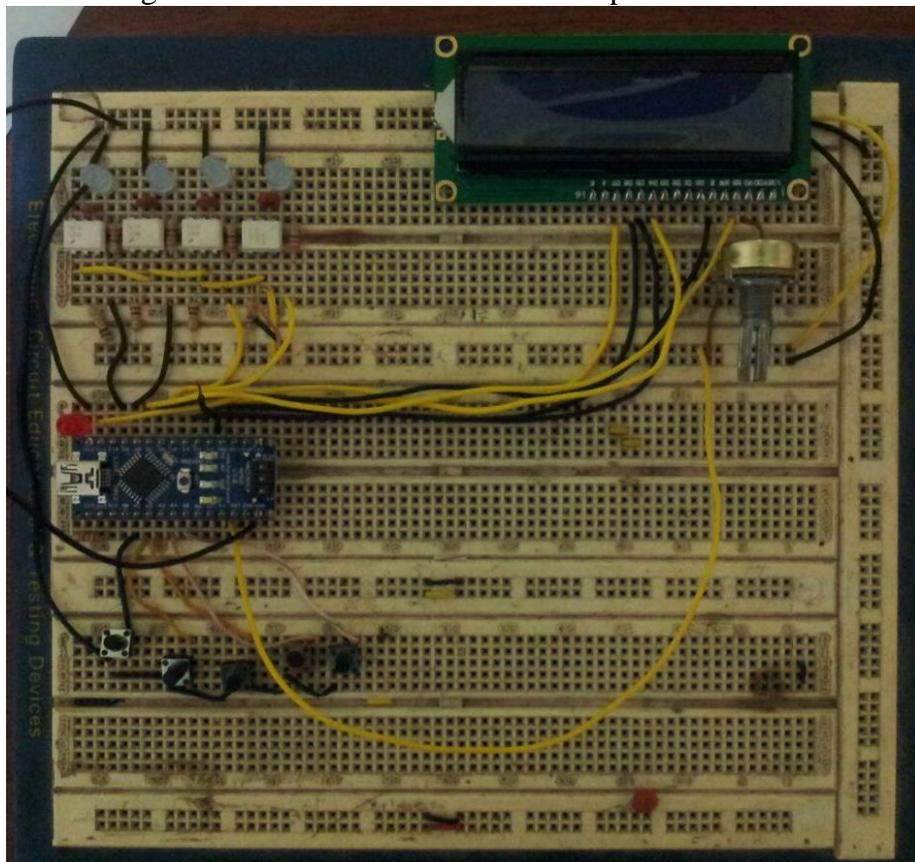
Figura 70. Pantalla azul 16x2



Fuente: Autores

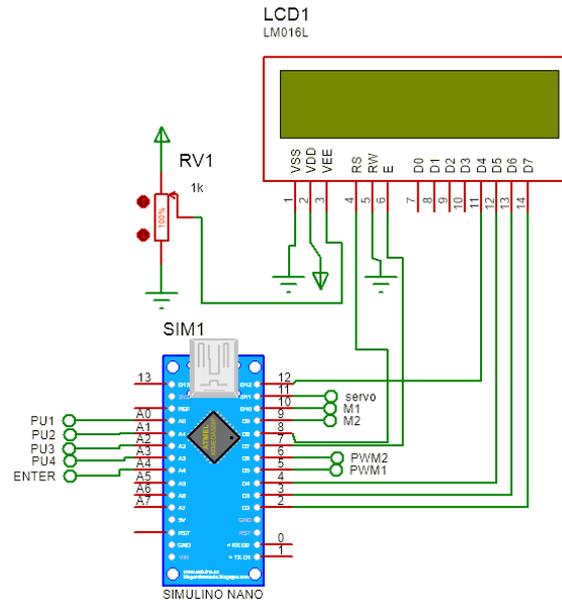
El circuito de la figura 71 está diseñado para la activación del sistema de lanzamiento y de posicionamiento de la máquina. Cuenta con cinco botones que van a permitir que el usuario controle las opciones de velocidad, dirección de giro es decir para el movimiento vertical, y para que pueda seleccionar entre las opciones de manual y automático. La máquina lanzadora de pelotas de tenis puede ser controlada haciendo uso de un control remoto.

Figura 71. Circuito control armado en protoboard



Fuente: Autores

Figura 72. Circuito Arduino-led-potenciómetro-Proteus 8



Fuente: Autores

Este dispositivo utiliza tres motores, dos para el sistema de expulsión (movimiento de las ruedas) y uno más para el posicionamiento (movimiento vertical). Los motores para el sistema de expulsión debido a sus características necesitan ser alimentados por 24V mientras que el motor del movimiento vertical requiere 12 V en corriente directa, es por esto que no se necesita de una fuente de alimentación externa para ejecutar su funcionamiento. Para lograr que la máquina sea autónoma se utiliza baterías de 5000 mAh.

Se realiza un diseño de placas PCB para poner en marcha los motores de ambos sistemas, a continuación se muestran los dos diseños elaborados:

- Circuito con mosfet. En la figura 73 se muestra el circuito de encendido de un motor DC mediante el empleo de un mosfet. IRF P150N.

Los mosfet de potencia son componentes electrónicos que permiten el control de corrientes elevadas, posee tres terminales de salida drain (base), source (emisor) y gate (común). Para el caso de esta aplicación se emplea del mismo por las características de corriente del motor DC a controlar.

El circuito consta de dos etapas: etapa de control y etapa de potencia donde se emplea el mosfet. Las dos etapas se encuentran aisladas entre sí mediante el opto acoplador.

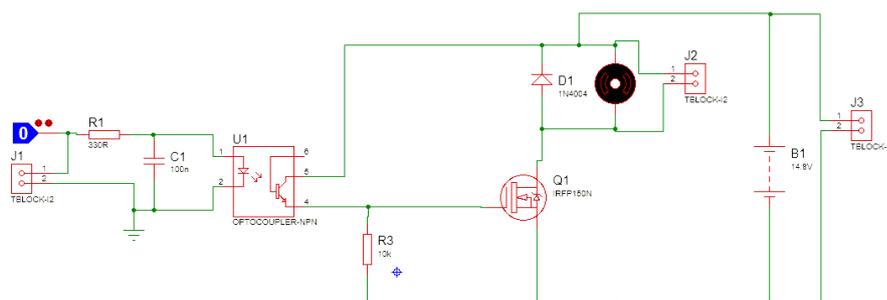
Funcionamiento: La señal de control (activación) proviene del controlador Arduino mismo que emite una señal high (5 V) de uno de sus pines, lo que hace que llegue la señal eléctrica a los dos extremos del Led (emisor) del opto acoplador se emite una señal luminosa, que recibe el receptor. Este al recibir una señal luminosa genera en sus bornes una tensión eléctrica misma que será la tensión de salida. Es decir cuando recibe luz el detector se comportara como un interruptor cerrado generando una señal de salida, mientras que si la señal de control es low (0 V) no recibe una señal lumínica y se comporta como un interruptor abierto y no producirá ninguna tensión a su salida.

La etapa de potencia del circuito presenta el siguiente funcionamiento, a diferencia del circuito con relé de potencia porque el elemento empleado ahora es un mosfet.

Cuando la señal de control es high, existe una tensión de salida, la resistencia de 10 K $\Omega$  sirve para limitar la corriente inicial que circula por la terminal gate del mosfet, al circular esta tensión por el terminal gate hace que el mosfet entre en saturación, en ese momento la resistencia interna entre source y drain es muy baja, con esto se logra controlar el paso de la corriente de la fuente externa de 15 V a través del motor haciendo que este gire. Cuando la salida de control es low la tensión en el gate del mosfet llega a 0 V, por lo que el mosfet deja de conducir saliendo del estado de saturación y en consecuencia apagar el motor puesto que hay un comportamiento de circuito abierto, impidiendo la circulación de corriente en el motor.

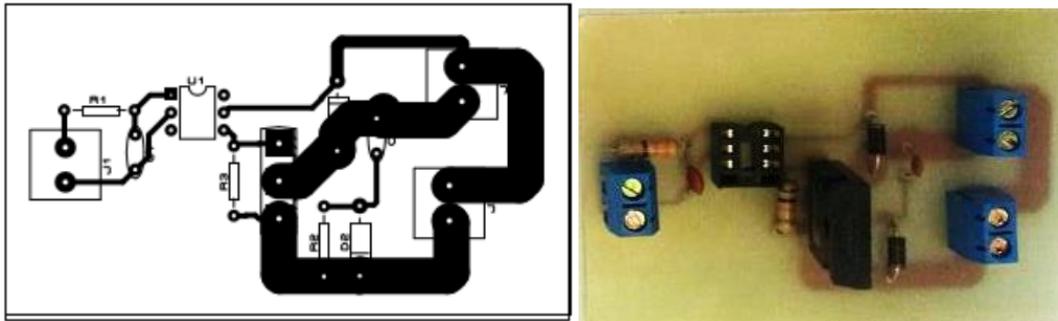
En el circuito también se encuentra el diodo de protección conectado en paralelo al motor, con esto nos aseguramos evitar daños en el circuito por posibles retornos de corriente o picos de voltaje producidos por la constante conmutación a la que se encuentra sometido el mosfet.

Figura 73. Circuito con mosfet



Fuente: Autores

Figura 74. Placa circuito con mosfet



Fuente: Autores

- Relé de potencia. En la figura 75 se muestra el circuito de encendido de un motor DC mediante el empleo de un relé SLD M12VDC-1C. De igual manera que en el circuito mosfet, el circuito consta de dos etapas: etapa de control y etapa de potencia. Las dos etapas se encuentran aisladas entre sí mediante el optoacoplador.

Funcionamiento: La señal de control (activación) proviene del controlador Arduino mismo que emite una señal high (5 V) de uno de sus pines, lo que hace que llegue la señal eléctrica a los dos extremos del led (emisor) del optoacoplador, se emite una señal luminosa, que recibe el receptor.

Este al recibir una señal luminosa genera en sus bornes una tensión eléctrica misma que será la tensión de salida. Es decir, cuando recibe luz el detector se comportara como un interruptor cerrado generando una señal de salida, mientras que si la señal de control es low (0 V) no recibe una señal lumínica y se comporta como un interruptor abierto y no producirá ninguna tensión a su salida.

Cuando la señal de control es high, es decir existe una tensión de salida, esta hace que el transistor pase a un estado de saturación (conducción), haciendo que la corriente entre emisor y colector excite la bobina del relé, haciendo que el contacto cambie de posición. Si la señal de control está en low el transistor entra en corte e impide el flujo de corriente y la bobina se mantiene en su posición de reposo.

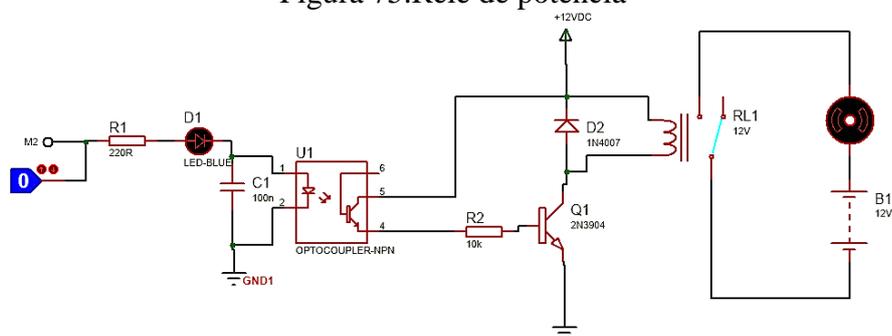
El transistor es empleado puesto que es un dispositivo que maneja tensiones mayores a las soportadas por el dispositivo de control Arduino, potenciando su capacidad de corriente y voltaje con solo un pequeño pulso.

En este caso el transistor se encuentra conectado a una fuente externa de 12 V, voltaje de trabajo del motor DC. A su salida el relé tiene 3 pines entre los pines de salida 2 y 3 se encuentra una salida de tipo normalmente abierto, es decir un circuito abierto sin excitar la bobina; y entre los pines 2 y 4 es de tipo normalmente cerrado, es un circuito cerrado sin excitar la bobina.

Para fines de esta aplicación se conecta el motor al contacto no normalmente abierto, de manera que cuando el transistor entre en saturación y cambie la posición del relé, este cierre el circuito y permita el flujo de corriente en el motor y empiece a girar. Mientras que si el transistor está en corto, no se cambiara el estado de los contactos del relé y este permanecerá abierto dejando apagado al motor.

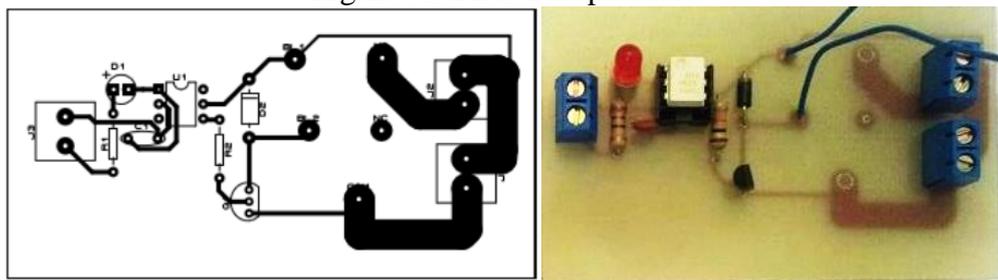
Además de la protección que brinda el optoacoplador, en el circuito se encuentra un diodo de protección conectado en paralelo a la bobina del relé. Esto debido a que cada vez que exista la conmutación en el relé, se generan picos de voltaje debido a la corriente que pasa a través de la bobina. Para evitar que los picos de voltaje regresen al controlador Arduino y se resetee, se hace uso de esta protección, que se encarga de absorber estos picos.

Figura 75. Relé de potencia



Fuente: Autores

Figura 76. Placa relé potencia



Fuente: Autores

**4.1.2.1 Líneas de programación.** Existen dos controladores, un transmisor y un receptor. El receptor se encuentra en la máquina mientras que el transmisor se encuentra en un control remoto, estos se comunican por medio de un Transceiver.

Cada uno es controlado por un Arduino, en la siguiente figura se muestra la programación:

Figura 77. Programación receptor

```

//+++++ RECEPTOR+++++
//+++++ ENCENDIDO+++++
    case 0:
        digitalWrite(M1,LOW);          //Motor vertical apagado
        VEL1=0; // salida PWM superior con ancho de pulso
        VEL2=0; // salida PWM inferior con ancho de pulso
            analogWrite(PWM1, VEL1); // salida PWM superior con ancho de pulso (pin,valor)
            analogWrite(PWM2, VEL2); // salida PWM inferior con ancho de pulso (pin,valor)
            //movimiento servo posicion inicial
            myservo.write(65);          // posicion servo inicial
            delay(1000);                // espera 1s servo llegue a pos inicial

        break;
//+++++ PARO TOTAL+++++
    case 0XC0:
        digitalWrite(M1,LOW);
        digitalWrite(M2,LOW);
        break;
//+++++ MOVIMIENTO VERTICAL +++++
    case 0xD0:
        digitalWrite(M1,HIGH);

        break;
//+++++ EFECTO 1. RUEDA INFERIOR MAYOR VELOCIDAD+++++
    case 0x90:
        VEL1=100; // salida PWM superior con ancho de pulso
        VEL2=500; // salida PWM inferior con ancho de pulso
            analogWrite(PWM1, VEL1); // salida PWM superior con ancho de pulso (pin,valor)
            analogWrite(PWM2, VEL2); // salida PWM inferior con ancho de pulso (pin,valor)
            //movimiento servo
            myservo.write(65);          // servo posicion 65
            delay(3000);                // espera 3s
            myservo.write(90);          // servo posicion 90
            delay(1000);                // espera 1s

        break;
//+++++ EFECTO 2. RUEDAS IGUAL VELOCIDAD+++++
    case 0xA0:
        VEL1=500; // salida PWM superior con ancho de pulso
        VEL2=500; // salida PWM inferior con ancho de pulso
            analogWrite(PWM1, VEL1); // salida PWM superior con ancho de pulso (pin,valor)
            analogWrite(PWM2, VEL2); // salida PWM inferior con ancho de pulso (pin,valor)
            //movimiento servo
            myservo.write(65);          // servo posicion 65
            delay(3000);                // espera 3s
            myservo.write(90);          // servo posicion 90
            delay(1000);                // espera 1s

        break;
//+++++ EFECTO 3. RUEDA INFERIOR MAYOR VELOCIDAD+++++
    case 0xB0:
        VEL1=500; // salida PWM superior con ancho de pulso
        VEL2=100; // salida PWM con ancho de pulso
            analogWrite(PWM1, VEL1); // salida PWM superior con ancho de pulso (pin,valor)
            analogWrite(PWM2, VEL2); // salida PWM inferior con ancho de pulso (pin,valor)
            //movimiento servo
            myservo.write(65);          // servo posicion 65
            delay(3000);                // espera 3s
            myservo.write(90);          // servo posicion 90
            delay(1000);                //espera 1s

        break;

```

Fuente: Autores

Figura 78. Programación transmisor

```
//+++++ TRANSMISOR+++++

//+++++PROCESO MOVIMIENTO VERTICAL ++++++
lcd.setCursor(0, 0); // columna 0, fila 0
lcd.print("ANG= "); // imprimir el angulo
lcd.setCursor(5, 0); // columna 0, fila 0
lcd.print(AN1); // imprime cambio de angulo

if(!digitalRead(HORIZ_VELMOT1)){
  digitalWrite(M1,HIGH); // enciende el motor vertical
  AN1=AN1+1; // aumenta el valor angulo
  lcd.setCursor(10, 0); // columna 10, fila 1
  lcd.print("V_ON "); // confirmacion vertical encendido
  DATOEJE=0xD0; //comunicación transmi-recep vertical
  Serial.write(DATOEJE);
  delay(200);
}else{
  digitalWrite(M1,LOW); // enciende el motor vertical
  lcd.setCursor(10, 0); // columna 10, fila 1
  lcd.print("V_OFF "); // confirmacion vertical apagado
  DATOEJE=0xC0; //comunicación transmi-recep apagado total
  Serial.write(DATOEJE);
}

//+++++ENVIO DATO+++++

switch (VEL) {
case 0:
  DATOEJE=0X80;
  aux2=1;
  break;
case 1:
  DATOEJE=0X90;
  aux2=1;
  break;
case 2:
  DATOEJE=0XA0;
  aux2=1;
  break;
case 3:
  DATOEJE=0XB0;
  aux2=1;
  break;
default:
  break;
}

Serial.write(DATOEJE);
Serial.write(DATOEJE);

//FINAL ENVIO DATO
```

Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

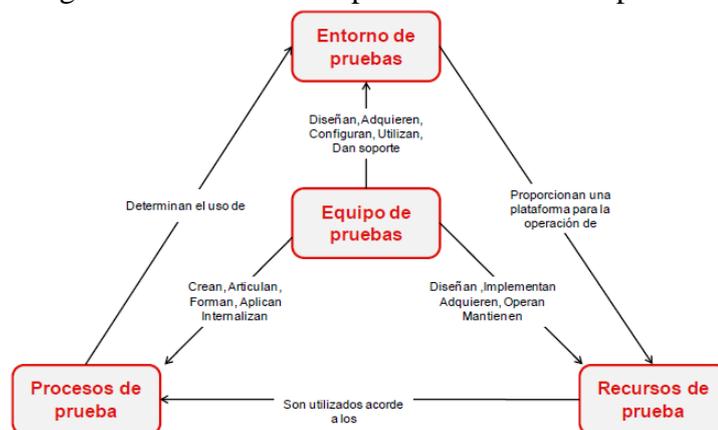
### 5. FASE EXPERIMENTAL

#### 5.1 Validación de la máquina lanzadora de pelotas de tenis

Se realizó un procedimiento de pruebas para demostrar la capacidad de la máquina lanzadora de pelotas de tenis denotando su precisión de posicionamiento y frecuencia de salida de las pelotas dado que tiene que ser conforme a los objetivos planteados cumpliendo así las especificaciones y requerimientos del usuario. Para validar una máquina es necesario un sistema de pruebas que consiste en cuatro aspectos fundamentales:

- Entorno de pruebas: Elementos que forman parte del lugar de trabajo, en este caso las dimensiones de la cancha de la red.
- Equipo de pruebas: Son los responsables de la realización de las pruebas.
- Procesos de pruebas: Es la recolección de los datos las cuales tienen que ser documentadas, en base a la experimentación.
- Recursos de pruebas: son las herramientas o software necesarios para el desarrollo de las pruebas. Se utiliza las aplicaciones de Smartphone e instrumentos de medición de longitud.

Figura 79. Relación componentes sistema de pruebas



Fuente: (INTECO, 2009)

Los requerimientos y las estrategias de verificación para la validación de la máquina lanzadora de pelotas de tenis se enlistan a continuación:

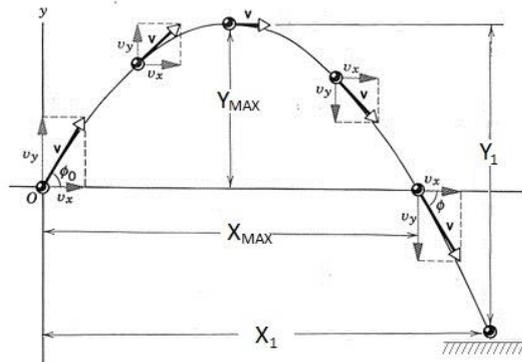
- Velocidad de la pelota: se la realiza mediante la utilización de dos aplicaciones para Smartphone que simula un radar de velocidad. Las podemos encontrar en el App Store como Tennis Serve-o-Meter versión 1.10, desarrollada por Mnsquare y como Tennis Radar Gun creado por Tania Moise versión 1.0. La primera aplicación permite grabar videos en tiempo real, pudiendo variar la velocidad del video reproduciéndolo en cámara lenta o cuadro por cuadro. Tiene mayor precisión al considerar la resistencia del aire y la aceleración de la gravedad. La segunda es más simple, consiste en un solo botón que al mantener presionado empieza a determinar el tiempo que se demora la pelota hasta llegar al otro lado de la cancha de tenis, dándonos una velocidad aproximada de la pelota en km/h.
- Es importante la obtención de esta validación para poder comprobar que la máquina lanzadora de pelotas simula un golpe real ejecutado por un tenista en un juego.
- Distancia y posicionamientos alcanzados: esta validación se la realiza manualmente mediante la toma de datos, la máquina lanzadora de pelotas de tenis tiene que arrojar las pelotas dentro del área de la cancha. La importancia de esta validación se ve en la determinación del desenvolvimiento de la máquina para la eliminación de posibles errores, observando las posiciones de las pelotas al caer para tener un historial sobre la exactitud del dispositivo.

**5.1.1 Pruebas.** Se deben realizar actividades concretas para que la máquina lanzadora de pelota de tenis cumpla con éxito las especificaciones bajo condiciones normales de trabajo para satisfacer los requerimientos del usuario. Para la validación del dispositivo se observó su comportamiento siguiendo los aspectos que se muestran a continuación:

**5.1.1.1 Pruebas de velocidad.** Como se explicó anteriormente para esta prueba se va a utilizar dos métodos: analítico y Tennis Radar Gun. Para el primer método se usó fórmulas de cinemática básica, movimiento parabólico y datos provenientes de la

observación de videos de lanzamientos hechos por la máquina lanzadora de pelotas de tenis de campo en cámara lenta, utilizando los tiempos cuadro por cuadro. Para el segundo método, mediante la aplicación, se obtienen los datos de velocidad. A continuación se exponen los resultados de las pruebas de funcionamiento que fueron realizadas en campo:

Figura 80. Esquema de un movimiento parabólico



Fuente: Autores

Tabla 19. Pruebas usando cinemática básica

	t0		t1		t	X <sub>1</sub>	Y <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>	V	Y <sub>1</sub>	Ángulo
	s	cuadros	s	cuadros	s	m	m	m	km/h	m	grados
Efecto 1 Slice	22	15	24	1	1,53	18,5	-0,55	0	50,497	3,162	30,668
	4	7	5	28	1,70	19,0	-0,55	0	49,494	3,821	35,617
	12	16	14	1	1,50	17,0	-0,55	0	47,923	3,038	31,640
	4	25	6	5	1,33	17,5	-0,55	0	52,135	2,461	25,002
	16	27	18	11	1,47	17,5	-0,55	0	49,461	2,917	29,721
Promedio efecto 1: slice									49,902	3,080	30,53
Efecto 2 Flat spin	4	12	5	15	1,10	18,3	-0,55	0	62,425	1,770	16,380
	8	14	9	18	1,13	18,3	-0,55	0	60,925	1,860	17,425
	3	28	5	0	1,07	18,5	-0,55	0	64,700	1,682	15,196
	0	25	1	17	0,73	11,9	0,30	0	60,169	1,367	13,855
	2	14	3	6	0,73	11,9	0,25	0	60,111	1,340	13,628
Promedio efecto 2: flat spin									61,539	1,664	15,795
Efecto 3 Top spin	2	1	3	10	1,30	17,5	-0,55	0	52,980	2,354	23,834
	6	1	7	10	1,30	17,5	-0,55	0	52,980	2,354	23,834
	10	3	11	15	1,40	18,0	-0,55	0	51,811	2,684	26,702
	19	46	21	40	1,90	21,0	-0,55	0	51,359	4,702	39,219
	23	36	25	28	1,87	20,8	-0,55	0	51,232	4,548	38,464
Promedio efecto 3: top spin									52,072	3,328	30,411

Fuente: Autores

Para el método que se hizo uso de la aplicación Tennis Radar Gun se procuró la mayor precisión posible, uno por uno se fueron analizando los videos que fueron capturados mientras tenistas experimentaban los tres efectos de movimiento que las pelotas adquieren. A continuación se exponen los resultados:

Tabla 20. Pruebas usando Tennis Radar Gun

Efecto	No. de lanzamientos	Velocidad [km/h]	Velocidad $\geq 30$ [km/h]	
			Si	No
1	1	53,2	X	
	2	62,5	X	
	3	52,8	X	
	4	63,9	X	
	5	62	X	
	Promedio	58,88		
2	1	73,1	X	
	2	73,8	X	
	3	80	X	
	4	81,5	X	
	5	74,4	X	
	Promedio	76,56		
3	1	54,5	X	
	2	55,9	X	
	3	54,5	X	
	4	62,9	X	
	5	65,8	X	
	Promedio	58,72		

Fuente: Autores

**5.1.1.2 Prueba de distancia y posicionamiento.** La máquina lanzadora de pelotas tiene que direccionar las pelotas de tenis de tal modo que lleguen al lado de la cancha donde se encuentre el deportista, para validar esta prueba se ha dividido a la cancha en áreas para poder determinar con que precisión caen las pelotas dentro de cada una de las divisiones. El dispositivo es colocado sobre la línea base en la marca central.

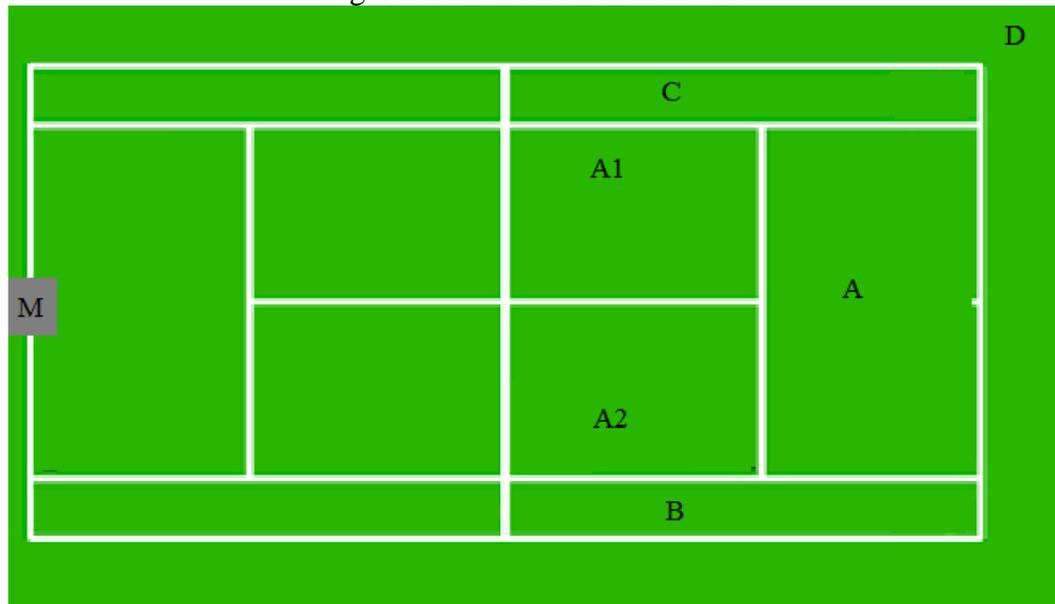
Dónde:

$M$  = Máquina lanzadora de pelotas de tenis

$A$  = Zona de fondo

- A1* = Zona de saque derecha
- A2* = Zona de saque izquierda
- B* = Zona para dobles izquierda
- C* = Zona para dobles derecha
- D* = Fuera de cancha

Figura 81. Zonas cancha de tenis



Fuente: Autores

- Pruebas sistema manual. En estas pruebas se posiciona a la máquina en la mitad de la cancha opuesta sobre la línea base y marca central (figura 81, letra M) para que dispare a una sola zona y se verifica que las pelotas caigan dentro del área deseada, además no puede variar considerablemente la ubicación inicial.

La gama de posibilidades de sesiones de entrenamiento es bastante amplia debido a la variación del ángulo de lanzamiento entre (60° y 90°) que afecta directamente a la translación, proporcionando un alcance de disparo mayor o menor, y por cada alcance se tiene la posibilidad de programar cada uno de los tres efectos en la pelota de tenis, experimentando un juego real.

Así mismo, la diferencia de velocidades de los motores permitieron que la pelota sea impulsada con cada uno de los tres diferentes efectos que este trabajo buscaba. De este modo los usuarios pueden perfeccionar, mediante sucesivas repeticiones, la respuesta a cada uno de estos tres tipos de disparos; flat spin, top spin ó slice.

Tabla 21. Pruebas sistema manual

No. de lanzamientos	A		A1		A2		B		C	
	Si	No								
1	x		x		x		x		x	
2	x		x		x		x		x	
3	x			x	x		x		x	
4	x		x		x		x		x	
5	x		x		x		x			x
6	x		x		x			x	x	
7	x		x		x			x	x	
8	x		x		x		x		x	
9	x		x		x		x		x	
10	x		x		x		x		x	
11	x		x		x		x		x	
12	x		x		x		x		x	
13	x		x			x	x		x	
14	x		x			x	x		x	
15	x		x		x		x		x	
TOTAL	15	0	14	1	14	1	13	2	14	1

Fuente: Autores

*Total de lanzamientos = 75*

*Lanzamientos acertados = 70*

*Lanzamientos no acertados = 5*

Lanzamientos	%
75	100
70	X

$$x = \frac{70 \times 100}{75} = 93\%$$

Después de realizadas las pruebas y de llevar un registro de los datos obtenidos, se pudo identificar que la máquina lanzadora de pelotas de tenis tiene una buena precisión lo que ayuda a mejorar la técnica. En lo referente a velocidad de la pelota, todas las velocidades obtenidas con las dos aplicaciones utilizadas cumplen con los requerimientos establecidos, es decir, por encima de 36 km/h que es la velocidad de

respuesta promedio de un tenista amateur.

Cabe mencionar que los motores se programaron a un 50% de su capacidad para ajustarse al alcance de este proyecto, alcanzando velocidad de hasta 65 km/h, se podría aumentar la velocidad de los motores con una reprogramación. Por otro lado, en el posicionamiento se consiguió un 93% de certeza por lo tanto el dispositivo se lo ha considerado como adecuado y listo para su uso.

## **5.2 Manual de usuario de la máquina lanzadora de pelotas de tenis**

La máquina lanzadora de pelota de tenis necesita de un manual del usuario para que la persona que haga uso de este dispositivo pueda efectuar su entrenamiento con facilidad y tenga la posibilidad de aprender todas las funciones y opciones que esta posee, el manual del usuario está presentado en el anexo E.

## **5.3 Plan de mantenimiento de la máquina lanzadora de pelotas de tenis**

Como todo equipo que realiza una función, la máquina lanzadora de pelotas de tenis requiere de un plan de mantenimiento para que la vida útil de la misma se prolongue y funcione en óptimas condiciones, el manual del usuario está presentado en el anexo F.

## CAPÍTULO VI

### 6. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 Costos

La máquina lanzadora de pelotas de tenis necesita de un proceso de construcción, de adquisición de materiales, de mano de obra es por eso que es preciso realizar una descripción de los rubros invertidos para la realización del diseño y construcción de la máquina para elaborar un análisis de costos.

#### 6.2 Costos directos

Estos costos se relacionan directamente con las actividades que son necesarias para la obtención del producto final, entre los cuales encontramos mano de obra, materiales y suministros, equipos utilizados, insumos y material prima:

Tabla 22. Lista de materiales y costos

Ítem	Descripción	Nº	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Ruedas de caucho 21 cm de diámetro	2	6,00	12,00
2	Eje de transmisión SAE 1045	1	1,80	1,80
3	Placa acero 380x840x 3mm	8 kg	1,40	11,20
4	Motor scooter	2	100,00	200,00
5	Chumacera CMB diámetro 12mm	2	6,00	12,00
6	Seguros o binchas de eje D20	2	0,29	0,58
7	Cable N°10 1 metro	3	1,10	3,30
8	Terminales de ojo	6	0,10	0,60
9	Pernos 3/8"x1	10	0,243	2,43
10	Tuercas 3/8"x1	10	0,243	2,43
11	Pelotas de tenis	6	1,63	9,76
12	Switch 60 A	1	2,00	2,00
13	Bornes batería	2	2,00	4,00
14	Cable N°10 8 metros	1	8,00	8,00
15	Motor limpia parabrisas IJ-20	1	30,00	30,00
16	Bisagra	2	1,10	2,20

Tabla 22. (Continuación)

Ítem	Descripción	Nº	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
17	Articulaciones de bola M6	4	5,00	20,00
18	Plancha laminada 220x380x6 mm	5 kg	1,00	5,00
19	Amortiguador 150 N	1	10,00	10,00
20	Servo Hitech 3kg	1	15,50	15,50
21	Codo Plastidor	2	1,75	3,50
22	Plancha laminada en frío 0,9 mm	1	7,45	7,45
23	Ruedas giratorias 3"	2	2,56	5,12
24	Pernos y tuercas acero 5/16x1"	5	0,19	0,95
25	Reducción T de 3 a 2	1	4,60	4,60
26	Spray negro anticorrosivo	1	4,00	4,00
27	Abrazaderas 3"	2	0,80	1,60
28	Ruedas giratorias guías 2"	2	2,33	4,66
29	Gabinete metálico 20x40x15cm	1	35,47	35,47
30	Brocas 5/32	2	2,50	5,00
31	Caja plástica 14x9x5 cm	1	2,31	2,31
32	Litro de pintura esmalte verde	2	6,55	13,09
33	Tornillos autoperforantes	6	0,18	1,10
34	Baterías 9V	3	5,00	15,00
35	Spray brillante blanco 400 ml	1	2,25	2,25
36	Silicona Abro 1200	1	3,50	3,50
37	Acrílico 800x600x3mm	1	20,00	20,00
38	Protoboard	1	3,50	3,50
39	Batería	1	3,95	3,95
40	Conector cable	1	0,25	0,25
41	Cable N°14 1m	1	1,35	1,35
42	Interruptores	2	0,25	0,50
43	Antenas	2	15,00	30,00
44	Transceiver	2	65,00	130,00
45	Arduino Nano	2	20,00	40,00
46	Relay de potencia	2	5,00	10,00
47	Disipadores de calor	2	22,50	4,50
48	Optoacoplador 4N25	4	0,75	3,00
49	Borneras	12	0,30	3,60
50	Borneras potencia	3	1,00	3,00
51	Zócalos	4	0,10	0,40

Tabla 22. (Continuación)

52	Mosfet IRFP150N	2	4,50	9,00
53	Led	3	0,20	0,60
54	Transistores 2N3904	2	0,10	0,20
55	Diodos rectificadores	2	0,10	0,20
56	Resistencia 1/2W	10	0,06	0,60
57	Capacitores 100 NF	6	0,10	0,60
58	Conectores relay	8	0,25	2,00
59	Regletas hembras simples	2	0,75	1,5
60	Placa perforada	1	1,00	1,00
61	Pulsadores grandes	5	0,85	4,25
62	Lcd 16x2	1	7,5	7,5
63	Regletas macho simples	1	0,75	0,75
64	Potenciómetro	1	0,35	0,35
<b>TOTAL</b>				<b>745,00</b>

Fuente: Autores

Tabla 23. Costos de mano de obra

<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
Asesoría externa	200,00
Mano de obra tornero	220,00
Mano de obra soldador	90,00
<b>TOTAL</b>	<b>510,00</b>

Fuente: Autores

### 6.3 Costos indirectos

Los costos indirectos no actúan directamente en la fabricación de la máquina lanzadora de pelotas de tenis, pero no son despreciados para el desarrollo de la misma.

Tabla 24. Costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
Imprevistos	200,00
Movilización	100,00
Reproducción del trabajo de titulación	200,00
Encuadernación	130,00
Documentación	150,00
<b>TOTAL</b>	<b>780,00</b>

Fuente: Autores

## 6.4 Costos totales

Tabla 25. Costos totales

<b>Costos directos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
Materiales	745,00
Mano de obra	510,00
Total costos directos	1255,00
<b>Costos indirectos</b>	
Total costos indirectos	780,00
<b>TOTAL</b>	<b>2035,00</b>

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

El diseño final de la máquina prototipo de lanzamiento de pelotas de tenis de campo se realizó satisfactoriamente. La pelota entra al módulo de alimentación, donde el giro del dispensador hace que caigan una a una las pelotas después de un tiempo programado de 4 segundos, pasan por un ducto flexible que las guía hacia las ruedas las cuales se encuentran rotando, la pelota es expulsada logrando así el lanzamiento deseado.

El diseño conceptual de la máquina lanzadora de pelotas de tenis de campo, ayudó a obtener un diseño funcional y a cumplir con los requerimientos y deseos del usuario como el direccionamiento variable considerando que las pelotas llegan hasta una distancia de 23,78 metros debido a la velocidad de rotación de los motores de 2750 rpm cubriendo así la longitud total de la cancha.

Se alcanzó una velocidad lineal promedio de expulsión de la pelota de 59,38 km/h lo cual es una velocidad adecuada para un entrenamiento.

Se logró obtener una máquina que funciona con una batería marca Venom de 5000 mAh recargable a 110 V gracias a la utilización de baterías tipo Lipo, sistema automatizado, de fácil operación, amigable con el medio ambiente puesto que es hecho con partes recicladas como tubo PVC y una correa obtenidos de una construcción, bajo costo, segura, fácil mantenimiento debido a que es totalmente desmontable, capacidad de almacenaje total de 25 pelotas, y control y comunicación a distancia.

En las pruebas de funcionalidad mostraron una precisión de la máquina lanzadora de pelotas de tenis de un 93% con respecto a posicionamiento, además las pelotas caen en un diámetro máximo de 20 cm.

La máquina también es autónoma por un tiempo de 30 minutos de forma continua, con un tiempo de carga similar al de uso.

## **7.2 Recomendaciones**

Antes de cualquier diseño y construcción de una máquina se requiere de un estudio bibliográfico extenso para poder cumplir con las normativas que lo rigen para lograr que el prototipo cumpla con los requerimientos impuestos.

El uso del equipo de protección personal es imprescindible para la construcción del prototipo para evitar posibles incidentes o accidentes debido a que durante este proceso los peligros a los que se estaba expuesto eran varios al manejar mecanismos que ayudan al proceso de manufactura.

Para lograr un mayor tiempo de vida útil del equipo se debe tomar medidas como: evitar que la máquina entre en contacto con cualquier fluido no lubricante, darle mantenimiento preventivo principalmente de problemas menores que podrían provocar fallas y protegerlo de golpes fuertes que puedan comprometer el funcionamiento del equipo.

Para prevenir errores de manejo por parte de quien la use, se requiere leer previamente el manual del usuario y plan de mantenimiento de la máquina lanzadora de pelotas de tenis.

## BIBLIOGRAFÍA

**AMZAR, Khairul.** "Design and Fabrication of Thrower Mechanism". [En línea] Universidad Tecnológica de Malasia, Facultad de Mecánica, Malasia 2013. [Citado: Noviembre 16, 2015.] Disponible en Web: <[http://eprints.utem.edu.my/13891/1/cdr\\_09750-24\\_Pages.pdf](http://eprints.utem.edu.my/13891/1/cdr_09750-24_Pages.pdf)>

**ARDUINO.** *Arduino* [En línea]. Estados Unidos: 2016. [Citado: Febrero 14, 2016.]. Disponible en Web: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>>

**BÁEZ, Ruben.** *Tennis Top 10*. [En línea]. [ref. de 20 noviembre 2014. 2014. [Citado: Noviembre 03, 2015.]. Disponible en Web: <<http://www.tennistop10.com/es/articulos/superficies.pdf>>

**BUDYNAS, Richard.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Nisbett, Keith. 8va ed. México D.F: McGrawHill, 2008.

**CLARA, Andrés.** 2010. "Motores Monofásico". [En línea]. Octubre 24, 2010. [Citado: Noviembre 16, 2015.] Disponible en Web: <<http://motoresmonofasicos1.blogspot.com/2010/10/cambio-del-sentido-de-giro-del-motor.html>>

**EBO.** [Vídeo]. Estados Unidos: YouTube, 2013 [En línea] DIY, Noviembre 11, 2013. [Citado: Agosto 12, 2015.]. Disponible en Web: <<https://www.youtube.com/watch?v=oZjx7F1doGs&list=PL412kt4BAOCYPmnQmnVV RMz4xFelqjKOi>>

**GODOY, Pablo.** "Diseño y construcción de una máquina Automática para la fabricación de prefabricados de hormigón". Mora, Christian. Tesis de pregrado. [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, 2009. Marzo 27, 2009. [Citado: Marzo 16, 2016.] Disponible en Web: <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/40/1/15T00415.pdf>>

**GOLAS, Arnel.** *Pelota de Tenis*. [En línea]. EcuRed. 10 de Agosto del 2011, [Citado: Agosto 29, 2015.]. Disponible en Web: <[http://www.ecured.cu/index.php/Archivo:PELOTA\\_TENIS.jpg](http://www.ecured.cu/index.php/Archivo:PELOTA_TENIS.jpg)>

**GRACÍA, Vanesa.** 2012.. "Principales medios de Producción eléctrica". [En línea]. Blogspot. 06 de Julio de 2012. [Citado: Noviembre 17, 2015.]. Disponible en Web: <<http://vanesagarciaherrero.blogspot.com/>>

**HOLLOWAY, Donald.** *Device having coactkng wheels*. Payne, William y Peeler, Donald. 3 777 732. Estados Unidos. 1973- Diciembre-11.1973. United States Patent. Google Docs Patents. [En línea] [Citado: Enero 10, 2016.] Disponible en Web: <<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US377732.pdf>>

**INTECO.** 2009. *Validación de Pruebas*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. [En línea] Noviembre 2009. [Citado: Febrero 2, 2016.]. Disponible en Web:

<<http://www.buenastareas.com/ensayos/Gu%C3%ADa-De-Validaci%C3%B3n-y-Verificaci%C3%B3n/55184250.html>>

**INTERNATIONAL TENNIS, FEDERATION.** *Itftennis*. [En línea] 2015. [Citado: Agosto 29, 2015.] Disponible en Web:  
<<http://www.itftennis.com/media/200593/200593.pdf>>

**KERRY, Paulson.** 2004. *Ball throwing machine*. Patente US6739325. [En línea] Mayo 25, 2004. [Citado: Agosto 06, 2015.]. Disponible en Web:  
<<http://www.google.com/patents/US6739325>>

**MONFARDINI, Nick.** Naval architecture and marine engineering. [En línea] 2012. [Citado: Agosto 13, 2015.]. Disponible en Web:  
<<https://sites.google.com/site/nickmonfardini/advance-cad/battle-of-the-ball/research>>

**MYSZKA, David.** 2012. Máquinas y mecanismos. 4ta ed. Pearson, 2012. p. 384.

**NSK.** 2014. Catálogo de rodamientos automotrices. NSK Rodamientos Mexicana S.A. [En línea] 2014. Disponible en Web:  
<[http://www.mx.nsk.com/cps/rde/xbcr/mx\\_es/Catalogo\\_de\\_Rodamientos\\_Automotrices\\_AAAMMX2M14B.pdf](http://www.mx.nsk.com/cps/rde/xbcr/mx_es/Catalogo_de_Rodamientos_Automotrices_AAAMMX2M14B.pdf)>

**NTN Corporation.** 2004. Catálogo Rodamiento de Bolas y de Rodillos. [En línea] NTN, 2004. [Citado: Diciembre 2, 2015.]. Disponible en Web:  
<<http://www.ntnamericas.com/es/folletos-y-material-informativo/catalogos.>>

**PANKRATZ, Orlando.** 1966. United States Patent. US 3 277 878. Google Patents. [En línea] Octubre 11, 1966. [Citado: Enero 7, 2016.]. Disponible en Web:  
<<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US3277878.pdf>>

**RELEAUX, Franz.** Kinematics of Machinery. Alex Kennedy. 1era ed. Londres: Macmillan, 1876. Pág. 50.

**SALDAÑA, Sergio.** Diseño de ejes de transmisión. [En línea] Enero 2011 [Citado: Noviembre 22, 2015.]. Disponible en Web:  
<[http://sergioelguapo.org.mx/ESIME/ISISA/actividades\\_resistenciaISISA/disenos\\_ejes.html](http://sergioelguapo.org.mx/ESIME/ISISA/actividades_resistenciaISISA/disenos_ejes.html)>

**SÁNCHEZ, Rafael.** Ampliación de análisis cinemático de mecanismos planos mediante métodos analíticos. [En línea] Diciembre 2007. [Citado: Mayo 9, 2016.]. Disponible en Web:  
<<http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%205.pdf>>

**SCOTT, Jack.** Tennis ball throwing machine United States Patent and Trademark Office. IFI Patent Services. [En línea] 2 de Mayo de 1978. [Citado: Agosto 4, 2015.]. Disponible en Web:  
<<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US4086903.pdf>>

**STOKES, Gilbert.** Tennis ball throwing machine with continuously rotatable barrel having friction strip on one side only of inner wall. US 4,570,607 United States, 1986. Disponible en Web: <<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US4570607.pdf>>

**SWARTOUT, Edward.** Tennis ball throwing machine United State Design Patent. US 3399660. Google Patents. [En línea] Septiembre 3, 1968. [Citado: Enero 05, 2016.]. Disponible en Web: <<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US3399660.pdf>>

**THOMPSON, Paul.** Tennis ball throwing machine. US 6,832,604 . Google Patents. [En línea] Diciembre 21, 2004. [Citado: Agosto 13, 2015]. Disponible en Web: <<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US6832604.pdf>>

**TORRES, Victor.** 2009. Desarrollo de un mecanismo de cuatro barras para su uso en la enseñanza. [En línea] Noviembre 2009. [Citado: Mayo 7, 2016.]. Disponible en Web: <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1071/Tesis.pdf?sequence=1>>

**WANG, Kristy.** 2011. Alibaba. [En línea] 2011. [Citado: Septiembre 7, 2015.]. Disponible en Web: <<http://spanish.alibaba.com/product-gs/itf-approval-soft-tennis-balls-for-kid-stage-2-low-compression-tennis-ball-yellow-orange-color-597426458.html>>

**XINYUE, Taizhou.** Plastic Product. Iaccessory. [En línea] Xinyue Taizhou Plastic Product Co. Ltd., Julio 9, 2010. [Citado: Enero 20, 2016.]. Disponible en Web: <[www.iaccessory.cn/en\\_about.asp?id=4](http://www.iaccessory.cn/en_about.asp?id=4)>