

PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO DE
LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.

Presentado por:

CRISTIAN FABIÁN RODRÍGUEZ MANCERA

Cód. 2008103057.

VICTOR EDUARDO SALCEDO SANGUINO

Cód. 2008201059.

Director:

DIEGO FERNANDO QUIROGA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

BOGOTA D.C.

AÑO 2014

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Prototipo funcional de un robot con visión de máquina y controladores basados en lógica difusa para el entrenamiento de la selección representativa de tenis de mesa de la universidad pedagógica nacional.
Autor(es)	Rodríguez Mancera, Cristian Fabián; Salcedo Sanguino, Víctor Eduardo
Director	Quiroga Páez, Diego Fernando
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2014. 107 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional.
Palabras Claves	PROTOTIPO FUNCIONAL; VISIÓN DE MÁQUINA; CONTROL DIFUSO; TENIS DE MESA

2. Descripción
Prototipo funcional de lanzamiento de pimpones de tenis de mesa que toma la posición del jugador por medio de una cámara web siguiéndolo y lanzando los pimpones de acuerdo a la distancia que se encuentra de la mesa.

3. Fuentes
Amado J., Bode, Y., Hernández, R., Álvarez, E. (2013). Programa integral de preparación del deportista.
Asociación santafesina de tenis de mesa. Conociendo el deporte... URL: http://www.asateme.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=28
Turbeville, J. (2003). Table tennis ball speed. URL: http://www.jayandwanda.com/tt/speed.html .
De, X. (2010). Embedded system and its applications on robots. URL: http://books.google.com.co/books?id=W6Ahwa45ioC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_buy#v=onepage&q&f=false
El acrílico como material de trabajo. URL: http://www.famadacrilicos.com/concepto.htm . Fecha última visita: mayo 21 de 2014.
El cobre como conductor eléctrico. URL: http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?-

IdArticulo=147. Fecha de última visita: mayo 25 de 2014.

Lee, S., Suh, H., Kim, M. (2008). Recent progress in robotics: viable robotic service to human. An edition of the select papers from the 13th international conference on advanced robotics.

URL:http://books.google.com.co/books?id=65q7fi9yrcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_buy#v=onepage&q&f=false

Lee, S., Cho, H., Yoon, K., Lee, J. (2012). Intelligent autonomous systems 12. Volume 2.

URL:<http://books.google.com.co/books?id=CPV9Ds1Gsl4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

Mariano (2011). Poliestireno. URL: http://es.slideshare.net/johnny_graterol/apa-uso-del-formato-apa-con-material-de-la-web. Fecha de consulta: mayo 05 de 2014.

Morillo, M A., Solís, E. (2012). Diseño e implementación de un prototipo entrenador autómatas de ping pong controlado mediante comando de voz.

Silva, L. (2005). Control visual de robots paralelos. Análisis y aplicación a la plataforma robotenis.

4. Contenidos

Marco teórico: en este capítulo se hace contextualización acerca del tenis de mesa, historia, reglamento, golpes y efectos utilizados en el deporte.

Sistema mecánico: este capítulo describe los diferentes diseños y estructuras realizados durante el desarrollo del proyecto, los posibles materiales de construcción de la estructura.

Sistema electrónico: este capítulo describe el diseño tanto de los controladores utilizados como la visión de máquina para hallar la posición del jugador.

5. Metodología

No se emplea una metodología específica, la organización del documento se puede encontrar mediante el desarrollo metodológico. No se establecen parámetros de una metodología.

6. Conclusiones

Se realizó el diseño y se desarrolló el prototipo funcional de manera tal, que se logra garantizar un mayor aprovechamiento del espacio dispuesto en los escenarios de la Universidad Pedagógica Nacional, generando una interacción directa entre el prototipo y el deportista de tenis de mesa.

La visión de máquina desarrollada para la captura de la posición del jugador es un buen método de sensado, el objeto de interés, es decir, el jugador, se puede capturar fácilmente con poco procesamiento de máquina, sin embargo, las condiciones en las que se puede aplicar deben ser controladas de tal manera que los cambios en cuanto a iluminación y los objetos que se capturan sean pocos, de lo contrario la dificultad para el análisis aumenta, disminuyendo la velocidad de procesamiento afectando otros procesos como el del controlador y por lo tanto la velocidad de respuesta de las diferentes partes mecánicas del prototipo.

Las características, en términos de adquisición de imágenes de la cámara web utilizada no permiten utilizar el máximo rendimiento del servomotor empleado en el dispositivo de rotación, por lo cual el desplazamiento del prototipo en el eje X es lento y esto se refleja de manera directa en el seguimiento del deportista que realiza el entrenamiento.

La cantidad de imágenes captadas no equivale a la cantidad de imágenes que logran ser procesadas a lo largo del proceso, por lo cual el prototipo muestra retardo en los tiempos de respuesta para seguir al deportista durante el entrenamiento deportivo.

El controlador basado en lógica difusa diseñado para el lanzamiento de pimpones y controlar la distancia de caída proporciona fidelidad en términos del rebote del pimpón sobre la mesa en las posiciones requeridas de acuerdo a la ubicación del jugador en el espacio de entrenamiento. El control en la posición X se facilita utilizando el servomotor, aprovechando la realimentación interna en su diseño el control de las diferentes posiciones de lanzamiento es el valor del ángulo de la posición que debe tener el servomotor para el lanzamiento en cierto punto de la mesa. El controlador en la posición Y es óptimo y proporciona fidelidad en lanzamiento de los pimpones, lanzándolos con precisión en los puntos específicos de la mesa dependiendo la ubicación del jugador en el espacio de entrenamiento. La aplicación de lógica difusa facilita el desarrollo de controlador en las posiciones (X, Y) debido a que no es necesario tener un modelo matemático de los motores que se desea controlar para el lanzamiento de pimpones.

--

Elaborado por:	Rodríguez Mancera, Cristian Fabián; Salcedo Sanguino, Víctor Eduardo
Revisado por:	Quiroga Páez, Diego Fernando

Fecha de elaboración del Resumen:	27	10	2014
--	----	----	------

Tabla de contenido

1. Introducción	11
2. Planteamiento del problema	13
3. Justificación	14
4. Objetivos	15
4.1. Objetivo general	15
4.2. Objetivos específicos	15
5. Antecedentes	16
6. Marco teórico	18
6.1. Historia del tenis de mesa	18
6.2. Entrenamiento del tenis de mesa	21
6.3. Equipamiento requerido para la práctica del tenis de mesa	22
6.3.1. Equipamiento en el área de juego	22
6.3.2. Mesa de tenis de mesa	22
6.3.3. Red	23
6.3.4. Raquetas	23
6.3.5. Pimpones-bolas	24
6.3.5.1. Clasificación de los pimpones-bolas	24
6.3.6. Red recogepelotas	25
6.3.7. Espacio adecuado para la práctica	26
6.3.8. Iluminación	27
6.3.9. Robot lanza-pelotas	28

6.4. Efectos de los pimpones	29
6.4.1. Topspin	29
6.4.2. Backspin	29
6.4.3. Sidespin por derecha	29
6.4.4. Sidespin por izquierda	30
6.4.5. Helicoidales por derecha	30
6.4.6. Helicoidales por izquierda	30
6.5. Trayectoria de los pimpones	30
6.6. Tipos de golpes	32
6.6.1. Drive	32
6.6.2. Revés	32
6.6.3. Topspin	33
6.6.4. Corte de drive	33
6.6.5. Corte de revés	33
6.6.6. Sidespin	33
6.7. Velocidades empleadas en el juego	33
7. Desarrollo metodológico	34
7.1. Sistema mecánico	34
7.1.1. Diseño nº 1	34
7.1.1.1. Lanzador	34
7.1.1.2. Dispositivo de rotación	36
7.1.1.3. Dispositivo de elevación	36
7.1.1.4. Tolva de alimentación	37

7.1.2. Diseño n° 2	37
7.1.3. Diseño n°3	38
7.1.3.1. Lanzador	39
7.1.3.2. Dispositivo de rotación	40
7.1.3.3. Tolva de alimentación	41
7.1.3.4. Soporte de la tolva	41
7.1.3.5. Soporte principal	41
7.1.4. Selección del material	42
7.1.4.1. Propiedades del aluminio	43
7.1.4.2. Propiedades del acrílico	44
7.1.4.3. Propiedades del poliestireno de alto impacto	45
7.1.5. Partes del prototipo	46
7.1.5.1. Lanzador	47
7.1.5.2. Soporte	47
7.1.5.3. Desplazamiento	47
7.1.5.4. Tolva de alimentación	48
Caja de control	48
7.2. Sistema electrónico	48
7.2.1. Algoritmo para la visión de máquina	48
7.2.1.1. Algoritmo n°1	50
7.2.1.2. Algoritmo final	53
7.2.2. Comunicación	55
7.2.3. Controlador basado en lógica difusa	55

7.2.3.1.	Parametrización de los controladores	56
7.2.3.1.1.	Adquisición y análisis de imágenes	56
7.2.3.1.2.	Velocidad de los jugadores	57
7.2.3.2.	Control posición x	64
7.2.3.2.1.	Características y condiciones iniciales	64
7.2.3.2.2.	Desplazamiento angular	65
7.2.3.2.3.	Cambio máximo de desplazamiento del servo	67
7.2.3.2.4.	Diseño y aplicación	67
7.2.3.3.	Control posición y	68
7.2.3.3.1.	Características y condiciones iniciales	68
7.2.3.3.2.	Etapas de sensado	70
7.2.3.3.3.	Respuesta de los motores en lazo abierto	71
7.2.3.3.4.	Diseño y aplicación	72
7.2.4.	Etapas de potencia	78
8.	Análisis de resultados	79
8.1.	Estabilidad del prototipo	79
8.2.	Peso del prototipo	79
8.3.	Distribución de piezas	79
8.4.	Frecuencia de lanzamiento de los pines	79
8.5.	Efecto proporcionado a los pines	80
8.6.	Aplicación a deportistas	80
8.6.1.	Resultados obtenidos	81
9.	Conclusiones	83

10. Bibliografía	84
11. Anexos	86

1. Introducción

El tenis de mesa es considerado uno de los deportes más veloces del mundo, a su vez la práctica del mismo genera cierto elitismo entre los deportistas que lo practican, esto ha llevado desarrollar variedad de técnicas para el entrenamiento y desarrollo de habilidades como el desplazamiento y velocidad de reacción de los deportistas, de igual manera se han desarrollado tecnologías innovadoras para el entrenamiento de dichas habilidades como por ejemplo robots que devuelven pimientos golpeados por el jugador, conocidos como robots jugadores de tenis de mesa o robots que únicamente lanzan pimientos, llamados robots lanzadores de pimientos.

El equipo representativo de tenis de mesa de la universidad pedagógica nacional requiere de un entrenamiento constante de la disciplina, por lo cual es necesario el apoyo de diversos implementos que contribuyan con la práctica, uno de los más importantes es el espacio, que para el caso de la universidad es limitado; por esto se diseña una estrategia que genere un mejor aprovechamiento de las condiciones presentadas en la universidad, en este sentido se diseña y desarrolla un prototipo funcional tipo lanzador que pretende aportar de manera significativa a los entrenamientos dentro de la universidad aprovechando el espacio proporcionado por esta.

El prototipo elaborado se diseña bajo los parámetros de: espacio, iluminación y habilidades deportivas específicas de la práctica, para esto se construye una estructura que optimiza el uso del espacio y las condiciones de iluminación; dicha estructura consta de un soporte principal que contiene el sistema electrónico que controla los diversos componentes mecánicos del prototipo, es decir; los micro-motores que van unidos a los discos de expulsión de los pimientos, el servomotor que realiza los desplazamientos del ángulo de lanzamiento y la hélice que envía los

pimpones hacia los discos de expulsión, todo esto regulado por una tarjeta arduino UNO que, por medio de comunicación serial con Matlab, envía señales de control y funcionamiento a los componentes mencionados anteriormente, dichas señales son enviadas luego de obtener la información capturada por la cámara web desde la parte superior del espacio de entrenamiento con respecto a la ubicación del jugador en los ejes (X,Y).

2. Planteamiento del problema

La Universidad Pedagógica Nacional cuenta con un equipo de tenis de mesa que la ha venido representando durante los últimos 20 años, de los cuales, a partir del 2009 y hasta la fecha se ha evidenciado una serie de falencias que afectan el rendimiento del equipo. Los espacios dispuestos por la universidad no son adecuados para el entrenamiento deportivo que se requiere para una selección representativa, ya que se encuentran cerca de escaleras, muros, columnas, balcones, entre otras, y no cumplen con las reglas dimensionales establecidas por la ITTF (International Table Tennis Federation) lo cual afecta el desarrollo favorable de dicha disciplina.

Además, se carece de instrumentos que son esenciales en el entrenamiento, tales como: el número de mesas, pimpones, raquetas, mallas y multi-bolas, ya que no es suficiente para abastecer la cantidad de deportistas que asisten al entrenamiento.

Desde que el tenis de mesa se considera como un deporte de competencia, alrededor del mundo se han desarrollado gran número de herramientas como: raquetas con diversos pesos, multi-bolas y receptores de las mismas, mesas plegables y robots lanza pimpones, dichas herramientas se utilizan para aumentar las capacidades de reacción y desplazamiento de los jugadores por medio del entrenamiento. De igual forma, se ha llegado a desarrollar gran variedad de robots que lanzan el ping-pong de manera cíclica, robots que devuelven el ping-pong durante el juego con un deportista, y robots que juegan entre sí. En ninguno de los casos se tiene en cuenta el posicionamiento de un jugador con respecto a la mesa, o el desplazamiento que este realiza para efectuar una acción inteligente que genere una reacción más eficiente por parte del jugador.

3. Justificación

Luego de realizar una observación detallada de las instalaciones con las que cuenta la Universidad Pedagógica Nacional, para el entrenamiento de tenis de mesa, se puede constatar que no se cuenta con espacios adecuados para la práctica deportiva efectuada por la selección representativa de la universidad además, el mal estado de los implementos esenciales para la práctica y la falta de herramientas que la complementan limitan el potencial de los deportistas, y por ende, su rendimiento. Teniendo en cuenta el rendimiento deportivo de jugadores de equipos representativos de esta disciplina, que han tenido acceso a un “robo pong”, entendido como un artefacto tecnológico creado para la práctica deportiva de tenis de mesa de manera personalizada, se ha evidenciado que es de gran importancia, ya que contribuye con el rendimiento de los deportistas que acceden a él durante sus entrenamientos, puesto que acoge y brinda posibles soluciones a la problemática mencionada anteriormente.

Con base en estos problemas y limitaciones para el entrenamiento de tenis de mesa, la propuesta de investigación sugerida se basa en; el diseño y construcción de un robot a manera de prototipo funcional robot con visión de máquina y controlador basado en lógica difusa, que brinda la posibilidad de lanzar pimpones con determinados efectos de acuerdo al posicionamiento de un jugador con respecto a la mesa. Al brindar la posibilidad de arrojar los pimpones de acuerdo a los datos captados en su entorno, el robot genera una metodología de entrenamiento con mayor variación en cuanto al nivel de dificultad requerido para dicha práctica. Con la construcción de este prototipo de robot se busca contribuir con el mejoramiento de las prácticas del entrenamiento de este deporte.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo funcional que tenga en cuenta la posición de un jugador por medio de visión de máquina y basado en lógica difusa, para el entrenamiento de tenis de mesa de la selección representativa de la Universidad Pedagógica Nacional.

4.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un prototipo mecánico funcional que lance pimpones de tenis de mesa con efecto y velocidad determinados e implementar la visión de máquina.
- Determinar la dirección de lanzamiento de acuerdo a la posición del jugador, a través de visión de máquina.
- Controlar por medio de lógica difusa la dirección de lanzamiento de los pimpones.

5. Antecedentes

Desde hace aproximadamente 25 años se han desarrollado robots, no para entrenamiento de tenis de mesa, sino que juegan, ya sea entre sí o en contra de una persona, además estos robots son inteligentes y realizan movimientos similares a los de los jugadores de tenis de mesa para devolver el pimpón y de esta manera llevar a cabo partidos. *Russell Anderson* desarrolló un robot jugador de tenis de mesa en donde la parte mecánica del robot estaba compuesta por un brazo de robot comercial, la posición del pimpón era calculada gracias a la información recogida por cuatro cámaras de vídeo, por otra parte en el año 2003 *J.J. Rodrigo, L Acosta, J. A. Méndez y S. A. Torres* crearon un robot jugador de tenis de mesa de bajo costo que es capaz de jugar tenis de mesa con un contrincante humano empleando materiales resistentes y de bajo costo, consta de un sistema de visión para detectar la bola con cinco grados de libertad de movimiento que permiten posicionar la raqueta y golpear la bola. Para detectar la bola, el robot utiliza un sistema de visión el cual combina la información de la posición de la bola y la sombra que proyecta durante el recorrido y cuando golpea la mesa de tal manera que estima la trayectoria de la bola y con el sistema de control ubica la raqueta en el punto adecuado.

Tratándose de robots jugadores de tenis de mesa se ha desarrollado gran variedad, con diferentes controladores y formas de golpear y devolver el pimpón, los chinos no dejan de impresionar los espectadores y consumidores, en 2011 la *Universidad de Zhejiang* construyó robots humanoides que, no solo juegan con un ser humano sino que también contra de otro robot. El *Instituto Max Planck para el Desarrollo de Sistemas Inteligentes* en Tübingen, Alemania, construyó en 2012 un robot jugador de tenis de mesa que devuelve el pimpón generando movimientos muy parecidos a los que realiza un ser humano, el robot localiza el pimpón por medio de un sistema

de visión artificial utilizando un algoritmo de autoaprendizaje para corregir los errores que comete cada vez que golpea la bola.

Para el entrenamiento de tenis de mesa, en los últimos 3 años las empresas que construyen y distribuyen los diferentes implementos para tenis de mesa utilizan lo último en aportes de entrenamiento de tenis de mesa y la tecnología más apropiada para diseñar robots con ciertas características que ayudan a mejorar el rendimiento competitivo de los jugadores y permiten al jugador controlar los efectos y las velocidades con que el robot lanza pimientos. *Tibhar*, una de las empresas que producen implementos para tenis de mesa, construyó un robot de entrenamiento con dos cabezas, con las que se puede lanzar dos pimientos a la vez con efectos diferentes con los que se puede variar el tipo de golpe que realiza el jugador. Por otra parte *Butterfly*, que de igual manera construye y distribuye implementos para tenis de mesa, desarrolló un robot para entrenamiento de tenis de mesa que puede cambiar el efecto de los pimientos que lanza en una sola secuencia programada.

6. Marco teórico

6.1 Historia del tenis de mesa

En la actualidad no se conoce una historia comprobada del tenis de mesa, existen recopilaciones contadas de acuerdo a los diferentes cambios que ha habido históricamente desde los inicios de este deporte hasta la actualidad. Roberto J. Miglietti, presidente de la confederación uruguaya de tenis de mesa, la International “Table Tennis Federation” (ITTF, Federación Internacional de Tenis de Mesa), documentos y publicaciones de diferentes autores, presentan algunas de estas recopilaciones que podrían dar nociones claras de lo que podría ser la historia del tenis de mesa.

El tenis de mesa remonta sus orígenes a fines del siglo XIX, una tarde lluviosa alrededor de 1870 en un club de tenis en Inglaterra cuando los deportistas improvisaron una versión miniatura de la cancha de tenis para jugar bajo techo, tomaron libros para golpear una bola hecha de corcho de botellas de champaña que pivota sobre una mesa de pool y a manera de red una cuerda extendida por la mitad de la mesa.

En 1880 se hace adaptación del tenis de campo y se pasa de jugar sobre pasto a jugar sobre un comedor con indumentaria improvisada. James Devonshire (ENG) concedió patente provisional para su "Tenis de mesa" en 1885.

En 1890 David Foster, industrial en Inglaterra, patentó un juego de mesa de salón que consistía de una mesa rodeada de una valla para mantener la pelota dentro de los límites de la mesa, sin embargo no se conocen pruebas de que se haya comercializado.

En 1891 John Jaques patentó otro juego similar llamado “gossima” que no tuvo gran acogida por la multitud. En el mismo año Charles Barter patentó una versión de juego con pelotas de corcho y a su vez el atleta de la época James Gibb definió un juego que se disputaba sobre la superficie de una mesa de madera dividida por una red sujeta a dos postes y en donde se utilizaban pelotas de goma, raquetas cubiertas de pergamino con mangos de 45 centímetros de largo y se jugaba a sets de 21 puntos.

Este deporte se comenzó a conocer como ping-pong cuando se cambian las pelotas de goma por pelotas de celuloide que se hacían en estados unidos, por lo que Hamley Bros de Inglaterra junto con John Jaques registran el deporte con este nombre, desde entonces ping-pong fue una marca comercial registrada.

Hacia 1899 alcanzó gran popularidad en Inglaterra y a su vez tuvo gran acogida en otros países, por lo que este deporte se fue extendiendo y generando gran popularidad. En 1901 se realizaban torneos en Inglaterra en los que participaban alrededor de 300 personas y se repartían hasta 25 libras en premiación. Se funda la asociación inglesa de ping-pong en este mismo año en la que se afilian 39 clubes y cerca de 500 jugadores del país. Para esta época el deporte se jugaba con una red de 17,5 cm de altura y el servicio se hacía sin que la pelota picara en la primera mitad de la mesa, es decir, como en el tenis de campo.

Al pasar el tiempo se cambian las raquetas cubiertas de pergamino por raquetas cubiertas de caucho, hecho que se atribuye a Frank Bryan con la marca comercial “atropos”. Por otra parte la pelota de celuloide, que consistía en dos mitades unidas y proporcionaban inconsistencia en el

pique sobre la mesa, evoluciona y John Jaques comienza a elaborar una con la unión menos notoria, luego se comenzaron a fabricar pelotas más grandes y duras, facilitando un juego veloz. En Japón aparece un deporte muy similar al que se practicaba en Inglaterra y que se extendió por china y gran parte de Asia.

En 1926 se cambia el nombre de asociación de ping-pong por asociación inglesa de tenis de mesa en la que se emiten nuevas reglas y estatutos, a su vez se conforma la federación internacional provisoria estableciendo como compromiso organizar un campeonato en el que participarán deportistas de todo el mundo. En el mismo año se realiza este gran torneo en el que participan Hungría, Austria, Inglaterra, Gales, Checoslovaquia y Alemania, y fundan la federación internacional de tenis de mesa (Internacional Table Tennis Federation o ITTF). En 1928 se oficializó el reglamento en el que se establece la vestimenta, que tiene que ser cómoda y apta para realizar deporte, el sistema de puntos, que se juega a 21 y a 5 sets, más adelante cambiará el reglamento por sistema de 3 sets a 11 puntos.

Japón entra a ser parte de la ITTF en 1952 incorporando nueva reglamentación en cuanto a los materiales utilizados en la fabricación de las raquetas, siendo de madera y con un rango de medidas específico, el recubrimiento de caucho tiene ciertas condiciones y comienza una nueva era en este deporte, que deja de ser practicado a nivel recreativo para pasar a ser un deporte muy competitivo y elitista.

Charles "Chuck" Hoey, antiguo practicante de tenis de mesa, en 1979 comenzó a recolectar estampillas e implementos utilizados en este deporte hasta obtener una inimaginable cantidad de piezas preciadas, que posteriormente fueron compradas por la ITTF (International Table Tennis

Federation) y quienes en compañía de Chuck en 2004 fundaron el museo de tenis de mesa en Lausana, Suiza con la más grande colección conocida desde los inicios del tenis de mesa y en donde se encuentran equipos de todas las épocas, documentos, cuidadosamente catalogados e informatizados, que se remonta más de 100 años, lo efímero de todo tipo imaginable de porcelana, joyas, cristal, ropa, fotografía , adornos, música, obras de arte de todo el mundo, autógrafos, entre otras.

6.2 Entrenamiento del tenis de mesa

Los robots de entrenamiento del tenis de mesa son utilizados para realizar ejercicios que ayudan a los jugadores a incrementar el rendimiento deportivo, por medio de un sistema de entrenamiento llamado multi-bola.

El entrenamiento es parte fundamental para el rendimiento competitivo de los practicantes de cualquier deporte, debido a que aumenta las capacidades, habilidades y destrezas requeridas para el buen desempeño deportivo y de esta manera llegar a competir por los primeros puestos a nivel mundial, para ello se han desarrollado numerosos métodos de entrenamiento que varían su dificultad dependiendo del nivel de cada deportista. En tenis de mesa se generan entrenamientos que se fundamentan en repeticiones de movimientos cíclicos basados en la capacidad física del jugador, golpes técnicos, capacidad de reacción y estrategia en la competencia; usando diferentes herramientas, tales como multibolas, robots de entrenamiento y elementos de gimnasio, para potenciar estas capacidades, realizando variaciones en desplazamiento, variación y velocidad de efecto del pimpón de igual forma, la frecuencia de lanzamiento. Los robots de entrenamiento son empleados en los entrenamientos porque garantizan estas variaciones en el entrenamiento.

Habitualmente, dichos robots son situados en un extremo de la mesa, de forma tal que lance los pimpones de manera continua y controlada. Algunos tienen una red que atrapa los pimpones que

golpea el jugador, de manera que estos puedan ser lanzados nuevamente por el robot. Se pueden encontrar versiones mucho más sofisticadas, las cuales incluyen disparos a diversas ubicaciones de la mesa, disparos con efectos y hasta robots que se encuentran programados para generar variaciones de lanzamiento a lo largo de sus disparos.

6.3 Equipamiento requerido para la práctica del tenis de mesa

6.3.1 Equipamiento en el área de juego.

Mesas y sillas dispuestas para los árbitros, marcadores o tableros de puntaje, toalleros, números impresos que identifiquen las mesas, vallas, el suelo superpuesto, los letreros sobre las vallas indicando los nombres de jugadores o asociaciones que van a participar.

6.3.2 Mesa de tenis de mesa.

- Forma: rectangular
- Longitud: 2.74 (m)
- Ancho: 1.525 (m)
- Altura: 76 (cm)• Color: verde o azul, oscuro, uniforme y mate
- Líneas laterales y de fondo: 2 (cm)
- Línea central: 3 (mm)

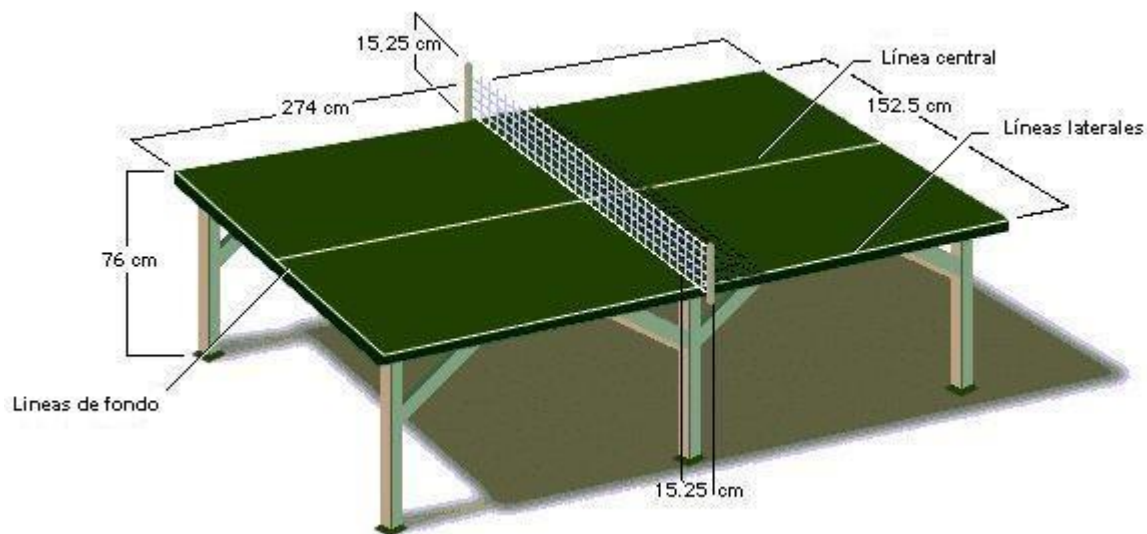


Figura 1. Mesa de tenis de mesa y sus dimensiones.

Fuente: [http://1.bp.blogspot.com/--](http://1.bp.blogspot.com/--Bp3ysh9txQ/Tg9jTMZUbcI/AAAAAAAAACg/0F9LJwlzeRA/s1600/Mesa_de_tenis_de_mesa%255B1%255D.jpg)

[Bp3ysh9txQ/Tg9jTMZUbcI/AAAAAAAAACg/0F9LJwlzeRA/s1600/Mesa_de_tenis_de_mesa%255B1%255D.jpg](http://1.bp.blogspot.com/--Bp3ysh9txQ/Tg9jTMZUbcI/AAAAAAAAACg/0F9LJwlzeRA/s1600/Mesa_de_tenis_de_mesa%255B1%255D.jpg)

6.3.3 Red.

- Altura: 15.25 (cm)
- Postes exteriores: a 15.25 (cm) de la mesa.

6.3.4 Raquetas.

Las raquetas para practicar tenis de mesa se conforman de dos gomas de caucho, una negra y otra roja, y la madera, la cual consta de la pala, que es donde se ubican los cauchos, y el mango donde se agarra.



Figura 2.raqueta para la práctica de tenis de mesa

Fuente:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Rakietka_do_tenisa_sto%C5%82owego.jpg

6.3.5 Pimpones o bolas.

- Forma: esférica.
- Diámetro: 40 (mm).
- Peso: 2.7 (g).
- Material: celuloide.
- Color: blanco o naranja (mate).



Figura 3. Pimpones o bolas de tenis de mesa.

Fuente: <http://us.cdn2.123rf.com/168nwm/serezniy/serezniy1203/serezniy120302745/12912236-pelota-de-tenis-de-mesa-aislada-en-blanco.jpg>

6.3.5.1 Clasificación de los pimpones.

- Simple: sin estrellas.
- Una estrella: de baja calidad.
- Dos estrellas: de calidad intermedia.

- Tres y cuatro estrellas: de alta calidad, para uso profesional.
- Cinco estrellas: de muy alta calidad, para uso profesional.

La ITTF reconoce 59 marcas autorizadas como fabricantes de pimpones en el mundo.

6.3.6 Red recogepelotas.

Esta red sirve para impedir que gran parte de las bolas de ping-pong no se vayan de la mesa, recogiénolas en su interior, dichas bolas que son lanzadas por el jugador, serán recogidas de manera sencilla en el interior de la misma.

Existen dos tipos de red, el primero de ellos, es la red que se ubica únicamente al fondo de la mesa y almacena los pimpones que son lanzados de manera directa sobre ella, el segundo tipo es el de la red con laterales, la cual almacena los pimpones lanzados de manera directa, y también facilita el direccionamiento de las bolas que son lanzadas por los laterales de la mesa, impidiendo que estas se vayan para otro lado.



Figura 4. Red recogepelotas.

Fuente:<http://www.pingpongplus.com/media/catalog/product/cache/1/image/1200x1000/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/J/o/JoolaRedRecogePelotasTTBuddy.jpg>

6.3.7 Espacio adecuado para la práctica.

El espacio dispuesto para la práctica debe ser rectangular y debe contar con 14 metros de largo, 7 metros de ancho y 5 metros de alto como mínimo; en el caso de las competiciones en sillas de ruedas, el espacio dispuesto para el juego puede ser inferior, pero no deberá ser menor a los 8 m de largo y 6m de ancho.

Toda el área dispuesta para el juego debe ser delimitada por vallas de 75 cm de altura aproximadamente, todas deben tener el mismo color, preferiblemente de fondo oscuro, dichas vallas deben separar el área de juego de las áreas contiguas y de todos los espectadores.



Figura 5. Espacio adecuado para practicar tenis de mesa.
Fuente: <http://www.supercampeonato.com/img/reglamento-de-tenis-de-mesa1.jpg>

6.3.8 Iluminación.

La iluminación va ligada directamente con el espacio de juego, para competiciones por títulos mundiales se tiene en cuenta una intensidad luminosa correspondiente a los 1.000 lux como mínimo, la cual debe ser distribuida de manera uniforme sobre toda la superficie de la mesa, para el área correspondiente a los alrededores de la mesa, se debe contar con un mínimo de 500 lux, para el resto de competiciones, la luz requerida sobre la superficie de la mesa debe ser de 600 lux, y como mínimo para el área correspondiente a los alrededores de la mesa deberá ser de 400 lux.

En el caso en que se esté llevando a cabo partidos consecutivos y se requiera de varias mesas a la vez, el nivel de iluminación debe ser igualmente distribuido para cada una de ellas. La fuente de la cual provenga la iluminación, no debe ser menor a la de 5m de altura con respecto al nivel del suelo; para las ventanas y fondo del área de juego, no se permitirá el paso de luz que pueda afectar el juego de alguna manera. De igual forma, el suelo debe ser de un tono oscuro y de ninguna manera podrá reflejar algún tipo de brillo.



Figura 6. Espacio con iluminación apta para la práctica del tenis de mesa.

Fuente:

<http://static.squarespace.com/static/52f25175e4b0e937909bb819/52f25bcae4b022ddb0fa0ac/52fba261e4b0e8aa92ddbe65/?format=1000w>

6.3.9 Robot lanza-pelotas.

Para el caso de los robots, se trabaja con gran diversidad de estos, algunos son de doble cabezal de distribución, otros tienen graduación de la altura para variar el alcance de las bolas, se conocen con diversos nombres de acuerdo a sus características, y en varias ocasiones, su nombre y especificaciones se encuentran ligadas a la marca deportiva que los diseña.

6.4 Efectos de los pimpones o bolas de tenis de mesa

6.4.1 Topspin.

El pimpón gira de manera acelerada hacia adelante, rotando sobre su propio eje, la reacción que se produce al golpear un golpe de topspin es un rebote hacia arriba.

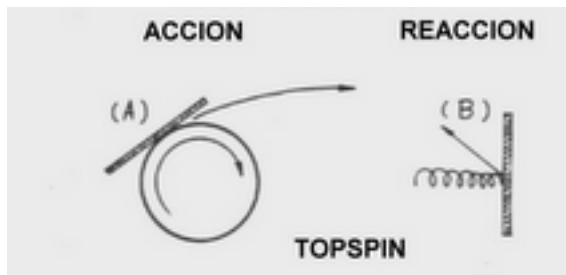


Figura 7. Topspin.

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_192tSDfJufM/SxF1fxBuc8I/AAAAAAAAADo/Oqso6WRW-V0/s400/EFFECTOSBOLAPINGPONG.png

6.4.2 Backspin.

El pimpón gira de manera acelerada hacia atrás, la reacción es opuesta al golpe de topspin, es decir, el pimpón rebota en dirección a la mesa.

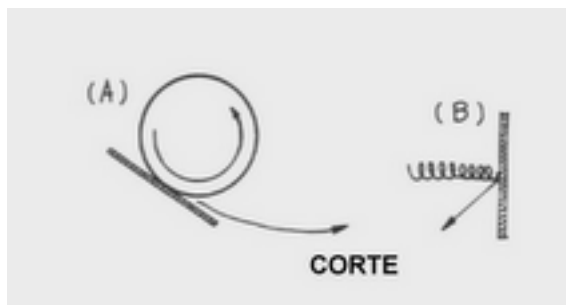


Figura 8. Backspin.

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_192tSDfJufM/SxF1fxBuc8I/AAAAAAAAADo/Oqso6WRW-V0/s400/EFFECTOSBOLAPINGPONG.png

6.4.3 Sidespin por derecha.

La bola gira horizontalmente hacia el lado derecho, por tanto la reacción al golpear la bola es el rebote hacia el lado izquierdo del deportista que recibe el efecto.

6.4.4 Sidespin por izquierda.

La bola gira horizontalmente hacia el lado derecho, la reacción que se genera al golpear es el rebote hacia el lado derecho del deportista que recibe el efecto.

6.4.5 Helicoidales por derecha.

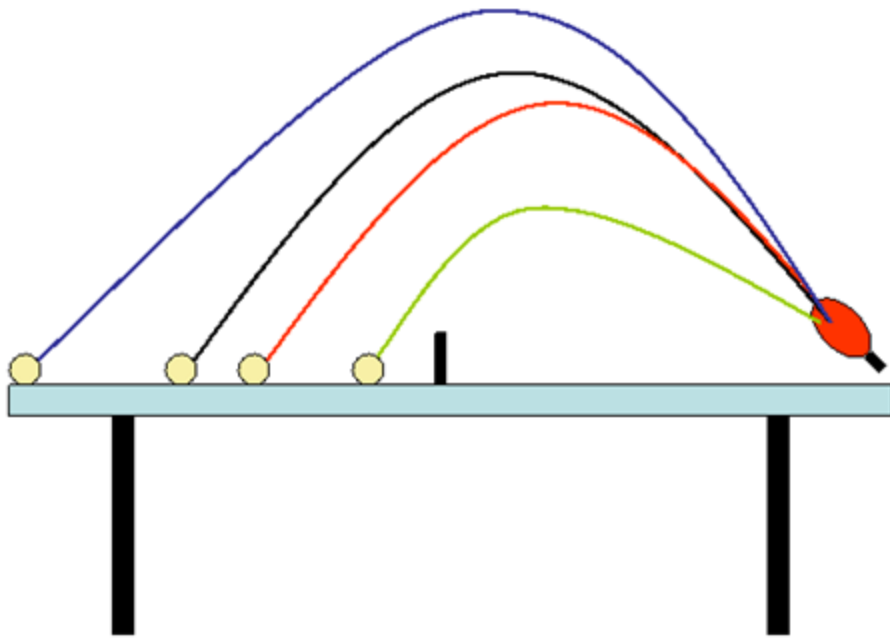
El pimpón gira en diagonal hacia la derecha sobre su eje, la reacción que surge con el golpe es similar al sidespin por derecha.

6.4.6 Helicoidales por izquierda

El pimpón gira en diagonal hacia la izquierda sobre su eje, cuando se golpea este efecto el pimpón rebota hacia el lado izquierdo del jugador que recibe el efecto, similar al sidespin por izquierda.

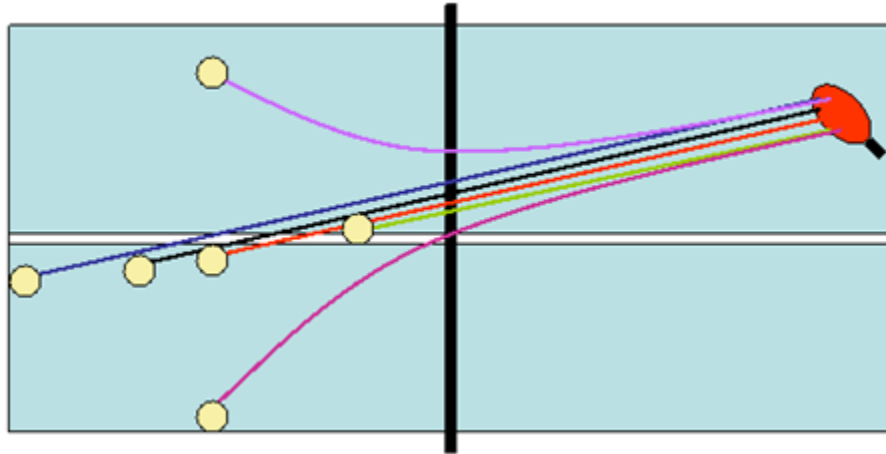
De acuerdo al tipo de efecto que se utilice cuando se golpea la bola, se generan diferentes trayectorias y rebotes sobre la superficie de la mesa.

6.5 Trayectoria de los pimpones



- Trayectoria ideal (parábola balística sin rozamiento) – Ideal path (ballistic parabola)
- Trayectoria real en el aire (rozamiento): sin top/back spin, con o sin spin lateral – Real path with friction, no top/back spin, with or without lateral spin
- Trayectoria con top spin – Path with top spin
- Trayectoria con back spin – Path with back spin

Figura 9. Trayectoria de los golpes, visión lateral.
 Fuente: <http://www.futn.org/futn/science/aerodynamics.htm>



- Trayectoria ideal (parábola balística sin rozamiento) – Ideal path (ballistic parabola, no friction)
- Trayectoria real en el aire (con rozamiento) sin spin – Real path with friction, no spin
- Trayectoria con top spin – Path with top spin
- Trayectoria con back spin – Path with back spin
- Trayectoria con spin lateral de derecha a izquierda, sin top/back spin – Path with lateral R to L spin, no top/back spin
- Trayectoria con spin lateral de izquierda a derecha, sin top/back spin – Path with lateral L to R spin, no top/back spin

Figura 10. Trayectoria de los pines, vista superior.
 Fuente: <http://www.futn.org/futn/science/aerodynamics.htm>

6.6 Tipos de golpes

6.6.1 Drive.

Este es uno de los golpes básicos del deporte, el jugador coloca la raqueta con la cara que va golpear apuntando en dirección del golpe, formando con su codo un ángulo aproximado de 90 grados, se golpea la bola de frente, terminando la raqueta a la altura de la cabeza y devolviéndola a su posición inicial.

6.6.2 Revés.

Es un golpe básico del juego, para realizarlo el jugador coloca la raqueta cerca de su centro con la cara de la raqueta apuntando en dirección al golpe, luego, se genera el golpe hacia el frente del jugador y retornando la raqueta a la posición inicial.

6.6.3 Topspin.

Es uno de los golpes avanzados basado en el drive y revés. Para realizarlo el jugador utiliza sus piernas y cintura girando en la dirección del golpe, al ángulo formado por el codo es aproximadamente de 120 grados generando el movimiento en diagonal hasta la altura de la cabeza. El efecto de este movimiento es proporcionar rotación hacia adelante al pimpón. Para el topspin de revés se genera el movimiento desde el centro del jugador con las piernas levemente inclinadas, se golpea en diagonal hacia arriba ayudado por la flexión de las piernas.

6.6.4 Corte de drive.

Este golpe proporciona giro del pimpón hacia atrás, al movimiento se genera desde el hombro hacia el borde de la malla.

6.6.5 Corte de revés.

El movimiento se realiza desde el hombro contrario al que se empuña la raqueta, haciendo el movimiento hacia el borde de la malla, le proporciona al pimpón giro hacia atrás.

6.6.6 Sidespin.

Se golpea la bola por un lado realizando el movimiento de la misma manera que el topspin, ya sea de drive o de revés.

6.7 Velocidades empleadas en el juego

El tenis de mesa es considerado uno de los deportes más rápidos del mundo debido a las altas velocidades que se generan en los golpes, así como la velocidad de reacción que deben tener los jugadores tanto en su desplazamiento como para golpear la bola.

Al realizar medidas de la velocidad del pimpón con cámaras de alta velocidad, el tiempo que transcurre entre el sonido generado por golpe al tener contacto con la raqueta y el sonido al golpear la mesa, arrojan resultados de aproximadamente 112 Km/h en un partido de tenis de mesa entre jugadores profesionales.

7. Desarrollo metodológico

7.1 Sistema mecánico

Partiendo de los requerimientos del prototipo, se evidencia que:

- ✓ Los pimpones deben ser expulsados de manera semi-parabólica a más de un metro de distancia.
- ✓ Se debe disponer de lanzamientos a diferentes ángulos de la mesa, teniendo en cuenta el posicionamiento inicial del robot.
- ✓ En la estructura es necesario incorporar la etapa de control y de potencia.
- ✓ La estructura debe soportar su propio peso y debe tener la capacidad de resistir la constante vibración generada por los lanzamientos.
- ✓ El lanzador debe tener una frecuencia de salida para los pimpones.
- ✓ Los pimpones deben pasar constantemente por la tolva de alimentación para que sean lanzados uno tras otro.

7.1.1 Diseño N°1.

7.1.1.1 Lanzador.

Se dispone de tres pares de discos unidos entre sí y conectados a un piñón de igual tamaño a los discos, dicho piñón se mueve al interactuar con otro piñón de menor tamaño ubicado sobre el eje de un motor de seis voltios. Cada juego de discos se ubica en un eje diferente; la disposición en la cual se encuentran estos ejes forma un triángulo.

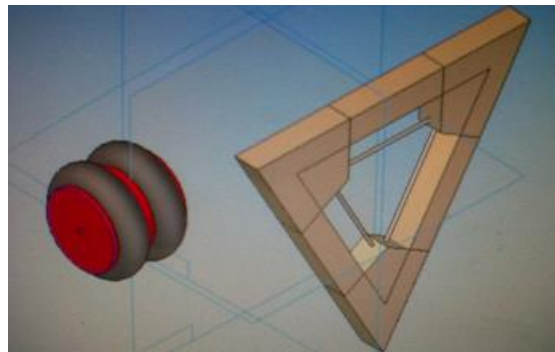


Figura 11. Modelo de diseño N°1



Figura 12. Diseño N°1.

7.1.1.2 *Dispositivo de rotación.*

Un eje central controlado por un servomotor dispuesto de forma tal que permite la rotación de todo el lanzador para realizar movimientos de manera horizontal, desplazando el lanzador en un ángulo de apertura entre los 0° y los 20°.

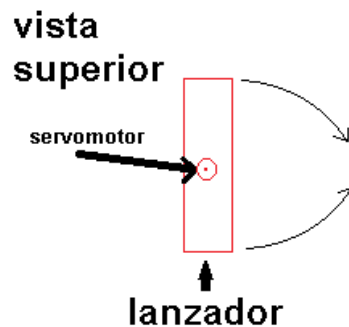


Figura 13. Vista superior, dispositivo de rotación.

7.1.1.3 *Dispositivo de elevación.*

Se implementa un servomotor que permite al lanzador rotar desde los 0° hasta los 10° de manera vertical.

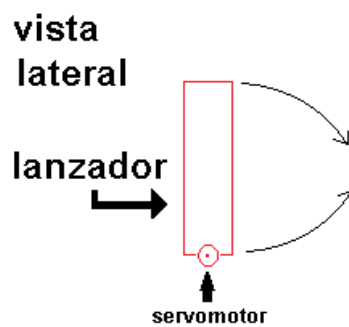


Figura 14. Vista lateral, dispositivo de elevación.

7.1.1.4 Tolva de alimentación.

Consiste en un recipiente de forma cónica que almacena alrededor de 50 pimpones y los envía constantemente al lanzador a medida que este los va expulsando.

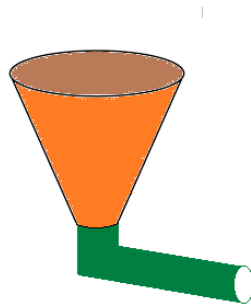


Figura 15. Tolva de alimentación.

Realizando pruebas de peso, movimiento y vibración de la estructura, se evidencia que las dimensiones de la estructura son demasiado extensas y esto influye directamente en el peso, por lo cual se decide realizar algunas modificaciones.

7.1.2 Diseño N°2.

En este diseño se reducen las dimensiones de manera significativa, eliminando el exceso de partes y reacomodando la estructura del diseño anterior, se pasa de un triángulo a un hexágono; los principios de movimiento son similares al diseño inicial. Las partes siguen siendo las mismas excepto que se retira el sistema de elevación.

Luego de las pruebas de peso y movimiento efectuadas en este prototipo, se evidencia que aun el peso puede llegar a ser un inconveniente en cuanto su durabilidad, así que se realiza un nuevo diseño.



Figura 16. Base diseño N°2.

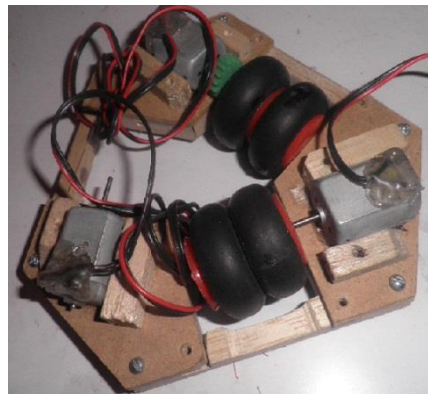


Figura 17. Diseño N°2.

7.1.3 Diseño N°3.

Se transforma de manera radical el principio de propulsión, ya que se pasa de tener tres pares de discos controlados por motores de 6v, a dos discos controlados por un micro-motor de 6000 RPM.

7.1.3.1 Lanzador.

- *Estructura*

Cuenta con una estructura en forma de T invertida, la cual tiene tres accesos diferentes:

- ✓ *Acceso superior:* por esta parte ingresan los pimpones que provienen de la tolva de alimentación.
- ✓ *Acceso posterior:* en esta zona se encuentra ubicado el propulsor impulsado por aire.
- ✓ *Acceso anterior:* lugar por el cual se disparan los pimpones.

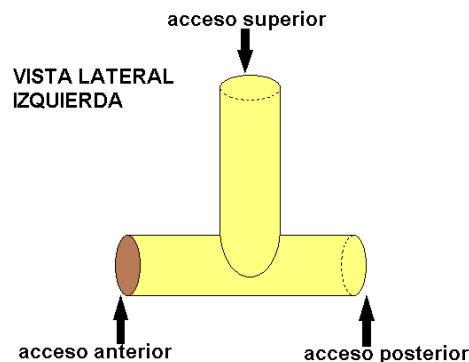


Figura 18. Vista lateral del lanzador.

- *Discos*

Dispone de un par de discos conectados de manera directa a un micro-motor; estos discos se encuentran ubicados a los costados del acceso anterior. Los discos cumplen la función de expulsores que mediante fricción envían los pimpones de manera impulsada hacia el exterior del lanzador, al encontrarse ubicados de manera opuesta

deben tener rotación en diferente sentido, de esta forma se garantiza que el pimpón será empujado hacia una misma dirección.

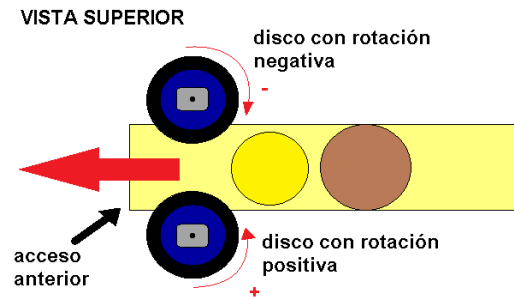


Figura 19. Vista superior del lanzador.

7.1.3.2 *Dispositivo de rotación.*

En la parte inferior del lanzador se encuentra conectado un servomotor que lo hace rotar de manera horizontal generando una apertura de 10° hacia la derecha y 10° a la izquierda respectivamente.

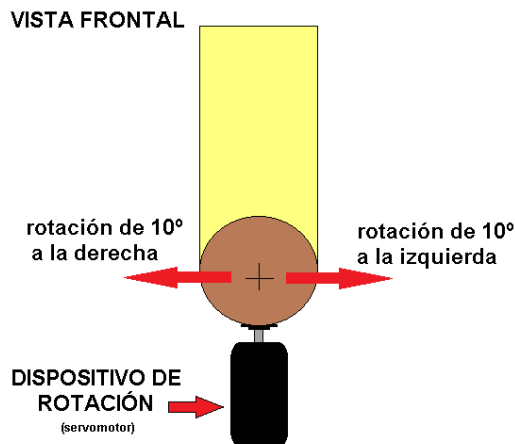


Figura 20. Vista frontal diseño N°3, dispositivo de rotación.

7.1.3.3 *Tolva de alimentación.*

Recipiente de forma semi-esférica que almacena alrededor de 60 pimpones y los envía constantemente al lanzador a medida que este los va expulsando, funciona por efecto de caída libre.

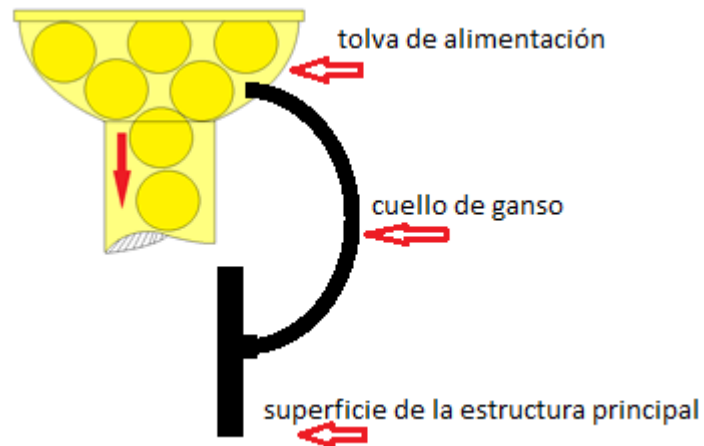


Figura 21. Tolva de alimentación y soporte de la misma diseño N°3.

7.1.3.4 *Soporte de la tolva*

La tolva se encuentra suspendida a 2mm del acceso superior del lanzador, esto lo logra gracias a un soporte llamado “cuello de ganso” el cual va sujeto al soporte principal, y que sostiene la tolva de alimentación desde uno de sus bordes. Dicho soporte se encuentra a manera de arco, teniendo una de sus puntas sujetas al soporte principal y la otra punta sujeta a la tolva; dichas sujeciones se realizan mediante roscado, todo esto se puede observar en la Figura 21.

7.1.3.5 *Soporte principal.*

Se refiere a una caja plástica empleada para diversas pruebas de electrónica, en este caso tiene doble función. En primer instancia, debe tener la capacidad de sostener todo el peso del robot,

aportando primordialmente la estabilidad que este requiere durante todo el tiempo de funcionamiento, por otra parte, cumple con la función de contener en su interior el sistema electrónico que controla los micro-motores, la hélice y el servomotor; en su interior también se encuentra todo el sistema de cableado que alimenta los micro-motores y demás.

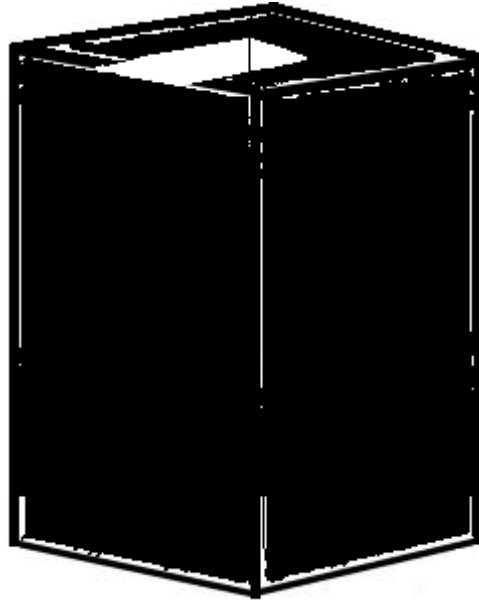


Figura 22. Soporte principal.

7.1.4 Selección del material.

La estructura empleada para el prototipo del robot, surge de acuerdo a la necesidad de dar respuesta a una serie de premisas, que son fundamentales durante un entrenamiento de tenis de mesa, dichas premisas se refieren a la velocidad de lanzamiento, el posicionamiento y los efectos realizados por el ping-pong durante el juego.

La estructura debe ser capaz de soportar su propio peso y debe resistir la constante vibración generada por la continua alimentación de los pimpones hacia el lanzador. La variación de peso, a

pesar de ser poca será constante y se presentará en repetidas ocasiones, ya que la tolva de alimentación permanecerá llena por unos segundos y a medida que los pimpones sean expulsados la tolva irá siendo desocupada aligerando un poco el peso en la estructura del robot. Por lo cual es necesario un material que sea ligero, resistente, de bajo costo y relativamente fácil de adquirir. Para esto se propuso comparar el aluminio, el acrílico y poliestireno de alto impacto, los cuales pueden cumplir con las características mencionadas previamente.

7.1.4.1 *Propiedades del aluminio.*

Es Ligero, de baja densidad, muy dúctil y maleable pero a temperatura cercana a su punto de fusión se vuelve quebradizo, buen conductor de calor, no es tóxico, al combinarse con otros metales la nueva aleación es dura y liviana. Resiste el ataque de la mayoría de los ácidos orgánicos. Es resistente a la corrosión, más que el hierro, El aire húmedo lo empaña ligeramente y lo cubre de una delgada y compacta capa de óxido que le aísla e impide que siga reaccionando.

Tabla 1

Propiedades del aluminio.

Propiedad	Aluminio(1350)	Unidades
Conductividad eléctrica (templada)	61	%IACS
Resistencia eléctrica (templada)	2.83	mOhm-cm
Conductividad termal 20°C	230	W/mK
Coefficiente de expansión	23 x 10 ⁻⁶	cm/°C
Fuerza tensora (Templada)	50-60	N/mm ²
Fuerza tensora (medianamente dura)	85-100	N/mm ²
0.2% prueba de fuerza (Templada)	20-30	N/mm ²
0.2% prueba de fuerza (medianamente dura)	60-65	N/mm ²
Módulo elástico	70	N/mm ²
Fuerza de fatiga (Templada)	35	N/mm ²
Fuerza de fatiga (medianamente dura)	50	N/mm ²
Calor específico	900	J/kgK
Densidad	2.70	g/cm ³
Punto de derretimiento	660	°C

7.1.4.2 *Propiedades del acrílico.*

La tabla 2 muestra las propiedades del acrílico.

Tabla 2

Propiedades del acrílico.

Propiedades Mecánicas				
características	Propiedad	Norma ASTM	Valor	Unidad
	Dureza a la penetración BARCOLL	D-2583	50-52	-
	Dureza a la penetración ROCKWELL	D-785	M 100	-
	Elongación a la rotura	D-638	2	%
	Módulo de elasticidad a la tracción	D-638	30.000- 32.000	kg/cm ²
	Módulo de flexión	D-790	28600	kg/cm ²
	Módulo de la resistencia a la compresión	D-695	21420	kgcm ²

	Resistencia a la abrasión (500 g., 100 ciclos).	D-1044	4	-
	Resistencia a la compresión	D-695	1020	kg/cm ²
	Resistencia a la flexión	D-790	1020	kg/cm ²
	Resistencia a la tracción	D-638	700	kg/cm ²
	Resistencia a la tracción a -40° C	D-638	950	kg/cm ²
	Resistencia a la tracción a +70° C	D-638	350	kg/cm ²
	Resistencia al choque con probeta sin entallar (CHARPY)	D-256(Met.B)	20-30	kg. cm/cm ²
	Resistencia al choque con probeta entallada (IZOD)	D-256(Met.A)	01-feb	kg. cm/c m
	Resistencia al cizallamiento	D-732	630	kg/cm ²
	Resistencia al cuarteamiento bajo carga (Crazing)			
Maquinado	Similar a la madera dura y metales blandos en equipos y métodos.			
Peso	Es 50% más liviano que el vidrio y 43% más liviano que el aluminio.			
Resistencia al impacto	Seis veces mayor que la del vidrio a igual espesor.			
Dureza	Similar a los metales blandos como cobre, latón y aluminio.			

7.1.4.3 *Propiedades del poliestireno de alto impacto.*

Tabla 3

Propiedades del poliestireno de alto impacto.

Propiedad	PS cristal	PS choque	Comentarios
Módulo elástico en tracción(GPa)	3,0 a 3,4	2,0 a 2,5	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	1 a 4	20 a 65	<u>El PS cristal no es nada dúctil</u>
Carga de rotura en tracción (MPa)	40 a 60	20 a 35	
<u>Módulo de flexión (GPa)</u>	3,0 a 3,4	1,6 a 2,9	<u>El PS choque es mucho más flexible que el cristal y similar al ABS</u>
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m ²)		2 3 a 12	El PS cristal es el menos resistente de todos los termoplásticos; el PS choque es intermedio

Tras la verificación de resistencias y la exposición de los tres posibles materiales, se obtuvo que:

7.1.5 Partes del prototipo.

7.1.5.1 Lanzador.

Esta parte de la estructura es fundamental para poder disparar los pimpones de manera controlada y precisa de acuerdo al requerimiento. el lanzador posee una forma tubular con un diámetro apropiado que proporciona un espacio preciso de movilidad en su interior, para que el ping-pong pueda desplazarse de manera rápida y siguiendo un camino establecido; en este lanzador se encuentra un par de discos ubicados de manera tal, que sus bordes sirven como propulsores de lanzamiento en dos costados del tubo. Cada disco se encuentra conectado directamente a un micro-motor el cual permite su movimiento, al moverse cada disco, generan fricción sobre la superficie del pimpón, haciendo que este salga disparado hacia adelante de manera acelerada.

En el extremo posterior, se encuentra ubicada una hélice que al girar produce una corriente de aire, la cual cumple la función de gatillo impulsando los pimpones hacia los discos de expulsión.

7.1.5.2 Soporte.

La base diseñada para el soporte, se encuentra dispuesta de forma tal que el prototipo sea estable sin importar el ángulo de inclinación o el cambio de peso al cual sea sometido durante la expulsión de los pimpones, dicho soporte es sobrepuesto en la superficie de la mesa, haciendo que el robot permanezca estable en su posición.

7.1.5.3 Desplazamiento.

El prototipo del robot dispone de un servomotor que al encontrarse conectado a un eje vertical ubicado en la parte inferior del lanzador, permite que el ángulo de desplazamiento pueda ser determinado de acuerdo al requerimiento.

En el caso de la mesa, el ángulo no puede sobrepasar los 20 grados de apertura, ya que el robot se encuentra ubicado en la línea central de la mesa; punto en el cual, la apertura del robot entre un extremo de la mesa y el otro (entre la derecha y el revés de la mesa) tiene tan solo 1525mm.

7.1.5.4 Trolva de alimentación.

Cuenta con una forma semi-esférica, la cual proporciona una capacidad mayor de almacenamiento de pimientos.

7.1.5.5 Caja de control.

La caja de control hace referencia al espacio dispuesto al interior del soporte del robot, el cual permite almacenar la tarjeta del sistema electrónico.

7.2 Sistema electrónico

7.2.1 Algoritmo para la visión de máquina.

La visión de máquina que se implementa para el desarrollo del proyecto, tiene como objetivo capturar la posición del deportista en el entorno de entrenamiento, estimando la distancia a la que está de la mesa y la ubicación sobre el eje horizontal con respecto a la mesa.

Para implementar la visión de máquina se debe tener en cuenta el espacio de entrenamiento y la iluminación del mismo. Para el caso de la Universidad Pedagógica Nacional, se cuenta con un pasillo iluminado por dos lámparas de luz blanca, en las horas del día los rayos solares afectan el área de entrenamiento, por lo que se pueden presentar variaciones considerables en la iluminación del espacio de entrenamiento.



Figura 23. Espacio dispuesto para el entrenamiento.

La programación del algoritmo se va a desarrollar utilizando Matlab, con el que realiza captura y análisis del espacio de entrenamiento y del jugador. Se cuenta con una cámara web configurada para capturar 30 fps (frames per second), obteniendo imágenes a color en RGB (Red, Green, Blue) con un tamaño de 320 x 240 píxeles, generando como resultado una matriz de $320 \times 240 \times 3$ en donde se almacena la información de cada píxel en su composición de color rojo, verde y azul.

7.2.1.1 Algoritmo N°1.

Creando un objeto de video en el espacio de trabajo de Matlab y aplicando la configuración de adquisición de datos de la cámara, se procede a capturar una imagen del fondo, es decir, del espacio de entrenamiento sin el jugador, con esta imagen se comparan las imágenes siguientes, en donde el jugador está presente en el entrenamiento, de esta manera se eliminan los objetos que no tienen ningún cambio dentro del espacio de entrenamiento.

$$I_j - I_i = I_f \quad (1)$$

Donde,

I_j : la imagen capturada en tiempo real donde se encuentra entrenando el jugador.

I_i : la imagen adquirida inicialmente del espacio de entrenamiento.

I_f : la imagen final resultante de la resta de I_j y I_i .

Posteriormente se obtiene el área de los objetos restantes en la imagen y se aplica filtro para mantener áreas comprendidas entre 6000 y 15000 píxeles, que son las posibles áreas obtenidas por el jugador, de esta manera se eliminan cambios que pueden haber en el espacio de entrenamiento diferentes a los desplazamientos del jugador, finalmente se obtiene el centro del objeto final.

Las áreas establecidas para aplicar en el algoritmo se obtienen realizando pruebas en donde el jugador se ubica en diferentes lugares del espacio de entrenamiento y obteniendo los diferentes valores de área que toma. En la Figura 24 se muestra el jugador en diferentes posiciones dentro del espacio de entrenamiento, la Tabla 4 muestra las áreas del jugador y su posición sobre el eje horizontal en las diferentes posiciones dentro del espacio de entrenamiento.



Figura 24. Tomas del jugador en el espacio de entrenamiento.

Tabla 4

Posición sobre el eje X y área del jugador en diferentes puntos del espacio de entrenamiento.

Ubicación	Posición X (dada en pixeles)	Área (dada en pixeles)
Lejos centro	172	8893
Cerca centro	177	14695
Lejos izquierda	66	8997
Cerca izquierda	69	12826
Lejos derecha	284	10603
Cerca derecha	270	10395

La información adquirida se utiliza para realizar la conexión entre las imágenes y la lógica requerida para el funcionamiento del robot. La Figura 25 muestra el diagrama de flujo que describe el procesamiento de las imágenes para la obtención de la posición del jugador.

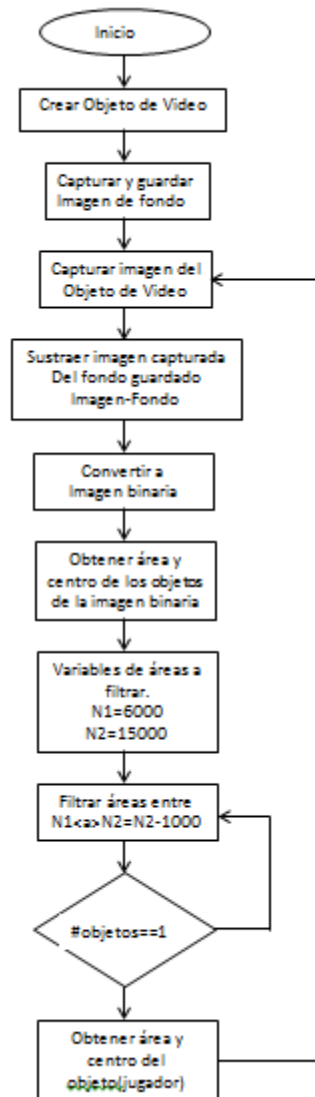


Figura 25. Diagrama de flujo algoritmo N°1 de la visión de máquina.

Realizando las pruebas con el algoritmo planteado para hallar la posición del jugador en el espacio de entrenamiento, se obtiene que las áreas pueden variar dependiendo el tamaño o la postura del jugador, por lo que se dificulta hallar la distancia real del jugador con respecto a la mesa, debido a esto, la ubicación de la cámara web cambia de tal manera que la obtención de información sea óptima en cuanto a la distancia del jugador con respecto a la mesa y su posición sobre el eje horizontal.

7.2.1.2 Algoritmo final.

Las imágenes del jugador se capturan desde la parte superior del espacio de entrenamiento, así, aplicando el algoritmo se obtienen las coordenadas (X,Y) del centro del jugador.

Para maximizar la aplicación del algoritmo para hallar la posición del jugador, se aplica filtro por color tanto a la imagen tomada inicialmente como a las imágenes del entrenamiento, para ello es necesario que la vestimenta del deportista sea de color oscuro, de tal manera que el filtro aplicado elimine colores claros del fondo. La imagen obtenida por Matlab en RGB, permite filtrar los valores de 0 a 255, siendo 0 negro y 255 blanco, a cada esquema de color por separado, para eliminar los colores claros (cerca de 255) se resta el valor deseado a cada píxel de la imagen que se obtiene en la captura, con el fondo que se tiene, el valor aproximado para cada esquema de color es de 180.

$$180 - If_R = IT_R \quad (2)$$

$$180 - If_B = IT_B \quad (3)$$

$$180 - If_G = IT_G \quad (4)$$

Donde,

If_R , If_B , If_G los esquemas de color rojo, azul y verde de If .

IT_R , IT_B , IT_G los esquemas de color después de eliminar los píxeles menores a 180.

IT se convierte a imagen binaria (blanco y negro), es decir, los píxeles de la imagen obtenida solamente toman valores de 0 y 1 dependiendo el umbral de la imagen, se aplica filtro por área entre 6000 y 15000 píxeles, obteniendo únicamente la forma del jugador de la cual se obtendrá el centro hallando sus coordenadas (x,y) para envío por puerto serial como señal de referencia

del controlador. La Figura 26 muestra el diagrama de bloques utilizado para la visión de máquina del prototipo.

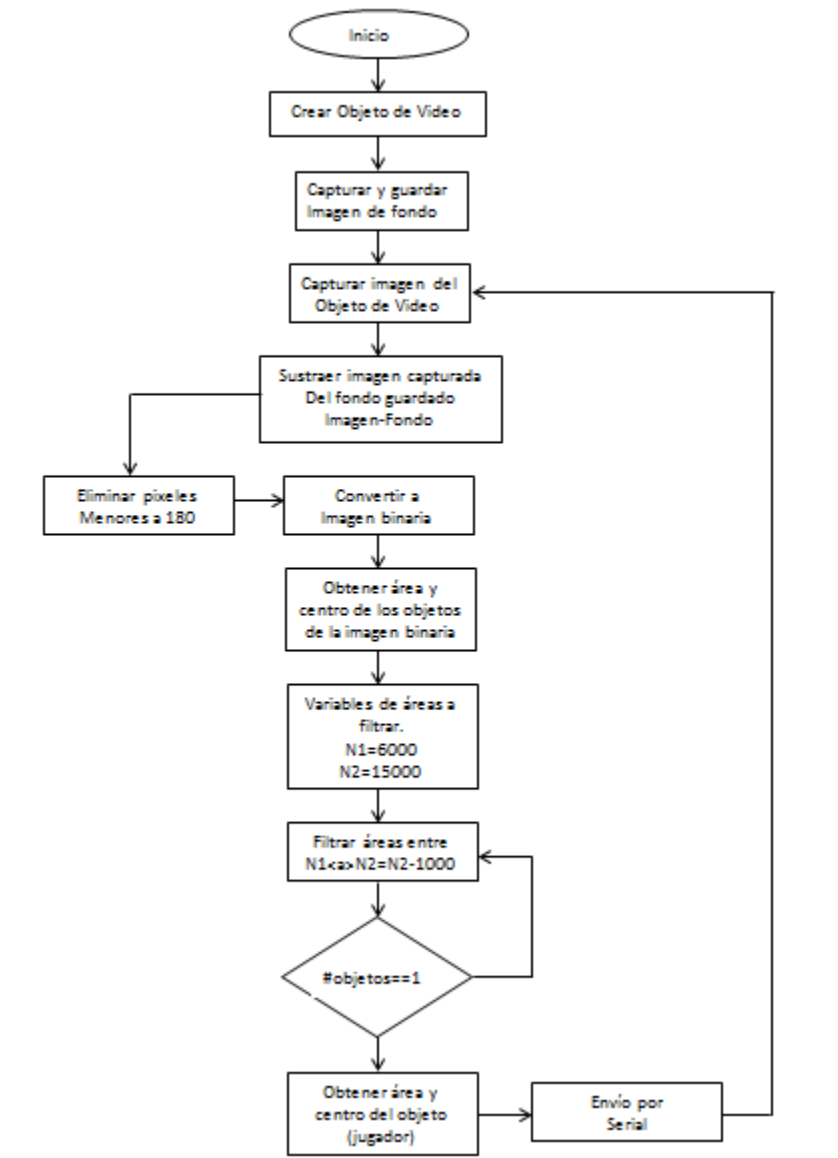


Figura 26. Algoritmo final de la visión de máquina.

7.2.2 Comunicación.

Obteniendo las coordenadas (X, Y) del centro de la posición del jugador dentro del espacio de entrenamiento, se procede al envío por medio de comunicación serial desde el ordenador hacia

arduino UNO (Figura 27), donde se utiliza como referencia para el controlador basado en lógica difusa.



Figura 27. Arduino UNO.

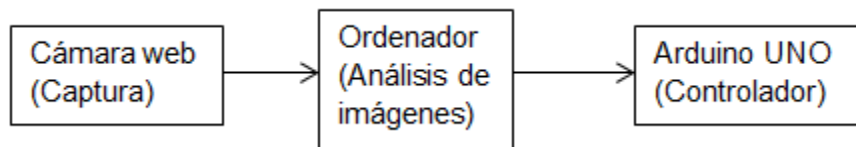


Figura 28. Esquema de comunicación.

7.2.3 Controlador basado en lógica difusa.

El controlador fuzzy toma como referencia la posición donde se encuentra el jugador en el área de entrenamiento para controlar el lanzamiento de los pimpones hacia la superficie de la mesa en la posición X, controlada con un servomotor, y la posición Y, controlada por dos motores que impulsaran el pimpón con determinada fuerza dependiendo la distancia de lanzamiento de referencia.

7.2.3.1 Parametrización de los controladores.

El diseño del controlador basado en lógica difusa tanto en el eje X como en el eje Y requiere de ciertos parámetros iniciales, los cuales determinan las condiciones del sistema y los tiempos de respuesta que debe tener cada controlador. Dichos parámetros se hallan obteniendo la velocidad de procesamiento de las imágenes capturadas con la cámara y hallando la velocidad de desplazamiento máxima que puede adquirir un jugador durante el entrenamiento.

El cambio máximo aproximado del ángulo que se moverá el servomotor depende de la velocidad máxima de desplazamiento del deportista, tomando muestras de desplazamiento de varios jugadores de la Universidad Pedagógica Nacional en diferentes puntos del espacio de entrenamiento se calcula la velocidad media de un jugador en el espacio de entrenamiento.

7.2.3.1.1 *Adquisición de imágenes.*

La cámara web que se utiliza para obtener las imágenes del jugador y procesarlas está configurada para capturar 30 cuadros por segundo, sin embargo, el proceso que permite hallar la posición del deportista retrasa la toma de imágenes a esta velocidad, teniendo en cuenta la velocidad del jugador y el tiempo en que el programa analiza las imágenes obtenidas puede dar idea de la calidad del controlador que se debe diseñar para el lanzamiento de los pimientos horizontalmente sobre la superficie de la mesa. La cantidad de imágenes que captura y analiza el programa en 1 segundo se halla tomando una serie de fotografías y calculando el tiempo total de análisis, se guardan las fotografías en una variable y se halla el promedio de fotografías procesadas en un segundo y a su vez, obteniendo los datos de la posición del jugador se halla la velocidad de desplazamiento.

$$vp = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} \quad (5)$$

$$vel_m = pos2 - pos1/f \quad (6)$$

Donde, vel_m es la velocidad del jugador por cada muestra tomada (dada en pixeles/foto).

$pos1, pos2$ Son la posición inicial y final del jugador.

f Es el número de fotografías que pasaron entre el análisis de $pos1$ y $pos2$ (para todos los casos es 1).

vp Es la velocidad promedio y m es cada muestra realizada.

Para hallar la velocidad de procesamiento de las imágenes se obtienen y se analizan 100 tomas, cuyo análisis es de 24 segundos. Por tanto,

$$Va = \frac{\#tomas}{Ta} = \frac{100}{24} = 4.16 \text{ fotos/s} \quad (7)$$

De otra forma,

$$tf = \frac{Ta}{\#tomas} = \frac{24}{100} = 0.24 \text{ seg.} \quad (8)$$

Donde,

Va es la velocidad de análisis del programa de la visión de máquina.

Tf es el tiempo que demora el análisis de cada foto.

7.2.3.1.2 Velocidad de los jugadores.

Las muestras de velocidad son tomadas a tres jugadores pertenecientes al equipo representativo de tenis de mesa de la universidad pedagógica nacional. Se realizan 10 tomas en desplazamiento hacia los lados y 10 tomas con desplazamiento hacia atrás y hacia adelante como lo muestran la Figura 29 y figura 30, se analizan y se obtiene la posición (X, Y) del jugador. En las Tablas 5, 7 y 9 se muestran las posiciones (X, Y) de los jugadores y en las Tablas 6, 8 y 10 se muestran las velocidades obtenidas debido a la variación de la posición de los jugadores.



Figura 29. Tomas de desplazamiento horizontal.

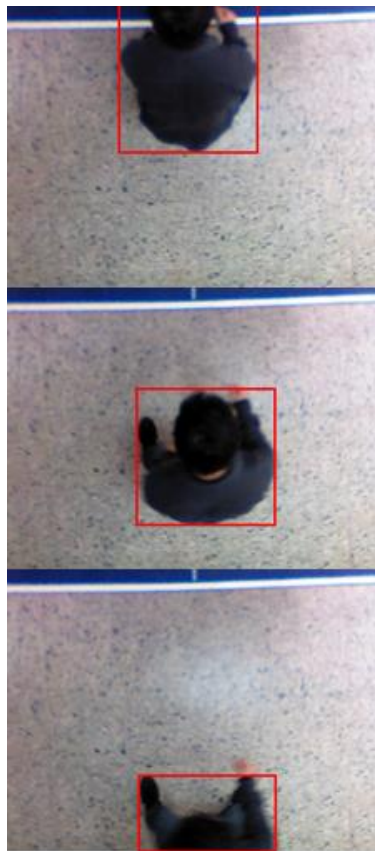


Figura 30. Desplazamiento sobre el eje vertical.

Tabla 5

Muestra de posición del jugador 1.

Muestra	Posición X		Posición Y	
	Pos 1	Pos. 2	Pos. 1	Pos. 1
1	194	134	47	84
2	134	97	84	153
3	97	84	153	204
4	84	78	204	221
5	78	99	221	218
6	99	123	218	198
7	123	170	198	150
8	170	213	150	101
9	213	253	101	64
10	253	260	64	46

Obteniendo las velocidades de acuerdo a las posiciones.

Tabla 6

Velocidades obtenidas del jugador 1.

m	$ Vel_{mx} $	$ Vel_{my} $
1	60	37
2	37	69
3	13	51
4	6	17
5	21	3
6	24	20
7	47	48
8	43	49
9	40	37
10	7	18

En las Ecuaciones 9 y 10 se halla la velocidad media en X y Y del jugador 1.

$$V_{p1x} = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} = \frac{298}{10} = 29,8 \text{ pix/f(9)}$$

$$V_{p1y} = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} = \frac{349}{10} = 34,9 \text{ pix/f} \quad (10)$$

Tabla 7

Muestras de desplazamiento jugador 2.

Muestra	Posición X		Posición Y	
	Pos 1	Pos. 2	Pos. 1	Pos. 1
1	75	87	33	63
2	87	103	63	89
3	103	125	89	109
4	125	159	109	155
5	159	194	155	186
6	194	220	186	200
7	220	274	200	170
8	274	250	170	156
9	250	200	156	134
10	200	177	134	100

Tabla 8

Velocidades obtenidas por el jugador 2.

m	Vel _{mx}	Vel _{my}
1	12	30
2	16	26
3	22	20
4	34	46
5	35	31
6	26	14
7	54	30
8	24	14
9	50	22
10	23	34

Obteniendo la velocidad promedio del jugador 2.

$$V_{p2x} = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} = \frac{292}{10} = 29,2 \text{ pix/f} \quad (11)$$

$$V_{p2y} = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} = \frac{229}{10} = 22,1 \text{ pix/f} \quad (12)$$

Tabla 9

Muestras de desplazamiento jugador 3.

Muestra	Posición X		Posición Y	
	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 1	Pos. 1
1	47	59	52	63
2	59	80	63	82
3	80	125	82	112
4	125	173	112	155

5	173	214	155	174
6	214	250	174	189
7	250	274	189	183
8	274	268	183	167
9	268	250	167	134
10	250	209	134	97

Obteniendo las velocidades alcanzadas por el jugador 3 se tiene.

Tabla 10.

Velocidades obtenidas por los jugadores.

m	Vel _{mx}	Vel _{my}
1	12	11
2	21	19
3	45	30
4	48	43
5	41	19
6	36	15
7	26	6
8	6	16
9	18	33
10	41	37

Hallando la velocidad promedio en el eje X y Y.

$$V_{p3x} = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} = \frac{296}{10} = 29,6 \text{ pix}/f \quad (13)$$

$$V_{p3y} = \frac{(\sum_{m=1}^{10} vel_m)}{10} = \frac{267}{10} = 26,7 \text{ pix/f} \quad (14)$$

Finalmente, se halla la velocidad promedio total de los tres jugadores tanto en desplazamiento horizontal como vertical, se toman las velocidades de las Ecuaciones 9, 11 y 13 para promediar la velocidad en desplazamiento horizontal.

$$V_{pTx} = \frac{88,6}{3} = 29,53 \text{ pix/f} \quad (15)$$

Donde,

V_{pTx} = velocidad promedio total en desplazamiento horizontal de los jugadores.

Para hallar la velocidad promedio en el eje Y se toman los datos promedio de la velocidad en desplazamiento vertical de cada jugador.

$$V_{pTy} = \frac{83,7}{3} = 27,9 \text{ pix/f} \quad (16)$$

Donde,

V_{pTy} = velocidad promedio total en desplazamiento vertical de los jugadores.

7.2.3.2 Controlador de lanzamiento en la posición X.

7.2.3.2.1 Características y condiciones iniciales

Para controlar movimiento del prototipo sobre el eje horizontal se cuenta con un servomotor TowerPro SG-5010 alimentado con 5V, Las características de funcionamiento proporcionadas por el distribuidor se muestran en la Figura 31.

Basic Information

Modulation:	Analog
Torque:	4.8V: 111.1 oz-in (8.00 kg-cm) 6.0V: 152.8 oz-in (11.00 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.17 sec/60° 6.0V: 0.14 sec/60°
Weight:	1.34 oz (38.0 g)
Dimensions:	Length: 1.58 in (40.1 mm) Width: 0.80 in (20.3 mm) Height: 1.70 in (43.2 mm)
Motor Type:	3-pole
Gear Type:	Plastic
Rotation/Support:	Dual Bearings

**Additional Specifications**

Rotational Range:	180°
Pulse Cycle:	20 ms
Pulse Width:	600-2400 μ s
Connector Type:	? (add)

Figura 31. Características de servomotor TowerPro SG-5010

Fuente: <http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/sg-5010>

Teniendo la velocidad de desplazamiento promedio de los tres deportistas (Ecuación 15), se puede aproximar que la distancia máxima que puede variar el punto de referencia del controlador es de 29,5 pixeles sobre el eje horizontal (X).

7.2.3.2.2 *Desplazamiento angular.*

Debido a las características de la superficie de la mesa no se utiliza el máximo desplazamiento de rotación del servomotor. Las medidas de la mesa son 274 cm de largo y 154,5 cm de ancho, el robot se coloca en un extremo sobre la línea central de la mesa formando un triángulo con las esquinas de la misma, así.

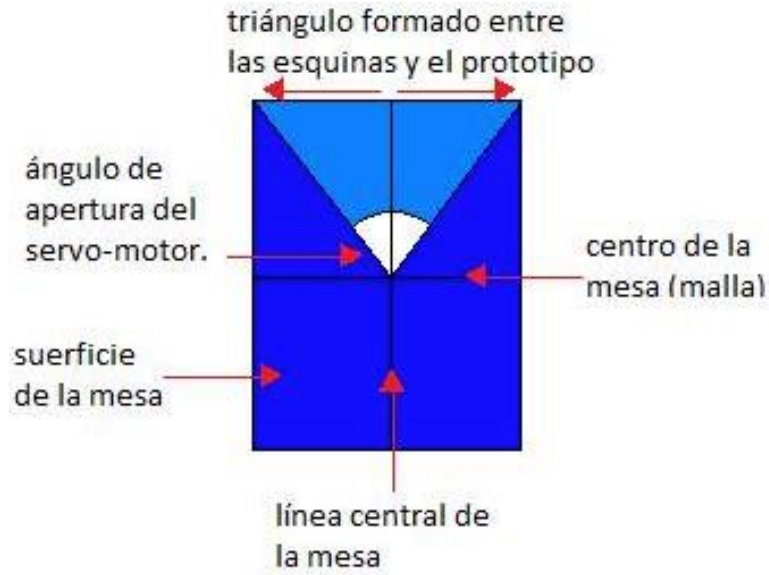


Figura 32. Ángulo de desplazamiento del servomotor.

Aplicando Pitágoras se tiene:

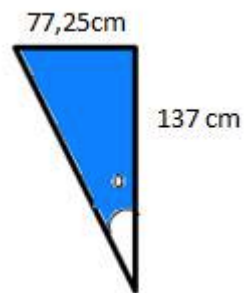


Figura 33. Acercamiento de ángulo de desplazamiento.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{o}{a} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{77,25}{137} \right) = 29,41^\circ \approx 29,5 \quad (17)$$

Por tanto el ángulo de desplazamiento del servomotor para lanzar pimpones en la totalidad de la mesa es.

$$\alpha T = 2 * \alpha = 58,8^\circ \approx 59^\circ \quad (18)$$

El servomotor en ubicado a 180° debe producir un lanzamiento a la esquina izquierda de la mesa, por tanto.

$$a1 = 180^\circ \quad (19)$$

$$a2 = 180^\circ - 59^\circ = 121^\circ \quad (20)$$

Donde $a1$ es el ángulo mayor de lanzamiento y $a2$ el ángulo menor de lanzamiento.

Realizando las pruebas prácticas con los ángulos obtenidos, se obtiene.



Figura 34. Pruebas de lanzamiento posición X.

Realizando las pruebas de lanzamiento sobre el eje horizontal con los ángulos obtenidos en las Ecuaciones 19 y 20, se obtienen variaciones en los ángulos de lanzamiento, el ángulo máximo es de 180° y el ángulo mínimo es de 130° .

7.2.3.2.3 *Cambio máximo de desplazamiento del servo.*

Cada fotografía tiene 320 pixeles a lo largo del eje horizontal por lo que 1° es equivalente a:

$$1^\circ = \frac{320pix}{59^\circ} = 5.4pix \quad (21)$$

Teniendo en cuenta que el desplazamiento máximo del jugador es de 29,5 pixeles, se tiene que el ángulo máximo que se desplazara el servomotor es:

$$\Delta\alpha = \frac{29,5pix * 1^\circ}{5.4pix} = 5.56^\circ \approx 6^\circ \quad (22)$$

Donde $\Delta\alpha$ es el cambio máximo de ángulo que tendrá el servomotor.

7.2.3.2.4 *Diseño y aplicación.*

El tiempo de respuesta proporcionado por el fabricante es de 0,17s/ 60° (Figura 31), el tiempo de análisis y envío de una imagen es de 0,24s (Ecuación 8).

Teniendo en cuenta que el diseño del servomotor ya contiene un lazo de realimentación interno, el tiempo de respuesta de este es menor al tiempo de envío y recepción de la posición del jugador en las imágenes analizadas, por lo tanto no es necesario desarrollar controlador para el desplazamiento en la posición X.

7.2.3.3 *Control de lanzamiento de la posición Y.*

7.2.3.3.1 *Características y condiciones iniciales.*

El lanzamiento de los pimpones está dado por dos micro-motores de 6 voltios (Figura 35) con los cuales se controla la distancia del lanzamiento teniendo como referencia la posición Y del jugador, aplicando un PWM como señal de control, los pimpones rebotan cerca de la malla o cerca del borde de fondo de la mesa. La superficie de la mesa en la que se lanzaran los pimpones es del tercer tercio hacia afuera como se muestra en la Figura 37.



www.pololu.com

Figura 35. Micro-motor utilizado para lanzamiento de pimpones.

Fuente: <http://www.pololu.com/picture/view/0J427>

Dimensions

Size:	24 x 10 x 12 mm
Weight:	0.34 oz
Shaft diameter:	3 mm

General specifications

Gear ratio:	4.995:1
Free-run speed @ 6V:	6000 rpm
Free-run current @ 6V:	120 mA
Stall current @ 6V:	1600 mA
Stall torque @ 6V:	2 oz-in

Figura 36. Especificaciones micro-motor.

Fuente: <http://www.pololu.com/product/1100/specs>

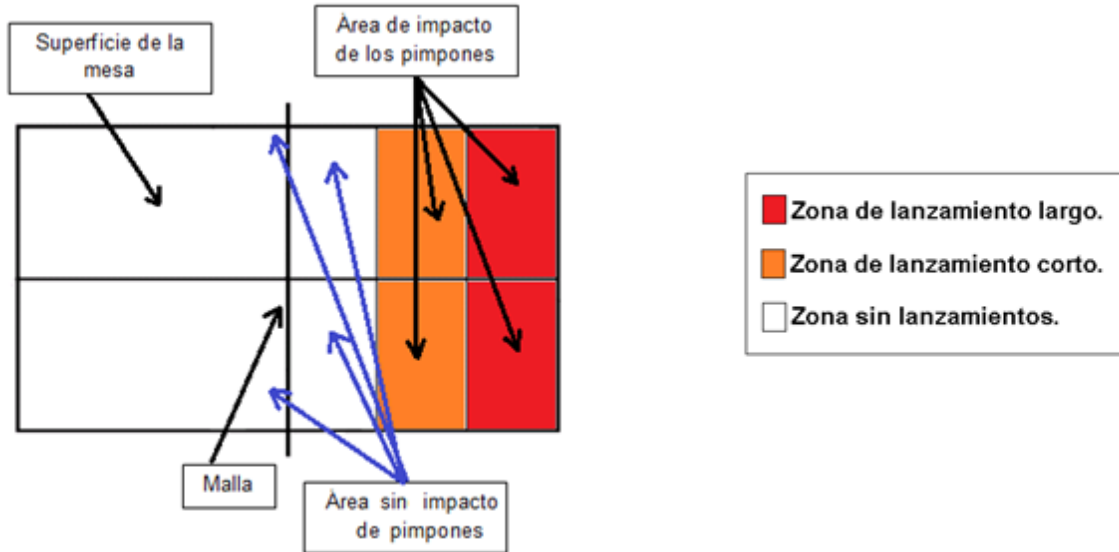


Figura 37. Zonas de impacto de los pines lanzados.

Se realizan pruebas de lanzamiento utilizando como fuente de alimentación un adaptador de 8V, donde el mínimo valor de PWM es 0, equivalente a 0V, y el máximo valor es de 255, equivalente a 8V. Aplicando a los micro-motores y realizando lanzamiento de pines, se obtiene.

- Lanzamiento corto (cerca de la malla) = 60 % de PWM (153).
- Lanzamiento largo (borde de la mesa) = 75 % de PWM (192).

Teniendo,

$$V_{min} = \frac{60\% \cdot 8v}{100\%} = 4.8V \quad (23)$$

$$V_{max} = \frac{75\% \cdot 8v}{100\%} = 6V \quad (24)$$

Donde,

V_{min} = voltaje mínimo que se aplica para el lanzamiento de pines.

V_{max} = voltaje máximo que se aplica para el lanzamiento de pines.

Teniendo en cuenta que la adquisición de las imágenes y el procesamiento de estas 0,24s por cada fotografía (Ecuación 8), se tiene que.

$$tr < ti < 0,24s \quad (25)$$

Donde,

Ti=tiempo que transcurre entre cada imagen analizada dado en segundos (s).

Tr=tiempo de respuesta de los motores dado en s.

7.2.3.3.2 *Etapas de sensado.*

Para controlar la velocidad de los motores de lanzamiento se adapta un sensor CNY70 a cada disco en los motores, cada uno con una división de color blanco que utiliza como reinicio de conteo. La salida del sensor, cuando detecta blanco, es de 1 y en otro color es 0, se desarrolla un programa en arduino que cuenta el tiempo entre cada flanco de subida y de bajada obteniendo la velocidad, este tiempo se reinicia cada vez que el sensor detecta la marca de color blanco.

$$Vel = \frac{1}{t} \quad (26)$$

Donde,

Vel es la velocidad del motor dada en RPM (revoluciones por minuto).

T es el tiempo entre una división y otra dado minutos.

7.2.3.3.3 *Respuesta de los motores en lazo abierto.*

La máxima velocidad de los motores proporcionada por el fabricante es de 6000 rpm sin carga y alimentados con 6 voltios. Con la carga de los discos, se toma medida de la velocidad alimentando los motores con 6V. Obteniendo el tiempo entre flancos de subida y de bajada de la lectura de los sensores y hallando la velocidad de cada motor, se guarda en una variable en

Matlab y se realiza la gráfica de respuesta de los motores en lazo abierto como se muestra en la Figura 38.

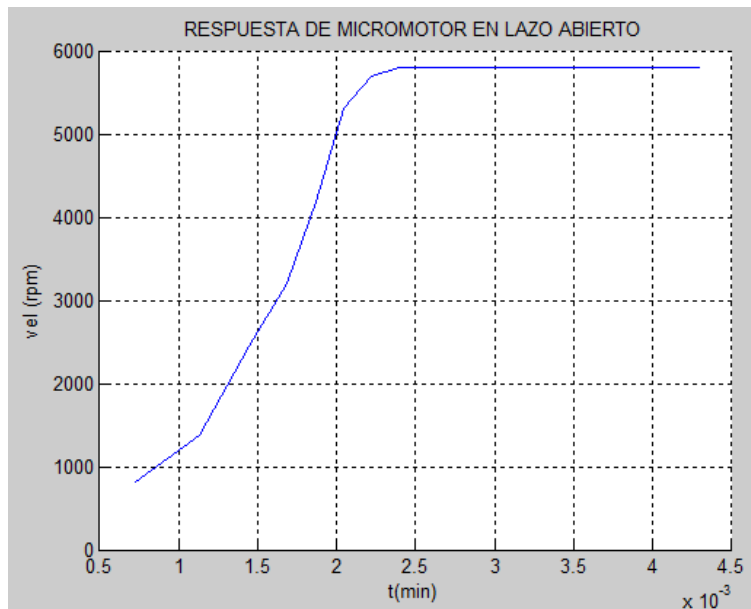


Figura 38. Tiempo de respuesta de los micro-motores.

En la gráfica de respuesta del micro-motor se observa que:

$$tr = 2,5 \times 10^{-3} \text{ min} = 0.15 \text{ seg} \quad (27)$$

$$vel \approx 5800 \text{ rpm} \quad (28)$$

Donde,

Tr=tiempo de respuesta en lazo abierto.

7.2.3.3.4 Diseño y aplicación.

Para obtener la referencia para el controlador de los datos obtenidos con la cámara web de la posición del jugador en términos de la velocidad que debe tener cada motor, se toma el número de pixeles a lo ancho de la fotografía (240), teniendo.

- Pixel 1, la referencia es la velocidad mínima 60% PWM
- Pixel 240, la referencia de velocidad es máxima 75% PWM.

Teniendo en cuenta que el PWM máximo y mínimo de lanzamiento es de 75% y 60% respectivamente, se tiene que las velocidades máxima y mínima de referencia son.

$$Vrefmax = 5800rpm \quad (29)$$

$$Vrefmin = \frac{60\% * 5800rpm}{75\%} = 4640rpm \quad (30)$$

La velocidad de referencia debida a la posición Y del deportista obtenida en la captura de imágenes es:

$$vref = \left(\frac{vrefmax - vrefmin}{240} * posY \right) + 4640 = (4.83 * posY) + 4640 \quad (31)$$

Donde,

Vref es la referencia dada en rpm (revoluciones por minuto).

Para el diseño del controlador se tiene en cuenta la velocidad media de referencia.

$$Vcontrol = \frac{VrefMax + Vrefmin}{2} = 5220rpm \quad (32)$$

Se aplica control PD (proporcional-derivativo) al sistema de motores para el lanzamiento de pimpones para obtener el tiempo de respuesta requerido.

Se proponen cinco funciones de membresía para la entrada error (Err) y tres funciones de membresía para la derivada del error (dErr), para la salida (out) del PWM que alimentara cada motor se tienen cinco funciones de membresía las cuales se visualizaran en la Tabla.

Tabla 11

Denominación de las funciones de membresía.

Error (Err)	Derivada del error (dErr)	Salida PWM (out)
N (negativo)	N (negativa)	Dis (disminuir)
NP (negativo pequeño)	DC (derivada cercana a cero)	Disp. (disminuir poco)
C (cerca a cero)	P (positiva)	Nc (no hay cambios)
PP (positivo pequeño)		Aup (aumentar poco)
P (positivo)		Au (aumentar)

Se obtienen graficas del error y la derivada del error para de la respuesta de los motores en lazo abierto, de esta manera se determinan los valores de cada función de membresía.

Las Figuras 39, 40 y 41 muestran las gráficas de las funciones de membresía de entrada y de salida con los valores aproximados del error y la derivada del error, con las pruebas del controlador estos valores se acomodan de acuerdo al comportamiento del sistema en las pruebas realizadas.

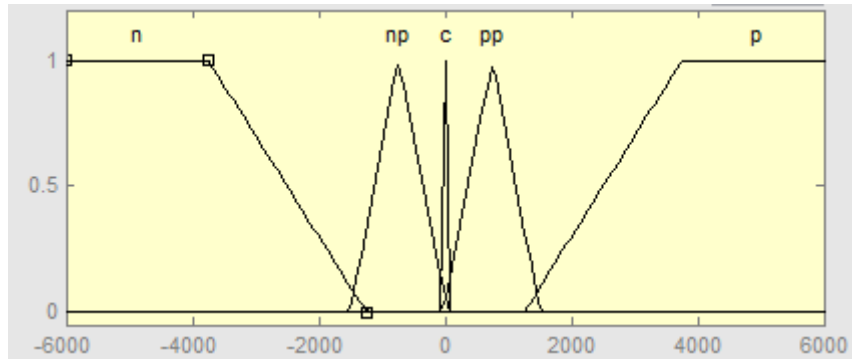


Figura 39. Entrada 1. Error del sistema.

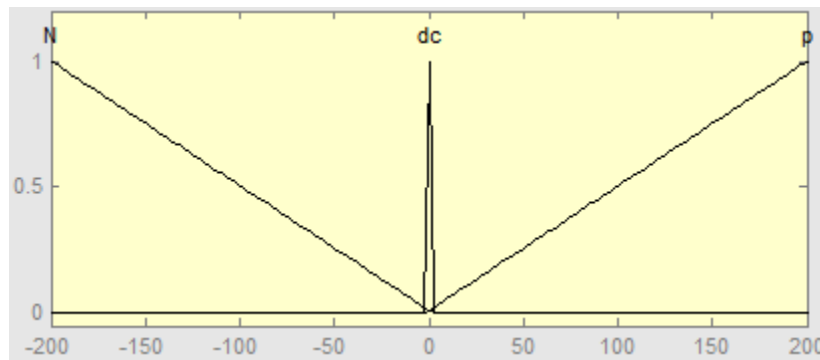


Figura 40. Entrada 2. Derivada del error.

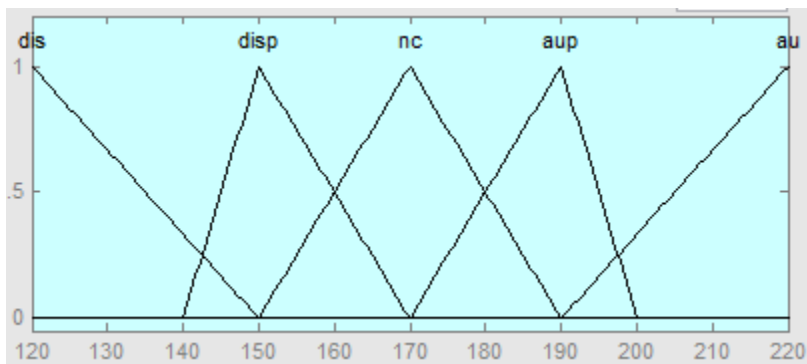


Figura 41. Salida.

A partir de las funciones de membresía planteadas, se elaboran las reglas difusas.

Tabla 12

Reglas difusas para el controlador PD.

dErr/Err	N	NP	C	PP	P
N	DIS	DISP	AUP	AUP	AU
DC	DIS	DISP	NC	AUP	AU
P	DIS	DISP	DISP	AUP	AU

Realizando las pruebas del controlador programado en arduino aplicando control a cada motor, se obtiene.

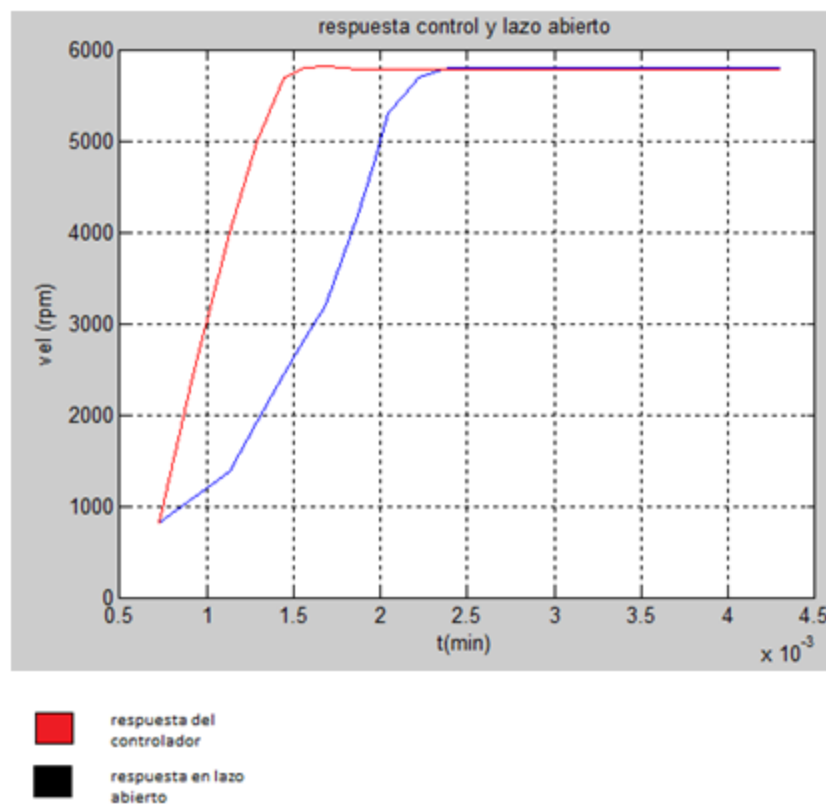


Figura 42. Tiempo de respuesta con aplicación del controlador Fuzzy PD.

En la gráfica se observa la respuesta del controlador PD en aplicada al micro-motor en color rojo, comparando con la respuesta en lazo abierto, se puede observar que el tiempo de respuesta es menor, el control derivativo cumple su función predictiva y el sobre-pico es pequeño, se observa un pequeño error en estado estacionario debido a que los valores de las funciones de membresía, tanto del error como su derivada, no son exactamente 0 sino que lo rodean valores cercanos. El tiempo de respuesta aproximado del controlador aplicado al micro-motor es:

$$tr = 1.8e^{-3}min = 0.108s(33)$$

El tiempo de respuesta con el controlador disminuye en un 28% y corresponde con las condiciones requeridas por el sistema para el lanzamiento de los pimpones. En la Figura 42 se muestra la respuesta de los micro-motores con variaciones de velocidad de acuerdo a las referencias calculadas.

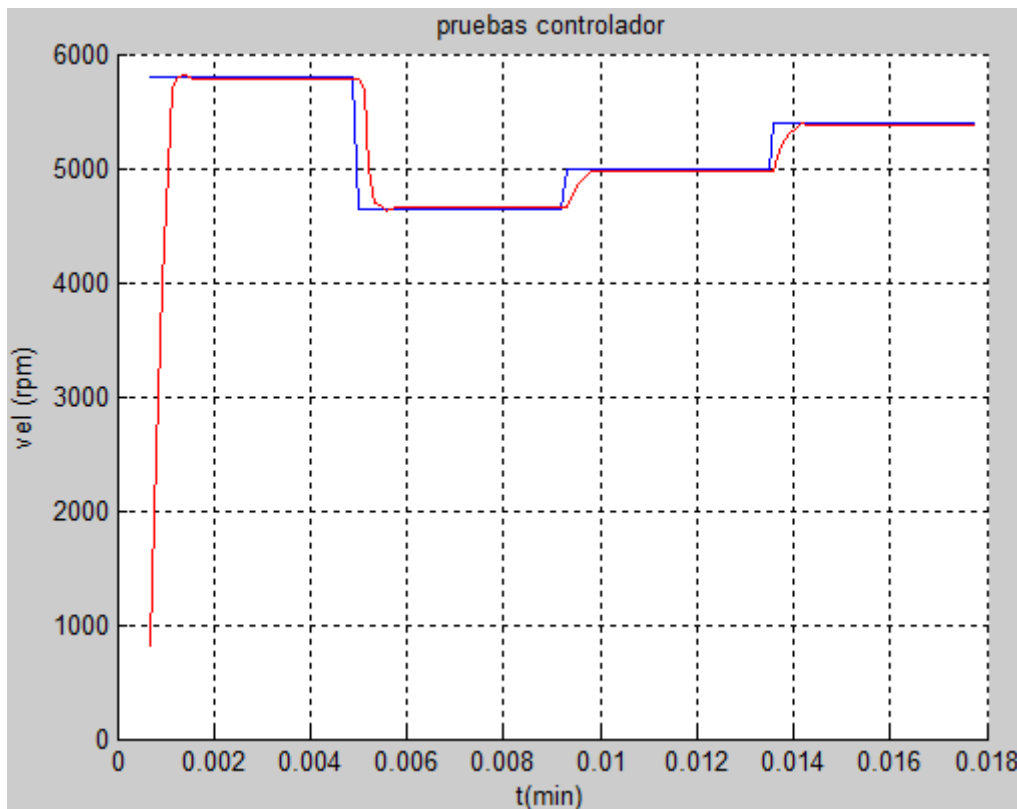


Figura 43. Pruebas del controlador con variaciones.

En la gráfica se observa el cambio de la referencia en color azul y la respuesta del micro-motor en color rojo.

Debido a las características similares de los motores de lanzamiento, el control diseñado se desarrolla y se aplica a los dos micro-motores que expulsan los pimpones del prototipo y a su vez controlan la distancia de caída de los mismos.

7.2.4 Etapa de potencia.

Para la aplicación del control al servomotor que realiza el desplazamiento horizontal del prototipo y a los micro-motores para el lanzamiento de los pimpones, se diseña la etapa de potencia utilizando el driver de potencia L298. Alimentando el sistema con una fuente de 8 voltios y 4 amperios de corriente, se configura el L298 para aportar la potencia necesaria y la señal de PWM a cada motor del sistema.

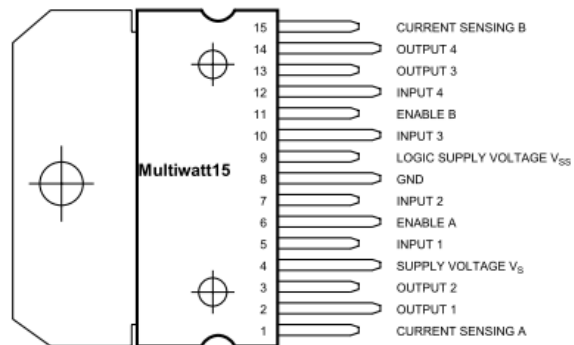


Figura 44. Driver de potencia L298.

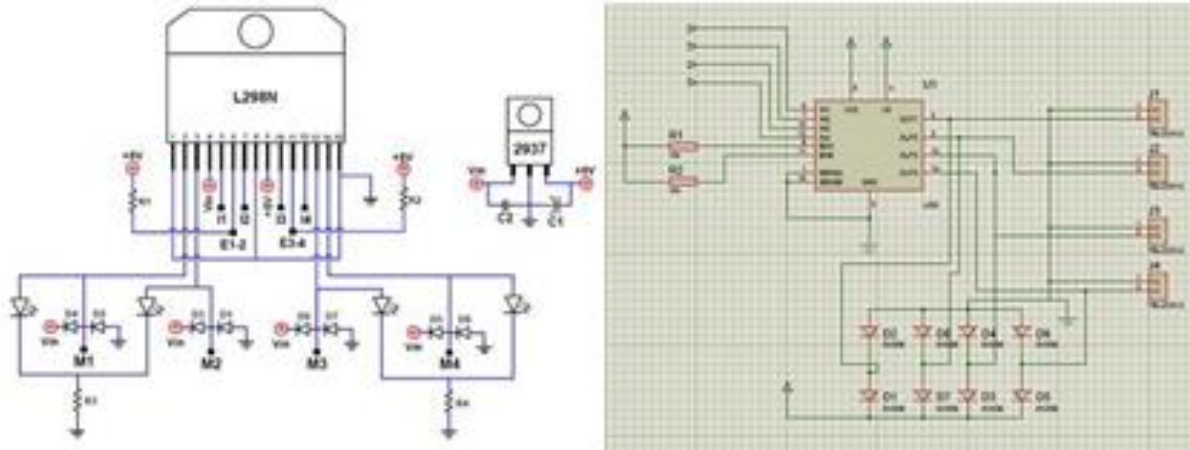


Figura 45. Esquemático de la etapa de potencia.

Fuente: <http://frs-cnc.com/foro1/electronica/destruye-integrado-l298n-t3593-10.html>

8. Análisis de resultados

8.1 Estabilidad del prototipo

Luego de las pruebas realizadas a lo largo de varios entrenamientos en repetidas ocasiones, se observa que el robot requiere de pequeños sujetadores en la base del soporte general, dichos sujetadores deben ser en un material de mayor adherencia a la superficie de la mesa, de forma tal que el prototipo permanezca en la misma ubicación todo el tiempo. Por otra parte, se observa que la vibración y el constante movimiento del servomotor para hacer girar el lanzador, son factores que se mantienen controlados de manera ideal, de igual forma, la tolva de alimentación, pese a la constante variación de peso, y al constante movimiento generado con el desplazamiento de pimpones, se mantiene en su posición.

8.2 Peso del prototipo

El peso del prototipo es de 4kg con todas las piezas ubicadas en su lugar. Cuando la tolva de alimentación se encuentra en su máxima capacidad, el peso incrementa 135g.

8.3 Distribución de piezas

Las piezas con las cuales cuenta el prototipo, garantizan el funcionamiento total del mismo, cada una de las partes contribuye con la otra para dar respuesta a todos los factores analizados a lo largo del proceso.

8.4 Frecuencia de lanzamiento de pimpones

La frecuencia de lanzamiento de los pimpones está dada por el impulso que genera la helice ubicado en la parte posterior de la estructura del prototipo, x

8.5 Efecto proporcionado a los pimpones.

El efecto que se proporciona a los pimpones se genera con el mismo impulso que proporcionan los micro-motores, debido a que la velocidad de los dos motores es la misma, para efectos de precisión en el lanzamiento, a los pimpones no se les imprime efecto alguno, por lo que el jugador que realiza el entrenamiento puede realizar los golpes que requiera entrenar y aplicando el efecto que desee a los pimpones sin problema de cambio de trayectoria por parte de estos.

8.6 Aplicación a deportistas

Culminado el diseño y desarrollo del prototipo con sus respectivos ajustes, se realizan pruebas con 6 deportistas pertenecientes a la selección representativa de la Universidad pedagógica nacional aplicando una encuesta cuyo objetivo es obtener resultados referentes al funcionamiento del prototipo.

Se tiene un rango de cinco valores de calificación, donde 1 es muy malo y 5 es excelente, referentes a seis temáticas acerca del funcionamiento del prototipo y su uso en el espacio de entrenamiento de la universidad pedagógica nacional.

- a) La velocidad con la cual se dispara el pimpón.
- b) La frecuencia de lanzamiento de pimpones.
- c) el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es.
- d) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tenis de mesa.
- e) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo.
- f) La propuesta planteada como proyecto innovador.

Tabla 13

Resultados encuestas.

<i>Nombre / pregunta</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>Maria Fernanda castro.</i>	4	4	4	5	4	4
<i>Julian David castellanos.</i>	4	4	5	5	5	4
<i>Nataly pinzon.</i>	4	4	5	5	4	5
<i>Daniel ortiz</i>	4	5	4	4	5	4
<i>Deisy naranjo</i>	4	4	4	5	5	5
<i>Sergio perilla</i>	3	4	4	4	4	5

8.6.1 Resultados obtenidos.

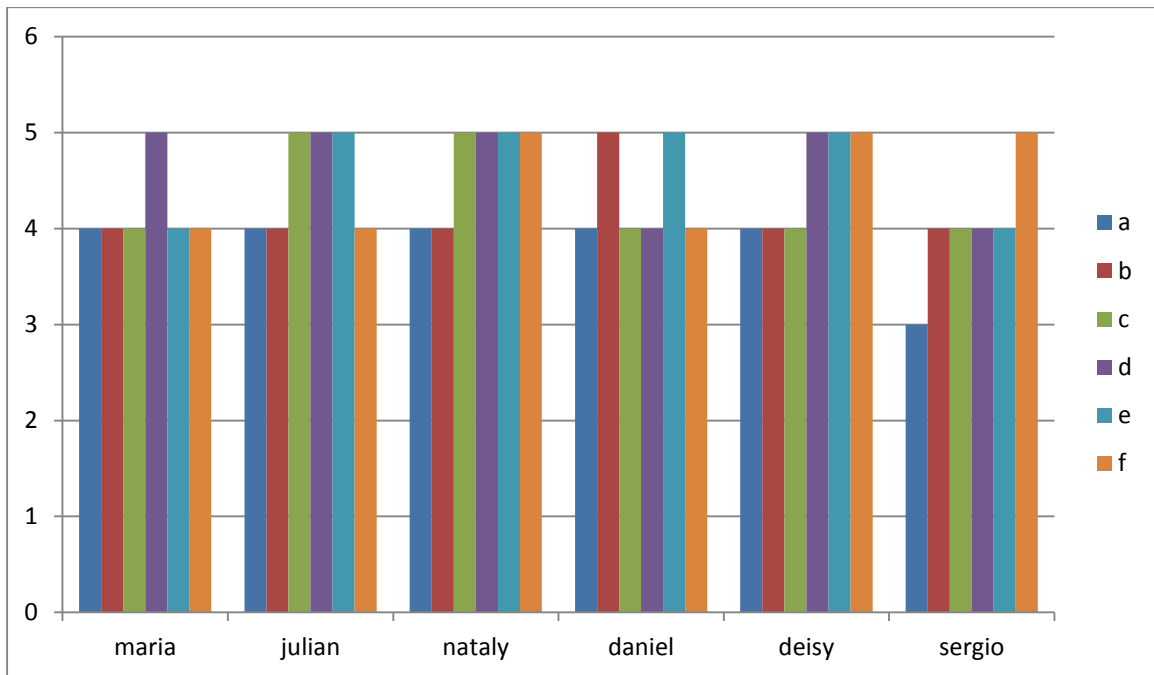


Figura 46. Respuesta por cada jugador.

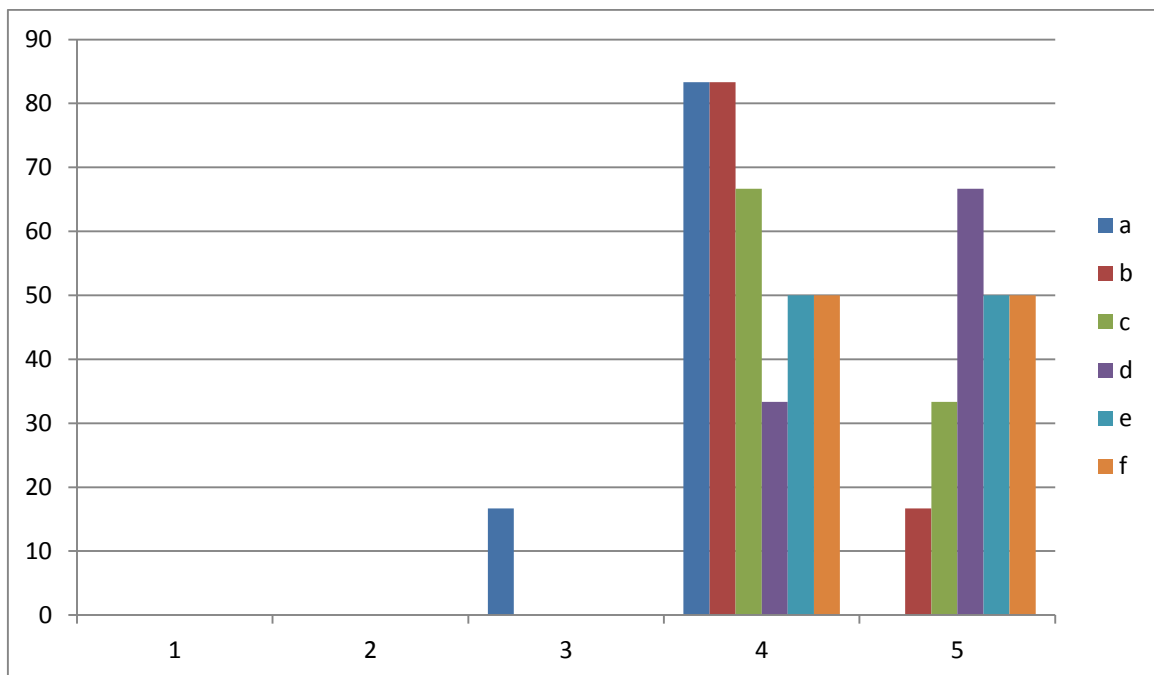


Figura 47. Porcentaje de personas por cada valor de las preguntas a-f.

Según los resultados obtenidos en la encuesta realizada a las personas que interactuaron con el prototipo se obtuvo que:

- a) La velocidad de salida de los pimpones tiende a ser apropiada para el entrenamiento, ya que el 80% de los encuestados dicen que se emplea una buena velocidad.
- b) la frecuencia de salida de los pimpones es buena, lo cual genera un entrenamiento bajo un ritmo constante.
- c) el desplazamiento que realiza el jugador gracias a los lanzamientos generados por el prototipo son adecuados para los jugadores, se observa que más del 30% de los encuestados consideran que se genera un muy buen desplazamiento y el resto de los encuestados la consideran apropiada.
- d) los resultados arrojados en esta pregunta, apuntan a un equilibrio de opiniones entre una buena y una muy buena contribución al entrenamiento deportivo de la práctica de tenis de mesa para los jugadores de la universidad.
- e) el prototipo como propuesta innovadora, resulta en igual medida que la pregunta anterior, como un equilibrio entre una buena y una muy buena opción de propuesta, ya que puede aportar favorablemente a las necesidades presentadas en la práctica deportiva de la Universidad Pedagógica Nacional.

9. Conclusiones

Se realizó el diseño y se desarrolló el prototipo funcional de manera tal, que se logra garantizar un mayor aprovechamiento del espacio dispuesto en los escenarios de la Universidad Pedagógica Nacional, generando una interacción directa entre el prototipo y el deportista de tenis de mesa.

La visión de maquina desarrollada para la captura de la posición del jugador es un buen método de sensado, el objeto de interés, es decir, el jugador, se puede capturar fácilmente con poco procesamiento de máquina, sin embargo, las condiciones en las que se puede aplicar deben ser controladas de tal manera que los cambios en cuanto a iluminación y los objetos que se capturan sean pocos, de lo contrario la dificultad para el análisis aumenta, disminuyendo la velocidad de procesamiento afectando otros procesos como el del controlador y por lo tanto la velocidad de respuesta de las diferentes partes mecánicas del prototipo.

Las características, en términos de adquisición de imágenes de la cámara web utilizada no permiten utilizar el máximo rendimiento del servomotor empleado en el dispositivo de rotación, por lo cual el desplazamiento del prototipo en el eje X es lento y esto se refleja de manera directa en el seguimiento del deportista que realiza el entrenamiento.

La cantidad de imágenes captadas no equivale a la cantidad de imágenes que logran ser procesadas a lo largo del proceso, por lo cual el prototipo muestra retardo en los tiempos de respuesta para seguir al deportista durante el entrenamiento deportivo.

El controlador basado en lógica difusa diseñado para el lanzamiento de pimpones y controlar la distancia de caída proporciona fidelidad en términos del rebote del pimpón sobre la mesa en las posiciones requeridas de acuerdo a la ubicación del jugador en el espacio de entrenamiento. El control en la posición X se facilita utilizando el servomotor, aprovechando la realimentación interna en su diseño el control de las diferentes posiciones de lanzamiento es el valor del ángulo

de la posición que debe tener el servomotor para el lanzamiento en cierto punto de la mesa. El controlador en la posición Y es óptimo y proporciona fidelidad en lanzamiento de los pimpones, lanzándolos con precisión en los puntos específicos de la mesa dependiendo la ubicación del jugador en el espacio de entrenamiento. La aplicación de lógica difusa facilita el desarrollo de controlador en las posiciones (X,Y) debido a que no es necesario tener un modelo matemático de los motores que se desea controlar para el lanzamiento de pimpones.

10. Bibliografía

Acosta, L., Méndez, J. A., Torres, S., Rodrigo, J. J. Un robot jugador de “ping-pong” de bajo coste.

Amado J., Bode, Y., Hernández, R., Álvarez, E. (2013). Programa integral de preparación del deportista.

Asociación santafesina de tenis de mesa. Conociendo el deporte.... URL:

http://www.asateme.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=28

Turbeville, J. (2003). Table tennis ball speed. URL: <http://www.jayandwanda.com/tt/speed.html>.

De, X. (2010). Embedded system and its applications on robots. URL:

http://books.google.com.co/books?id=W6Ahwa45ioC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_buy#v=onepage&q&f=false

El acrílico como material de trabajo. URL: <http://www.famadacrilicos.com/concepto.htm>. Fecha última visita: mayo 21 de 2014.

El cobre como conductor eléctrico. URL: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?-IdArticulo=147>. Fecha de última visita: mayo 25 de 2014.

Lee, S., Suh, H., Kim, M. (2008). Recent progress in robotics: viable robotic service to human.

An edition of the select papers from the 13th international conference on advanced robotics.

URL:http://books.google.com.co/books?id=65q7fi9yrcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_buy#v=onepage&q&f=false

Lee, S., Cho, H., Yoon, K., Lee, J. (2012). Intelligent autonomous systems 12. Volume 2.

URL:<http://books.google.com.co/books?id=CPV9Ds1GsI4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

Mariano.(2011). Poliestireno. URL: http://es.slideshare.net/johnny_graterol/apa-uso-del-formato-apa-con-material-de-la-web. Fecha de consulta: mayo 05 de 2014.

Miglietti, R. (2006). Aerodinámica de la pelota deportiva - Aerodinámica de la pelota de tenis de mesa.

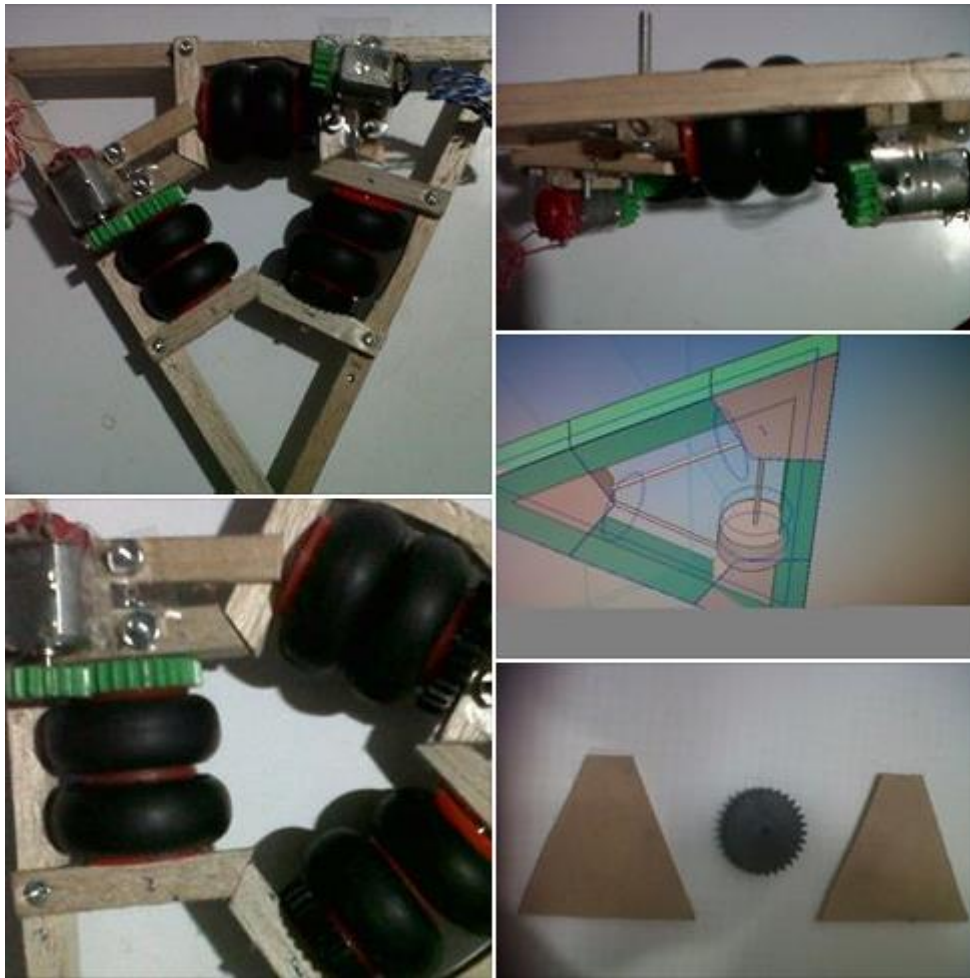
Morales, J. (2011). Robots jugando tenis de mesa. URL: <http://geeksroom.com/2011/10/robots-jugando-tenis-de-mesa/54602/>

Morillo, M A., Solís, E. (2012). Diseño e implementación de un prototipo entrenador autómatas de ping pong controlado mediante comando de voz.

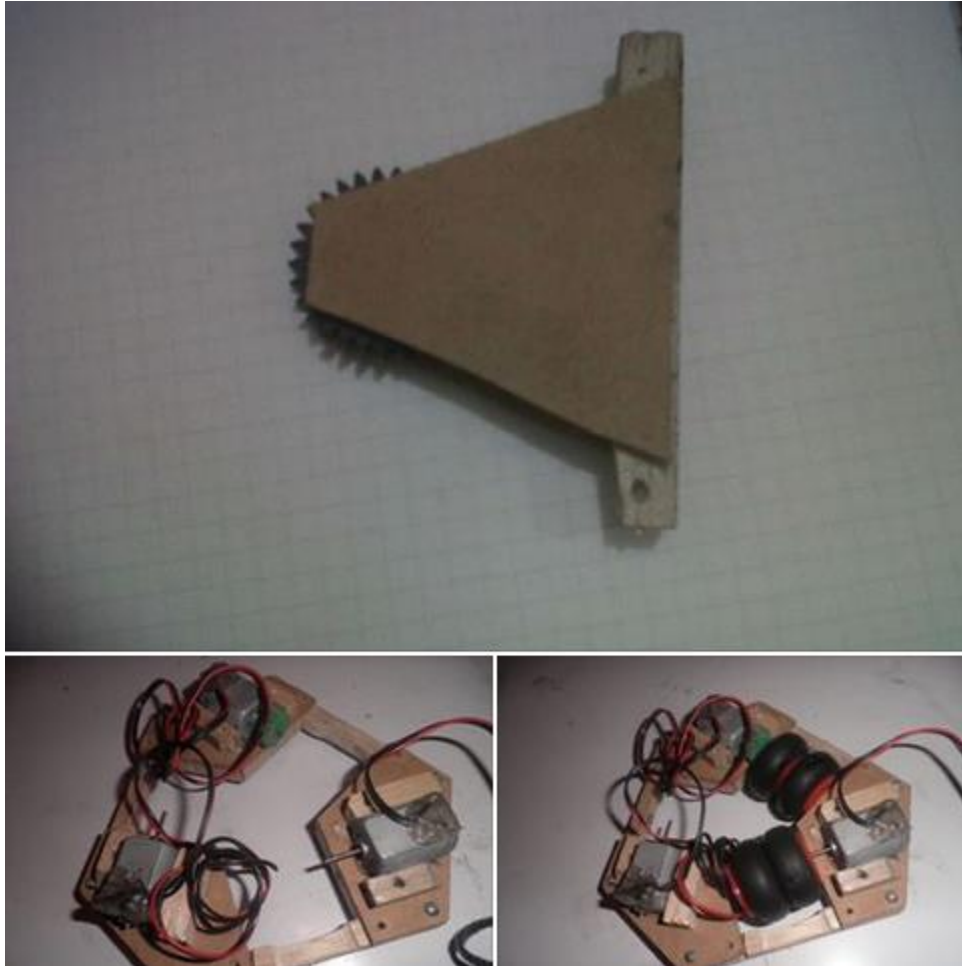
Silva, L. (2005). Control visual de robots paralelos. Análisis y aplicación a la plataforma robotenis.

11. Anexos

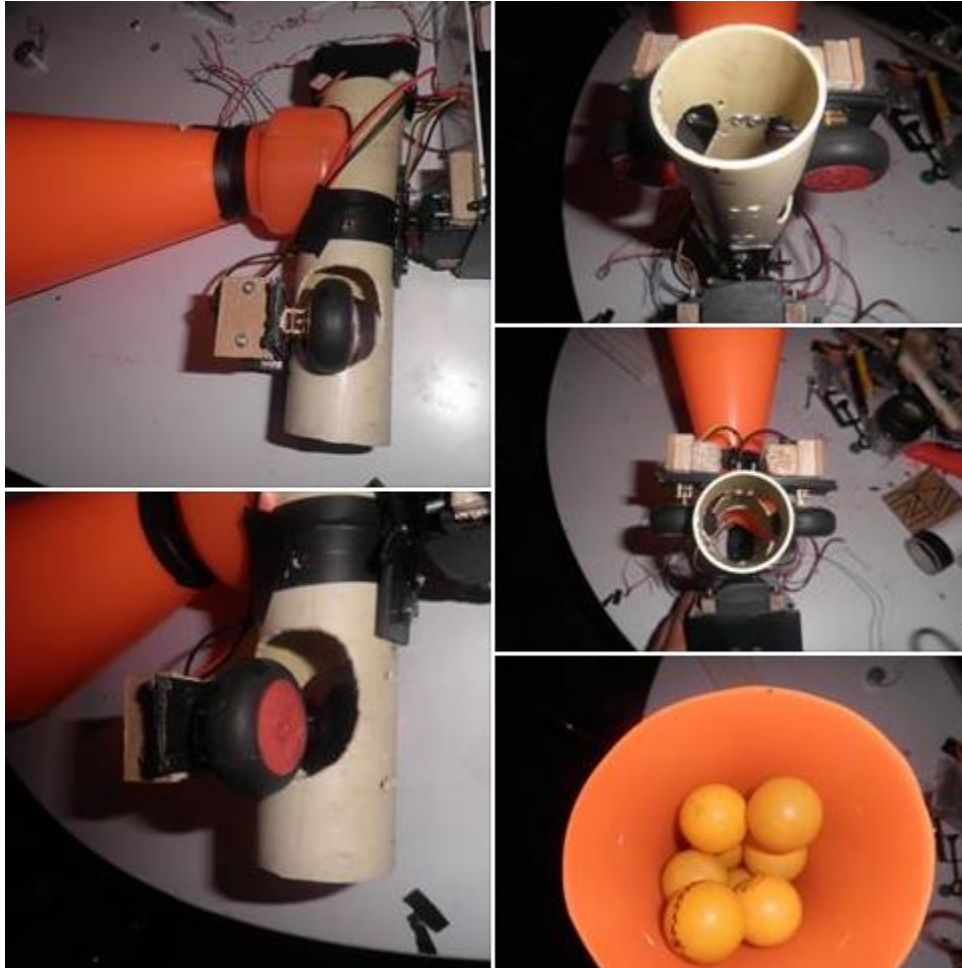
Anexo 1. Diseño N°1.



Anexo 2. Diseño N°2.



Anexo 3. Diseño N°3.



Anexo 4. Diseño final.



Anexo 5. Código de la visión de máquina y comunicación serial matlab-arduino.

```
clear all;
clc;
close all;

graba=videoinput('winvideo',2,'RGB24_320x240');

set(graba,'FramesPerTrigger',1);
set(graba,'TriggerFrameDelay',20);
set(graba,'TimeOut',20);
set(graba,'TriggerRepeat',inf);
set(graba,'TimerPeriod',0.01);
set(graba,'ReturnedColorSpace','rgb');

delete(instrfind({'Port'},{'COM5'}));
puerto=serial('COM5','baudRate',9600);
fopen(puerto);

start(graba);
pause(2);
foto=getdata(graba);
stop(graba);

set(graba,'TriggerFrameDelay',0);

im1=rgb2gray(foto);
qu1=medfilt2(im1,[5 5]);

a=1;
start(graba);
pause(0.5);
centro=[240 160];
f=[];

while(a==true)

flushdata(graba);
toma=getdata(graba);
gris=rgb2gray(toma);
qu=medfilt2(gris,[5 5]);
todo=imsubtract(qu1,qu);
gt=graythresh(todo);
bw=im2bw(todo,gt);
propiedades=regionprops(bw,'area','boundingBox','centroid');
f=find([propiedades.Area]>2000 & [propiedades.Area]<20000);
if max(f)>=1
centro=round(propiedades(f).Centroid);
```

```
else
    centro=[200 240];
end
    imshow(toma);
    hold on
for i=1:size(f,2)

rectangle('Position',propiedades(f(i)).BoundingBox,'EdgeColor','r','LineWidth',2);

fwrite(puerto,centro(1));

end

    a=a+1;
end

stop(graba);
fclose(puerto);
```

Anexo 6. Código de toma de datos de tiempo de respuesta de los micro-motores.

```
unsigned long duration;
int pul=0;
boolean sal;
int aa=0;
void setup()
{
  Serial.begin(19200);
}

void loop()
{
  pul=analogRead(A4);
  if (pul>800){
    sal=HIGH;
  }else{
    sal=LOW;
  }
  duration = pulseIn(sal, HIGH,2000);

  Serial.println(duration);
  //analogWrite(3,210);
  //analogWrite(5,210);

}
```

Anexo 7. Código de los controladores aplicados.

```
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzySet.h>
#include <Servo.h>;
```

```
char o[2];
int centro=0;
int refx=0;
int err=0;
int err1=0;
int delerr=0;
int delerr1=0;
int derr=0;
int derr1=0;
int pwm=0;
int pwmdir=90;
int mot1=0;
int mot2=0;
unsigned long tiempom1;
unsigned long tiempom2;
int salida=0;
int salida1=0;
int velm1=0;
int velm2=0;
int datos=0;
int datos1=0;
int refm1=0;
int refm2=0;
// salida1
int ejex=0;

//salida2
int ejoy=0;

//salida3
int ejoy1=0;
```

```
Fuzzy* fuzzy= new Fuzzy();  
Servo dirx;
```

```
void setup(){
```

```
  Serial.begin(9600);  
  dirx.attach(11);
```

```
  dirx.write(150);
```

```
  FuzzyInput* posX = new FuzzyInput(1);  
  //posicion de jugador, donde debe llehar el servomotor.  
  FuzzySet* ILejos = new FuzzySet(-5, 0, 0, 5); //izquierda lejos  
  posX->addFuzzySet(ILejos);  
  FuzzySet* INormal = new FuzzySet(0, 5, 5, 10); // Izquierda normal  
  posX->addFuzzySet(INormal);  
  FuzzySet* Centro = new FuzzySet(10, 15, 15, 20); // centro  
  posX->addFuzzySet(Centro);  
  FuzzySet* DNormal = new FuzzySet(20, 25, 25, 30); // derecha normal  
  posX->addFuzzySet(DNormal);  
  FuzzySet* DLejos = new FuzzySet(30, 32, 32, 40); // derecha lejos  
  posX->addFuzzySet(DLejos);  
  fuzzy->addFuzzyInput(posX);
```

```
  FuzzyInput* errY = new FuzzyInput(2);  
  //error de posicion en el eje y de la imagen obtenida.  
  FuzzySet* eN = new FuzzySet(-6100, -6000, -3800, -1200); // Negativo grande  
  errY->addFuzzySet(eN);  
  FuzzySet* eNP = new FuzzySet(-1500, -1000, -1000, 20); // negativo pequeño  
  errY->addFuzzySet(eNP);  
  FuzzySet* eC = new FuzzySet(-20, 0, 0, 20); // cero  
  errY->addFuzzySet(eC);  
  FuzzySet* ePP = new FuzzySet(-20, 1000, 1000, 1500); // positivo pequeño  
  errY->addFuzzySet(ePP);  
  FuzzySet* eP = new FuzzySet(1200, 3800, 6000, 6100); // positivo grande  
  errY->addFuzzySet(eP);  
  fuzzy->addFuzzyInput(errY);
```

```
  FuzzyInput* errY1 = new FuzzyInput(3);  
  //error de posicion en el eje y de la imagen obtenida.  
  FuzzySet* eN1 = new FuzzySet(-6100, -6000, -3800, -1200); // Negativo grande
```

```

errY1->addFuzzySet(eN1);
FuzzySet* eNP1 = new FuzzySet(-1500, -1000, -1000, 20); // negativo pequeño
errY1->addFuzzySet(eNP1);
FuzzySet* eC1 = new FuzzySet(-20, 0, 0, 20); // cero
errY1->addFuzzySet(eC1);
FuzzySet* ePP1 = new FuzzySet(-20, 1000, 1000, 1500); // positivo pequeño
errY1->addFuzzySet(ePP1);
FuzzySet* eP1 = new FuzzySet(1200, 3800, 6000, 6100); // positivo grande
errY1->addFuzzySet(eP1);
fuzzy->addFuzzyInput(errY1);

```

```

FuzzyInput* DerrY = new FuzzyInput(4);
//error de posicion en el eje y de la imagen obtenida.
FuzzySet* dN = new FuzzySet(-201, -200, -200, 0.5); // Negativo grande
DerrY->addFuzzySet(dN);
FuzzySet* dC = new FuzzySet(-5, 0, 0, 5); // cero
DerrY->addFuzzySet(dC);
FuzzySet* dP = new FuzzySet(-0.5, 200, 200, 201); // positivo grande
DerrY->addFuzzySet(dP);
fuzzy->addFuzzyInput(DerrY);

```

```

FuzzyInput* DerrY1 = new FuzzyInput(5);
//error de posicion en el eje y de la imagen obtenida.
FuzzySet* dN1 = new FuzzySet(-201, -200, -200, 0.5); // Negativo grande
DerrY1->addFuzzySet(dN1);
FuzzySet* dC1 = new FuzzySet(-5, 0, 0, 5); // cero
DerrY1->addFuzzySet(dC1);
FuzzySet* dP1 = new FuzzySet(-0.5, 200, 200, 201); // positivo grande
DerrY1->addFuzzySet(dP1);
fuzzy->addFuzzyInput(DerrY1);

```

```

FuzzyOutput* PosMotX = new FuzzyOutput(1);
// salida de la direccion del servomotor. 20 grados de libertad en el movimiento,
FuzzySet* Izqr = new FuzzySet(60, 70, 70, 80); // izquierda "rapido"
PosMotX->addFuzzySet(Izqr);
FuzzySet* Izql = new FuzzySet(76, 82, 82, 88); // Izquierda "Lento"
PosMotX->addFuzzySet(Izql);
FuzzySet* quieto = new FuzzySet(84, 90, 90, 96); // 90 grados
PosMotX->addFuzzySet(quieto);
FuzzySet* Derl = new FuzzySet(92, 98, 98, 104); // derecha "lento"
PosMotX->addFuzzySet(Derl);
FuzzySet* Derr = new FuzzySet(100, 110, 110, 120); // derecha "rapido"
PosMotX->addFuzzySet(Derr);

```

```
fuzzy->addFuzzyOutput(PosMotX);
```

```
FuzzyOutput* PosY = new FuzzyOutput(2);  
// salida del pwm que controla la velocidad de los motores que lanzan el pimpon.  
FuzzySet* RedVelRapido = new FuzzySet(220, 255, 255, 156); // reducir velocidad rapido  
PosY->addFuzzySet(RedVelRapido);  
FuzzySet* RedVelLento = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // reducir velocidad lento  
PosY->addFuzzySet(RedVelLento);  
FuzzySet* Quieto = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // quieto, permanece en el pwm.  
PosY->addFuzzySet(Quieto);  
FuzzySet* AuVelLento = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // aumenta velocidad lento  
PosY->addFuzzySet(AuVelLento);  
FuzzySet* AuVelRapido = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // aumenta velocidad rapido.  
PosY->addFuzzySet(AuVelRapido);  
fuzzy->addFuzzyOutput(PosY);
```

```
FuzzyOutput* PosY1 = new FuzzyOutput(3);  
// salida del pwm que controla la velocidad de los motores que lanzan el pimpon.  
FuzzySet* RedVelRapido1 = new FuzzySet(220, 255, 255, 156); // reducir velocidad rapido  
PosY1->addFuzzySet(RedVelRapido1);  
FuzzySet* RedVelLento1 = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // reducir velocidad lento  
PosY1->addFuzzySet(RedVelLento1);  
FuzzySet* Quieto1 = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // quieto, permanece en el pwm.  
PosY1->addFuzzySet(Quieto1);  
FuzzySet* AuVelLento1 = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // aumenta velocidad lento  
PosY1->addFuzzySet(AuVelLento1);  
FuzzySet* AuVelRapido1 = new FuzzySet(199, 200, 200, 235); // aumenta velocidad rapido.  
PosY1->addFuzzySet(AuVelRapido1);  
fuzzy->addFuzzyOutput(PosY1);
```

```
// regla 1
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SiILejos= new FuzzyRuleAntecedent();  
SiILejos->joinSingle(ILejos);
```

```
FuzzyRuleConsequent* r1 = new FuzzyRuleConsequent();  
r1->addOutput(Izqr);  
FuzzyRule* regla1 = new FuzzyRule(1, SiILejos,r1);  
fuzzy->addFuzzyRule(regla1);
```

```
// regla 2
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SiINormal= new FuzzyRuleAntecedent();  
SiINormal->joinSingle(INormal);
```

```

FuzzyRuleConsequent* r2 = new FuzzyRuleConsequent();
r2->addOutput(Izql);
FuzzyRule* regla2 = new FuzzyRule(2, SiINormal,r2);
fuzzy->addFuzzyRule(regla2);

// regla 3
FuzzyRuleAntecedent* SiCentro = new FuzzyRuleAntecedent();
SiCentro->joinSingle(Centro);

FuzzyRuleConsequent* r3 = new FuzzyRuleConsequent();
r3->addOutput(quieto);

FuzzyRule* regla3 = new FuzzyRule(3, SiCentro,r3);
fuzzy->addFuzzyRule(regla3);

// regla 4
FuzzyRuleAntecedent* SiDNormal = new FuzzyRuleAntecedent();
SiDNormal->joinSingle(DNormal);

FuzzyRuleConsequent* r4 = new FuzzyRuleConsequent();
r4->addOutput(Derl);

FuzzyRule* regla4 = new FuzzyRule(4, SiDNormal,r4);
fuzzy->addFuzzyRule(regla4);

// regla 5
FuzzyRuleAntecedent* SiDLejos = new FuzzyRuleAntecedent();
SiDLejos->joinSingle(DLejos);

FuzzyRuleConsequent* r5 = new FuzzyRuleConsequent();
r5->addOutput(Derr);

FuzzyRule* regla5 = new FuzzyRule(5, SiDLejos,r5);
fuzzy->addFuzzyRule(regla5);

// regla 6
FuzzyRuleAntecedent* SiePdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdP->joinWithAND(eP,dP);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdC->joinWithAND(eP,dC);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* SiePdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdN->joinWithAND(eP,dN);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdPePdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdPePdC->joinWithOR(SiePdP,SiePdC);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdPePdCePdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdPePdCePdN->joinWithOR(SiePdPePdC,SiePdN);

FuzzyRuleConsequent* r6 = new FuzzyRuleConsequent();
r6->addOutput(AuVelRapido);

FuzzyRule* regla6 = new FuzzyRule(6, SiePdPePdCePdN,r6);
fuzzy->addFuzzyRule(regla6);

// regla 7
FuzzyRuleAntecedent* SiePPdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdP->joinWithAND(ePP,dP);

FuzzyRuleAntecedent* SiePPdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdC->joinWithAND(ePP,dC);

FuzzyRuleAntecedent* SiePPdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdN->joinWithAND(ePP,dN);

FuzzyRuleAntecedent* SieCdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SieCdN->joinWithAND(eC,dN);

FuzzyRuleAntecedent* SiePPdPePPdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdPePPdC->joinWithOR(SiePPdP,SiePPdC);

FuzzyRuleAntecedent* SiePPdNeCdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdNeCdN->joinWithOR(SiePPdN,SieCdN);

FuzzyRuleAntecedent* SiePPdPePPdCePPdNeCdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdPePPdCePPdNeCdN->joinWithOR(SiePPdPePPdC,SiePPdNeCdN);

FuzzyRuleConsequent* r7 = new FuzzyRuleConsequent();
r7->addOutput(AuVelLento);

FuzzyRule* regla7 = new FuzzyRule(7, SiePPdPePPdCePPdNeCdN,r7);
fuzzy->addFuzzyRule(regla7);

```

```

// regla 8
FuzzyRuleAntecedent* SieCdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SieCdC->joinWithAND(eC,dC);

FuzzyRuleConsequent* r8 = new FuzzyRuleConsequent();
r8->addOutput(Quieto);

FuzzyRule* regla8 = new FuzzyRule(8, SieCdC,r8);
fuzzy->addFuzzyRule(regla8);

// regla 9
FuzzyRuleAntecedent* SieNPdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdP->joinWithAND(eNP,dP);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdC->joinWithAND(eNP,dC);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdN->joinWithAND(eNP,dN);

FuzzyRuleAntecedent* SieCdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SieCdP->joinWithAND(eC,dP);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdPeNPdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdPeNPdC->joinWithOR(SieNPdC,SieNPdC);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdNeCdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdNeCdP->joinWithOR(SieNPdN,SieCdP);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdPeNPdCeNPdNeCdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdPeNPdCeNPdNeCdP->joinWithOR(SieNPdPeNPdC,SieNPdNeCdP);

FuzzyRuleConsequent* r9 = new FuzzyRuleConsequent();
r9->addOutput(RedVelLento);

FuzzyRule* regla9 = new FuzzyRule(9, SieNPdPeNPdCeNPdNeCdP,r9);
fuzzy->addFuzzyRule(regla9);

// regla 10
FuzzyRuleAntecedent* SieNdP = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdP->joinWithAND(eN,dP);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdC->joinWithAND(eN,dC);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* SieNdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdN->joinWithAND(eN,dN);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdPeNdC = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdPeNdC->joinWithOR(SieNdP,SieNdC);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdPeNdCeNdN = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdPeNdCeNdN->joinWithOR(SieNdPeNdC,SieNdN);

FuzzyRuleConsequent* r10 = new FuzzyRuleConsequent();
r10->addOutput(RedVelRapido);

FuzzyRule* regla10 = new FuzzyRule(10, SieNdPeNdCeNdN,r10);
fuzzy->addFuzzyRule(regla10);

// regla 11
FuzzyRuleAntecedent* SiePdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdP1->joinWithAND(eP1,dP1);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdC1->joinWithAND(eP1,dC1);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdN1->joinWithAND(eP1,dN1);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdPePdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdPePdC1->joinWithOR(SiePdP1,SiePdC1);

FuzzyRuleAntecedent* SiePdPePdCePdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePdPePdCePdN1->joinWithOR(SiePdPePdC1,SiePdN1);

FuzzyRuleConsequent* r11 = new FuzzyRuleConsequent();
r11->addOutput(AuVelRapido1);

FuzzyRule* regla11 = new FuzzyRule(11, SiePdPePdCePdN1,r11);
fuzzy->addFuzzyRule(regla11);

// regla 12
FuzzyRuleAntecedent* SiePPdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdP1->joinWithAND(ePP1,dP1);

FuzzyRuleAntecedent* SiePPdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdC1->joinWithAND(ePP1,dC1);

```

```
FuzzyRuleAntecedent* SiePPdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdN1->joinWithAND(ePP1,dN1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SieCdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieCdN1->joinWithAND(eC1,dN1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SiePPdPePPdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdPePPdC1->joinWithOR(SiePPdP1,SiePPdC1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SiePPdNeCdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdNeCdN1->joinWithOR(SiePPdN1,SieCdN1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SiePPdPePPdCePPdNeCdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SiePPdPePPdCePPdNeCdN1->joinWithOR(SiePPdPePPdC1,SiePPdNeCdN1);
```

```
FuzzyRuleConsequent* r12 = new FuzzyRuleConsequent();
r12->addOutput(AuVelLento1);
```

```
FuzzyRule* regla12 = new FuzzyRule(12, SiePPdPePPdCePPdNeCdN1,r12);
fuzzy->addFuzzyRule(regla12);
```

```
// regla 13
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SieCdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieCdC1->joinWithAND(eC1,dC1);
```

```
FuzzyRuleConsequent* r13 = new FuzzyRuleConsequent();
r13->addOutput(Quieto1);
```

```
FuzzyRule* regla13 = new FuzzyRule(13, SieCdC1,r13);
fuzzy->addFuzzyRule(regla13);
```

```
// regla 14
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SieNPdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdP1->joinWithAND(eNP1,dP1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SieNPdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdC1->joinWithAND(eNP1,dC1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SieNPdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdN1->joinWithAND(eNP1,dN1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent* SieCdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieCdP1->joinWithAND(eC1,dP1);
```

```

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdPeNPdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdPeNPdC1->joinWithOR(SieNPdC1,SieNPdC1);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdNeCdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdNeCdP1->joinWithOR(SieNPdN1,SieCdP1);

FuzzyRuleAntecedent* SieNPdPeNPdCeNPdNeCdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNPdPeNPdCeNPdNeCdP1->joinWithOR(SieNPdPeNPdC1,SieNPdNeCdP1);

FuzzyRuleConsequent* r14 = new FuzzyRuleConsequent();
r14->addOutput(RedVelLento1);

FuzzyRule* regla14 = new FuzzyRule(14, SieNPdPeNPdCeNPdNeCdP1,r14);
fuzzy->addFuzzyRule(regla14);

// regla 15
FuzzyRuleAntecedent* SieNdP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdP1->joinWithAND(eN1,dP1);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdC1->joinWithAND(eN1,dC1);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdN1->joinWithAND(eN1,dN1);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdPeNdC1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdPeNdC1->joinWithOR(SieNdP1,SieNdC1);

FuzzyRuleAntecedent* SieNdPeNdCeNdN1 = new FuzzyRuleAntecedent();
SieNdPeNdCeNdN1->joinWithOR(SieNdPeNdC1,SieNdN1);

FuzzyRuleConsequent* r15 = new FuzzyRuleConsequent();
r15->addOutput(RedVelRapido1);

FuzzyRule* regla15 = new FuzzyRule(15, SieNdPeNdCeNdN1,r15);
fuzzy->addFuzzyRule(regla15);

}

void loop(){

    if(Serial.available() > 0){
//Serial.readBytes(o,2);

```

```

    pwm=Serial.read()/10;

    refx=o[1];

    fuzzy->fuzzify();

    fuzzy->setInput(1,pwm);
    ejex=fuzzy->defuzzify(1);
    dirx.write(ejex+90);

}

    mot1=analogRead(A5);
    mot2=analogRead(A4);
    if(mot1>800){
        salida=HIGH;
    }
    else{
        salida=LOW;
    }
    if(mot2>800){
        salida1=HIGH;
    }
    else{
        salida1=LOW;
    }

    tiempom1=pulseIn(salida,HIGH,2000);
    tiempom2=pulseIn(salida,HIGH,2000);

    if(salida==HIGH){
        datos=datos++;
    }
    else{
        datos=0;
    }

    if(salida==HIGH){
        datos1=datos1++;
    }

```

```

}
else{
  datos1=0;
}

velm1=1000000/(tiempom1*datos);
velm2=1000000/(tiempom2*datos);
refm1=o[2];
refm2=o[2];
err=refm1-velm1;
err1=refm2-velm2;

derr=err-delerr;
derr1=err1-delerr1;

delerr=err;
delerr1=err1;

fuzzy->setInput(2,err);
fuzzy->setInput(3,err1);
fuzzy->setInput(4,derr);
fuzzy->setInput(5,derr1);

fuzzy->fuzzify();

ejey=fuzzy->defuzzify(2);

analogWrite(3,ejex);

ejey1=fuzzy->defuzzify(3);
analogWrite(5,ejey);
}

```

**PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO
DE LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.**

NOMBRES Y APELLIDOS: María Fernanda Castro Sabogal

FACULTAD: Ciencia y

Tecnología

CARRERA: Licenciatura en Matemáticas

SEMESTRE: 10

¿PERTENECE AL EQUIPO REPRESENTATIVO DE TENNIS DE MESA DE LA UPN?: SI__

NO X

¿HACE CUANTO PERTENECE AL EQUIPO?: _____

DE ACUERDO AL SIGUIENTE RANGO DE CALIFICACIÓN (1-5) RESPONDA LAS PREGUNTAS.

1. MUY MALA.
2. MALA.
3. REGULAR.
4. BUENA.
5. EXCELENTE.

- g) La velocidad con la cual se dispara el pimpón es: 4
- h) La frecuencia de lanzamiento de pimpones es: 4
- i) Considera que el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es: 4
- j) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tenis de mesa es: 5
- k) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo es: 4
- l) Como considera la propuesta planteada como proyecto innovador:4

**PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO
DE LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.**

NOMBRES Y APELLIDOS: Nathaly Pinzón

FACULTAD: Ciencia y Tecnología

CARRERA: Lic. Diseño Tecnológico

SEMESTRE: X

¿PERTENECE AL EQUIPO REPRESENTATIVO DE TENNIS DE MESA DE LA UPN?: SI X
NO

¿HACE CUANTO PERTENECE AL EQUIPO?: 3 años

DE ACUERDO AL SIGUIENTE RANGO DE CALIFICACIÓN (1-5) RESPONDA LAS PREGUNTAS.

1. MUY MALA.
2. MALA.
3. REGULAR.
4. BUENA.
5. EXCELENTE.

- a) La velocidad con la cual se dispara el pimpón es: 4
- b) La frecuencia de lanzamiento de pimpones es: 4
- c) Considera que el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es: 5
- d) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tenis de mesa es: 5
- e) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo es: 4
- f) Como considera la propuesta planteada como proyecto innovador: 5

**PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO
DE LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.**

NOMBRES Y APELLIDOS: JULIAN DAVID CASTELLANOS RUBIO

FACULTAD: CIENCIA Y TECNOLOGIA

CARRERA: LIC. DISEÑO TECNOLÓGICO

SEMESTRE: 8 (OCTAVO)

¿PERTENECE AL EQUIPO REPRESENTATIVO DE TENNIS DE MESA DE LA UPN?: SI X
NO __

¿HACE CUANTO PERTENECE AL EQUIPO?: desde el 2011 hasta la fecha.

DE ACUERDO AL SIGUIENTE RANGO DE CALIFICACIÓN (1-5) RESPONDA LAS PREGUNTAS.

1. MUY MALA.
2. MALA.
3. REGULAR.
4. BUENA.
5. EXCELENTE.

- a) La velocidad con la cual se dispara el pimpón es: 4
- b) La frecuencia de lanzamiento de pimpones es: 4
- c) Considera que el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es: 5
- d) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tenis de mesa es: 5
- e) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo es: 5
- f) Como considera la propuesta planteada como proyecto innovador: 4

**PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO
DE LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.**

NOMBRES Y APELLIDOS: Daniel Ortiz Londoño

FACULTAD: Humanidades

CARRERA: Licenciatura en filosofía

SEMESTRE: Sexto

¿PERTENECE AL EQUIPO REPRESENTATIVO DE TENNIS DE MESA DE LA UPN?: SI X
NO

¿HACE CUANTO PERTENECE AL EQUIPO?: Ocho meses

DE ACUERDO AL SIGUIENTE RANGO DE CALIFICACIÓN (1-5) RESPONDA LAS PREGUNTAS.

1. MUY MALA.
2. MALA.
3. REGULAR.
4. BUENA.
5. EXCELENTE.

- a) La velocidad con la cual se dispara el pimpón es: 4
- b) La frecuencia de lanzamiento de pimpones es: 5
- c) Considera que el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es: 4
- d) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tenis de mesa es: 4
- e) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo es: 5
- f) Como considera la propuesta planteada como proyecto innovador: 4

**PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO
DE LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.**

NOMBRES Y APELLIDOS: *Deisy Johana Naranjo González*

FACULTAD: *Facultad de Ciencia y Tecnología*

CARRERA: *Licenciatura en Matemáticas*

SEMESTRE: *Décimo*

¿PERTENECE AL EQUIPO REPRESENTATIVO DE TENNIS DE MESA DE LA UPN?: *SI*

¿HACE CUANTO PERTENECE AL EQUIPO?: *Tres años y medio*

DE ACUERDO AL SIGUIENTE RANGO DE CALIFICACIÓN (1-5) RESPONDA LAS PREGUNTAS.

1. MUY MALA.
2. MALA.
3. REGULAR.
4. BUENA.
5. EXCELENTE.

- a) La velocidad con la cual se dispara el pimpón es: *4*
- b) La frecuencia de lanzamiento de pimpones es: *4*
- c) Considera que el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es: *4*
- d) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tennis de mesa es: *5*
- e) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo es: *5*
- f) Como considera la propuesta planteada como proyecto innovador: *5*

**PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ROBOT CON VISIÓN DE MÁQUINA Y
CONTROLADORES BASADOS EN LÓGICA DIFUSA PARA EL ENTRENAMIENTO
DE LA SELECCIÓN REPRESENTATIVA DE TENIS DE MESA DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA NACIONAL.**

NOMBRES Y APELLIDOS: *Sergio Ricardo García Perilla*

FACULTAD: *Facultad de Ciencia y Tecnología*

CARRERA: *Licenciatura en Matemáticas*

SEMESTRE: *Décimo*

¿PERTENECE AL EQUIPO REPRESENTATIVO DE TENNIS DE MESA DE LA UPN?: *SI*

¿HACE CUANTO PERTENECE AL EQUIPO?: *Cinco años*

DE ACUERDO AL SIGUIENTE RANGO DE CALIFICACIÓN (1-5) RESPONDA LAS PREGUNTAS.

1. MUY MALA.
2. MALA.
3. REGULAR.
4. BUENA.
5. EXCELENTE.

- a) La velocidad con la cual se dispara el pimpón es: *3*
- b) La frecuencia de lanzamiento de pimpones es: *4*
- c) Considera que el desplazamiento generado por el prototipo al lanzar los pimpones es: *4*
- d) La contribución que realiza el prototipo con respecto al entrenamiento de tenis de mesa es: *4*
- e) La respuesta frente a la problemática generada por el espacio dispuesto en la Universidad Pedagógica Nacional mediante este prototipo es: *4*
- f) Como considera la propuesta planteada como proyecto innovador: *5*