

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DISPARADOR O “KICKER” DE UN ROBOT FUTBOLERO



María Paula Quintero Ospina

**Pontificia Universidad Javeriana
Facultad De Ingeniería
Ingeniería Electrónica
Bogotá D.C
2013**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DISPARADOR O
“KICKER” DE UN ROBOT FUTBOLERO**



María Paula Quintero Ospina

Director: Ing. Andrés Alberto Ladino, M. Sc

**Pontificia Universidad Javeriana
Facultad De Ingeniería
Ingeniería Electrónica
Bogotá D.C
2013**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRONICA



RECTOR MAGNIFICO: P. Joaquín Emilio Sánchez García, S.J

DECANO ACADÉMICO: Ing. Jorge Luis Sánchez, M Sc

DECANO DEL MEDIO UNIVERSITARIO: P. Sergio Bernal Restrepo, S.J.

DIRECTOR DE CARRERA: Ing. Jairo Alberto Hurtado Londoño PhD.

DIRECTOR DEL PROYECTO: Ing. Andrés Alberto Ladino, M. Sc.

Contenido

1. Introducción	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
2. Marco Conceptual	10
2.1 RoboCup	10
2.2 Mecanismos de disparo	12
2.2.1 Barra rotatoria (Motor)	13
2.2.2 Ballesta (Resorte)	13
2.2.3 Neumático (CO ₂)	14
2.2.4 Servos (Péndulo)	14
2.2.5 Solenoide (Auto inductancia)	15
3. Especificaciones.....	17
3.1 Sistema mecánico.....	19
3.2 Sistema de protección.....	20
3.2.1 Regulador de voltaje.....	20
3.2.2 Circuito de protección y sensado	21
3.3 Micro controlador del sistema de disparo	22
3.3 Micro controlador principal	23
4. Desarrollos	23
4.1 Conexión del sistema de disparo	23
4.2 Diseño del sistema mecánico	24
4.3 Diseño del sistema electrónico	24
4.2.3 Etapa de potencia.....	25
4.2.2 Elevador de voltaje.....	26
4.2.1 Puente H.....	27
4.3 Cálculo del transformador elevador de voltaje.....	28
5. Análisis de resultados.....	32
5.1 Transformador elevador de voltaje.....	32
5.2 Mecanismo de disparo	33
5.2.1 Prueba de disparo	33
5.2.2 Prueba de disparo con el mecanismo	34
5.2.3 Prueba de puntería.....	35

6. Conectividad	37
6.1 Framework freeRTOS	37
6.2 Plataforma de conexión	37
7. Conclusiones.....	37
8. Bibliografía.....	38

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 IMAGEN DE LA CANCHA Y SUS CARACTERÍSTICAS PARA LA CATEGORÍA F180 [5]	11
FIGURA 2 UBICACIÓN DEL DETECTOR DE BOLA [6]	12
FIGURA 3 IMAGEN DEL MECANISMO CON BARRA ROTATORIA [6]	13
FIGURA 4 IMAGEN DEL CIRCUITO CON BALLESTA [6]	14
FIGURA 5 IMAGEN DEL MECANISMO CON NEUMÁTICO [6].....	14
FIGURA 6 IMAGEN DEL MECANISMO CON SERVOS [6]	15
FIGURA 7 DIAGRAMA DE LA INDUCTANCIA UTILIZADO POR EL EQUIPO MINHO [3].....	15
FIGURA 8 IMAGEN DEL CIRCUITO CON SOLENOIDE [6]	16
FIGURA 9 FIGURA DE LAS LÍNEAS DE CAMPO EN UNA INDUCTANCIA [15]	17
FIGURA 10 GRÁFICA DE RENDIMIENTO DE DESCARGA TÍPICO DE UNA BATERÍA AA [16]	17
FIGURA 11 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA DE DISPARO	18
FIGURA 12 PLANO MECÁNICO DEL SISTEMA MECÁNICO DE DISPARO	19
FIGURA 13 PRINCIPIO DEL SOLENOIDE [1].....	19
FIGURA 14 ESQUEMÁTICO DEL REGULADOR DE VOLTAJE [9].....	20
FIGURA 15 REEMPLAZO DEL REGULADOR DE VOLTAJE POR LA RESISTENCIA	20
FIGURA 16 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA INTERCONEXIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR D VOLTAJE	21
FIGURA 17 BLOQUE DE PROTECCIÓN Y SENSADO	21
FIGURA 18 ESQUEMÁTICO SENSADO Y PROTECCIÓN DE CORRIENTE [9]	22
FIGURA 19 BLOQUE DEL MICRO CONTROLADOR DEL CIRCUITO DE DISPARO [9].....	22
FIGURA 20 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO DE DISPARO	24
FIGURA 21 DIAGRAMA DE BLOQUES ESPECIFICO DEL MECANISMO ELECTRÓNICO DE DISPARO	24
FIGURA 22 ESQUEMÁTICO SISTEMA ELECTRÓNICO DE DISPARO [9].....	25
FIGURA 23 GRÁFICA DEL PULSO PARA LA DESCARGA DE LOS CONDENSADORES C10 Y C11	26
FIGURA 24 SIMULACIÓN DE LA DESCARGA DE LOS CONDENSADORES C10 Y C11	26
FIGURA 25 SIMULACIÓN DEL PWM CON UN CICLO ÚTIL DEL 50%	27
FIGURA 26 FIGURA DEL NÚCLEO EN E DEL MATERIAL 77 [21]	30
FIGURA 27 FOTOGRAFÍA DEL TRANSFORMADOR ELEVADOR DE VOLTAJE.....	31
FIGURA 28 CIRCUITO PARA VERIFICAR LA POLARIDAD DEL TRANSFORMADOR	32
FIGURA 29 VERIFICACIÓN DE LA POLARIZACIÓN DEL TRANSFORMADOR	32
FIGURA 30 FOTOGRAFÍA DEL ROBOT FUTBOLERO CON EL MECANISMO DE DISPARO	33
FIGURA 31 RESULTADOS DE PRUEBA DE DISPARO	34
FIGURA 32 RESULTADOS PRUEBAS DISPARO CON MECANISMO	34
FIGURA 33 ESQUEMA DE LA PLATAFORMA CREADA PARA LA PRUEBA DE PUNTERÍA	35
FIGURA 34 PLATAFORMA PARA REALIZAR LA PRUEBA DE PUNTERÍA	35
FIGURA 35 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PUNTERÍA	36
FIGURA 36 POSICIÓN DE LOS DISPAROS DE LA PRUEBA DE PUNTERÍA.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 TABLA COMPARATIVA DE LOS MECANISMOS DE DISPARO	16
TABLA 2 E-CORE PHYSICAL DIMENSIONS (INCHES) [21]	30
TABLA 3 E-CORE PROPIEDADES MAGNÉTICAS [21]	30
TABLA 4 WIRE SIZE VS. NUMBER OF TURNS [21]	30
TABLA 5 TABLA AWG PARA ESCOGER EL CALIBRE [22].....	31
TABLA 6 RESULTADOS PRUEBA DE PUNTERÍA	37

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Camilo Otálora, por brindarme la información necesaria producto de su autoría para la implementación de este trabajo de grado, por su presencia incondicional, sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias, por su constante y paciente seguimiento y asistencia compartiendo su tiempo de manera generosa durante el desarrollo del presente.

Al Ingeniero Andrés Ladino, por su apoyo incondicional, guía y sugerencias para la realización de este trabajo de grado.

1. Introducción

Un robot futbolero es una plataforma autónoma diseñada para competir en equipo contra otro equipo. Estos robots se mueven en un ambiente dinámico, donde los equipos están siempre en movimiento y reaccionando con el desarrollo del juego por lo que se deben implementar características como: inteligencia artificial, colaboración multi-agente, estrategia y procesamiento en tiempo real, percepción del entorno a través de sensores, etc. [1].

El interés que se tiene en competencias como RoboCup¹, donde se definen pautas para la construcción de los robots que compiten, es que estos sean autónomos, capaces de emular las acciones humanas como caminar, patear y sujetar objetos. Una de las metas de RoboCup es, para el año 2050, tener una liga de robots humanoides autónomos que se enfrente al ganador del mundial de fútbol de la FIFA y pueda vencer a humanos reales [2].

Desde el 2011 se tomó la iniciativa de formar un equipo de fútbol llamado Bochica, el cual está conformado por la Universidad Javeriana, Universidad de los Andes y la Universidad del Norte. El objetivo de este grupo es realizar la primera versión de la liga de robots futboleros de tamaño pequeño en la categoría F180 en estas Universidades. La categoría F180, también conocida como *small size*, consiste en la participación de 2 equipos cada uno con cinco robots, cada uno de los cuales debe tener 180 [mm] de diámetro y máximo 15 [cm] de alto [7].

En la categoría F180 los robots tienen una arquitectura que consiste en unos actuadores y sensores internos y externos. Los actuadores son cuatro motores en una configuración omnidireccional y un motor para controlar la pelota por medio de una barra central, así como un mecanismo de disparo de pelota con un sensor de detección de bola [8].

Actualmente hay 21 ligas de fútbol activas en países como Turquía, Estados Unidos, Alemania, Japón y Colombia, entre otros. En el caso de RoboCup, se realiza un torneo anual, donde primero clasifican las mejores ligas y los ganadores compiten entre ellas [5].

El objetivo general de este trabajo se centra en el desarrollo y construcción del sistema de disparo “kicker” para el robot futbolero del equipo Bochica.

El documento se presenta empezando con un resumen sobre los diferentes trabajos relacionados con el robot futbolero del equipo Bochica, luego se hace referencia a los diferentes mecanismos de disparo que han realizado los diferentes equipos que participan a la competencia RoboCup y termina con una explicación detallada del diseño e implementación del mecanismo de disparo, dicha explicación está definida por fases, la primera fase se explica la interconexión de los diferentes sistemas utilizados en este diseño y se describe el funcionamiento de los diferentes circuitos asociados para lograr el correcto funcionamiento del mecanismo, la segunda fase explica detalladamente los 3 bloques en los cuales se dividió el sistema electrónico de disparo: Puente H, elevador de voltaje y Etapa de potencia y se finaliza con la descripción detallada de la implementación del mecanismo.

1.1 Antecedentes

Las tres universidades colombianas han estado trabajando para participar en estas competencias, pero una de las problemáticas actuales de los robots del equipo Bochica es el mal funcionamiento

¹ RoboCup es un proyecto internacional fundado en 1997 para promover, a través de competencias integradas por robots autónomos, la investigación y educación sobre inteligencia artificial [31].

del mecanismo de disparo. Este no les permitía realizar un lanzamiento de la bola exitoso, parte importante para el funcionamiento de la plataforma.

Se han realizado trabajos en áreas como diseño de software, navegación, simulación de formaciones, y se han realizado esfuerzos relacionados al mecanismo de disparo.

Anteriormente el estudiante Juan Sebastián Rojas Sandoval de Ingeniería de Mecánica de la Universidad de los Andes, en su trabajo de grado “Diseño y construcción de los dispositivos de “dribbling” y “shooting” para un robot futbolista” del 2010, realizó un intento de construcción no exitoso del mecanismo de disparo, pues solo tenía capacidad de disparar la bola una única vez durante todo el partido. Así mismo cuando la bola era pateada por el circuito, la inductancia asociada al mecanismo de disparo producía una corriente inversa al regresar a su posición inicial. Al no estar protegido el circuito, esta corriente producía una sobretensión y un daño interno en los componentes del mecanismo, dejando el robot inutilizable.

Posteriormente, en el año 2011, el Ingeniero Camilo Otálora de la Pontificia Universidad Javeriana realizó un diseño del circuito de disparo, pero este nunca fue debidamente probado y caracterizado.

1. 2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un circuito disparador o “circuito de disparo” que se adapte a un robot futbolero con los que cuenta el departamento de ingeniería de sistemas de la Universidad Javeriana.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un circuito disparador que se adapte al robot futbolero que se tiene en la Universidad Javeriana
- Implementar el circuito disparador diseñado anteriormente y verificar su buen funcionamiento bajo condiciones reales en el robot futbolero.
- Implementar un algoritmo en el framework freeRTOS para comunicar el circuito disparador con el micro controlador general que coordina los movimientos del robot, incluyendo el de disparar el balón.
- Generar la documentación con la información del circuito disparador y su algoritmo de control, para así poder replicarlo en los otros robots.

2. Marco Conceptual

2.1 RoboCup

RoboCup Soccer es la competencia de un juego de futbol o soccer para robots donde se utilizan 5 multi-robots cooperativos y sistemas multi-agentes en dinámica del ambiente adversario. Todos los robots que participan en esta competencia deben ser completamente autónomos y deben tener un mecanismo de disparo que se active de forma controlada.

RoboCup Soccer cuenta con 5 categorías:

- Soccer Standard Platform League: cuenta con robots idénticos, por lo tanto está centrada en el desarrollo de software únicamente [19].

- Soccer Simulation League: es la categoría más Antigua de RoboCup Soccer y está centrada en la inteligencia artificial y la estrategia de equipo. El campo de juego es virtual dentro de un computador. En esta categoría hay 2 sub-categorías: 2D y 3D [23].
- Soccer Middle Size League: los robots de esta categoría son de tamaño mediano, no más grandes de 50 [cm] de diámetro y juegan el partido de futbol con una pelota FIFA de tamaño regular [24].
- Soccer Humanoid League: en esta categoría los robots tienen un movimiento corporal y sentido de jugar futbol parecido a los humanos. Deben tener la capacidad de caminar, correr y patear la pelota manteniendo el equilibrio. Esta categoría tiene 3 sub-categorías: Tamaño niño, tamaño adolescente y tamaño adulto [25].
- Soccer Small Size League o F180: La categoría small Size es una de las más antiguas ligas de futbol de RoboCup. Se centra en el problema de la cooperación multi-agente inteligente y de control en un entorno altamente dinámico con un sistema centralizado hibrido o distribuido [30].

Estas categorías se diferencian en los tamaños de los robots, el tiempo de juego en la cancha, el tamaño de la pelota y en ciertos casos el tipo de tecnología utilizada para el manejo de los robots.

En la categoría F180 el partido dura dos tiempos iguales de 10 minutos, con intermedio de 5 minutos, y la cancha de juego es rectangular, con 6050 [mm] de longitud y 4050 [mm] de ancho. La superficie es verde de lana o tapete, y por debajo de esta superficie debe haber un piso duro y plano. Para demarcar la superficie se utilizan líneas de color blanco con un grosor de 10 [mm]. La superficie continúa 675 [mm] después de la línea demarcada del campo en todos los lados. Esta área se utiliza para que el árbitro camine. En la línea que delimita la cancha hay un muro de 100 [mm] para evitar que la pelota y los robots se salgan.

El campo esta dividido por una línea en la mitad, donde el centro está marcado por un círculo de 1000 [mm] de diámetro. El área de defensa de cada equipo es un cuarto de círculo de 800 mm de radio conectado con la línea de gol. El área de penalti se toma 750 [mm] dentro del área de defensa. El área de gol está ubicada en el centro del cuarto de círculo y consta de unas paredes de 20 [mm] de grosor, con una distancia entre ellas de 700 [mm] y una profundidad de 180 [mm] [5].

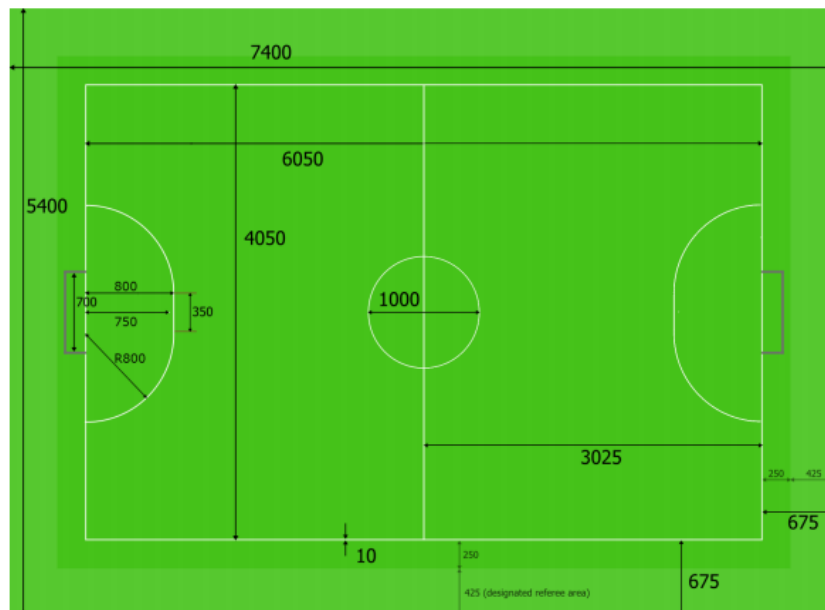


Figura 1 Imagen de la cancha y sus características para la categoría F180 [5]

La bola es una bola golf estándar de color naranja, de forma esférica, con un peso de aproximadamente 46 [g] y un diámetro aproximadamente 43 [mm] [5].

El mecanismo de disparo diseñado por cada equipo debe tener la potencia suficiente para que el disparo tenga largo alcance, por lo menos del tamaño total del campo de juego, es decir, 6050 [mm] (ver figura 1). Debe tener un detector de bola como se ve en la figura 2, el cual se encarga de enviar la información al micro controlador central para habilitar el circuito de disparo únicamente cuando el robot tenga la bola en el lugar adecuado para efectuar el disparo.

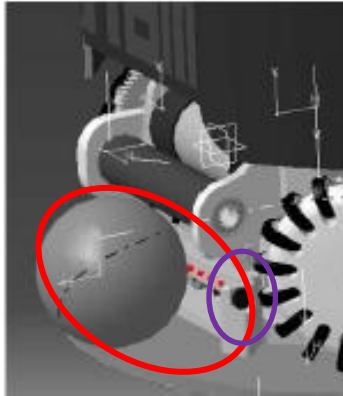


Figura 2 Ubicación del detector de bola [6]

Cada uno de estos robots es controlado por un micro-procesador, el cual controla los dispositivos mecánicos, los motores, el mecanismo de disparo, el mecanismo de dribbling y el detector de bola.

El subsistema de comunicación inalámbrica también es procesado por este micro procesador. La selección de este micro procesador depende de la arquitectura de diseño de los robots. Típicamente la categoría F180 tiene dos clasificaciones: La inteligencia centralizada y la inteligencia distribuida [3].

La inteligencia centralizada es la más común en los equipos de la competencia. En esta arquitectura, los datos obtenidos de la visión son procesados por un computador centralizado. Este computador extrae la posición del robot y la bola, y de estos datos aplica una estrategia de juego [3].

La inteligencia distribuida necesita de un micro procesador más avanzado y con mucha más potencia de procesamiento, porque las estrategias de control del juego son procesadas en cada robot. Los datos obtenidos de la visión son procesados por un ordenador externo y las posiciones del robot y la bola son extraídas, para ser enviadas a cada uno de los robots [3].

Para obtener las posiciones de los jugadores y de la bola se utilizan dos cámaras de video colocadas a 4 [m] de altura del campo de juego. Se utilizan patrones codificados de colores en la parte superior de los robots para su reconocimiento, y un computador para realizar el procesamiento de video [8].

2.2 Mecanismos de disparo

Los mecanismos de disparo que se requieren para esta competencia deben cumplir una serie de necesidades de diseño tales como: la velocidad de disparo, la precisión, la variación de velocidad, tiempo de retroceso y repetitividad.

Esta clase de mecanismos están constituidos por dos partes: el sistema mecánico y el circuito electrónico.

2.2.1 Barra rotatoria (Motor)

Este tipo de mecanismo fue utilizado por el equipo FU fighters de la Universidad de Berlín, en su robot del 2003 [3].

Este diseño consta de una barra de aluminio que gira golpeando la pelota debajo del sujetador (mecanismo que mantiene girando la bola o mecanismo de dribbling) del robot. El mecanismo de disparo es accionado por un motor de corriente continua DC y es capaz de alcanzar altas velocidades.

Su principal desventaja es que el mecanismo de disparo primero debe acelerar a una velocidad suficiente para que pueda golpear la pelota, y que tiene un control limitado de la precisión de los disparos o pases [3]. Otra de las desventajas es que es muy peligroso, especialmente para los árbitros, ya que ellos pueden ser heridos por las piezas giratorias cuando se detecta un fallo cometido y la bola tiene que ser sacada del juego [4].

En la figura 3, se observa el mecanismo de disparo. En aumento se muestra cómo está constituida la barra rotatoria.



Figura 3 Imagen del mecanismo con barra rotatoria [6]

2.2.2 Ballesta (Resorte)

Este diseño ha sido utilizado por el equipo de la Universidad de Queensland en Australia. La superficie del mecanismo de disparo se monta sobre un conjunto de resortes o algún otro material elástico. En su condición inicial (antes del disparo), el mecanismo de disparo está bloqueando el cabezal y mantiene comprimido el resorte. En una transferencia de energía de colisión elástica óptima con masas iguales, la masa del elemento de contacto es casi igual a la masa del balón (señalada por la flecha verde en la figura 4). El motor comienza a girar y se detiene cuando el émbolo esté en un punto cercano a su carrera máxima. Para disparar, el motor continúa moviéndose y presiona la liberación de la placa contra un obstáculo, abriendo el mecanismo de disparo e impulsándolo con el resorte.

Con este diseño los Robots son capaces de generar lanzamientos a velocidades variables. Es capaz de producir disparos a alta velocidad (aproximadamente 5 [m/s]) y a baja velocidad, de aproximadamente de 2 [m/s].

Este sistema es muy potente, ya que mucha energía potencial puede ser almacenada y luego puede ser convertida en energía cinética [4]. Las principales desventajas son: la necesidad mucho espacio disponible en el robot para poderlo implementar, el peso, la dificultad para controlar la potencia del disparo y un tiempo alto de disponibilidad (tarda alrededor de 6 [s] en recargar) [4].

La figura 4, muestra el mecanismo de disparo realizado con ballesta.



Figura 4 Imagen del circuito con Ballesta [6]

2.2.3 Neumático (CO₂)

Este mecanismo consiste en un tanque que se coloca en el robot y es relleno con gas a presión. En la parte delantera hay uno o más cilindros neumáticos conectados al tanque de gas a través de unos tubos. En estos tubos hay válvulas tipo solenoides, que pueden ser controladas para funcionar como un interruptor, y en este caso permiten controlar el flujo de aire y la potencia de tiro. La fuerza del disparo depende de la presión del tanque, y el número de disparos depende de su tamaño. En este mecanismo no se puede variar la potencia de disparo. Tiene buen tiempo de respuesta entre disparos pero este depende de la disponibilidad de gas en el tanque. En la práctica se han logrado 15 lanzamientos a 247 [N] con un tanque de 3,6 [l], pero se requiere de un tanque muy pesado [4]. En resumen, las principales desventajas de este mecanismo son que se tiene un número limitado de disparos y que el tanque de gas agrega peso adicional al robot.

La figura 5, muestra el mecanismo de disparo implementado con neumático.

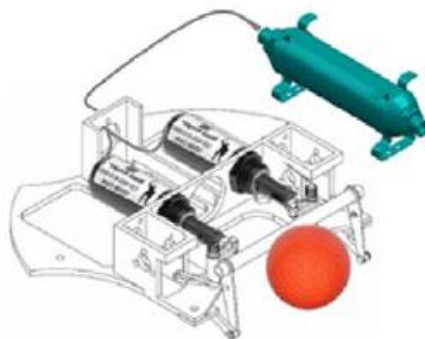


Figura 5 Imagen del mecanismo con Neumático [6]

2.2.4 Servos (Péndulo)

Este mecanismo de disparo consta de un péndulo que impulsa la pelota en la dirección deseada. La figura 6, muestra el mecanismo de péndulo, donde la figura detallada describe el movimiento del péndulo y como esta ensamblado. Las ventajas más importantes de este mecanismo son: la posibilidad de efectuar disparos a diferentes velocidades, multidireccionalidad del disparo y una mayor precisión que otros mecanismos. Las principales desventajas de este mecanismo son el peso adicional que aporta al robot y el requerimiento de espacio.

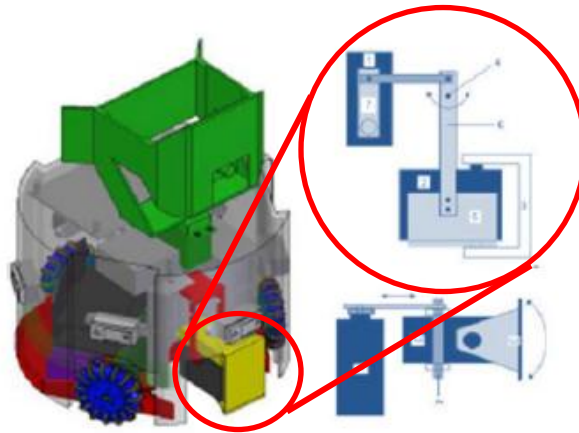


Figura 6 Imagen del mecanismo con Servos [6]

2.2.5 Solenoide (Auto inductancia)

Este es el mecanismo más usado en las competencias. Consta de un solenoide de alta potencia que impulsa un émbolo atado a una placa de aluminio a diferentes velocidades [5]. El disparo se hace mediante el envío de una corriente a través de un embobinado que fuerza el movimiento del émbolo atado a la placa de aluminio.

En la figura 7, se puede ver el diagrama de la inductancia utilizado por el equipo Minho.

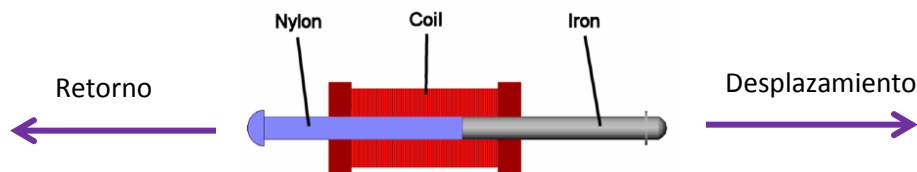


Figura 7 Diagrama de la inductancia utilizado por el equipo Minho [3]

Este diseño aprovecha la propiedad de un solenoide que atrae un núcleo ferro magnético hacia el centro de la bobina. La pieza de nylon que está unida a la barra de hierro se dispara hacia el exterior y golpea la pelota. En la práctica se ha logrado obtener lanzamientos a 10 [m/s] con alrededor de 800 vueltas y una corriente de 60 [A].

La poca cantidad de piezas móviles y su sencillez hacen de este diseño una opción muy fiable. Las piezas necesarias para el mecanismo son: un transformador, algunas resistencias, un interruptor y se utiliza un condensador para el suministro de alta tensión y corriente por la gran cantidad de energía almacenada en un corto tiempo [3].

La desventaja de la utilización de un solenoide es que opera a una alta tensión y una alta corriente, por lo que puede ser muy peligroso para las personas que lo manipulen.

Este mecanismo de disparo no ocupa gran espacio, ni agrega peso adicional en el robot. Permite variar la velocidad de disparo al manipular la corriente que pasa por la bobina y tiene una buena precisión en comparación con otros mecanismos.

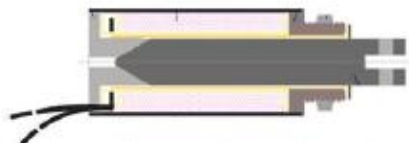
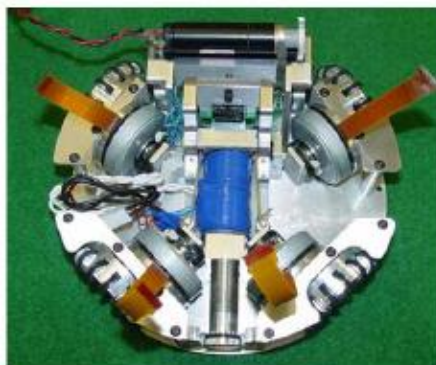


Figura 8 Imagen del circuito con solenoide [6]

A continuación se hace una comparación de las características de los mecanismos estudiados anteriormente, donde el signo positivo (+) indica que cuenta o que tiene ventaja en esa característica y el negativo (-), que carece o tiene desventajas en esa característica.

COMPARACIÓN DE MECANISMOS DE DISPARO					
Características	BARRA ROTATORIA	BALLESTA	NEUMATICO	SERVOS	SOLENOIDE
FUERZA DE DISPARO	+	+	-	+	+
COSTO	+	-	+	-	+
SIMPLICIDAD	-	-	+	+	+
PESO	-	-	+	-	+
ESPACIO REQUERIDO	-	-	-	-	+
NUMERO DE DISPAROS	+	-	-		+
VARIAR FUERZA DE DISPARO	-	-	+	+	+
PRECISION EN DISPARO	-	+	+	+	+

Tabla 1 Tabla comparativa de los mecanismos de disparo

Por la comparación de la tabla 1, se puede ver que el sistema que mejor se ajusta a los requerimientos es el circuito de solenoide, pues cumple con el mayor número de características. Para realizar este circuito se debe tener en cuenta, que al utilizar la inductancia se manejan tensiones y corrientes muy altas, por lo tanto se necesita tomar las medidas necesarias para darle protección al circuito [4].

Ya que el mecanismo seleccionado funciona con una inductancia, es de suma importancia entender su funcionamiento físico, para así realizar los cálculos adecuadamente.

Un solenoide es en esencia un alambre enrollado en forma de hélice que produce un campo magnético uniforme en su interior cuando una corriente circula a través de él [6]. Cuando las vueltas están muy próximas entre sí, cada una puede considerarse como una espira circular y el campo magnético neto es el vector suma de los campos debidos a todas las vueltas [14].

Se puede suponer que en el exterior del solenoide el campo magnético es cero o casi cero cuando se habla de un solenoide donde su longitud es mucho mayor que el diámetro. En la Figura 9 se puede

ver que el campo es fuerte y uniforme en el centro donde se encuentra P1, pero relativamente débil en P2 [15]. Este fenómeno se presenta porque el campo debido a los elementos de corriente en las porciones derechas de una vuelta, tiende a cancelar el campo que se debe a los elementos de corriente en las porciones de la izquierda [14].

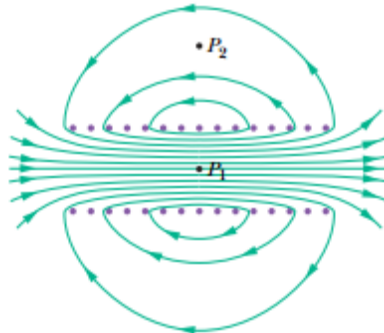


Figura 9 Figura de las líneas de campo en una inductancia [15]

3. Especificaciones

En el diseño del mecanismo de disparo se debe tener en cuenta ciertos criterios de diseño, asociados a la topología escogida para dicho mecanismo.

- **VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN:** Para este diseño era de suma importancia tener en cuenta el voltaje de alimentación. Este consiste en 12 [V], entregados por 8 baterías AA de 1,5 [V], con un rendimiento de descarga típico como se muestra en la figura 10.

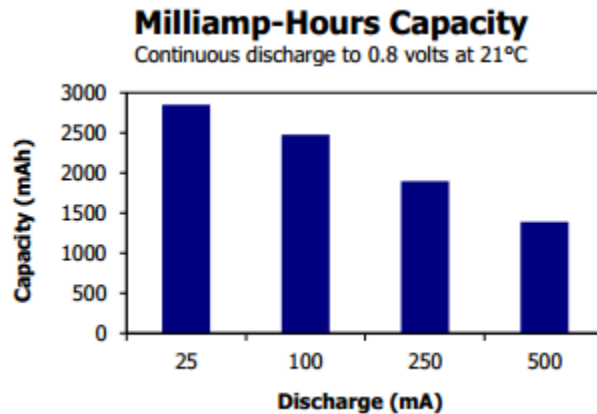


Figura 10 Gráfica de rendimiento de descarga típico de una batería AA [16]

- **VELOCIDAD DE DISPARO:** Se necesita una velocidad de disparo no mayor a 10 [m/s], es decir con una energía de 47,37 J, reemplazando en la ecuación 1.

$$\frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} m_{pelota} * v_{pelota}^2 + \frac{1}{2} m_{núcleo} * v_{núcleo}^2 \quad [1]$$

Donde

k = Constante de elasticidad del resorte [N/m]

x = longitud inicial – longitud final [m]

m_{pelota} = Masa de la pelota [kg]

v_{pelota} = Velocidad de la pelota [m/s]
 $m_{núcleo}$ = Masa del núcleo [kg]
 $v_{núcleo}$ = Velocidad del núcleo [m/s]

- **TIEMPO DE CARGA:** Esta característica define cuál es el tiempo mínimo en el cual se puede volver a efectuar un disparo luego de haber realizado uno. Esto depende del tiempo de carga del condensador, que no debe demorarse más a 3 [s].
- **CANTIDAD DE CARGA:** La cantidad de carga de la batería determina cuántos disparos pueden ser efectuados en la duración de un partido. Si es muy poca, el robot tendrá un número de disparos limitados. Si excede este número de disparos antes de la finalización del partido no podrá seguir disparando y prácticamente será inútil en el campo de juego. En este caso se pide un número de 30 disparos por partido, ya que la duración del partido es 2 tiempos de 10 minutos, en el cual se juega aproximadamente el 75% del partido es decir 15 minutos, donde cada robot tiene un manejo de la pelota por 90 segundos, realizando aproximadamente máximo 30 disparos.
- **PROTECCIONES:** El sistema de pateo es un mecanismo que permite a los robots impulsar la pelota con un golpe muy fuerte para disparar a gol. Al implementar el mecanismo de solenoide se necesita crear un campo magnético que aplique una fuerza sobre el émbolo, atrayéndolo o repeliéndolo. Esta fuerza impulsa el émbolo para golpear la pelota. Para generar un campo magnético capaz de expulsar el émbolo con una fuerza, se requiere hacer fluir por la bobina bastante corriente eléctrica que puede afectar los componentes electrónicos. Para proteger el robot de dicho voltaje y corriente eléctrica es necesario colocar unos circuitos de protección, que permitan limitar la corriente y aislar la parte digital de la parte de potencia.

En la figura 11, se muestra el diagrama de bloques de interconexión del mecanismo de disparo.

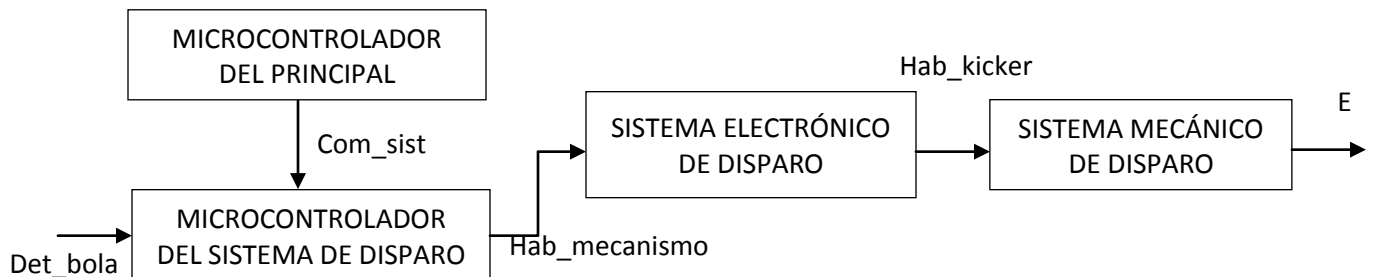


Figura 11 Diagrama de bloques de la interconexión del sistema de disparo

En el diagrama de bloques de la figura 11, se ve la conexión de los diferentes componentes que tiene el sistema electrónico de disparo. En la figura 11 una secuencia de disparo se realiza de la siguiente forma, el micro controlador del sistema de disparo recibe una señal del sensor detector de bola cuando hay presencia de bola, luego el micro controlador habilita un pulso determinado anteriormente como se puede ver en la sección 4.2.3, dicho pulso habilita el sistema electrónico de disparo, el cual es el encargado de alimentar el sistema mecánico produciendo finalmente el disparo.

3.1 Sistema mecánico

El sistema mecánico de disparo está compuesto por un resorte y una inductancia (figura 12).

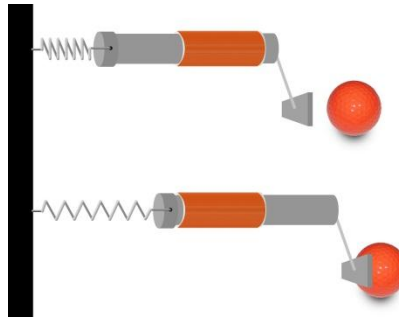


Figura 12 Plano mecánico del sistema mecánico de disparo

La parte mecánica es habilitada por el sistema electrónico de disparo pasando corriente a través de la bobina y generando un campo magnético. En el interior de la bobina hay un núcleo ferromagnético llamado émbolo. El campo magnético aplica una fuerza a este émbolo, haciéndolo golpear la pelota. Cuando el campo magnético se apaga, un resorte devuelve el émbolo a la posición inicial. La figura 13 muestra el desplazamiento de un solenoide con núcleo movible [1].

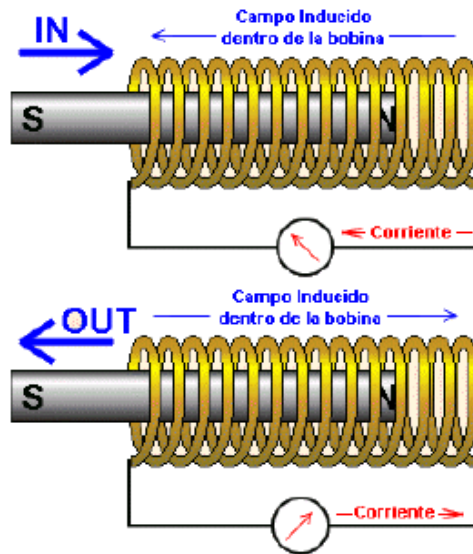


Figura 13 Principio del solenoide [1]

Para expulsar el émbolo con una fuerza, se requiere hacer fluir por la bobina una corriente eléctrica. Para lograr que el émbolo alcance dicha fuerza se necesita de un circuito que eleve el voltaje, ya que la única fuente de alimentación del circuito son unas baterías de 12 [V]. Este voltaje elevado debe ser almacenado para utilizarlo cuando sea necesario. Esta parte de elevación y almacenamiento del voltaje se describirá en el diseño del sistema electrónico en el numeral 4.3.

3.2 Sistema de protección

El sistema de protección tiene una serie de circuitos asociados, los cuales permiten el correcto funcionamiento del mecanismo de disparo y la interconexión del micro controlador con el sistema mecánico.

A continuación se describen dichos circuitos.

3.2.1 Regulador de voltaje

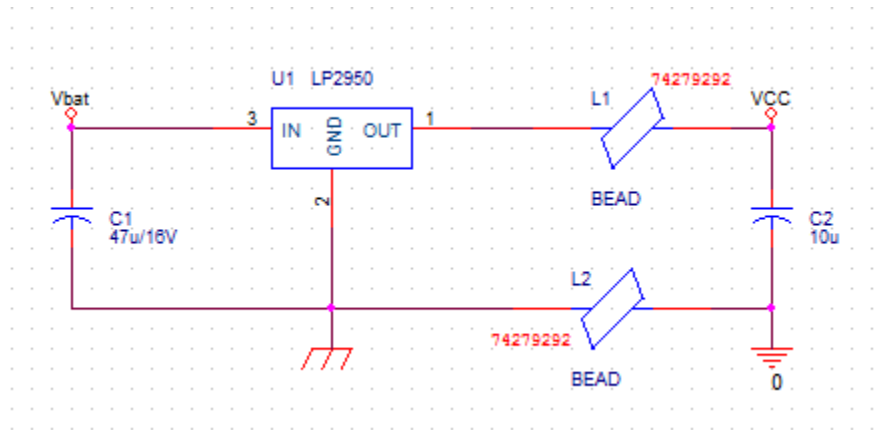


Figura 14 Esquemático del regulador de voltaje [9]

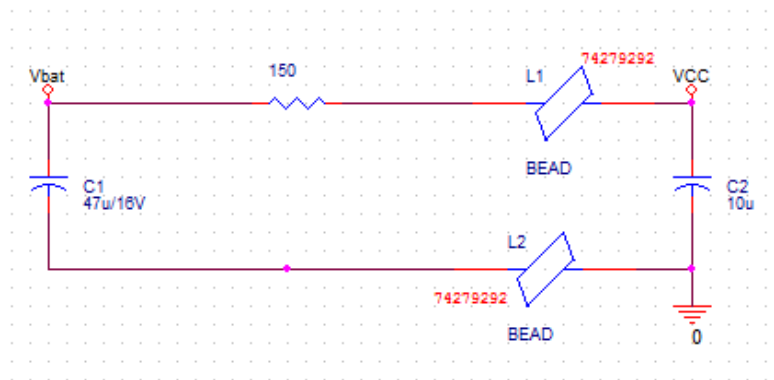


Figura 15 Reemplazo del regulador de voltaje por la resistencia

En la figura 14, se muestra el esquemático del regulador de voltaje.

El micro controlador utilizado viene en dos versiones: PIC 16HV616 y PIC 16F616.

La versión PIC 16F616 no trae un regulador interno, lo cual hace necesario crear un circuito que regule el voltaje de la alimentación del robot ($V_{bat} = 12$ [V]), a 5 [V] (VCC) para polarizar la parte digital del mecanismo, es decir el micro controlador y el circuito de protección y sensado.

Para este circuito regulador de voltaje se utilizó el regulador de voltaje el LP 2950 de Texas instruments, el cual se le puede regular el voltaje a 3 [V], 3.3 [V] y 5 [V] (en este caso a 5 [V]), un voltaje de dropout de típico entre 40 [mV] y 380 [mV] a una corriente de 100 [mA], y asegura una

corriente de salida de 100 [mA], después del regulador de voltaje, el voltaje es filtrado por un bead² que evita que pasen altas frecuencias al micro controlador y al circuito de protección.

La versión PIC 16HV616 trae incluido un regulador de voltaje interno, que se encarga de regular el voltaje de la fuente de alimentación del robot a 5 [V], al utilizar esta versión de micro controlador es necesario ubicar una resistencia de 150 [Ω] en el lugar del regulador de voltaje (figura 15) descrito anteriormente. Después de la resistencia, el voltaje es filtrado por un bead que evita que pasen altas frecuencias al micro controlador y al circuito de protección.

A continuación, en la figura 16, se muestra el diagrama de bloques de la interconexión del regulador de voltaje, el micro controlador del mecanismo y el mecanismo de disparo.

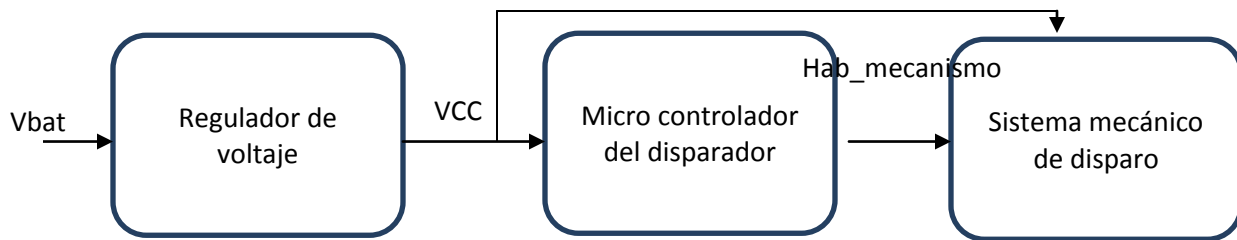


Figura 16 Diagrama de bloques de la interconexión del funcionamiento del regulador de voltaje

En la figura 16, se muestra que el voltaje de alimentación ($V_{bat} = 12$ [V]) entra el regulador de voltaje, el cual se encarga de alimentar el micro controlador del mecanismo de disparo y así poder manejarlas diferentes funciones del micro controlador.

3.2.2 Circuito de protección y sensado

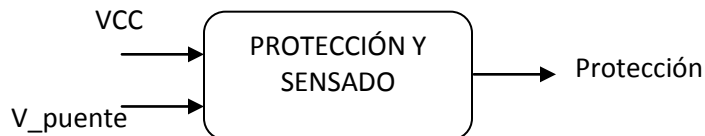


Figura 17 Bloque de protección y sensado

² Cuando las frecuencias aumentan, también aumenta el número de pérdidas parásitas. Esto quiere decir que, dichas pérdidas pueden ser disipadas en forma de pérdidas resistivas, y así evitar que no se devuelvan al sistema. Este componente disipa dichas pérdidas en calor y no permite que circulen por el sistema. Está constituida por un alambre enrollado sobre una ferrita, que forma una impedancia para señales de altas frecuencias y la atenuación de las frecuencias del ruido electrónico EMI/RFI [11]

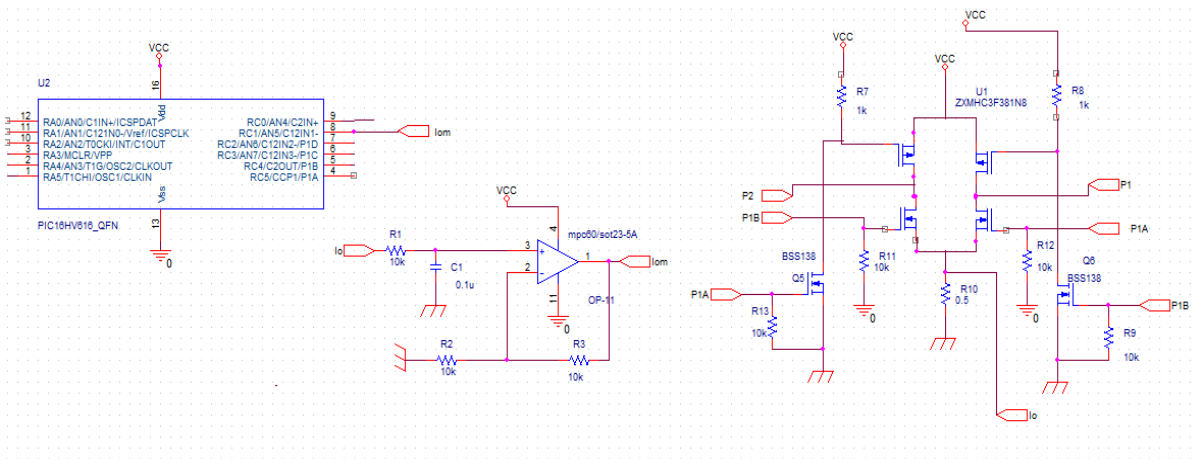


Figura 18 Esquemático sensado y protección de corriente [9]

En la figura 17 se muestra el bloque de protección y sensado, que es necesario pues en el mecanismo electrónico de disparo se tiene un transformador elevador de voltaje conectado al puente H (P1 y P2) y que genera altas corrientes. El circuito de protección y sensado evita que la corriente que pasa por el micro controlador y los diferentes elementos del mecanismo de disparo exceda la corriente máxima permitida en este caso 2 [A], ayudando a proteger la aplicación.

La figura 18, muestra el esquemático del circuito de sensado y protección de corriente.

El circuito de protección y sensado está diseñado para tomar el voltaje a través de la resistencia R10 (Io). Este voltaje es amplificado e ingresado como valor al micro controlador (Iom). El efecto neto resultante genera una interrupción en el funcionamiento del sistema de la sección 4.2. Dicha interrupción se produce por medio de un módulo del micro controlador llamado Auto – Shutdown, que se encarga de verificar que el voltaje recibido de la salida del operacional (Iom) sea menor al voltaje de referencia establecido, en este caso 1 [V]. Si el voltaje de salida excede el voltaje de referencia, el micro controlador apaga el PWM enviado al puente H (P1A y P1B).

Este circuito de protección está configurado para realizar la comparación con un voltaje de referencia de 1 [V], logrando así que no haya una corriente máxima a 2 [A] sobre el puente H.

3.2.3 Micro controlador del sistema de disparo

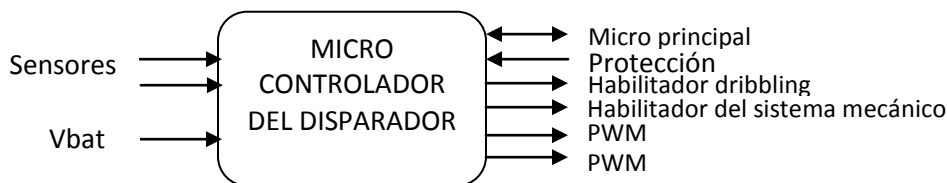


Figura 19 Bloque del micro controlador del circuito de disparo [9]

En la figura 19 se muestra las entradas y salidas del bloque del micro controlador del disparador.

Es necesario el uso de un micro controlador en este proyecto, porque facilita la interconexión de los componentes del sistema y regula las señales lógicas para generar el disparo, además de comunicar el mecanismo de disparo con el micro controlador.

A continuación se describen las señales de entrada y salida que se tienen en este bloque.

- Sensor detector de bola: Es la entrada de la señal del sensor al micro controlador, el cual detecta cuando la bola se encuentra disponible para realizar el disparo. En este caso se tienen 2 sensores ópticos que son alimentados por medio del circuito de regulación de voltaje. Dichos sensores están configurados de tal manera que cuando haya una interrupción en el haz de luz (presencia de la bola) se envíe una señal en alto al micro controlador. Debido al limitado alcance de estos sensores ópticos (Aproximadamente 3 cm), se necesitan al menos dos de ellos para tener un buen cubrimiento de la zona expuesta en la figura 2. El círculo delineado en morado, muestra la ubicación del sensor óptico.
- PWM: Estas son las salidas del PWM. El PWM sale con salida complementaria y se encarga de hacer conmutar los mosfets del puente H a una frecuencia de 19,7 kHz.
- Habilitador del sistema mecánico: Esta señal es la encargada de habilitar el sistema mecánico de disparo, luego de recibir la lógica del micro controlador y del sensor detector de bola.
- Habilitador dribbling: Esta señal se encarga de habilitar el circuito de dribbling, es decir, energiza el motor asociado a este circuito para mantenerlo girando, mientras la bola se encuentra en posición adecuada antes de la ejecución del disparo.
- Protección: Esta entrada al micro controlador se encarga de recibir un voltaje tomado de la resistencia 10 de los source del puente H (figura 18) y lo compara con un voltaje interno previamente configurado. Esta comparación se realiza para proteger el circuito de cualquier sobre tensión. Cuando en dicha comparación el voltaje tomado en la resistencia es mayor al voltaje de referencia, el micro controlador apaga el PWM hasta que esta comparación cambie.
- Micro principal: Esta señal es una entrada y una salida. Se encarga de la comunicación entre el micro controlador del disparador y el micro controlador principal.

3.3 Micro controlador principal

El micro controlador principal es el encargado de interpretar los comandos del mecanismo, para luego generar señales que gobiernen los actuadores del robot. Los actuadores son dispositivos que traducen las señales eléctricas, provenientes del micro controlador central, en alguna acción del robot.

4. Desarrollos

4.1 Conexión del sistema de disparo

El micro controlador principal es el encargado de realizar toda la comunicación, implementar las estrategias y dirigir a cada micro controlador, en este caso el del sistema de disparo, durante todo el partido. El micro controlador principal es quien decide en qué momento se debe disparar.

El micro controlador del sistema de disparo se encarga de recibir toda la información que envía el micro controlador principal, y actúa como intermediario con el resto del sistema.

El sistema electrónico de disparo que se discutirá a continuación, recibe la señal que habilita el disparo y este se encarga de enviar dicha señal al sistema mecánico, logrando así un disparo de bola exitoso.

4.2 Diseño del sistema mecánico

Para el sistema mecánico descrito el numeral 3.1 se tomó la inductancia diseñada por los trabajos anteriores que tiene un valor de 2,7 [mH] y al núcleo de dicha inductancia se acopló un resorte para lograr que el émbolo se devuelva cuando el campo magnético ya no está presente. Este resorte, de constante elástica $k = 487,55$ [N/m], es el encargado de devolver a la posición inicial el émbolo que tiene un peso aproximado de 0,4 [kg] y un diámetro de 0,2 [m].

En el mecanismo de disparo viene acoplado el sensor óptico sujeto a las partes laterales del sistema de dribbling. Este sensor envía una señal al micro controlador del disparador cuando la bola se encuentra en posición de disparo.

4.3 Diseño del sistema electrónico

El sistema electrónico de disparo se describe en el diagrama de bloques de la figura 20.

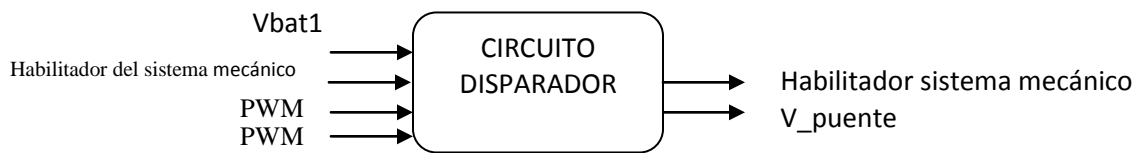


Figura 20 Diagrama de bloques del circuito de disparo

El sistema electrónico de disparo tiene cuatro diferentes entradas. La primera es la entrada de alimentación (V_{bat1}) que en este caso particular es de 12 [V]. La segunda es señal del habilitador del sistema mecánico que se recibe del micro controlador principal y le indica al sistema que debe activar o habilitar el sistema mecánico. La tercera y cuarta entrada, observadas en la figura 19, entran al puente H explicado en la sección 4.2.1.

En la figura 21, se muestra un diagrama de bloques con mayor detalle del mecanismo electrónico de disparo.

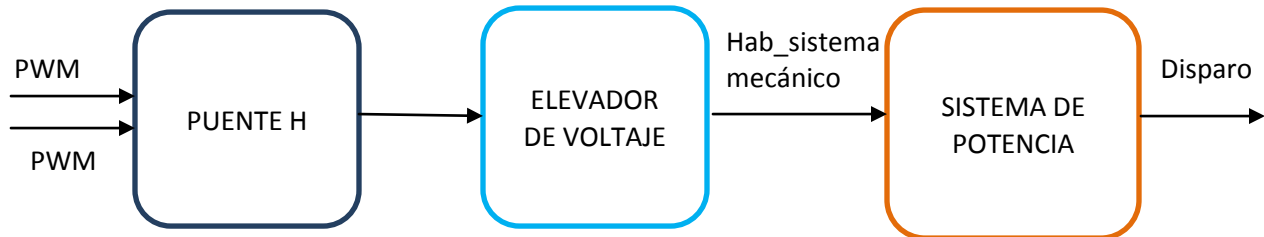


Figura 21 Diagrama de bloques específico del mecanismo electrónico de disparo

La figura 21 describe el funcionamiento interno del mecanismo electrónico de disparo. Este está compuesto por un puente H, un elevador de voltaje y un sistema de potencia.

En la figura 22, se muestra el esquemático del sistema electrónico de disparo y se describe su funcionamiento.

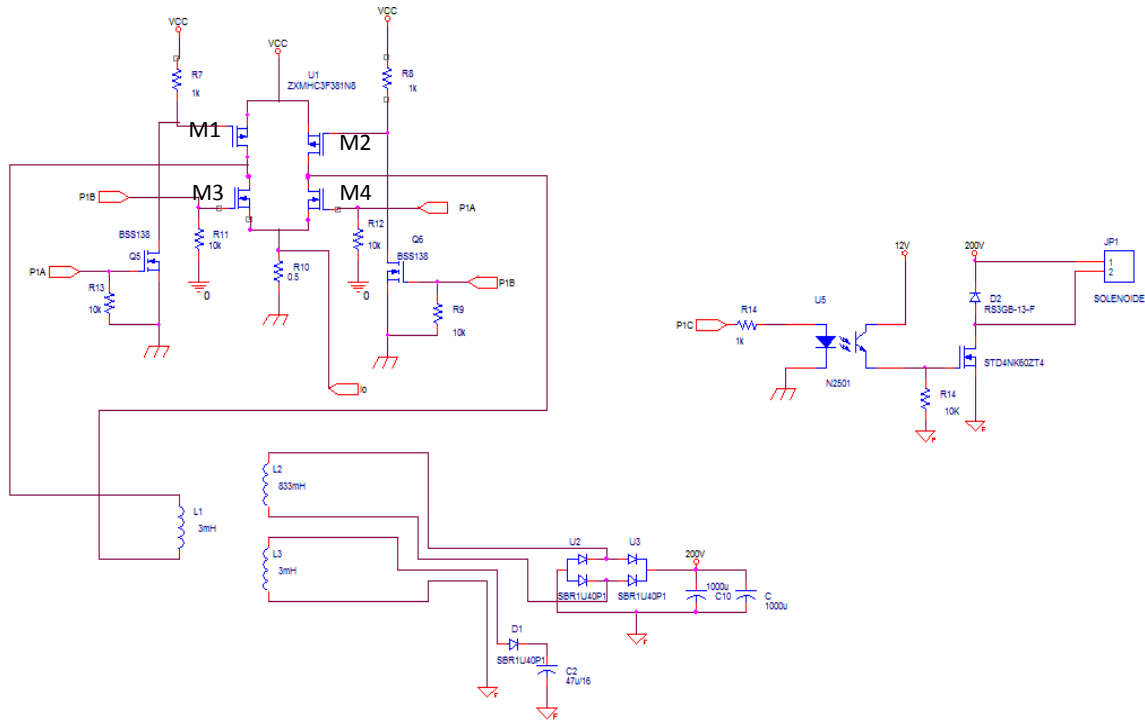


Figura 22 Esquemático sistema electrónico de disparo [9]

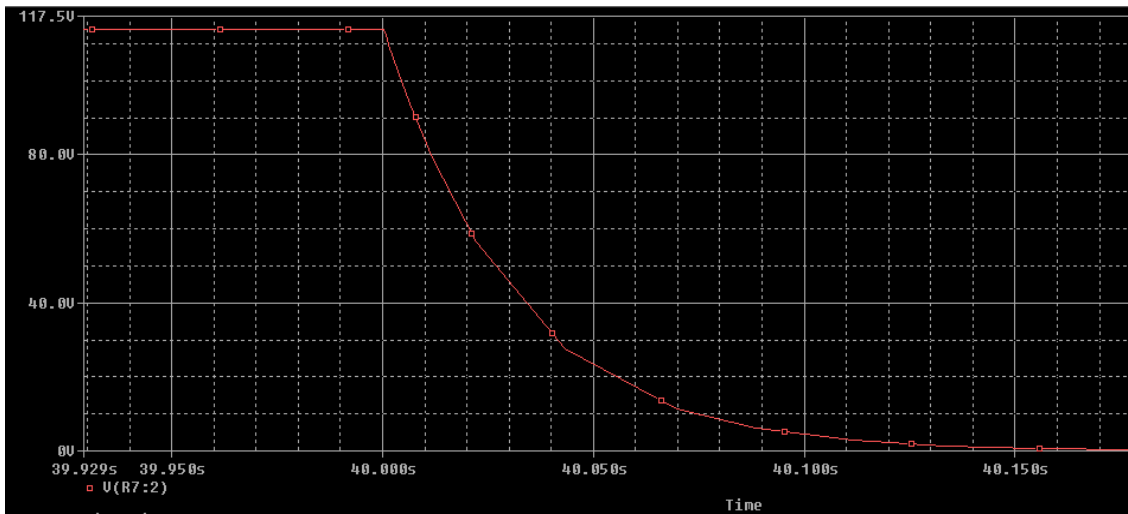
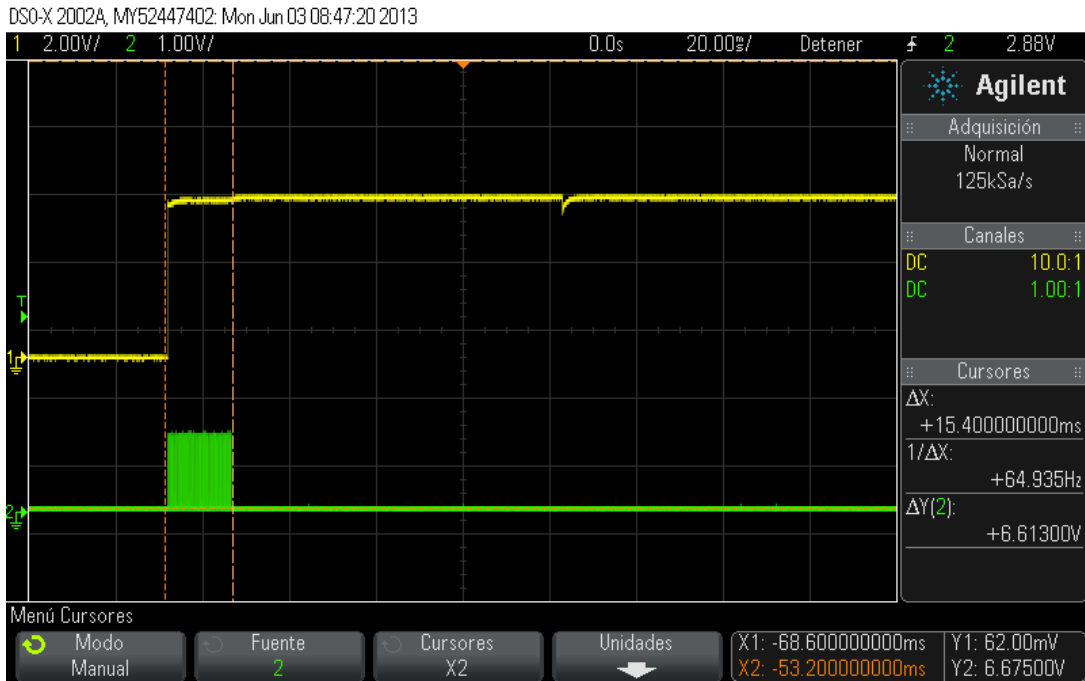
El sistema electrónico de disparo está conformado por 3 partes:

4.2.3 Etapa de potencia

La etapa de potencia está conectada directamente con el sistema mecánico, es la encargada de enviar la corriente a través del solenoide produciendo así el movimiento del núcleo, esta etapa se describe en detalle a continuación.

Esta etapa se habilita por medio de una señal enviada por el micro controlador (PIC), que depende del sensor de detección de bola. Cuando el sensor está activo (en alto), el micro controlador envía un pulso de 15 ms (como se muestra en la figura 24) que habilita el optocoplador. El optocoplador alimenta al gate del mosfet, cerrando el circuito por un tiempo de 15 [ms]. Cuando este mosfet cierra el circuito permite la descarga del condensador (en $t = 0^+$), el cual produce una corriente aproximada de 8 [A] que mueve el núcleo del solenoide, logrando así el disparo sobre la bola. En la figura 24, se muestra la simulación del proceso de descarga del condensador, el cual se descarga en un tiempo de 100 [ms].

Para producir una corriente de 8 [A], es necesario un elevador de voltaje ya que la alimentación del robot es 12 [V] no es suficiente para generar dicha corriente y un condensador que almacene dicho voltaje en corto tiempo, este circuito se explica en el sistema electrónico a continuación.



En el anexo 1 se encuentran los esquemáticos de cada circuito explicado anteriormente incluyendo los específicos y el esquemático del mecanismo de disparo, en el anexo 2 contiene los archivos *gerbers* para la realización del impreso del mismo.

4.2.2 Elevador de voltaje

Para esta aplicación se necesita un transformador elevador de voltaje que eleve el voltaje de 12 [V] a 200 [V], dicho transformador consta de 2 devanados en el secundario y un primario. El primer devanado del secundario se conecta a un rectificador de onda completa y permite que los 2

condensadores de 1000 [μF] C10 y C11 (figura 22) siempre se estén cargando por un voltaje DC positivo, en este caso de 200 [V] logrando así un tiempo de carga de 1.6 [s]. El segundo devanado del secundario está conectado al led fototransistor del optocoplador, que permite que pase el voltaje producido por el Pin 6 (P1C) encargado de habilitar el interruptor, habilitando así la etapa de potencia del mecanismo.

El voltaje de 12 [V] recibido por el primario es producido por un puente H que se describe en el siguiente numeral.

4.2.1 Puente H

Se escogió la topología del puente H, ya que con esta topología se permite tener una señal pulsada entre -12 [V] y 12 [V], que se conecta al primario del transformador elevador de voltaje descrito en el numeral 4.2.2.

Un puente H es un circuito electrónico de potencia que en vez de interruptores utiliza unos transistores que son “llamados” de potencia. Dichos transistores deben trabajar en corte y saturación, es decir, cuando el transistor está en corte es igual que un interruptor abierto y cuando está en saturación es igual a un interruptor cerrado [26].

En este caso el puente H, tiene por configuración 4 mosfet (dos tipo P y dos tipo N). El funcionamiento del puente H para esta aplicación, se da al controlar 4 interruptores (en principio van conmutando M1 y M4 en trío y M2 y M3 cortados), en este caso mosfets. Estos mosfets tienen unos diodos entre drain y source que permiten que circule la corriente que queda a través de los mosfet cuando los mosfets conmutan [17].

Esta configuración permite tener una fuente constante de 12 [V]: cuando los mosfets 1 y 4 están en trío el voltaje de salida es 12 [V], y cuando los mosfets 2 y 3 están en trío el voltaje de salida es también de 12 [V]. Para que esta configuración funcione, en P1A y P1B entra una señal cuadrada de 5 [V] con una frecuencia de 19.6 [kHz]. Esta señal es producida por un PWM con salida complementaria que viene del micro controlador.

Para el correcto funcionamiento del circuito es necesario que el PWM tenga un ciclo útil³ de 50% para que el núcleo del transformador no se sature (figura 23).

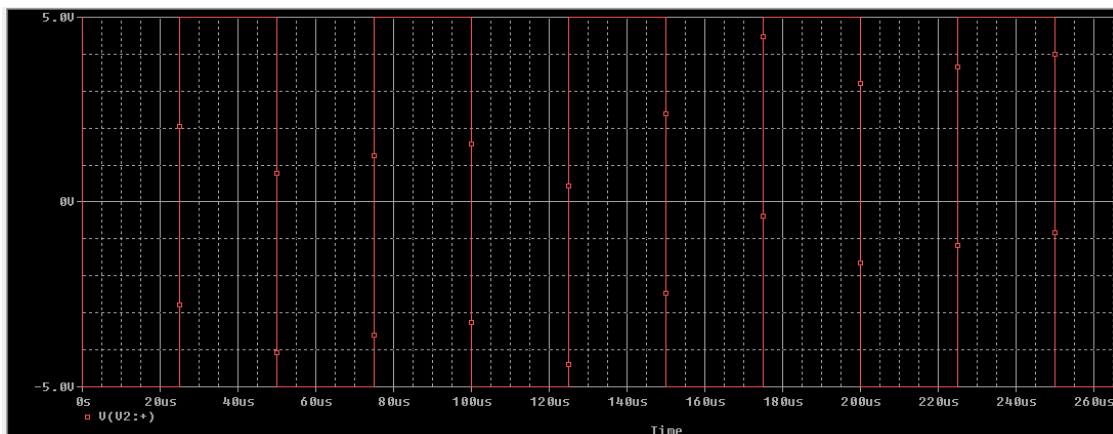


Figura 25 Simulación del PWM con un ciclo útil del 50%

³ El ciclo útil de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el periodo. Si se expresa matemáticamente tenemos $D = \frac{t}{T}$, donde T es el periodo de la función y t es el tiempo en que la función es positiva (ancho de pulso) [27].

4.3 Cálculo del transformador elevador de voltaje

Para realizar el disparo, el circuito necesita de un transformador elevador de voltaje que se conecta en el Jumper 2 (J2). Este transformador consiste en un primario que va conectado a los drain de los mosfets del puente H y recibe 12 [V], dos devanados en el secundario, un elevador de voltaje a 200 [V] que alimenta el solenoide del circuito de disparo y otro 1:1 que alimenta el led fototransistor encargado de aislar y recibir la habilitación del circuito de disparo.

Para diseñar el transformador tenemos las siguientes ecuaciones:

$$N = \frac{V_p}{V_s} \quad [2]$$

Donde

$$V_p = \text{Voltaje en el primario}$$

$$V_s = \text{Voltaje en el secundario}$$

Reemplazando en la ecuación 2:

$$N = \frac{12 [V]}{200 [V]} = 0.06$$

Para hallar el valor de la inductancia en el primario se debe tener en cuenta la corriente de magnetización:

$$I_m = \frac{V * T_{on}}{L} \quad [3]$$

Donde

T_{on} = Tiempo de encendido, la mitad del periodo de la frecuencia de conmutación

V = Voltaje de alimentación

L = Valor de L en el primario

I_m = Corriente de magnetización

Reemplazando en la ecuación 3:

$$100 [mA] = \frac{12 * 25 [\mu s]}{L}$$

$$L = 3 [mH]$$

Para hallar el valor de la primera inductancia del secundario se tiene:

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad [4]$$

Donde

N_1 = Número de vueltas en el primario

N_2 = Número de vueltas en el secundario

L_1 = Valor de la inductancia del primario

L_2 = Valor de la inductancia del secundario

Reemplazando y despejando L_2 de la ecuación 4:

$$L_2 = 833 \text{ [mH]}$$

Para hallar la corriente que pasa por el primario y secundario se utiliza la siguiente ecuación teniendo en cuenta el tiempo de carga del condensador C10 y C11.

$$I_c = C \frac{dV}{dt} \quad [5]$$

Donde

I_c = Corriente sobre el condensador C10

C = Valor nominal de condensador C10

V = Voltaje sobre el condensador

Integrando la ecuación 5 y despejando el tiempo tenemos que con una corriente de 120[mA] en el secundario y dos condensadores de 1000 [µF] en paralelo, el tiempo de carga del condensador es:

$$t = 1.6 \text{ [s]}$$

Al tener una corriente de 120 [mA] en el secundario por la ecuación 6, se tiene que la corriente en el primario es:

$$I_p = I_s \frac{V_s}{V_p} \quad [6]$$

Donde

I_p = Corriente sobre la inductancia primaria

I_s = Corriente sobre la inductancia secundaria

Reemplazando en la ecuación 5, se tiene que la corriente en el primario es $I_s = 2 \text{ [A]}$.

Se escoge un núcleo en E de material 77, en este caso se escoge el núcleo EA-77-375 sus características se pueden ver en la siguiente tabla.

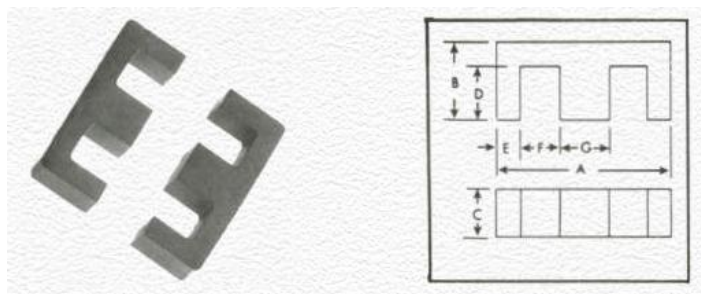


Figura 26 Figura del núcleo en E del material 77 [21]

Part No.	A	B	C	D	E	F	G	Power
EA-77-375	1.375	0.562	0.375	0.375	0.187	0.312	0.375	70 Watts

Tabla 2 E-Core Physical Dimensions (inches) [21]

Part No.	$A_e (mm^2)$	mm	$V_e (mm^3)$	$A_s (mm^2)$	$A_w (mm^2)$	$A_c \times A_w (mm^4)$	$A_l \left(\frac{mh}{1000 \text{ vueltas}} \right)$
EA-77-375	90.3	68.8	6240	3630	151.0	13700	2760

Tabla 3 E-Core Propiedades Magnéticas [21]

Como se tiene el núcleo y el valor de las inductancias se calcula el número de vueltas con la ecuación 7, para así construir el transformador.

$$N = \sqrt{\frac{L(mH)}{A_l \left(\frac{mH}{1000 \text{ vueltas}} \right)}} * 1000 \quad [8]$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8:

$$N_1 = \sqrt{\frac{3}{2760}} * 1000 = 32 \text{ vueltas}$$

$$N_2 = \sqrt{\frac{833}{2760}} * 1000 = 561 \text{ vueltas}$$

Part No.	20	30
EA - 77 - 375	94	868

Tabla 4 Wire Size vs. Number of Turns [21]

Se verifica en la tabla 4, que el número de vueltas calculado si se ajusta al núcleo escogido

La inductancia L_3 tiene el mismo valor que L_1 por lo tanto tiene el mismo número de vueltas.

Para construir el transformador es necesario conocer el número de calibre del alambre se va a utilizar, este calibre se escoge dependiendo de la corriente que va pasar por cada devanado como se ve en la tabla 5.

CALIBRE AWG	AMPERIOS	PIES POR LIBRA
6	53.16	
7	42.04	16.00
8	33.38	20.00
9	26.56	25.20
10	21.20	31.80
11	16.60	40.10
12	13.30	50.60
13	10.50	63.80
14	8.30	80.40
15	6.60	101.40
16	5.20	125.00
17	4.10	155.00
18	3.20	203.00
19	2.60	248.00
20	2.00	323.00
21	1.62	408.00
22	1.28	489.00
23	1.00	615.00
24	0.80	775.00
25	0.64	970.00
26	0.50	1,300.00
27	0.40	1,639.00
28	0.32	2,067.00
29	0.25	2,607.00
30	0.20	3,287.00
31	0.18	4,145.00
32	0.12	5,257.00
33	0.10	6,592.00
34	0.08	8,310.00
35	0.06	13,210.00

Tabla 5 Tabla AWG para escoger el calibre [22]

Para escoger el calibre se necesita saber la cantidad de corriente que va pasar por los devanados, que se calculó con la ecuación 5.

Se sabe que la corriente por el primario es de 2 [A] y por el secundario 120 [mA]. Se mira la tabla 4 y se escoge el calibre para el primario es 20 y para el secundario 30.

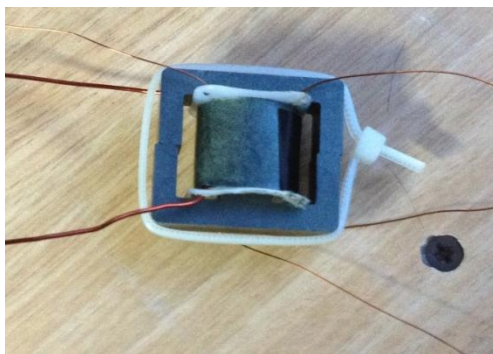


Figura 27 Fotografía del Transformador elevador de voltaje

5. Análisis de resultados

5.1 Transformador elevador de voltaje

Para comprobar que el transformador tenga las características requeridas, se hacen una serie de mediciones.

- Verificación de polaridad del transformador

Para verificar la polaridad del transformador se construye el circuito de la Figura 28.

Se conecta un generador de funciones con una señal sinusoidal al primario, luego se conecta el osciloscopio al primer devanado del secundario y se verifica que ambas señales estén saliendo en fase (Figura 29). Si esto es así, el lugar donde se tiene las puntas positivas es el punto positivo del transformador.

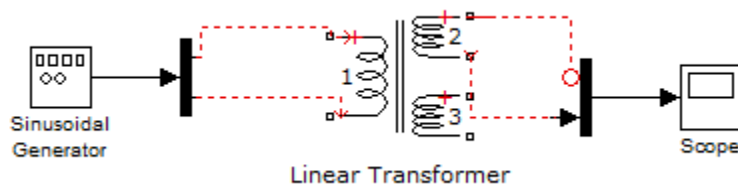


Figura 28 Circuito para verificar la polaridad del transformador

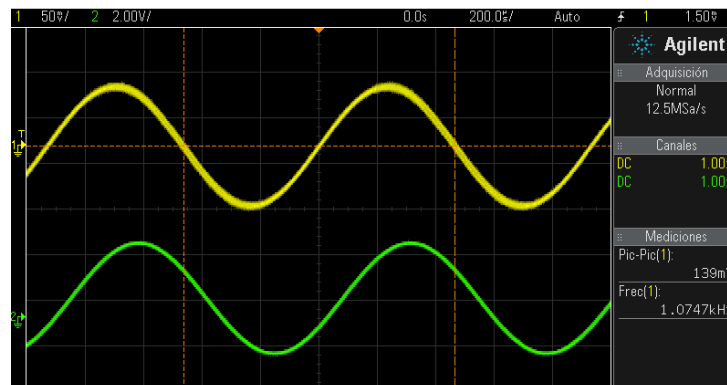


Figura 29 Verificación de la polarización del transformador

- Comprobación del elevador del voltaje sin carga

Se necesita verificar que el transformador está elevando el voltaje como se quiere. En este caso se coloca en el primario una señal sinusoidal de una amplitud y se mide en el secundario, por medio de un osciloscopio, cuánto es el voltaje de dicha señal en cada devanado del secundario.

En este caso al colocar una señal de 700 [mV] en el primario y medir sobre el primer devanado del secundario, se tiene una salida de 6.7 [V] y en el segundo devanado se tiene una salida de 800 [mV].

Teniendo estos resultados se calcula la relación con la ecuación 1.

$$\frac{V_{pm}}{V_{sm}} = \frac{270 [mV]}{3.3 [V]} = 0.104$$

Teniendo en cuenta el resultado de la ecuación 1 y la ecuación 9, se puede ver que la relación de vueltas cambió, por lo tanto el voltaje elevado no es el deseado. Se comprueba cual es el voltaje en el secundario:

$$\frac{12 [V]}{0.1} = 120 [V]$$

Al verificar la ecuación 1 con los voltajes obtenidos en el proceso de verificación de voltaje sin carga, se obtuvo que el voltaje elevado no es 200 [V] como se había diseñado el transformador, sino 120 [V]. Esta disminución de voltaje se debe a las inductancias, capacitancias e impedancia asociada al transformador, o un error en la fabricación del transformador debido a que la cantidad de vueltas calculadas no fueron dadas en su totalidad.

5.2 Mecanismo de disparo

Para verificar el correcto funcionamiento del mecanismo de disparo se realizaron 4 tipos de pruebas en el robot que tenemos en la figura 30.

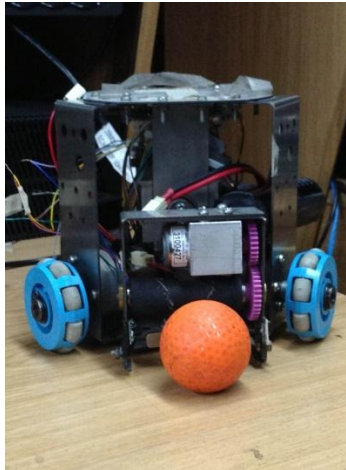


Figura 30 Fotografía del robot futbolero con el mecanismo de disparo

5.2.1 Prueba de disparo

Esta prueba se realizó con una fuente de alimentación Gw Instek – GPS-2303, prestada por el laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Javeriana. Se habilitó el sensor y se observó si el mecanismo realizaba el disparo. Esta prueba se realizó 30 veces con un tiempo entre pruebas de 2 [s], para cumplir con el tiempo de carga del condensador. Los resultados están sintetizados en la figura 31.



Figura 31 Resultados de prueba de disparo

Como se observa en la figura 31, se verificó que el mecanismo cumple con las especificaciones de disparo, ya que el mecanismo disparó las 30 veces sin tener ningún tipo de inconveniente, logrando así el objetivo de la prueba. Con la prueba se comprobó también que el mecanismo necesita un tiempo de espera no mayor a 2 [s] para realizar disparos, y que la descarga del condensador es totalmente satisfactoria al activarla con el pulso de 10 [ms] que se configuró para habilitar el disparo.

En el anexo 3 se puede ver un video con la prueba descrita anteriormente.

5.2.2 Prueba de disparo con el mecanismo

Para la realización de esta prueba se conectó el mecanismo al robot futbolero de la Universidad Javeriana y se realizaron 30 pruebas de disparo para evaluar el desempeño con las 8 baterías AA como fuente de alimentación. En la figura 32 se muestran los resultados obtenidos.

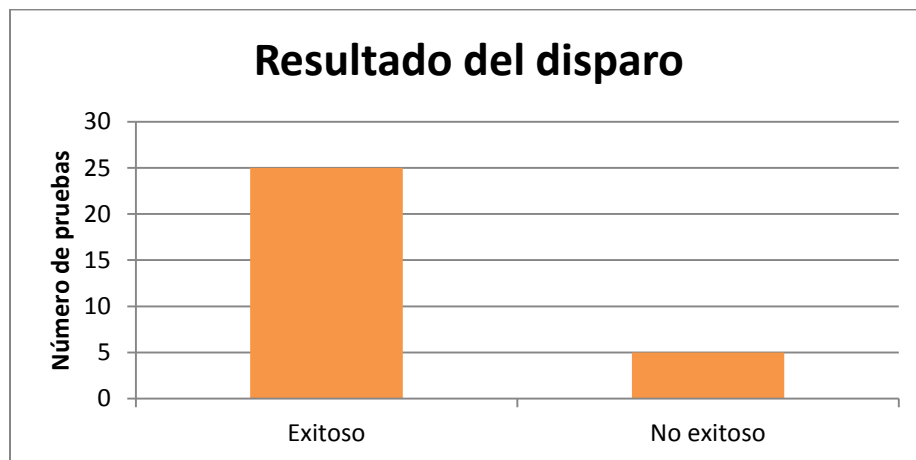


Figura 32 Resultados pruebas disparo con mecanismo

En la figura 32, se muestran los resultados de las pruebas de disparo con mecanismo, se puede observar que 5 veces de la totalidad de las pruebas el mecanismo no cumplió con el disparo, es decir tiene un 16.6% de error. Evaluando porque ocurrió este suceso, se determinó que hubo 2 posibilidades: para la realización de estas pruebas únicamente se está utilizando un sensor, el cual como se había explicado en el numeral 3.2, tiene un alcance aproximado de 3 [cm]. Esto da un rango de error ya que el espacio donde llega la bola es aproximadamente de 6,5 [cm], y por otro lado no se pudo cumplir satisfactoriamente la prueba porque no se esperó el tiempo suficiente para la carga del condensador, no produciendo una corriente suficiente para el movimiento del émbolo.

El anexo 4 contiene un video de la prueba descrita anteriormente.

5.2.3 Prueba de puntería

Para esta prueba se creó una plataforma donde se coloca un blanco fijo y se realizaron 6 disparos donde cada uno se apuntó al blanco fijado como se ve en figura 33. Para realizar la verificación de dichos disparos se colocó una superficie donde quedara marcada la posición donde golpea la pelota y así medir la distancia entre el blanco y la marca del disparo.

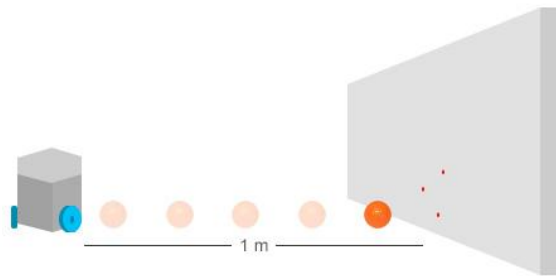


Figura 33 Esquema de la plataforma creada para la prueba de puntería

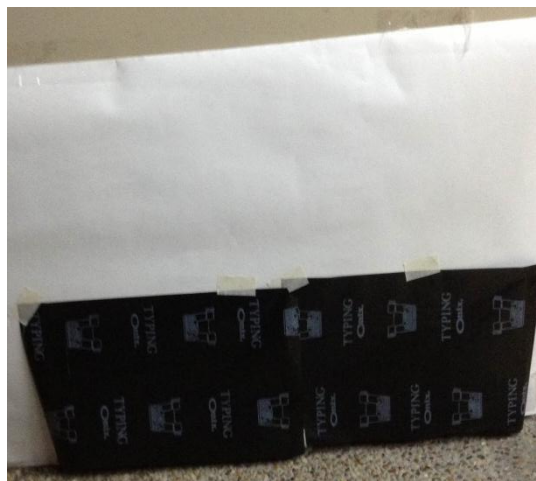


Figura 34 Plataforma para realizar la prueba de puntería

Se muestra en la figura 34 los resultados.



Figura 35 Resultados de la prueba de puntería

En la prueba de puntería se debe tener en cuenta que la superficie donde se realizó la prueba no era totalmente lisa, y esto puede influir en la trayectoria de la bola.

Para esta prueba se realizaron 6 pruebas, las cuales las 2 primeras se ubicó al robot en una posición y luego se movió porque la bola no estaba pegando adecuadamente en la plataforma por eso hay una espacio considerable entre los resultados.

2

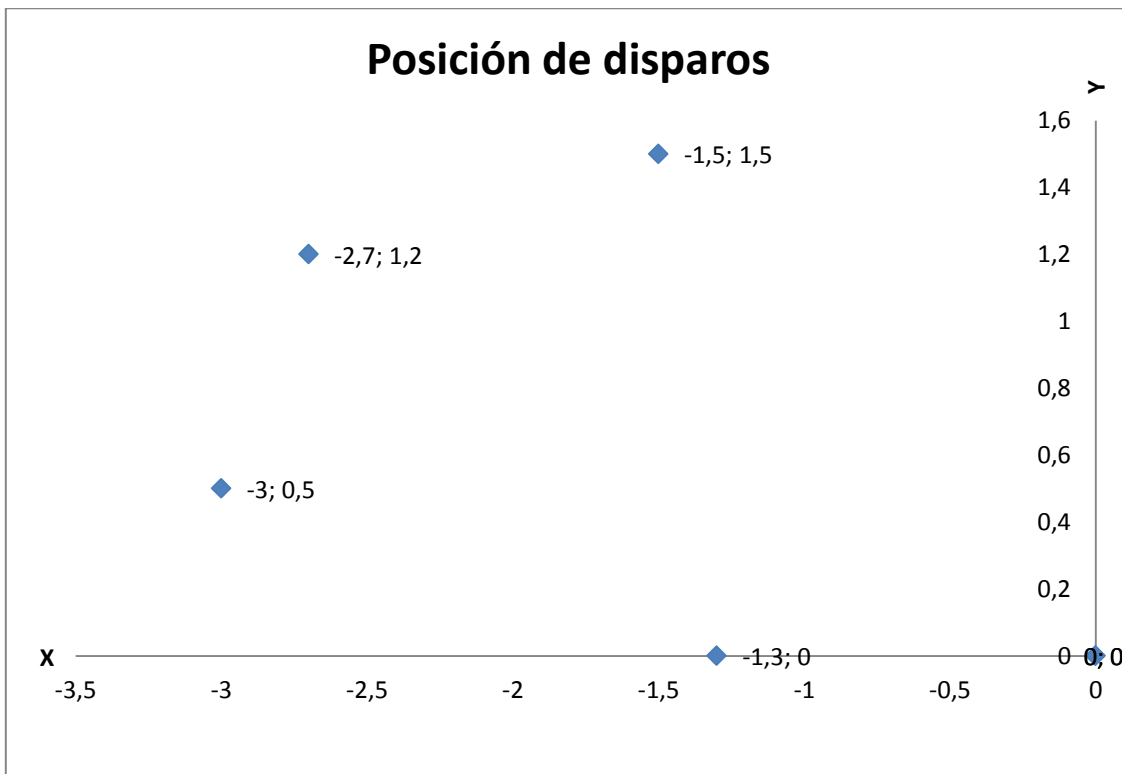


Figura 36 Posición de los disparos de la prueba de puntería

Como blanco fijo, se escogió el primer disparo que se realizó como se ve en la figura 34, y de ahí se realizó el proceso de tratamiento de datos para sacar los resultados que se muestran a continuación en la tabla 6. En la figura 36 se muestran en un plano cartesiano, las posiciones de los disparos realizados, se muestra que en el eje Y no hay negativos ya que la bola pega sobre el piso.

Numero de prueba	Distancia del blanco (cm)
1	0

2	2.5
3	0
4	1.5
5	3
6	3

Tabla 6 Resultados prueba de puntería

Como se muestra en la tabla 6 Los disparos tuvieron un promedio de 1,66 [cm] del marco de referencia con una desviación estándar de 1.402 [cm], eso quiere decir que el promedio y dispersión es significativamente menor al tamaño de la cancha (6050 [mm] de longitud), por lo tanto la puntería es satisfactoria.

6. Conectividad

6.1 Framework freeRTOS

Sistema operativo en tiempo real (RTOS) para sistemas embebidos, que soporta diferentes arquitecturas y está diseñado para ser pequeño, simple y fácil de usar.

La labor principal de freeRTOS es ejecutar tareas. La mayor parte de su código busca dar prioridad a la programación y a las tareas definidas por el usuario. [12]

Los sistemas en tiempo real están diseñados para hacer algo dentro de un periodo de tiempo determinado. Ellos garantizan que las cosas se ejecuten en el tiempo que deben ejecutarse. [12]

- Ventajas de FreeRTOS [13]
 - Puede ser configurado para operación cooperativa y preventiva.
 - Tick-less es una opción para aplicaciones de baja potencia.
 - Con herramientas como FreeRTOS + Trace se puede grabar y visualizar el comportamiento de tiempo de ejecución de los sistemas.

6.2 Plataforma de conexión

Para realizar la conectividad del sistema y configurar el micro controlador utilizado (en este caso un PIC 16HV616), se utilizó el entorno de desarrollo MPLAB X, donde se configura el PWM, su ciclo útil, el auto-shutdown para evitar sobre tensiones que puedan dañar el mecanismo y la generación del pulso que habilita el disparo por medio del sensor detector de bola. Este código se puede observar en el anexo 6.

7. Conclusiones

Al verificar los resultados obtenidos, se concluye que es de suma importancia el diseño del transformador elevador de voltaje, pues este es encargado de cargar el condensador que realiza el disparo y debe soportar corrientes y voltajes altos. Se debe tener en cuenta que la corriente de magnetización reflejada en el primario no sea mayor al valor calculado la hora de diseñar el transformador, pues en caso de sobrepasar este límite se podría generar una corriente que deshabilite toda la aplicación.

Al diseñar la etapa de potencia, se debe tener claro cuál es el tiempo de descarga del condensador, ya que es necesario enviar un pulso con la misma duración. Si se envía un pulso más corto, el émbolo del mecanismo de disparo no se moverá con la misma potencia, pues el condensador no se descargará en su totalidad. Si se envía un pulso más largo que el tiempo de descarga del condensador se corre el riesgo de inhabilitar el mosfet que actúa como interruptor pues quedaría pasando corriente continuamente ya que el transformador lo ve reflejado como un cable.

Para la selección del resorte, se debe tener en cuenta que el espacio que va ocupar este es aproximadamente de 2 [cm], y es necesario tener en cuenta que este resorte debe regresar el embolo que tiene una masa de 0.4 [kg], esto quiere decir que la constante de elongación debe ser alta, pero esta debe permitir que la corriente generada al disparar mueva el embolo.

Al realizar las pruebas con el mecanismo de disparo conectado al robot, se determinó que la alimentación con las 8 pilas de 1,5[V] son suficientes para realizar esta aplicación, ya que mientras se realizaron las pruebas no hubo ningún inconveniente con la carga y descarga del condensador, a pesar que se espera que la corriente que produce el condensador para mover el embolo es de 8 [A], esta no afectó las pilas ni se produjo una descarga en las pruebas de 30 disparos.

El disparo del mecanismo es 84.4% exitoso, ya que si se tiene en cuenta que un partido de 20 minutos, el tiempo de manejo de la pelota por parte de los jugadores es del 75% es decir 15 minutos, donde cada robot tiene la pelota aproximadamente 90 [s] durante el partido, se estimó que el promedio de disparos durante el partido de cada robot era de 30 disparos, lo que quiere decir que la prueba realizada se ajusta a un partido real.

8. Bibliografía

- [1]. Ordoñez, J. G. (2009). *Diseño de la arquitectura y control de trayectorias para robots móviles autónomos "Small Size"*. Mexico D.F.
- [2]. RoboCup. (s.f.). Recuperado el Enero de 2013, de <http://www.robocup.org/about-robocup/objective/>
- [3]. Lynch, N. (s.f.). *Conceptual Design of a Robot for the RoboCup competition*. Recuperado el 2013, de http://www.lehigh.edu/~eus204/Teaching/RoboSoccer/reports/SP05/RoboSoccer_SP05_MEM_%20FinalReport.pdf
- [4]. Zandsteeg, C. *Design of a RoboCup shooting mechanism*. Holanda.
- [5]. RoboCup. (2012). Recuperado el 2012, de http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/_media/rules:ssl-rules-2012.pdf
- [6]. Sandoval, J. S. (2010). *Diseño y construcción de los dispositivos de "dribbling" y "shooting" para un robot futbolista*. Bogotá.
- [7]. *Small Size Robot League*. (s.f.). Recuperado el 2012, de <http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/>
- [8]. Vidal, E. T. (2009). *Sistema de inteligencia artificial para el control de robots autónomos "Small Size"*. Mexico D.F.
- [9]. Otalora, C. (2011). Circuito disparador. Pontificia Universidad Javeriana.
- [10]. *Ferrite bead*. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2013, de http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrite_bead
- [11]. *Ferrite Bead Inductors*. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.radio-electronics.com/info/data/inductors/ferrite-bead-inductors.php>
- [12]. Svec, C. (s.f.). *FreeRTOS*. Recuperado el Enero de 2013, de <http://www.aosabook.org/en/freertos.html>
- [13]. *FreeRTOS*. (s.f.). Recuperado el Enero de 2013, de <http://en.wikipedia.org/wiki/FreeRTOS>
- [14]. Serway, R. (2000). *Física para ciencias e ingenierías Tomo II*. Mexico : McGraw-Hill.
- [15]. David Halliday, R. R. (2006). *Fundamental of physics*. Jhon Wiley & Sons.
- [16]. Energizer. (n.d.). *Energizer E91*. Retrieved Junio 2013, from <http://data.energizer.com/PDFs/E91.pdf>
- [17]. Oviedo, U. d. (s.f.). *Tema 6: Convertidores Continua - Alterna*. Recuperado el Marzo de 2013, de https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CG0QFjAI&url=http%3A%2F%2Fwww.unioviedo.es%2Fate%2Fcalleja%2Fdocumentacion%2FMarina%2FEP_LMN_13304%2FElectronica%2520de%2520Potencia-Jorge%2FTEMA06-CONVERTIDORES_CONTINUA_ALTERNA%2F
- [18]. *Diseño de transformadores*. (Abril de 2013). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_de_transformadores
- [19]. RoboCup. (s.f.). *Soccer Standard Platform League*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.robocup.org/robocup-soccer/standard-platform/>
- [20]. *Potencia eléctrica*. (Abril de 2013). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_el%C3%A9ctrica
- [21]. ByteMark, C. (Abril de 2013). *Ferrite 'E' cores*. Obtenido de <http://www.bytemark.com/products/fecor.htm>
- [22]. *Cálculo de un transformador*. (Abril de 2013). Obtenido de http://imagenes.unicrom.com/alambres_amperaje.gif
- [23]. RoboCup. (s.f.). *Soccer Simulation League*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.robocup.org/robocup-soccer/simulation/>

- [24]. RoboCup. (s.f.). *Soccer Middle Size League*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.robocup.org/robocup-soccer/middle-size/>
- [25]. RoboCup. (s.f.). *Soccer Humanoid League*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.robocup.org/robocup-soccer/humanoid/>
- [26]. Hernandez, S. M. (s.f.). *Diseño y analisis de un puente h*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://salvador.maciashernandez.com/Proyectos/PuenteH/PuenteH.htm>
- [27]. Rodriguez, R. G. (28 de Abril de 2010). *Reporte de practica sobre controlador PWM*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.slideshare.net/guestdb8ea2b/pwm>
- [28]. Nave, M. O. (s.f.). *Slew Rate del Op-amp*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electronic/a741p3.htm>
- [29]. *Slew Rate*. (s.f.). Recuperado el Junio de 2013, de http://es.wikipedia.org/wiki/Slew_rate
- [30]. *Small Size Robot League*. (s.f.). Recuperado el 2012, de <http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/>
- [31]. *RoboCup*. (s.f.). Recuperado el Junio de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Robocup>