

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN ROBOT OMNIDIRECCIONAL COMO
PLATAFORMA DE ENSEÑANZA DE CARRERAS EN
MECATRÓNICA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico que presenta el bachiller:

Franco Manuel Guillén Basantez

ASESOR: Francisco Fabián Cuéllar Córdova

Lima, enero de 2014

Resumen

En estos últimos años, las carreras de innovación y desarrollo de nuevas tecnologías han presentado un gran crecimiento debido al aporte generado al PBI por parte del sector manufacturero en el Perú [1], por tal motivo, los profesionales que van ejerciendo su carrera en el mercado deben estar preparados tanto conceptualmente como en temas prácticos de ingeniería. Las universidades del Perú cuentan actualmente con módulos educacionales, en los cuales, el alumno tiene conocimiento práctico de los temas aprendidos, pero estos no son completos. Es por eso que existe un déficit en el sistema educativo peruano [2], en el cual no cuentan con un sistema completo, tanto mecánico, electrónico y de programación, mediante el cual se puedan desenvolver profesionalmente y así solucionar los problemas comunes que pueden incurrir en las empresas peruanas.

Por tal motivo un sistema mecatrónico completo es presentado como plataforma educativa, para el desarrollo de habilidades mecánicas, electrónicas y de programación en los alumnos de pregrado de ingeniería mecatrónica. Dicha plataforma se basa en una de las competencias más importantes y de exigencia a nivel internacional, como RoboCup, específicamente en la categoría RoboSoccer middle size. Dicha plataforma cuenta una amplia variedad de sistemas mecánicos, como las ruedas omnidireccionales, actuadores solenoides, sistemas de suspensión y análisis de estructuras, ya que, el sistema completo debe ser lo suficientemente robusto y de un material resistente para poder soportar los diferentes impactos a los cuales será sometido en el campo de trabajo. Por el lado electrónico, el sistema cuenta con un control de motores, tanto para velocidad y posición; control de corriente del actuador, visión por computadora, etc.

En la competencia mundial de RoboSoccer, se tiene un equipo de robots los cuales tiene que trabajar de forma cooperativa, por lo cual, la implementación de un sistema de control y programación es necesaria para el correcto funcionamiento del robot.

Por lo mencionado anteriormente, la plataforma que se presenta tiene un amplio campo de aplicaciones, ya que, la solución al reto presentado en la competencia puede variar, ya sea para aplicar una mejora o resolver el problema desde otro punto de vista. Por lo tanto, estamos ante una plataforma educativa en la cual los alumnos de pregrado de la especialidad de ingeniería mecatrónica pueden desarrollar sus habilidades técnicas en un sistema de alto nivel competitivo a en un ámbito internacional, lo cual, generaría una mejora en la aplicación de los conceptos aprendidos en clase.

Índice

1. Presentación de la problemática.....	2-3
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	4
2.2 Concepto del sistema mecatrónico.....	5-6
3. Sistema mecatrónico.....	
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	7-8
3.2 Sensores y actuadores.....	8-11
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	11-20
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	20-23
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	24-26
4. Presupuesto.....	27
5. Conclusiones.....	28
Bibliografía.....	29

Capítulo 1

Presentación de la problemática

Actualmente en el Perú, las carreras con mayor crecimiento y necesidad para el desarrollo económico del país, son las carreras orientadas a la creación de nuevas tecnologías e innovación, por lo cual, los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecatrónica deberán contar con un nivel apto para asumir dicha responsabilidad. Los futuros ingenieros deberán contar con conocimientos y habilidades que son muy valoradas en las empresas en los últimos años, como lo son el amplio conocimiento técnico en las áreas de mecánica, electrónica, programación, y el desarrollo de sistemas que operen en equipo; adicionalmente, el trabajo en equipo, liderazgo, comunicación, creatividad y el trabajo multidisciplinario son habilidades que todo ingeniero debería desarrollar [3].

La creación de programas para educación, genera un gran apoyo para la implementación de cursos de robótica para escolares, lo cual se viene realizando en otros países desde muchos años atrás [4]. Dichos cursos no solo promueven la educación cognitiva, además, se logra desarrollar la imaginación e interés por la ingeniería desde muy pequeños, lo cual a la larga, se verá reflejado en la calidad de ingenieros promuevan el desarrollo del país [5].

En el Perú, la educación de pregrado cuenta con un soporte limitado para que los estudiantes puedan desarrollar sus habilidades, con lo cual, son pocas las universidades que cuentan con una completa plataforma educativa para la aplicación de los conceptos aprendidos durante su carrera universitaria.

En el ámbito internacional, RoboCup es un proyecto, que busca promover el desarrollo de la tecnología en base a competencias y ponencias alrededor del mundo, basándose en el desarrollo de robots autónomos, en donde se integran las áreas de mecánica, electrónica y programación. Conocimientos que son necesarios para el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la industrial, por lo cual, RoboCup está enfocado al desarrollo de la innovación en la solución de problemas técnicos que podrían ser utilizados en futuras aplicaciones industriales, ya que cuentan con un alto nivel de innovación y de carácter único [6].

Como solución al soporte limitado en la educación de pregrado, se presenta una Plataforma Educativa para el desarrollo de habilidades en diseño mecánico, programación en C++, visión por computadora, control automático, sistemas de navegación, diseño electrónico, cinemática de dispositivos móviles, programación de máquinas en función cooperativa y generación de estrategias

Según el ranking de competitividad del World Economic Forum 2013-2014, señala que el Perú está ubicado en el puesto 86 en preparación tecnológica y el puesto 122 en innovación, habiendo así, descendido más de 17 puestos con respecto al anterior ranking [7]. Es así que se ve necesaria la correcta preparación académica de los futuros profesionales, ya que de ellos dependerá la capacidad de revertir estas cifras y así contribuir al progreso del país.

Las competencias de robótica de régimen internacional, han sido prueba fehaciente de ser un mecanismo de aprendizaje y motivación para los estudiantes universitarios, ya que presentan desafíos y retos, los cuales, motivan al estudiante a desarrollar sus habilidades técnicas en ingeniería y su creatividad para la solución de problemas [8].

En el extranjero se viene desarrollando programas de aprendizaje, en donde el principal objetivo es incentivar la educación en robótica, ya sea en niños, estudiantes y adultos. En Canadá, se realizó un curso en el cual el principal concepto era aprender por etapas sin ser abrumado por los detalles. La idea, era usar problemas del mundo real y que el alumno pueda relacionar físicamente los problemas y así poder visualizar los problemas con mayor facilidad y ofrecer soluciones más óptimas [9]. Además se buscó utilizar una plataforma de investigación útil, la cual, permita un correcto desarrollo de los elementos de control y el trabajo cooperativo de robots [8].

En España, se implementó un curso de robótica donde se implementó la plataforma SkyBot [10], robot el cual permitió la consolidación de los conocimientos de los estudiantes y el aprendizaje de nuevos conceptos.

En otros países se crearon programas para diseñar, implementar y programar robots para esta categoría de RoboCup, ya que, se demanda una gran cantidad de tiempo, dedicación y motivación por parte de los estudiantes. [11]

Otro punto importante es la acreditación internacional que puedan conseguir las carreras de diferentes universidades a lo largo del país. Por ejemplo, el criterio ABET para programas de ingeniería incluye como requerimiento un largo tiempo de experiencia en diseño con limitaciones reales, por lo cual, una plataforma en la cual se pueda experimentar y fortalecer los conocimientos que no solo se piden localmente, sino a nivel internacional, es necesaria. [4]

Como se puede observar, los robots utilizados en las categorías de RoboCup son una plataforma de desarrollo múltiple, en donde el diseño y creación de robots comprende la aplicación de una amplia gama de conceptos en ingeniería.

La carrera de ingeniería Mecatrónica, ha experimentado un gran crecimiento en los últimos años, ya que, dicho ingenieros serán de gran aporte para la implementación de industrias automatizadas en el Perú en los próximos años. Por tal motivo, una plataforma educativa de alto nivel será necesaria para que los estudiantes puedan completar sus estudios universitarios con la calidad que el mercado solicite.

Dicha plataforma seguirá las bases de la categoría middle size de la competencia RoboSoccer de RoboCup, la cual, no solo se enfoca en la competencia futbolística de los robots, sino la aplicación e innovación constante de los robots a participar.

Capítulo 2

Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

La plataforma debe ser un robot autónomo que a través de sensores y una tarjeta de procesamiento, pueda analizar la situación actual y así jugar eficientemente. Bajo ningún motivo el robot debe tener contacto con las personas y debe ser seguro tanto para los espectadores como para los miembros del equipo [6].

Es por eso que se requiere un sistema que pueda tener movimientos omnidireccionales para su fácil y ágil desplazamiento dentro del campo, un sistema de sensado para poder tomar datos de la situación en la que se encuentra, y un mecanismo de disparo y sujeción capaz de manipular una pelota de futbol oficial tamaño 5 y ser lo suficientemente seguro para los usuarios.

La plataforma debe medir como máximo 52x52x80 cm., pesar menos de 40 kg. y ser completamente negro mate para poder evitar los brillos innecesarios. También se debe contar con un sistema de numeración para cada robot, así cuando el robot interactúe en un campo de juego pueda reconocer a cada jugador como otro sujeto.

Deberá contar con un sistema de comunicación, para que cuando se encuentre con otros jugadores en el campo, pueda interactuar con los jugadores y la computadora encargada de las estrategias, por lo tanto, un sistema inalámbrico que funcione mediante IEEE 802.11a/b será necesario para cumplir con dicha función.

Así mismo, un sistema de control lo suficientemente robusto para que el ruido que pueda generarse en el ambiente no afecte la lectura de los sensores, un control de posición y velocidad de los motores, un control de fuerza y ángulo de disparo y finalmente un control de agarre de la pelota será necesario, ya que, para este último se debe tener la facilidad de hacer girar la pelota y así facilitar el traslado de la misma a lo largo del campo. [12]

Por otro lado, el sistema debe tener las condiciones para poder solucionar problemas de manera autónoma, por lo cual, se tendrá un sistema de control general que estará encargado de analizar los datos adquiridos por los sensores para así poder tomar la mejor decisión según la estrategia planteada por el computador principal. Además, deberá contar con un procesador principal del cual se puedan generar las instrucciones de control para cada mecanismo del sistema.

2.2 Concepto de la solución

La solución presentada es una plataforma capaz de moverse libremente en todas las direcciones, disparar y jugar al fútbol autónomamente. Dicha plataforma está basada en los robots ya realizados para RoboCup middle size [13] [14]. Dichos robots nos proporcionan una base sobre el diseño y mecanismos realizados para cumplir los requerimientos dados por el jurado calificador. En la Figura 1, se muestra el sistema completo, cual están constituido por dos 4 partes principales: Elemento base (1), mecanismo de disparo (2), mecanismo de sujeción (3) y elemento superior (4).

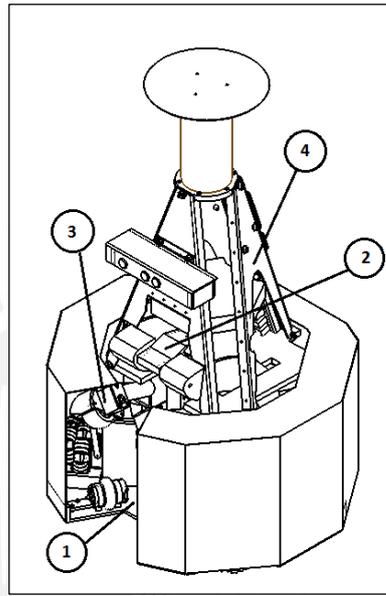


Figura 1. Vista General del Sistema Mecatrónico.
 Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 2, se tiene un diagrama de funcionamiento del sistema de comunicación que opera en los robots. Se contará con una computadora de refereee, la cual, verificará si los comandos enviados por las computadoras o el tipo de comunicación que utilizan no quebrantan algunas de las reglas o limitaciones especificadas anteriormente en las reglas. Además, cada robot que integraría el equipo tendría su propia antena de comunicación, para así, facilitar la comunicación general entre los miembros del equipo. Vale recalcar que mediante programación no se puede enviar datos de los otros robots, solo información recaudada de los sensores.

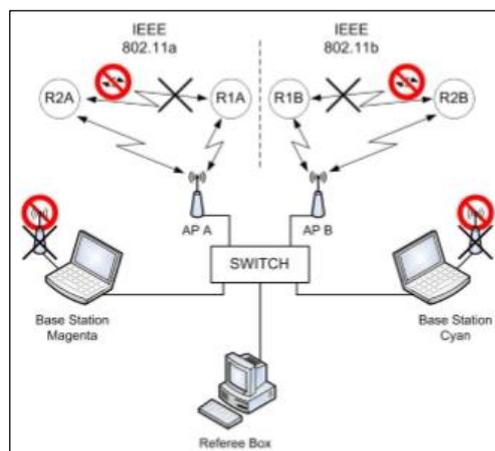


Figura 2. Diagrama de Comunicación del Sistema Completo
 Fuente: <http://wiki.robocup.org/images/d/d1/Msl-rules2014.pdf>

Como se puede observar en las diferentes vistas proporcionadas por las Figura 4 y Figura 3, el móvil es simétrico respecto a un plano vertical, y la gran parte del peso está situado en la parte inferior, lo cual, baja el centro de gravedad a una altura de 26 cm de la base, y así se evita la volcadura al momento que pueda haber una colisión, ya sea con otro jugador o con la pelota. Por otro lado, cada móvil debe tener una marca con su número, para la propia identificación del jugador.

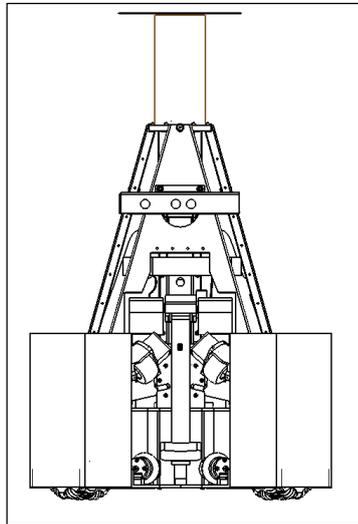


Figura 4. Vista Frontal del Sistema Mecatrónico

Fuente: Elaboración propia

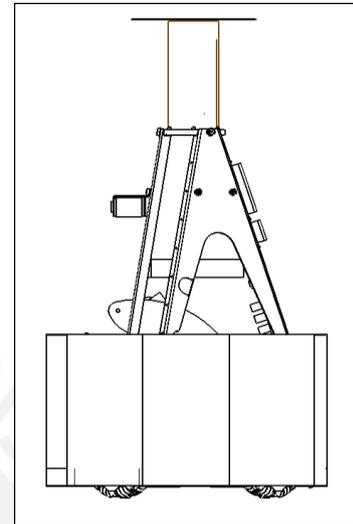


Figura 3. Vista Perfil del Sistema Mecatrónico

Fuente: Elaboración propia

El sistema se basa en el sensado por parte de un compás, una cámara omnidireccional y una cámara de visión 3D como la cámara Kinect, los cuales brindan los datos necesarios para comprender el entorno y posición de cada jugador respecto al otro. A través de ese sensado, se procesan los datos necesarios para escoger la acción a realizar, ya sea, dar pase, avanzar o disparar. Dicha acción siempre estará condicionada por la estrategia enviada por la computadora principal, la cual, solo planteará la estrategia mas no los movimientos a realizar por cada uno de los integrantes del equipo.

Capítulo 3

Sistema mecatrónico

3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

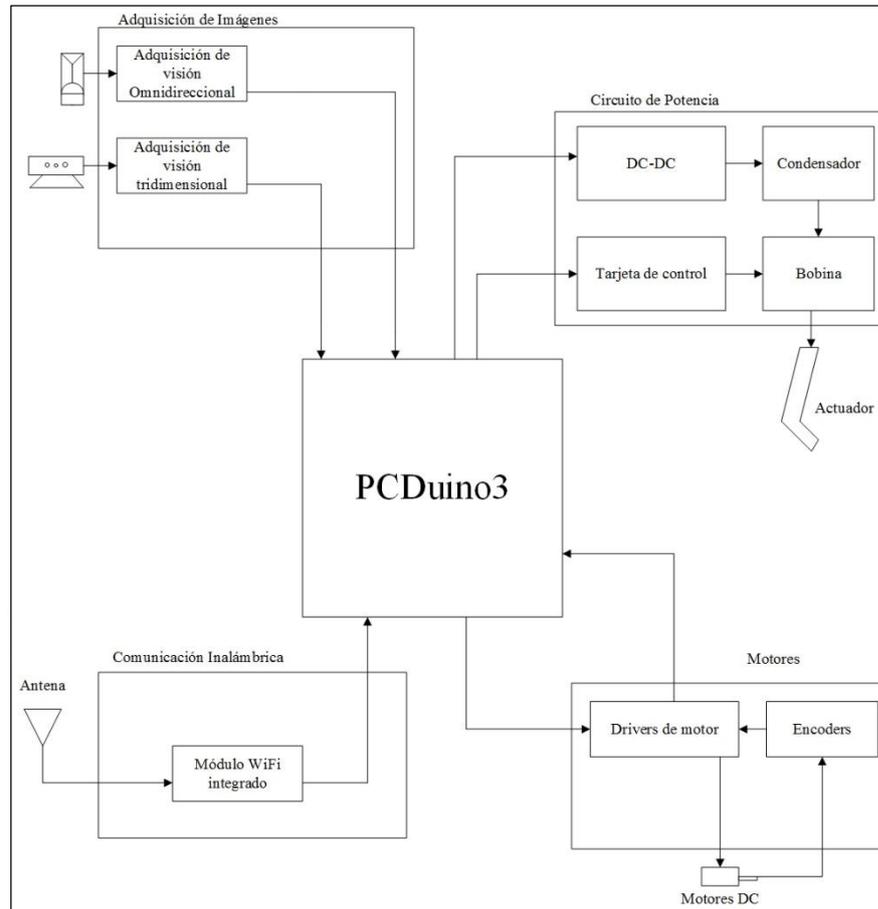


Figura 5. Diagrama de Funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 5 muestra el diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico. La sección de adquisición de imágenes cuenta con una cámara omnidireccional para poder ubicarse en el espacio y un sensor Kinect para que el sistema se tener movimientos más asertivos al momento de ir tras el balón, ya que el Kinect es una cámara de visión 3D, el cual permite obtener la imagen y la profundidad de los objetos detectados. El procesamiento de imágenes se llevará a cabo en el PCDuino3, el cual, posee la capacidad de procesamiento suficiente en memoria para poder realizar el analizar la información recibida en tiempo real. La sección motores cuenta con drivers para poder controlar la potencia de los motores, encoders, para tener un control más óptimo de la velocidad y posición, y los motores, los cuales serán usados en tres circunstancias principales: Movilidad a lo largo del campo, rotación del balón para trasladarlo de menos fricción en el campo de juego y un motor para controlar la elevación del actuador de disparo. La sección de potencia cuenta con un conversor de voltaje DC-DC de 24VDC a 450VDC, el cual, alimentará un condensador de 4700uF. Dicha configuración se usará para poder dar la potencia suficiente al disparo, ya que, cuenta con un solenoide, el cual, activará el actuador final y así lograr un disparo con potencia.

El sistema será alimentado por dos baterías Li-Po en paralelo de 24V y 8000mAh, la cual le proporcionará una autonomía de 45 minutos, bajo las condiciones de fricción máxima y consumo máximo de corriente (Anexo 1 y 2).

3.2 Sensores y actuadores

Los siguientes sensores y actuadores serán utilizados en el sistema:

- Cámara Omnidireccional
- Compás Magnético
- Kinect 360
- Sensor Infrarrojo
- Actuador solenoide
- Motores DC Maxon RE40
- Motores DC Maxon RE25

3.2.1 Cámara Omnidireccional

Para que el robot pueda reconocer su ubicación dentro del campo, y la de sus compañeros, se optó por utilizar una cámara omnidireccional de la marca Vstone, modelo VS-C450U-200-TK (Ver Figura 6), la cual es comúnmente utilizada para este tipo de aplicaciones. La cámara posee conexión USB 2.0 para transmitir la imagen, una resolución máxima de 1600x1200 a 10 fps, la cual puede ser ajustada de acuerdo a la aplicación, así como el brillo, contraste, matiz, saturación, nitidez, exposición, balance de blancos y cancelación de ruido. Presenta un bajo consumo de energía para el rendimiento que ofrece, ya que, genera un consumo de 100mA como máximo.



Figura 6. Cámara Omnidireccional

Fuente: http://www.vstone.co.jp/robotshop/index.php?main_page=popup_image&pID=209

3.2.2 Compás Magnético

Dicho sensor se utilizará para confirmar la orientación del robot, la cual se obtendrá de la cámara omnidireccional. El sensor a usar será de la marca Honeywell, el modelo HMC 5883L-EVAL, ya que, el consumo de corriente es de 27 uA, y posee una resolución de 0.73 miligauss. El integrado viene soldado a una pequeña tarjeta, la cual presenta 8 pines machos para su fácil acceso y adquisición de datos. Dicha tarjeta se conectará al controlador principal, a través de una tarjeta principal, en donde se encontrarán todos los sensores y circuitos conectados al PCDuino3. (Ver Figura 7)

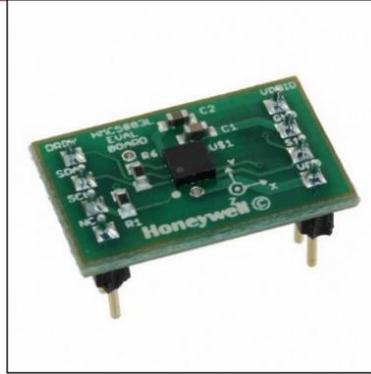


Figura 7. Compás Magnético

Fuente: <http://media.digikey.com/Photos/Honeywell%20Photos/HMC5883L-EVAL.JPG>

3.2.3 Sensor Kinect

El Kinect 360 (Ver Figura 8) proporciona un sistema de visión que proporciona profundidad a la imagen que capta gracias al posicionamiento de sus dos cámaras y del sensor infrarrojo que posee. El sensor consume un máximo de 500mA. Se utilizará principalmente para poder predecir los movimientos del balón, es decir, cuando un robot realice un pase del balón mediante un tiro curvo, el robot a recibir el pase podrá posicionarse cerca al área en donde el balón descenderá y así tener el control del mismo (Ver anexo 5).



Figura 8. Kinect 360

Fuente: http://www.microsoftstore.com/store/msusa/en_US/pdp/Kinect-for-Xbox-360/productID.253169000

3.2.4 Actuador Solenoide

El actuador a emplear se fabricará para poder obtener la energía necesaria para que el disparo sea lo suficientemente fuerte y seguro para anotar. En la Figura 9, se puede observar un ejemplo de este tipo de actuadores, ya que son reconocidos por poseer una gran descarga de energía, por lo cual, el solenoide está conectado a la tarjeta de potencia que lo alimentará y se controlará por una señal PWM, ya que si se procede a conectar directamente el actuador a la fuente de alimentación, dicha bobina aumentaría la temperatura y se podría dañar cuando se encuentre en funcionamiento.



Figura 9. Actuador Solenoide

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/moticont/actuadores-lineales-solenoide-58975-810075.html>

3.2.5 Motores Maxon RE40

Los motores a seleccionar fueron de la marca Maxon modelo RE40 (Ver Figura 10), ya que, cumplen con los requerimientos del sistema que se pueden observar en el anexo 1, dichos motores se caracterizan por su alta eficiencia, la cual alcanza el 91%, rendimiento y precisión con la que funcionan. Son alimentados por una fuente de 24V, para obtener una máxima potencia de los mismos; consumen en funcionamiento 6A, y 80.2A cuando ejercen su torque máximo, por lo cual, un controlador de alta potencia será necesario para su funcionamiento. (Ver Anexo 7)



Figura 10. Motor Maxon RE40

Fuente: http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8813848297502/RE40-EB-25W-a-4.jpg

3.2.6 Caja Reductora y Encoder

Para poder cumplir con los requerimientos máximos del sistema se seleccionó una caja reductora de 43:1, modelo GP 42C de la marca Maxon Motors (Ver Figura 11), la cual ofrece un torque de 7.5N como máximo, además, cuenta con una configuración de engranajes planetarios, lo cual brinda una mejor transferencia de energía y una eficiencia de 81%.

El encoder rotacional, modelo HEDS 5540 (Ver Figura 12), es de tipo incremental, el cual cuenta con 3 canales y una resolución de 500 cuentas por vuelta a una frecuencia máxima de 100 KHz. (Ver anexo 7)



Figura 11. Caja Reductora 43:1

Fuente: http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8797711368222/GP-42-C-42-Detail.jpg



Figura 12. Encoder HEDS 5540

Fuente: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/incremental-rotary-encoders-7173-4001061.jpg

3.2.7 Motor Maxon RE25

El sistema de sujeción del balón cuenta con un motor de la marca Maxon, el cual posicionará el actuador final a la altura necesaria, ya sea para dar pase, o para disparar el balón en curva. Además, cada rueda de sujeción cuenta con un motor para brindar más potencia al tiro final. Dichas ruedas servirán para hacer girar el balón y así restar la fricción e inercia que se genera al movilizarlo a lo largo del campo. (Ver Figura 13)



Figura 13. Motor Maxon RE 25

Fuente: <http://circuitcellar.com/wp-content/uploads/2013/08/Maxon1.jpg>

3.3 Planos del sistema mecatrónico

Como se mencionó anteriormente, el sistema en general cuenta con 4 partes principales que se describirán a profundidad en su totalidad y en sus partes. Para más información de la que se brinda revisar el anexo 6.

3.3.1 Elemento Base

Como se puede observar en la Figura 14 el elemento base tiene 4 partes principales: (1) dos piezas frontales, (2) dos piezas posteriores, (3) cuatro soportes para las llantas, (4) las llantas omnidireccionales y (5) el sistema de suspensión, el cual, a través de 4 amortiguadores, permitirá asegurar que cada llanta logre estar en contacto con el piso, ya que ante cualquier irregularidad en la superficie, las ruedas deben estar en contacto para evitar picos de corriente en los demás motores. Las piezas de la base, los soportes y partes del sistema de llantas están fabricadas de Ertalyte, un poliéster no reforzado hecho de polietileno tereftalato (PET-P), plástico que se caracteriza por tener estabilidad dimensional junto con una excelente resistencia al desgaste, un bajo coeficiente de fricción, alta resistencia y resistencia a soluciones moderadamente ácidas. Las propiedades de Ertalyte lo hacen especialmente adecuado para la fabricación de piezas mecánicas de precisión que son capaces de sostener grandes cargas y soportar condiciones de desgaste. (Ver Anexo 7)

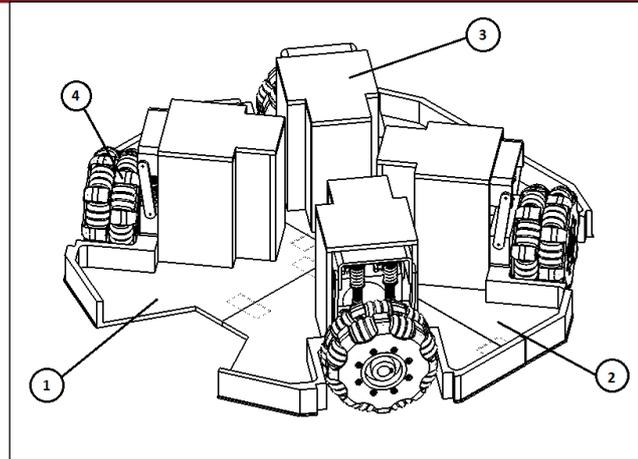


Figura 14. Elemento Base
Fuente: Elaboración propia

Piezas Frontales

Las dos piezas frontales son simétricas y cuentan con una abertura en donde la pelota cabe cómodamente. Tienen un ancho de 500 mm y un largo de 250 mm, ya que, por reglamento no debería exceder los límites de 600x600. Posee dos aberturas en donde encajarán las ruedas y un borde de 1mm en donde se podrá instalar la cobertura de los elementos mecánicos. Como se puede observar en la Figura 15, las piezas son totalmente simétricas.

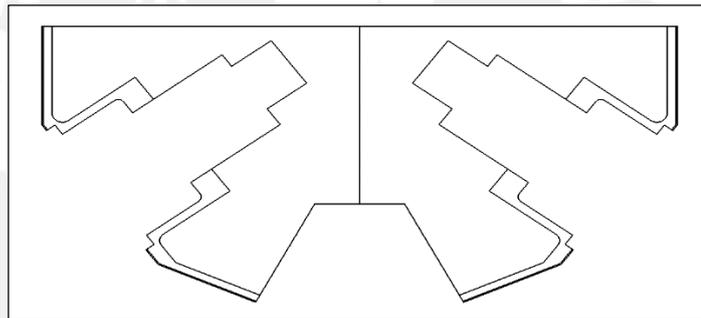


Figura 15. Piezas Frontales
Fuente: Elaboración propia

Piezas posteriores

Así como las piezas frontales, las piezas posteriores tienen las mismas medidas de ancho y largo para poder obtener una pieza base final de 500x500 mm. Las piezas son simétricas y cuentan aberturas para poder instalar sin problemas las llantas omnidireccionales.

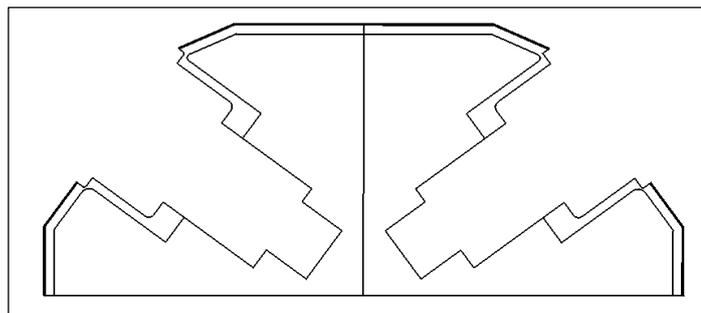


Figura 16. Piezas Posteriores
Fuente: Elaboración propia

La unión de las piezas frontales y posteriores se da a presión mediante los elementos que se pueden observar en la Figura 17, los cuales, tiene un largo de 20, 30 y 40 mm, debido a la complejidad de forma de la base. En la Figura 18, se puede observar que cada elemento calza exactamente en su orificio, por lo cual, cada uno debe ser insertado en su respectiva posición.

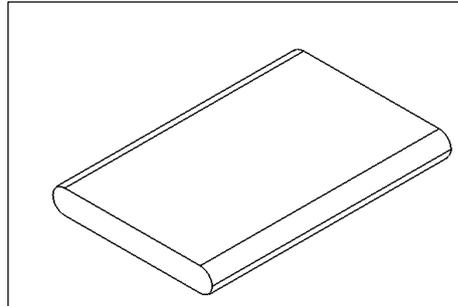


Figura 17. Elemento de Unión
Fuente: Elaboración propia

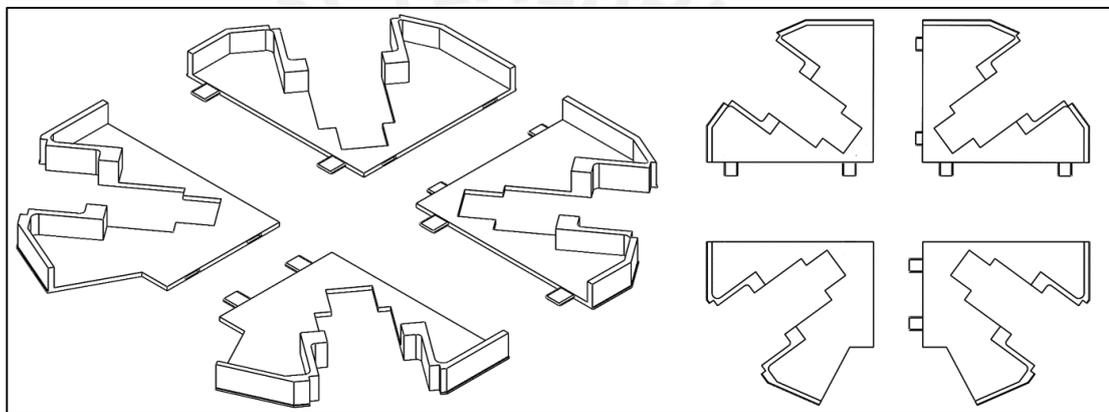


Figura 18. Bases con Uniones
Fuente: Elaboración propia

Soporte para las llantas omnidireccionales

El soporte de las llantas está conformada por tres partes principales: laterales, posterior y la tapa superior, las cuales, poseen la forma adecuada para poder alojar al motor con todos sus componentes. Dichas partes se unen mediante tornillos autoroscantes M3 ubicados en las posiciones mostradas en la Figura 19.

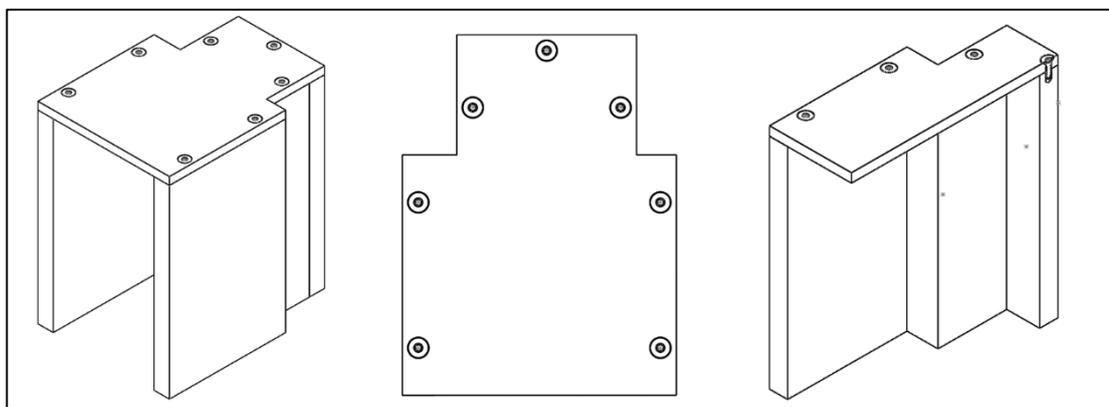


Figura 19. Soporte para las llantas
Fuente: Elaboración propia

Sistema Omnidireccional y Suspensión

El sistema de llantas omnidireccionales cuenta con (1) un soporte superior, (2) un soporte inferior, (3) cuatro amortiguadores, (4) cuatro laterales de soporte, (5) una tapa superior, (6) un motor Maxon RE40, (7) una rueda omnidireccional y (8) los rodillos de la rueda omnidireccional. Este sistema se ensambla a la base mediante tornillos Allen M3. (Ver Figura 20)

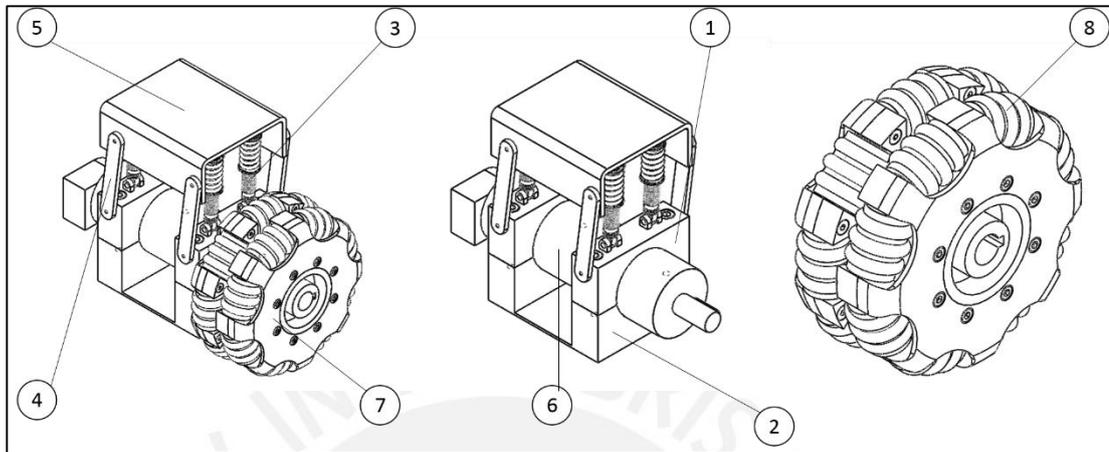


Figura 20. Sistema Omnidireccional
Fuente: Elaboración propia

El sistema de amortiguadores permite asegurar que las cuatro llantas tengan contacto con la superficie en la que se encuentren, ya que, ante cualquier desnivel, las llantas tendrán un pequeño empuje proporcionado por cada uno de los resortes. Por otro lado, el motor está sujeto al sistema mediante el soporte inferior y superior, los cuales se encuentran unidos mediante cuatro tornillos Allen.

Las llantas omnidireccionales están fabricadas de aluminio y constan de 3 partes principales, denominadas (1) base, (1) tapa media y (3) la tapa de la rueda. La base es la parte más robusta, ya que a ella se le adjuntarán las otras piezas. Todas las piezas de la llanta son unidas mediante torillos Allen (4) y tornillos de cabeza plana (6) como se puede observar en la Figura 21. Además, poseen ranuras en donde encajarán los rodillos que permitirán un movimiento sin restricciones. Las partes de la rueda omnidireccional están fabricadas en Aluminio 1060, mientras que la estructura de soporte es fabricada de Ertalyte.

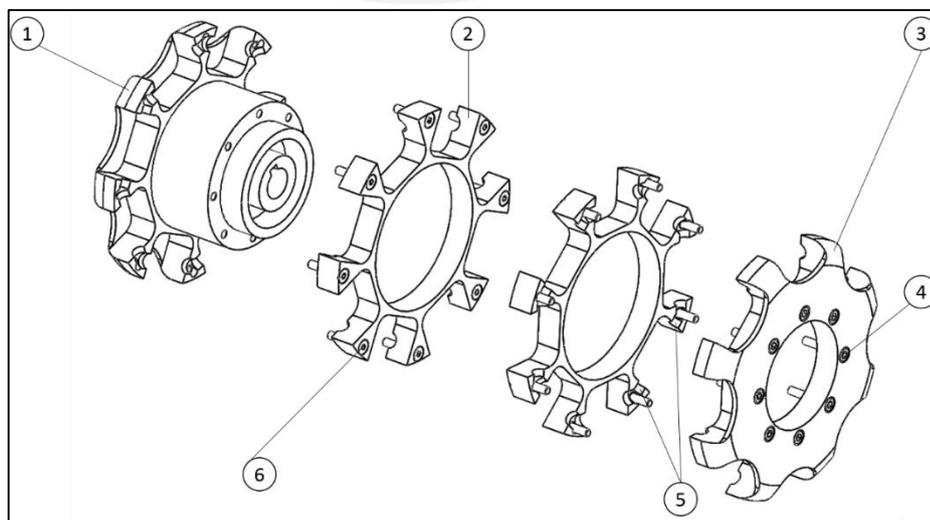


Figura 21. Estructura de Llanta Omnidireccional
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 20, las llantas cuentan con rodillos que permiten el traslado del robot a lo largo de cualquier eje en el plano. En la Figura 22, se puede apreciar el interior del rodillo, en donde se tiene (1) un oring de 16mm, (2) un oring de 17mm, (3) el cuerpo del rodillo, (4) rodamientos marca SKF de 9mm, (5) dos arandelas por cada lado para darle sujeción a la unión y (6) un pasador que permite el giro libre de los rodillos respecto a los orificios que encontramos en las ruedas. Los rodillos se son fabricados como en los casos anteriores de Ertalyte.

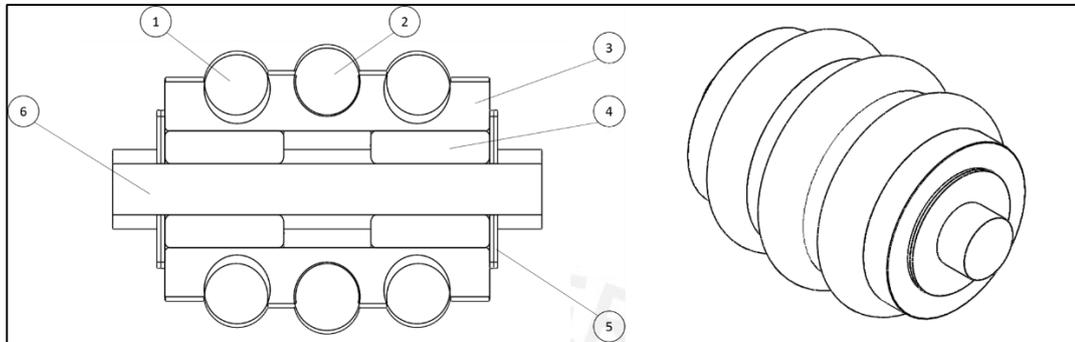


Figura 22. Rodillo
 Fuente: Elaboración propia

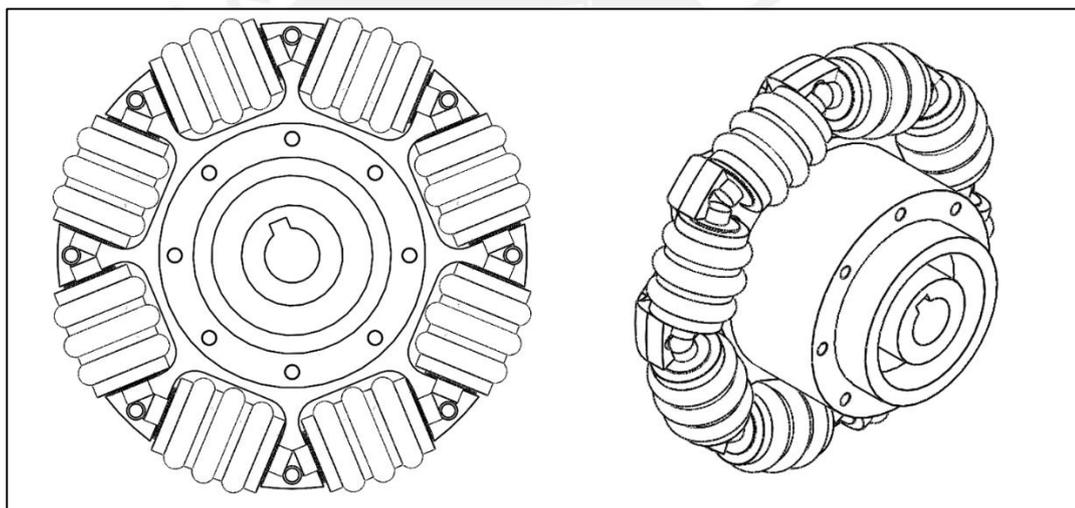


Figura 23. Rueda con rodillos
 Fuente: Elaboración propia

Mecanismo de Disparo

El mecanismo de disparo consta de 5 partes importantes, (1) el actuador solenoide, que le brindará la potencia de disparo, (2) el actuador final, que será el que golpee a la pelota para poder dar un pase o disparar al arco, (3) un panel de soporte, (4) un condensador de 450V - 4700uF, el cual brindará la potencia eléctrica necesaria, y (5) las guías de elevación, que determinarán la altura del disparo final. Como se puede apreciar en la Figura 24, Todos los elementos están unidos mediante tornillos M3 a la base

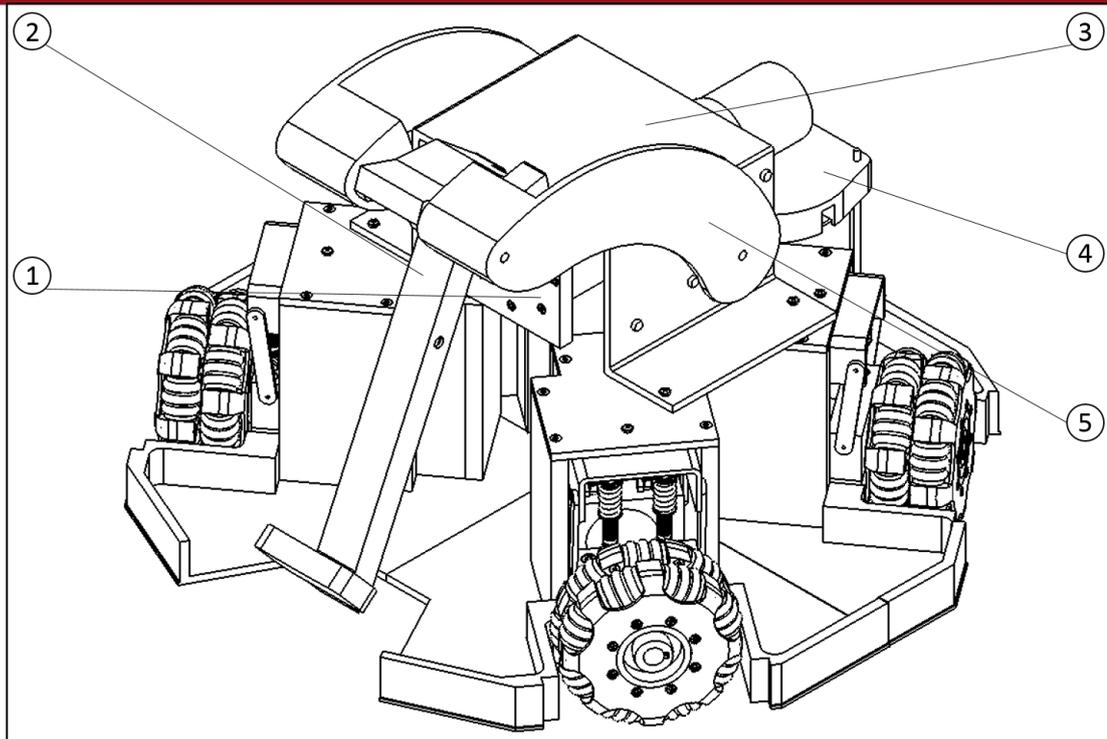


Figura 24. Mecanismo de disparo ensamblado a la base
Fuente: Elaboración propia

Actuador Solenoide

La Figura 25 nos muestra el solenoide y su interior. En (1) se tiene la protección interior, la cual es de aluminio y sirve para mantener la bobina (4) fuera del alcance, en (2) se encuentra las tapas que son unidas al tubo de protección final (3) mediante tornillos de cabeza Allen M3. Dicha configuración se tomó en cuenta para mantener el campo electromagnético dentro de del actuador y así poder aprovechar la máxima fuerza del solenoide al actuador final, el cual, se explicará en la siguiente descripción.

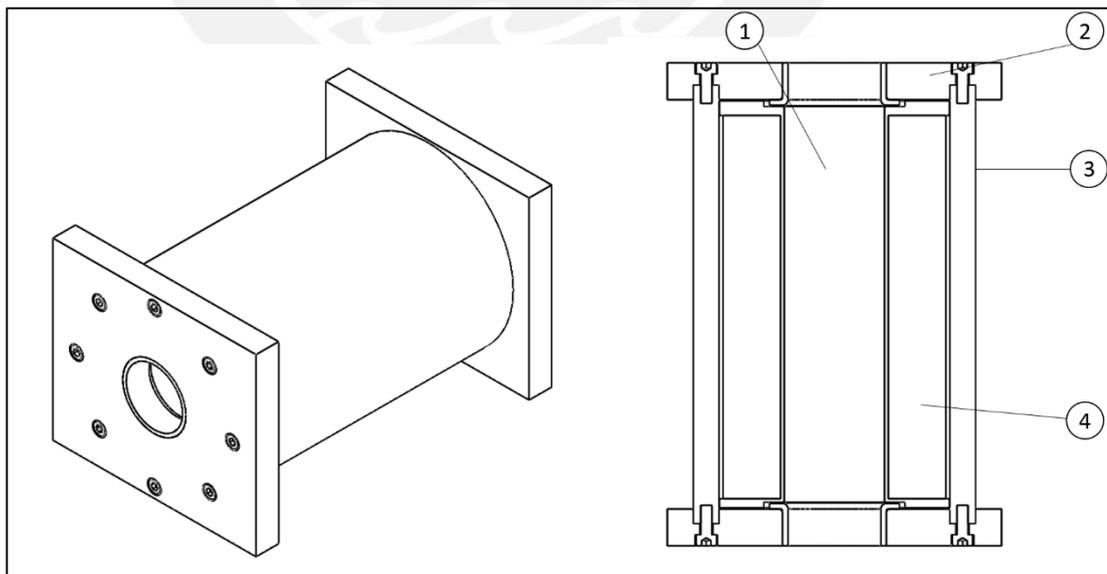


Figura 25. Solenoide
Fuente: Elaboración propia

Actuador final

Como se muestra en la Figura 26, se tiene 5 partes que conforman el actuador final: (1) un pasado que va unido al encoder, (2) un encoder para controlar la velocidad de disparo, (3) un soporte de unión al resto del robot, (4) un cuerpo del actuador y (5) la punta del actuador, la cual, puede ser intercambiable de acuerdo al desgaste. Dicho actuador se encuentra unido a las guías de elevación mediante los pasados mostrados. El principio del funcionamiento se encuentra basado en la fuerza electromagnética que genera el solenoide, mediante el cual, se logra obtener fuerza en un sentido específico y así lograr que el actuador logre golpear el balón. (Ver anexo 4)

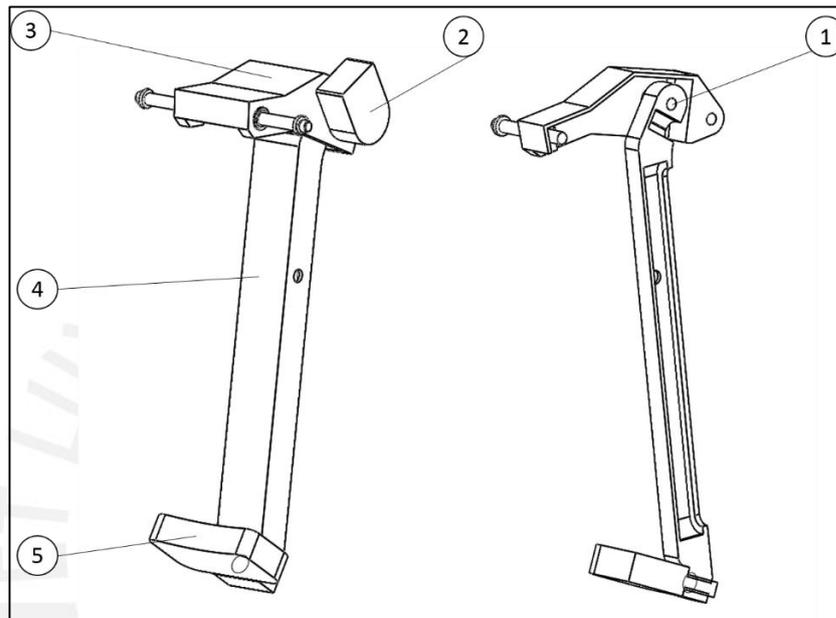


Figura 26. Actuador Final
 Fuente: Elaboración propia

Mecanismo de sujeción

El mecanismo de sujeción consta de un equipo simétrico, el cual, cuenta con ruedas para fijar la posición del balón. En la *Figura 27* se puede observar las partes del sistema en su totalidad, el cual cuenta con dos ruedas que son controladas por motores y así ofrecer una mayor fijación. Al momento de recibir el balón, los amortiguadores posicionados en (6), lograr reducir el impacto que genera, seguidamente, los motores proceden a fijar el balón; para controlar las ruedas se utilizan dos motores RE25, los cuales permitirán girar el balón para facilitar su traslado y girarlo al momento de lanzar para generar curva en el lanzamiento. En (1) y (2) se observa la pieza contenedora de la rueda, mientras que en (3) se tiene la pieza que permitirá el libre giro de la pequeña llanta omnidireccional (4). En (7) se tienen las guías que permitirán el movimiento del sistema de sujeción. Para una vista completa, en la *Figura 28* se muestran las vistas frontal y superior del sistema, en donde se puede observar que los amortiguadores se encuentran fijos mediante pasadores y arandelas de seguridad DIN 6799. Las guías que se encuentran a ambos lados, se encuentran fijas a la base mediante dos tornillos M3 cada una.

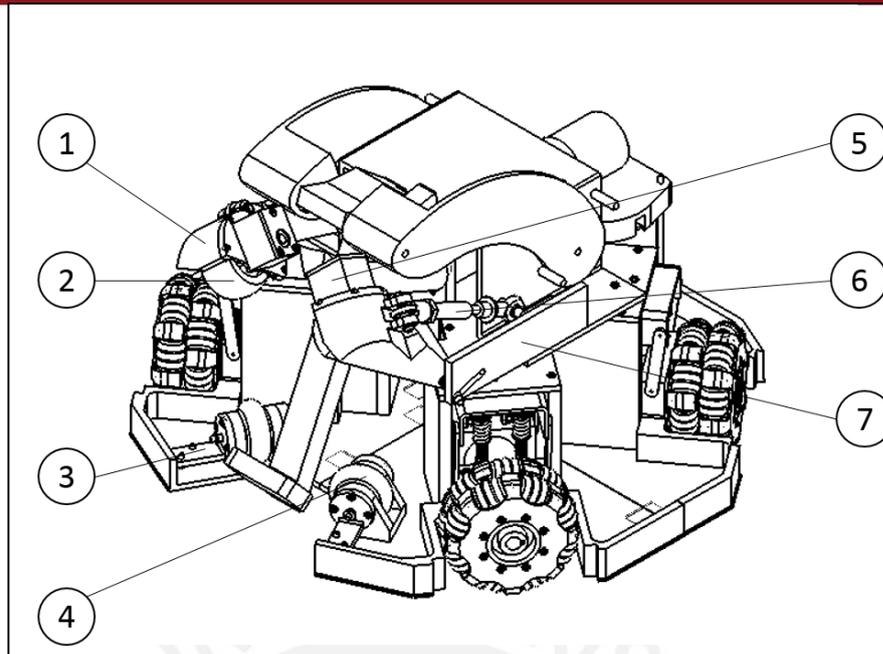


Figura 27. Mecanismo de sujeción del balón
Fuente: Elaboración propia

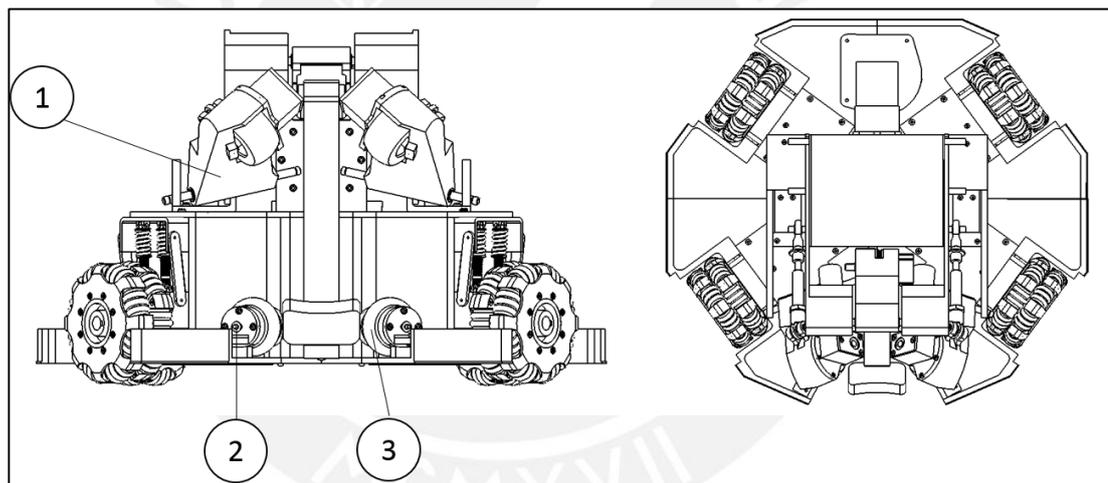


Figura 28. Vistas Frontal y Superior del sistema.
Fuente: Elaboración propia

Elemento Superior

Para que el robot pueda tener una orientación de 360°, el elemento superior cuenta con una cámara omnidireccional en lo más alto. Para que la luz no afecte a la lectura de la cámara, en (1) se tiene una pequeña tapa superior que viene anclada a la misma cámara, mientras que en (2) se tiene el soporte de la misma. Además el sistema cuenta con un sensor Kinect para poder tener un reconocimiento de espacio en el que se encuentra con la finalidad de poder predecir cuál será la posición final del balón lanzado. También se cuentan con tres brazos soporte (5), la caja en donde se habilitará todas las tarjetas y drivers (6) y finalmente, en (7) se tiene la base del elemento superior, por el cual, es unido a la base mediante tornillos M3 (Ver Figura 29 y Figura 30)

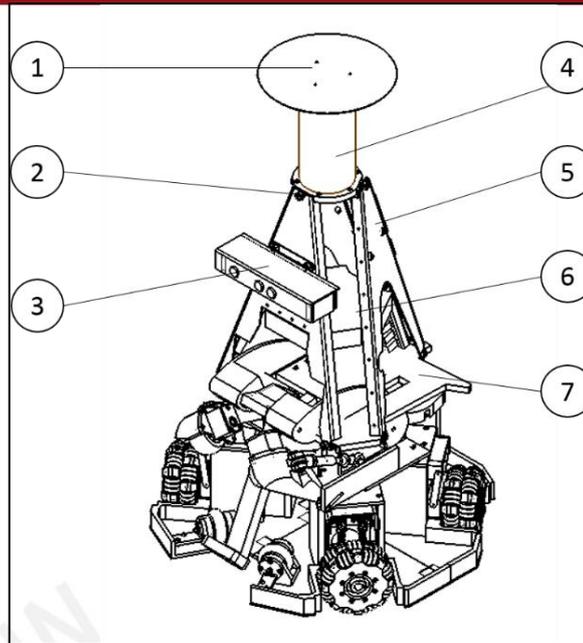


Figura 29. Elemento Superior
Fuente: Elaboración propia

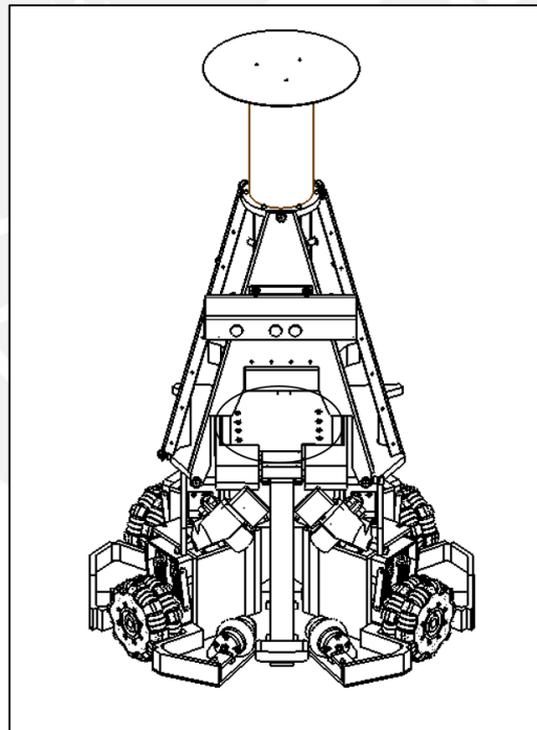


Figura 30. Vista de uniones
Fuente: Elaboración propia

Cubierta de base

Como elemento final, se tiene la cubierta de base, la cual servirá para proteger los elementos internos de la base.

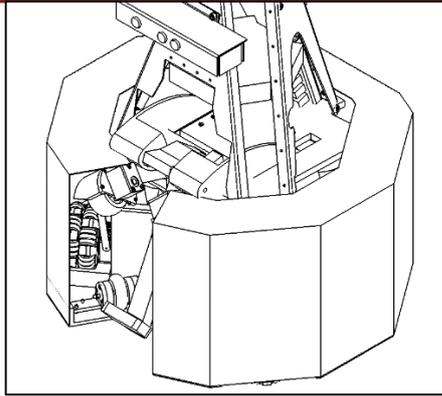


Figura 31. Cubierta de Base
Fuente: Elaboración propia

El sistema cuenta con 4 ruedas, ya que es la configuración más óptima en cuanto a velocidad de respuesta y precisión en el movimiento. En el anexo 6, se observa la justificación y la comparación con otros sistemas omnidireccionales.

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

3.4.1 PCDuino3

EL PCDuino3 es una tarjeta de alto rendimiento, ya que cuenta con un ARM Cortex A7 Dual Core y un Mali 400 dual Core como GPU, el cual puede soportar sistemas operativos como Ubuntu 12.04, Android 4.2. Cuenta con salida HMI y puede decodificar video a 30 fps. Es compatible con las tarjetas adicionales de la marca Arduino, empresa que se dedica al diseño, fabricación y comercialización de tarjetas multiuso, las cuales, cuentan con un microcontrolador de la marca Atmel. Dicha empresa ha creado su propio software libre, el cual posee un lenguaje de programación fácil de usar; el PCDuino3 es compatible con dicho lenguaje y será el responsable de la adquisición de datos en tiempo y real y su debido procesamiento, controlará el mecanismo de disparo, los motores, y la lectura de ambas cámaras, ya que cuenta con una memoria RAM de 1 GB y memoria expandible hasta 32GB. El PCDuino3, posee su propia interfaz Wifi que se utilizará para hacer la comunicación entre los robots y la computadora matriz. La tarjeta consume 2A a un voltaje de alimentación de 5V. La propia tarjeta cuenta con un divisor de voltaje interno, con lo cual, se puede alimentar con la batería a utilizar de 24V. (Ver Figura 32)

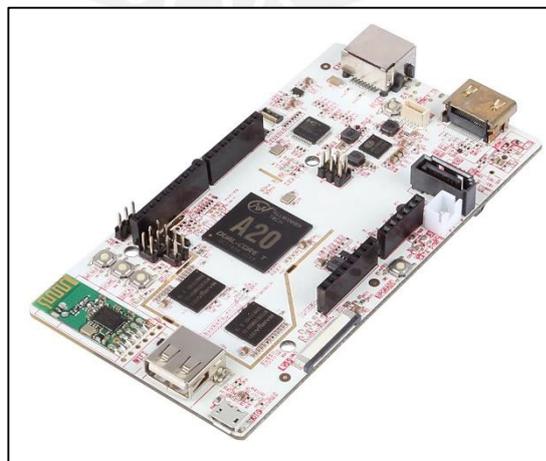


Figura 32. PCDuino3
Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Roboclaw 60A

Se utilizarán las tarjetas de la marca Orion Robotics, las cuales pueden soportar una corriente continua de trabajo de 60⁰A y corrientes picos de 120A, lo cual cumple con de la corriente pico de los motores seleccionados (80.2A). Se implementará un control PID de los motores, el cual estará programado en dicho controlador, ya que, está diseñada para facilitar el ingreso de los valores del controlador. Puede trabajar hasta con voltajes de 48V y brindar una gran variada de controles, como analógico, digital, serial, RC, etc. (Ver Figura 33)

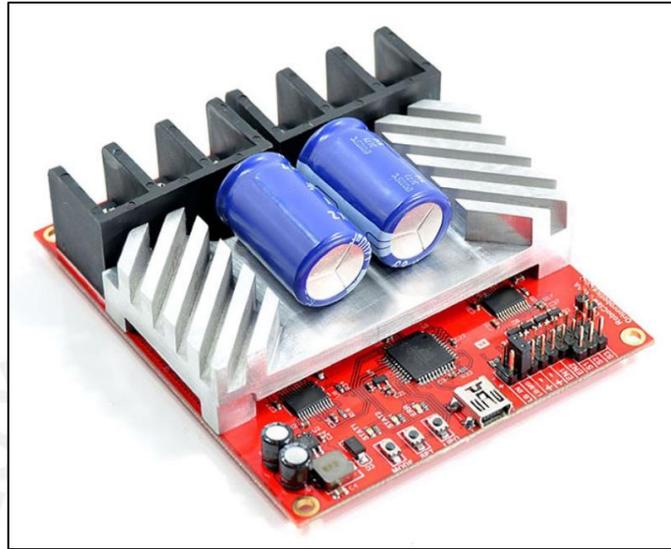


Figura 33. Roboclaw 60A
Fuente: Elaboración propia

3.4.3 DC-DC

El módulo DC-DC a utilizar será de la marca Ultravolt de la serie AA, el cual cuenta con un bajo consumo de corriente que llega a los 60mA. El módulo a usar cuenta con una entrada de voltaje de 24 y una salida de voltaje variable, un pin de activación para activar su funcionamiento. El módulo brindará energía al condensador del mecanismo de disparo, el cual se carga de a pocos. La potencia del DC-DC es de 20W. (Ver Figura 34)

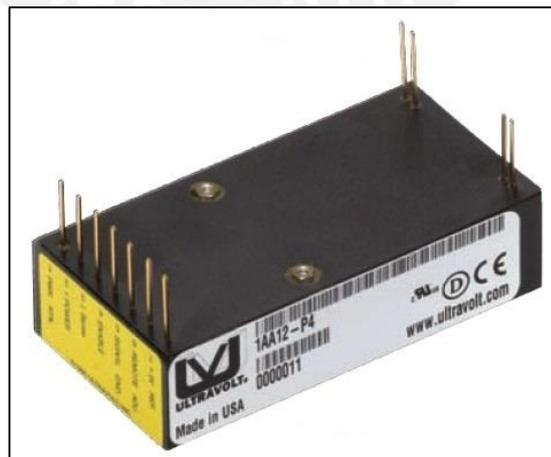


Figura 34. Módulo DC-DC Ultravolt Serie AA
Fuente: http://www.excessparts.net/12AA12_N4_M_p/12aa12-n4-m.htm

3.4.4 Batería

El sistema cuenta con dos Baterías Li-Po en paralelo de 8000mAh, lo cual le brinda una autonomía de aproximadamente 1 hora al robot (Ver anexo 2). El alto consumo

de corriente se da por la potencia de los motores y del sistema de disparo, pero aun así, la autonomía del robot le permite desenvolverse autónomamente en un encuentro oficial de la categoría middle size de RoboSoccer. (Ver Figura 35)



Figura 35. Bateria Li-po de 8Ah

Fuente: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18210__turnigy_nano_tech_8000mah_6s_25_50c_lipo_pack.html

3.4.5 Circuito de potencia

La tarjeta se utilizará para poder controlar la potencia de salida al actuador solenoide encargado de realizar los diferentes tipos de disparo. En la Figura 36, se puede observar que se cuenta con una serie de resistencias, la cual le brinda el amperaje necesario para poder tener una salida de 10m/s del balón como máximo, u IGBT modelo IRG4PC50FD, y un condensador electrolítico de aluminio de 450V-4700uF, el cual será el encargo de alimentar el sistema. La conmutación del IGBT será controlada por el PCDuino3, el cual enviará una señal PWM para proceder al disparo. (Ver Figura 36)

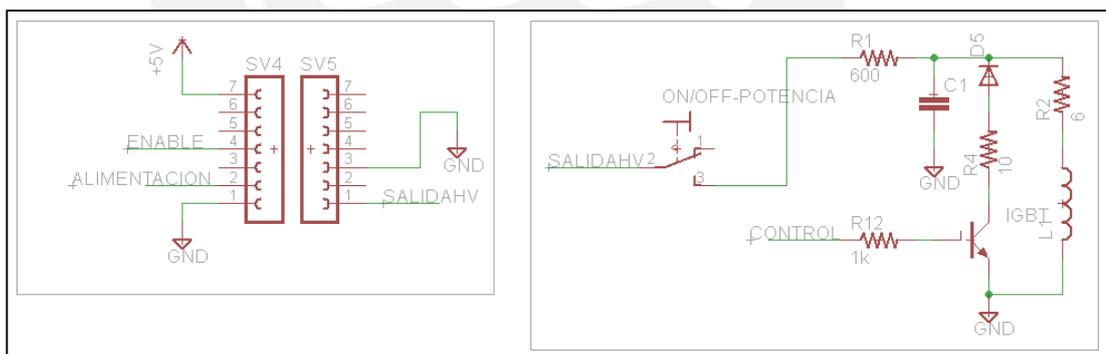


Figura 36. Circuito de Potencia de Disparo

Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Tarjeta del sistema

Se diseñará una tarjeta con el fin de mantener toda la electrónica unida y así corroborar la correcta conexión de los componentes a usar. En la tarjeta se contará con pines interconectados, mediante los cuales, se establecerá la comunicación entre la tarjeta principal PCDuino3 y los diferentes módulos del sistema, como el circuito de potencia, el módulo DC-DC, los drivers de los motores, la conexión de las cámaras, etc. (Ver Figura 37)

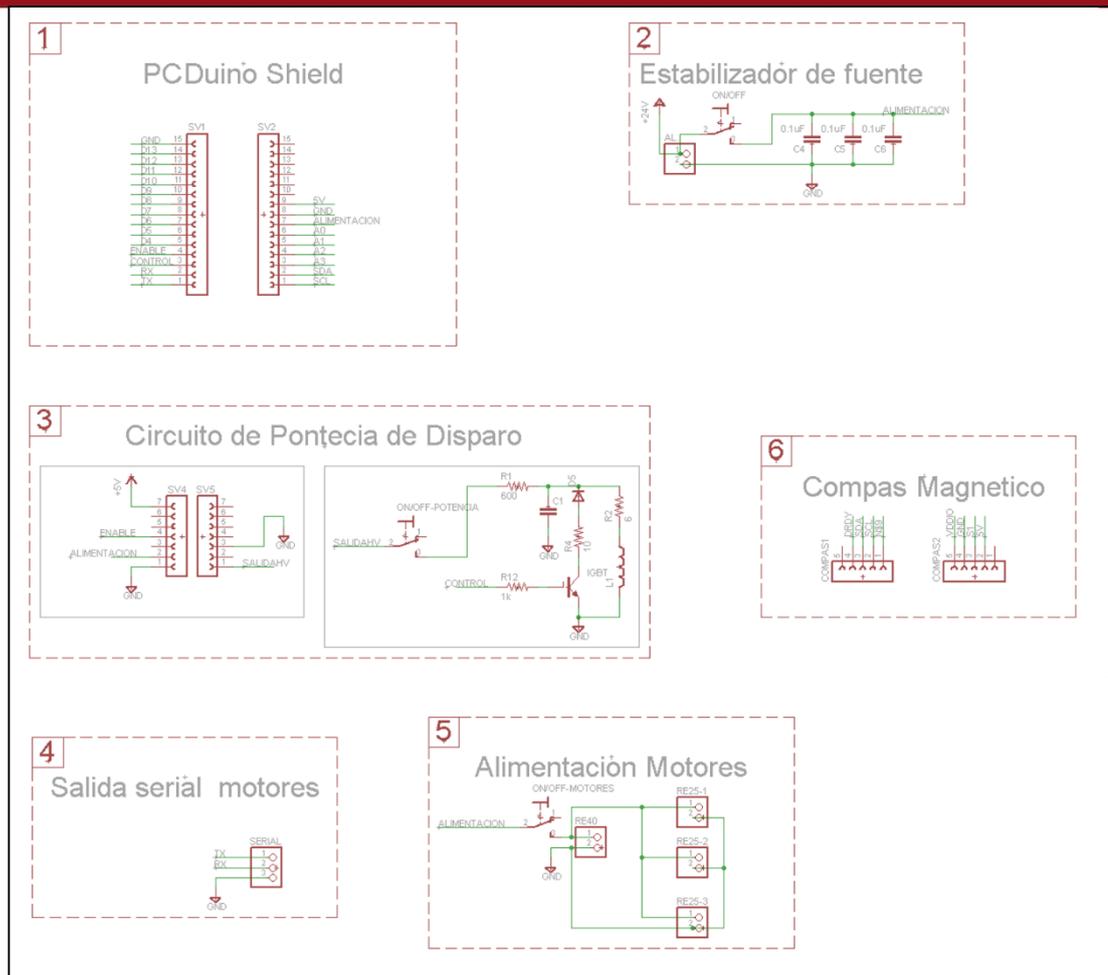


Figura 37. Esquemático del Sistema
Fuente: Elaboración propia

La alimentación de la batería Li-Po se encuentra conectada a la tarjeta, la cual, cuenta con un pequeño filtro de condensadores y un interruptor de encendido del sistema total como se puede apreciar en el módulo 2. La fuente alimenta directamente al PCDuino3 que se encuentra conectado a la tarjeta mediante los espadines del PCDuino Shield, mediante el pin alimentación (módulo 1). Además, los 24V de la fuente principal, alimentan la entrada del DC-DC que se encuentra dentro del circuito de disparo, el cual, se encuentra representado por espadines (módulo 3). Por otro lado, se tienen las borneras para la alimentación de los diferentes motores que hay en el sistema, como lo son el RE40 de las llantas y los motores RE25 de los sujetadores del balón (módulo 5). El compás será alimentado directamente del controlador principal, ya que el consumo de corriente es mínimo; la obtención de información se da mediante el protocolo I²C, cual permite la interacción maestro-esclavo entre las tarjetas (módulo 6). La señal adquirida de los motores y las acciones a realizar, se enviarán a los Roboclaw mediante las borneras Serial (módulo 4). La cámara omnidireccional y el Kinect 360 se conectarán directamente al puerto USB con el que cuenta la tarjeta, lo cual, evita insertar conectores en la tarjeta.

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

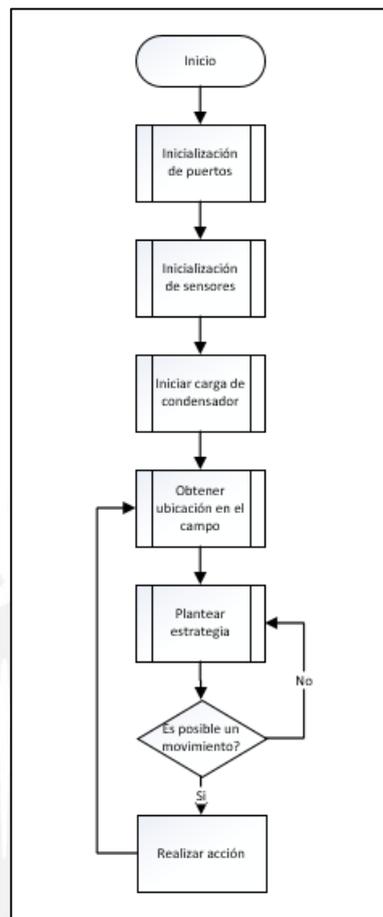


Figura 38. Diagrama de control
 Fuente: Elaboración propia

En el programa principal de control (Figura 38) se inicializarán los puertos de comunicación I2C, analógico, digitales y la señal Wifi del sistema. Luego, el programa tomará una medición inicial de los sensores, para así corroborar su correcto funcionamiento de los mismos. La señal de carga del condensador se enviará al módulo de transformación DC-DC, ya que, como se puede observar en el Anexo 4, el tiempo de carga completa del mismo puede llevar hasta 10 segundos. Una vez iniciado y listo el robot se obtendrá la ubicación del mismo en el campo, para obtener una referencia y así procesar los datos necesarios para comunicarse con los demás robots y comunicarles la estrategia. Por último, se verificará si el movimiento del robot es posible o se encuentra algún obstáculo en el camino, con lo cual, se procede a ejecutar la estrategia o replantearla.

En la Figura 39 se puede observar el diagrama del subprograma de inicialización de los puertos de la tarjeta. En donde la comunicación I2C, puertos analógicos y digitales y la comunicación por Wifi que viene integrada en el módulo del controlador del sistema. Para cargar el condensador, se hará uso de la tarjeta de potencia, el microcontrolador mandará la señal al módulo DC-DC, mediante el cual, la transformación de 24 a 12V se inicializará y, dado que, el IGBT se encuentra en modo de corte, el condensador se cargará para posteriormente alimentar al actuador solenoide.

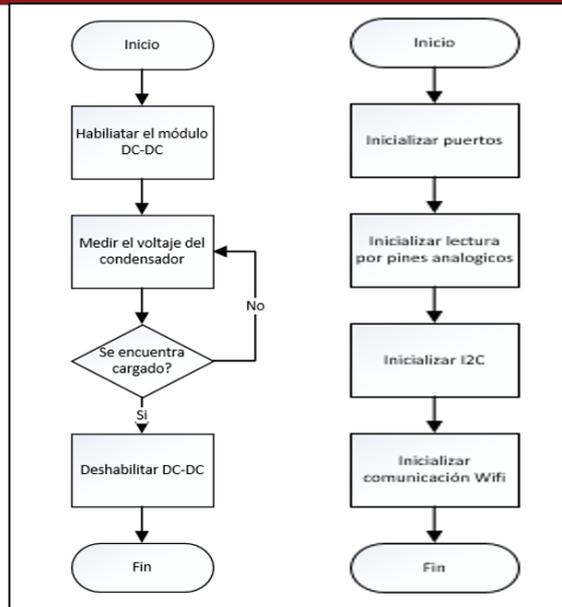


Figura 39. Inicialización de puertos y control de disparo
Fuente: Elaboración propia

Para obtener la ubicación en el campo se utilizará la cámara omnidireccional, la cual, se encuentra conectada a la tarjeta principal. Se tomará la imagen proporcionada por la cámara y se procederá a se transformará la imagen a escala de grises. Se segmentará la imagen para poder obtener la ubicación del campo y la ubicación de los demás compañeros de equipo. En la Figura 40 se puede observar el diagrama de flujo completo para realizar dichas acciones.

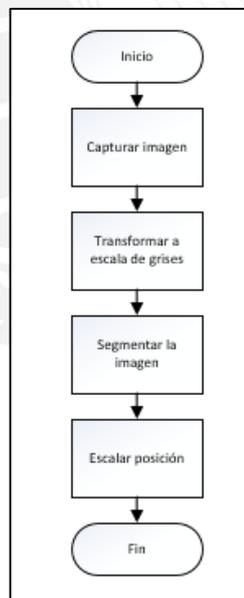


Figura 40. Captura de Imagen
Fuente: Elaboración propia

Para poder determinar la estrategia, la computadora principal enviará un comando al robot líder y éste enviará instrucciones a los demás compañeros. Como ejemplo se implementará el diagrama de control del ataque. Se inicializará los motores para poder iniciar el movimiento en dirección a la portería, de acuerdo a la medición de cámara omnidireccional, se procederá a verificar si se encuentra algún obstáculo en el camino el robot podrá tomar la decisión si esquivarlo o dar un pase. Al momento de dar el pase, el robot quedará a la espera de recibir el balón. Cuando el robot se encuentra con el balón cerca de la portería, se procederá a disparar el balón, con lo cual, se enviará una señal PWM a la tarjeta de potencia y así poder alimentar el solenoide mediante el condensador previamente cargado. (Ver Figura 41)

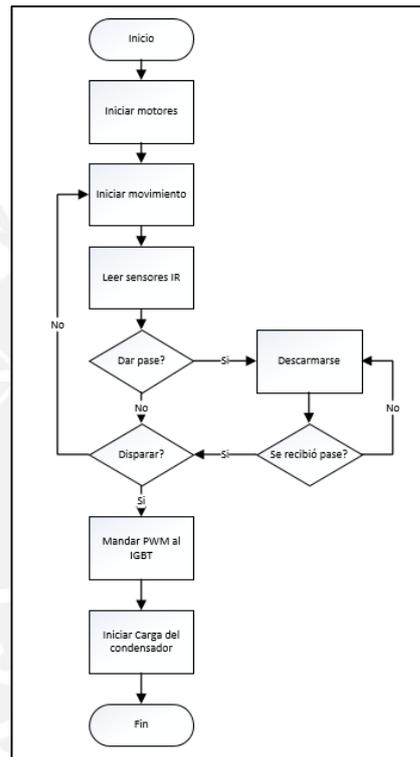


Figura 41. Diagrama de Estrategias
 Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4

Presupuesto

Tabla 4-1: Presupuesto de Componentes Electrónicos

Componente	Precio	Cantidad	Envío	Total Dólares	Total Soles
PCDuino3	\$ 77.00	1	\$ 5.62	\$ 82.62	S/. 231.34
Roboclaw	\$ 199.99	3	\$ 24.15	\$ 624.12	S/. 1,747.54
Omnicam	\$ 1,660.00	1	\$ 40.00	\$ 1,700.00	S/. 4,760.00
Motor Maxon RE40	\$ 433.50	4	\$ 57.20	\$ 1,791.20	S/. 5,015.36
Gear Box	\$ 303.10	4		\$ 1,212.40	S/. 3,394.72
Encoder	\$ 96.00	4		\$ 384.00	S/. 1,075.20
Motor Maxon RE25	\$ 275.40	2		\$ 550.80	S/. 1,542.24
kinect	\$ 249.99	1	\$ -	\$ 249.99	S/. 699.97
DC-DC	\$ 229.00	1	\$ -	\$ 229.00	S/. 641.20
Condensador	\$ 98.35	1	\$ 58.00	\$ 156.35	S/. 437.78
IGBT	\$ 7.87	1		\$ 7.87	S/. 22.04
Compas	\$ 129.68	1		\$ 129.68	S/. 363.10
Cable	\$ 1.00	10		\$ 10.00	S/. 28.00
Batería	\$ 109.06	2	\$ -	\$ 218.12	S/. 610.74
Resistencias	\$ 0.50	4	\$ -	\$ 2.00	S/. 5.60
Total Electrónica					S/. 20,574.82

Tabla 4-2: Presupuesto de Componentes Mecánicos

Componente	Precio	Cantidad	Envío	Total Dolares	Total Soles
Suspensión Ruedas	\$ 13.00	16	\$ 5.25	\$ 208.00	S/. 582.40
rodamiento SKF	\$ 10.00	8	\$ -	\$ 80.00	S/. 224.00
Amortiguador 36mm	\$ 77.00	2	\$ -	\$ 154.00	S/. 431.20
tornillos Allen	\$ 3.00	4	\$ -	\$ 12.00	S/. 33.60
tornillos M3	\$ 3.00	4	\$ -	\$ 12.00	S/. 33.60
Mecanizado y material	\$ 2,375.53	1	\$ -	\$ 2,375.53	S/. 6,651.48
Ruedas Omnidireccionales	\$ 41.00	2	\$ -	\$ 82.00	S/. 229.60
Ruedas de sujeción	\$ 15.00	2	\$ -	\$ 30.00	S/. 84.00
Total Mecánica					S/. 8,269.88

Gatos Totales:

Presupuesto Total	S/. 28,844.70
-------------------	---------------

Tipo de Cambio	S/. 2.80
----------------	----------

Capítulo 5

Conclusiones

- El sistema propuesto consta de componentes mecánicos, electrónicos de alto nivel, lo cual lo convierte en una herramienta adecuada para el desarrollo tecnológico en estudiantes de pregrado.
- El sistema se basa en la implementación y desarrollo de un robot categoría middle size para RoboSoccer, lo cual, no lo limite a ser su único campo de aplicación.
- El diseño empleado, le permite al robot un amplio rango de movimiento, gracias a sus ruedas omnidireccionales y al bajo centro de gravedad con el que contará.
- El actuador de disparo logrará lanzar el balón a 10 m/s, lo cual le permite realizar disparos desde la mitad del campo.
- El diseño electrónico del robot le permite al usuario contar con un sistema modular, lo cual, lo hace intercambiable y de fácil acceso a sus componentes.
- El diseño del sistema omnidireccional cuenta con amortiguadores en los cuatro puntos donde se encuentran ubicados, lo cual, le permite al robot tener contacto entre las ruedas y el suelo en todo momento, evitando así un sobre consumo de corriente en los demás motores.
- La combinación del sistema de visión y la brújula magnética, le permitirán al usuario un mejor control del robot, ya que, le podrá brindar información exacta de su posición en el espacio, con un error de 2° por parte del compás y 0.04 mm por parte de la Kinect.
- El uso de 4 sistemas omnidireccionales, le permitirá al robot un movimiento más rápido y preciso, ya que los encoders a usar, cuentan con un error de 2° y una resolución de 1024.
- El costo de implementación de la plataforma es alto, debido a la calidad y potencia de sus componentes, pero aun así, el desempeño del robot dependerá de la programación con la cual se controle el robot.

Bibliografía

- [1] «Banco central de Reserva del Perú,» [En línea]. Available: <http://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/nota-semanal/cuadros-estadisticos.html>. [Último acceso: Mayo 2014].
- [2] P. M. d. Arregui, «Dinámica de la transformación del sistema educativo del Perú,» 2014.
- [3] E. R. S. R. A. P. H. B. J. L. Juan M. Calderón, «A Robot soccer team as a strategy to develop educational initiatives,» de *Latin American and Caribbean Conference*, 2012.
- [4] R. B. James Archibald, «Robot Soccer for Undergraduate Students».
- [5] J. J. H. H. Elizabeth Sklar, «Children Learning from Team Robotics - RoboCup Junior 2000,» RoboCup Jr. - Educational Report, 2000.
- [6] «RoboCup,» [En línea]. Available: <http://www.robocup2013.org/middle-size-league/>. [Último acceso: 03 2014].
- [7] «ESAN Business,» [En línea]. Available: <http://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2013/10/10/situacion-perspectiva-del-desarrollo-tecnologico-peru/>. [Último acceso: 04 14].
- [8] J. Anderson, «A Mixed Reality Approach to Undergraduate Robotics Education,» de *American Association for Artificial Intelligence*.
- [9] J. A. Jacky Baltes, «An Agent-Based Approach to Introductory Robotics Using Robotic Soccer».
- [10] S. T. P. F. C. I. P. P. Gil, «An Experience on Mechatronics Teaching on Undergraduate Students by Means of the Skybot Platform,» *International Journal of Robots, Education and Art*, vol. 2, n° 2.1, 2012.
- [11] R. W. B. James K. Archibald, «Competitive Robot Soccer: A Design Experience for Undergraduate Students,» de *ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Boston, 2002.
- [12] «Middle Size Rules 2014,» [En línea]. Available: <http://wiki.robocup.org/images/d/d1/Msl-rules2014.pdf>. [Último acceso: 03 2014].
- [13] T. Team, «Team Description Paper,» 2013.
- [14] W. Team, «Team Desscription Paper».
- [15] H. H. Lund, «Robot Soccer in Education,» de *Survey for Advanced Robotics Journay Special Issue On RoboCup*.
- [16] L. Y. C. H. M. S. D. G. Sen Gupta, «Robot Soccer: Integrated Framework for Multidisciplinary Hi-Tech Education».
- [17] K. C. K. W. a. E. H. Illah R., «The Education Impact of the Rbotic Autonomy Mobile Robotics Course».
- [18] C. E. A. R. Soccer, «Vladimir Plestina, Hrvoje Turic, Vladan Paptic,» de *International Conference on Information Technology Interfaces*, Cavlat, 2007.