



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO
DE LARGO ALCANCE PARA EL CONTROL DE UN ROBOT
EXPLORADOR**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

GIOVANNY DAVID SARANSIG CEVALLOS

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS RIVERA

Quito, Julio 2015

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **Giovanny David Saransig Cevallos**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Giovanny David Saransig Cevallos
C.I. 1720667698

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño del sistema de comunicación inalámbrico de largo alcance para el control de un robot explorador**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Giovanny David Saransig Cevallos**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Ing. Juan Carlos Rivera

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 0501373823

DEDICATORIA

A Dios, por ser el principal colaborador para hacer posible la realización de este trabajo tan importante en mi vida.

A mi familia, por su apoyo brindado durante todos mis años de estudio, en los buenos y malos momentos vividos hasta alcanzar este objetivo.

Al Centro Educativo Pitágoras y a la Unidad Educativa La Salle, por haber inculcado en mí, todos esos valores y conocimientos valiosos para formarme como una persona de apoyo íntegro para la sociedad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida para llegar a sentir la felicidad por el logro alcanzado; por haber manifestado a través de mi familia, su apoyo, amor y consejos para seguir adelante y culminar mis estudios.

A mis padres por ser mis primeros educadores, estar pendientes para que tome las decisiones correctas, motivarme en los momentos difíciles, disfrutar conmigo las metas conseguidas y haber depositado toda su confianza en mí.

A mis amigos y seres queridos por estar a mi lado compartiendo las vivencias y apoyándome durante este proceso.

A los profesores con los cuales se logró establecer una buena amistad, por haber transmitido sus conocimientos y experiencias de la mejor manera posible para que sean de gran aporte en mi vida profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ROBÓTICA MÓVIL.....	4
2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS MÓVILES.....	4
2.1.1.1. De acuerdo al tipo de medio	4
2.1.1.2. De acuerdo a la dificultad del entorno.....	7
2.1.1.3. De acuerdo al grado de autonomía.....	7
2.1.2. ROBOTS TERRESTRES	9
2.1.2.1. Clasificación	9
2.1.2.2. Tipos de ruedas	11
2.1.2.3. Configuraciones de locomoción	12
2.1.3. MÉTODOS DE NAVEGACIÓN	15
2.1.3.1. Teleoperación	15
2.1.3.2. Método basado en sensores	15
2.1.3.3. Método basado en mapas.....	16
2.2. TARJETA DE CONTROL	17
2.2.1. SISTEMA EN CHIP	17
2.2.2. PROCESADOR.....	18
2.2.3. MÓDULOS DE MEMORIA	19
2.2.4. PUERTO GPIO	19
2.3. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	20
2.3.1. ANTENAS	20
2.3.1.1. Parámetros generales.....	20
2.3.1.2. Clasificación de las antenas.....	23
2.3.2. DETERIORO DE LA TRANSMISIÓN.....	25
2.3.3. RED LAN INALÁMBRICA.....	27
2.3.3.1. Wi-Fi.....	28
2.3.3.2. Arquitectura de redes WLAN.....	29

2.4. TRANSMISIÓN DE VIDEO.....	30
2.4.1. VIDEO DIGITAL	31
2.4.2. COMPRESIÓN DE VIDEO.....	31
2.5. ACTUADORES ELÉCTRICOS.....	34
3. METODOLOGÍA	36
3.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE CONTROL.....	37
3.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	38
4. DISEÑO.....	40
4.1. DISEÑO MECÁNICO.....	40
4.1.1. DISEÑO DE SOPORTES PARA SERVOMOTORES.....	40
4.1.2. DISEÑO DE LA PLATAFORMA	47
4.2. DISEÑO ELECTRÓNICO	52
4.2.1. ANÁLISIS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	52
4.2.2. DISEÑO DEL REGULADOR DE VOLTAJE	54
4.2.3. DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL MOTOR DC	60
4.2.4. CÁLCULO DE LA ANTENA DEL ROBOT	66
4.3. DISEÑO DE CONTROL	68
4.3.1. PROGRAMACIÓN DE LA PLACA DE CONTROL	68
4.3.2. PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO.....	70
4.4. ENSAMBLAJE DEL ROBOT EXPLORADOR	73
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
5.1. PRUEBAS SOBRE TERRENOS REGULARES E IRREGULARES ..	79
5.2. PRUEBAS SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS.....	83
5.3. PRUEBA DE LA DISTANCIA MÁXIMA DE CONECTIVIDAD	86
5.4. PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE LA CPU.....	87
5.5. PRUEBA DEL TIEMPO DE AUTONOMÍA.....	89
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
6.1. CONCLUSIONES	91
6.2. RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 2.1. Robot rodante	5
Figura 2.2. Robot submarino.....	5
Figura 2.3. Robot espía.....	6
Figura 2.4. Robot explorador de Marte	7
Figura 2.5. Robot Nao.....	8
Figura 2.6. Robot Asendro	9
Figura 2.7. Robot gusano.....	9
Figura 2.8. Robot rodante	10
Figura 2.9. Robot hexápodo.....	10
Figura 2.10. Robot Packbot	11
Figura 2.11. Tipos de ruedas	12
Figura 2.12. Configuración diferencial.....	13
Figura 2.13. Configuración triciclo.....	14
Figura 2.14. Configuración ackerman	14
Figura 2.15. Sistema teleoperado	15
Figura 2.16. Trayectorias asistidas por sensores externos	16
Figura 2.17. Construcción visual de un mapa de ocupación	16
Figura 2.18. Raspberry Pi modelo B+	17
Figura 2.19. Arquitectura interna de un SoC.....	18
Figura 2.20. Diagrama GPIO Raspberry Pi modelo B+.....	20
Figura 2.21. Circuito de transmisión de una antena.....	21
Figura 2.22. Radiación omnidireccional (dipolo) y directiva (yagi)	22
Figura 2.23. Ganancia de una antena.....	22
Figura 2.24. Antena helicoidal.....	23
Figura 2.25. Elementos de una antena de parche	24
Figura 2.26. Antena parabólica	24
Figura 2.27. Transmisión de señal	25
Figura 2.28. Señal distorsionada por retardo	26
Figura 2.29. Efecto del ruido en una señal.....	26
Figura 2.30. Señal con ruido impulsivo	27
Figura 2.31. Logotipo Wi-Fi.....	28
Figura 2.32. Modo infraestructura	30
Figura 2.33. Modo ad hoc	30
Figura 2.34. Codificación de imágenes individuales	32
Figura 2.35. Secuencia de codificación diferencial	33
Figura 2.36. Partes de un motor de corriente directa	34
Figura 2.37. Partes de un servomotor.....	35
Figura 3.1. Metodología Mecatrónica.....	36
Figura 4.1. Unión servo - cámara web	40

Figura 4.2. Unión servo – servo	41
Figura 4.3. Unión plataforma – servo	41
Figura 4.4. Posición de la carga generada por el peso	42
Figura 4.5. Diagrama de fuerzas en la parte anclada	46
Figura 4.6. Resultados de esfuerzo de la plataforma.....	49
Figura 4.7. Resultados de deformación de la plataforma.....	49
Figura 4.8. Resultados de esfuerzo del soporte delantero.....	50
Figura 4.9. Resultados de deformación del soporte delantero	50
Figura 4.10. Resultados de esfuerzo del soporte trasero.....	51
Figura 4.11. Resultados de deformación del soporte trasero.....	51
Figura 4.12. Circuito regulador de voltaje	59
Figura 4.13. Distribución de la placa para regular el voltaje.....	60
Figura 4.14. Mitad del circuito para controlar el motor DC	61
Figura 4.15. Circuito controlador de motor DC.....	65
Figura 4.16. Distribución de la placa controladora del motor DC	66
Figura 4.17. Diagrama de flujo del programa de la placa de control	69
Figura 4.18. Inicio de la interfaz de usuario	71
Figura 4.19. Interfaz de usuario con la cámara activada.....	71
Figura 4.20. Diagrama de flujo del programa de la interfaz de usuario	72
Figura 4.21. Piezas para soportar los servomotores.....	74
Figura 4.22. Ensamblaje servomotor con cámara web	74
Figura 4.23. Ensamblaje servomotor con plataforma.....	75
Figura 4.24. Placa para regular el voltaje.....	75
Figura 4.25. Placa para controlar el motor DC	76
Figura 4.26. Conexión de actuadores a las placas	76
Figura 4.27. Conexión de las baterías a las placas.....	77
Figura 4.28. Conexión de la Raspberry Pi	77
Figura 4.29. Robot explorador terminado.....	78
Figura 5.1. Prueba sobre cerámica	80
Figura 5.2. Prueba sobre concreto.....	80
Figura 5.3. Prueba sobre adoquines	81
Figura 5.4. Prueba sobre tierra	82
Figura 5.5. Transición entre superficies	82
Figura 5.6. Prueba sobre pendiente de 15° de inclinación.....	84
Figura 5.7. Distribución del peso sobre pendientes	84
Figura 5.8. Prueba sobre pendiente de 30° de inclinación.....	85
Figura 5.9. Dispositivos necesarios en la red inalámbrica	86
Figura 5.10. Zona para probar la conectividad máxima	87
Figura 5.11. Uso de la CPU al 5%	88
Figura 5.12. Uso de la CPU al 59%	88
Figura 5.13. Medición de voltaje en la batería de 6 V	90
Figura 5.14. Medición de voltaje en la batería de 12 V	90

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 3.1. Posibles soluciones de control	37
Tabla 3.2. Método de criterios ponderados	38
Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	42
Tabla 4.2. Peso de los componentes que carga el robot.....	48
Tabla 4.3. Consumo de corriente de los dispositivos del robot.....	52
Tabla 4.4. Coeficientes de resistencias térmicas de aisladores	56
Tabla 5.1. Resultados del robot sobre terrenos regulares e irregulares	79
Tabla 5.2. Resultados de desplazamiento sobre superficies inclinadas	83
Tabla 5.3. Resultados de la red con respecto a la distancia	86
Tabla 5.4. Resultados del tiempo de autonomía	89

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	97
Planos de los soportes para servomotores	
ANEXO II	100
Hojas técnicas de las baterías	
ANEXO III	104
Código de programación de la placa de control	
ANEXO IV	108
Código de programación de la interfaz de usuario	

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica para que un robot explorador pueda ser controlado de forma remota mediante una interfaz gráfica que provea telepresencia al usuario. Para lograr el objetivo planteado se realizó un análisis de las tecnologías disponibles hasta el momento, en el cual se seleccionó como controlador a la Raspberry Pi, debido a que presentó características capaces para realizar las funciones requeridas, además de un precio moderado. Con respecto a esta tarjeta electrónica se realizaron los diseños correspondientes para construir al robot explorador. Se inició con el diseño mecánico en donde se hizo un análisis estructural de la plataforma móvil para determinar el peso máximo que puede soportar y se diseñó una estructura para que la cámara tenga dos grados de libertad. En el diseño electrónico, se seleccionaron baterías que ofrezcan como mínimo una hora de autonomía y se desarrollaron circuitos para regular la potencia que necesita la tarjeta de control y los actuadores, y otro para controlar el motor de corriente continua con respecto a las características eléctricas del puerto GPIO de la Raspberry Pi. Para el diseño de control se elaboraron programas que trabajen en conjunto para proporcionar al usuario una interfaz gráfica, que transmita las señales de control de los motores y reciba las mediciones del sensor de temperatura actualizadas cada segundo y el video captado por la cámara web en tiempo real, a través de la red inalámbrica implementada que alcanzó una cobertura de 100 m. Una vez terminada la etapa de diseño, se ensamblaron los sistemas que componen el robot explorador para realizar pruebas que evalúen su funcionamiento, las cuales resultaron exitosas, cumpliendo con los objetivos propuestos.

ABSTRACT

This work was aimed to develop a wireless communication system in the order to control remotely an explorer robot via a graphical interface that provides telepresence to the user. To achieve the stated objective it required an analysis of the technologies available to date, which the Raspberry Pi was selected as driver, because it showed characteristics able to perform the required functions, in addition to a moderate price. Based on this electronic card, corresponding designs were made to build the explorer robot. It began with the mechanical design which made a structural analysis of the mobile platform to determine the maximum weight it can support and a structure was designed so that the camera has two degrees of freedom. In electronic design batteries that offer at least one hour of autonomy were selected and circuits were developed to regulate the power that control board and actuators need, and another to control the DC motor with respect to the electrical characteristics of the GPIO port of Raspberry Pi. For control design, programs that work together were developed to provide a graphical interface to the user, which transmits the control signals of the motors and receive measurements of the temperature sensor updated each second and video captured by the webcam in real time, through the implemented wireless network whose coverage reached 100 m. Once finished the design phase, systems that make up the explorer robot were assembled to conduct tests to evaluate the performance, which were successful, fulfilling the proposed objectives.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico que ha existido en los últimos años ha hecho que la robótica se convierta en una parte importante de las industrias, e incluso para todo tipo de empresas en las cuales se la ha incorporado como complemento gracias a la cantidad de nuevas aplicaciones en donde está sirviendo. La disminución de costos de producción y las características que ahora poseen los robots, han permitido que la mayoría de personas tengan acceso a ellos, adaptándose a las distintas necesidades.

En el caso de la robótica móvil, los avances en el desarrollo de nuevos mecanismos y dispositivos electrónicos han permitido mejorar la locomoción, capacidad de procesamiento, percepción del entorno y comunicación a mayores distancias, para que cada vez sea más sencilla la creación de robots móviles. Por esta razón, los métodos de navegación ampliamente usados sobre los cuales se está focalizando la investigación de nuevas tecnologías, son los sistemas autónomos y teleoperados.

Los robots autónomos utilizan distintos métodos de navegación como el basado en sensores, en el cual se deben localizar marcas en el entorno por el cual se desplazará el robot, de manera que sean fácilmente detectables por el sistema sensorial instalado y así logre llegar hasta su destino. Otro método más complejo es el basado en mapas, que utiliza herramientas probabilísticas para construir el mapa a partir de fotografías tomadas por cámaras especiales e ir grabando el mapa procesado en la memoria del robot, a medida que el mapa se construye, el robot puede recorrer por el entorno.

Los robots teleoperados presentan un método de navegación mucho más sencillo que los autónomos, ya que no necesitan reconocer previamente el entorno ni desplazarse por un lugar definido, debido a que la tecnología disponible permite controlarlos en tiempo real incluso en lugares bastante alejados y cuentan con un sistema sensorial que muestra la información necesaria para que el operador pueda tomar decisiones sobre el robot.

La reciente facilidad de acceso a esta tecnología no siempre la hubo, es por esto que la cantidad de robots para aplicaciones en los que peligra la vida

humana sigue siendo limitada. Aunque pocos años atrás existían los medios para crear este tipo de robots de apoyo, las interfaces de control eran difíciles de usar y los dispositivos existentes eran demasiado costosos, además que limitaban el alcance de la aplicación. Por esta razón se plantearon los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de comunicación inalámbrica estable para que el usuario pueda controlar un robot explorador de forma remota mediante una interfaz visual.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los componentes de los sistemas mecánico, electrónico y de control con respecto a los requisitos de la aplicación.
- Diseñar e implementar un sistema de comunicación inalámbrica entre el robot y una computadora.
- Diseñar y construir un sistema electrónico de control y de potencia para los actuadores del robot.
- Diseñar y elaborar una interfaz de usuario para monitorear el entorno y controlar los actuadores del robot.
- Realizar pruebas de funcionamiento necesarias para descartar errores y aplicar las correcciones inmediatas al problema.

Con la realización de este proyecto se pretende construir un robot que permita explorar entornos peligrosos, alejados o de difícil acceso para el operador, el cual es controlado en tiempo real mediante una interfaz gráfica que proporciona telepresencia y muestra la información obtenida de los sensores, para que el usuario pueda guiar al robot y generar órdenes de interacción con el entorno a través de una red inalámbrica.

Igualmente este trabajo representa una forma sencilla y de bajo costo para realizar este tipo de aplicación gracias a los avances tecnológicos y al

incremento del desarrollo de software libre, haciendo posible la creación de robots exploradores en mayor cantidad y calidad para que las personas puedan acceder a la ayuda que estos ofrecen.

El alcance del proyecto tendrá las siguientes características:

- El sistema de comunicación inalámbrica proporcionará una distancia máxima de conectividad de 100 m en una zona libre de obstáculos, medidos entre el robot y el punto de acceso.
- El robot será necesariamente controlado y supervisado por una persona, ya que su sistema de navegación depende de la inteligencia humana.
- El sistema de locomoción estará basado en cuatro ruedas para que pueda recorrer superficies planas o con pendientes inclinadas entre 20° y 30°.
- La estructura estará diseñada con materiales y elementos que permitan soportar cargas fluctuantes y de impacto que se puedan presentar en terrenos irregulares.
- Las baterías que se van a usar deben abastecer la energía necesaria para proveer una hora de autonomía al robot.
- El sistema de control se diseñará con un procesador adecuado para que la interfaz de usuario muestre video en tiempo real con una resolución mínima de 400 por 320 píxeles.

2. MARCO TEÓRICO

La robótica es una rama de la tecnología que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de realizar tareas peligrosas, repetitivas o difíciles para ser ejecutadas por seres humanos. La robótica combina diversas áreas como son: álgebra, electrónica, informática y mecánica.

2.1. ROBÓTICA MÓVIL

La robótica móvil es la parte de la robótica que se centra en el desarrollo de robots con capacidad para desplazarse grandes distancias sin necesidad de la intervención humana, conocidos como autónomos, también con la asistencia de un humano, conocidos como teleoperados.

Los robots móviles brindan la posibilidad de navegar en distintos terrenos y tienen aplicaciones como: exploración minera, exploración planetaria, misiones de búsqueda y rescate de personas, limpieza de desechos peligrosos, automatización de procesos, vigilancia, reconocimiento de terreno, y también son utilizados como plataformas móviles que incorporan un brazo manipulador.

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS MÓVILES

Con respecto a las características que poseen se pueden clasificar en:

2.1.1.1. De acuerdo al tipo de medio

- **Robots terrestres**

Son robots con grandes capacidades de desplazamiento, basados en carros o plataformas y constituidos por un sistema locomotor que resulte eficiente para navegar ya sea en terrenos regulares o irregulares. Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores. Un ejemplo de este robot se observa en la figura 2.1.



Figura 2.1. Robot rodante

Fuente: (Laffont, 2013)

- **Robots acuáticos**

Este tipo de robot tiene diversas formas de locomoción, entre las más importantes se encuentran las turbinas y propulsores, también existen los que imitan el movimiento de ciertos animales con aletas o movimientos ondulatorios como las serpientes, en la figura 2.2 se puede observar un ejemplo. Normalmente estos robots se usan en exploraciones científicas y deben poseer ciertas características como moverse en tres ejes, ser herméticos y su diseño debe basarse en la presión que vayan a soportar.



Figura 2.2. Robot submarino

Fuente: (Wordpress, 2006)

- **Robots aéreos**

Estos robots son más conocidos como vehículos aéreos no tripulados controlados por radio control o por medio de un programa previamente grabado. Su principal desarrollo se destacó en aplicaciones militares como el reconocimiento aéreo, vigilancia aérea, adquisición de objetos, evaluación de daños, búsqueda y rescate en zonas de combate. Los medios más comunes para desplazarse son turbinas, hélices y alas para los robots zoomórficos, en la figura 2.3 se puede apreciar un ejemplo.



Figura 2.3. Robot espía

Fuente: (Toscani, 2014)

- **Robots espaciales**

Este tipo de robots están diseñados para realizar medidas de investigación científica mediante un grupo de sondas, tienen como objetivo principal la exploración de la superficie de planetas, para lo cual deben poseer inteligencia artificial y así puedan recuperarse ante eventos inesperados. La mayoría de misiones espaciales son más apropiadas para robots que para grupos de personas debido al bajo costo y menor riesgo. Una característica importante en este tipo de robots es que deben ser autónomos, ya que realizar control teledirigido puede ocasionar serios retardos en la comunicación debido a la gran distancia entre emisor y receptor. En la figura 2.4 se observa un ejemplo de este robot.



Figura 2.4. Robot explorador de Marte
Fuente: (Graphic Resources, 2010)

2.1.1.2. De acuerdo a la dificultad del entorno

- **Robots para ambientes extremos**

Este tipo de robots debe llevar protecciones especiales para evitar que sus componentes externos e internos se dañen ante la acción de los factores ambientales y así puedan asegurar el correcto funcionamiento. Como ejemplo de este tipo de robots están: robots submarinos de exploración profunda, robots exploradores en situaciones de contaminación biológica, robots asistentes en incendios.

- **Robots para ambientes normales**

Estos robots no necesitan llevar protección ya que las características de las condiciones ambientales en las que operan, no llegan a afectar el funcionamiento del robot. La mayoría de robots están hechos con materiales comunes y por esto su costo de fabricación es bajo.

2.1.1.3. De acuerdo al grado de autonomía

- **Robots autónomos**

Son los que recurren para el guiado a sistemas externos pre-programados, tales como circuitos empotrados en el suelo que crean un campo magnético

o a través de bandas detectadas fotoeléctricamente. También existen los que utilizan la inteligencia artificial para aprender sobre su entorno y tomar decisiones ante situaciones inesperadas. Se pueden mover de un punto a otro sin la necesidad de la ayuda humana durante la mayor parte del tiempo de operación, lo cual les hace capaces de navegar hacia un destino solicitado sin perderse ni chocar con obstáculos fijos o móviles que se puedan presentar en su recorrido. En la figura 2.5 se puede observar un ejemplo.



Figura 2.5. Robot Nao

Fuente: (Wang, 2010)

- **Robots teleoperados**

Son aquellos que permiten ser controlados en tiempo real por una persona mediante un ordenador, ya sea para hacer tareas de localización en lugares bastante alejados o en un entorno peligroso para el operador. Este tipo de robot cuenta con un sistema que muestra información sensorial del entorno para que el operador pueda tomar decisiones y defina la forma de interacción con el medio. La limitación que presenta es la capacidad de procesamiento de las señales y con ello la precisión entre el hombre y el robot, además otro inconveniente que se debe considerar en el diseño es el retraso en la transmisión de la información. En la figura 2.6 se puede apreciar un ejemplo de este tipo de robot.



Figura 2.6. Robot Asendro
Fuente: (Marcial, 2012)

2.1.2. ROBOTS TERRESTRES

Los robots terrestres están provistos de un sistema de locomoción como: ruedas, orugas o patas, que les permiten desplazarse de un sitio a otro.

2.1.2.1. Clasificación

De acuerdo al mecanismo de desplazamiento pueden clasificarse en:

- **Deslizantes**

Su sistema de locomoción imita a ciertos animales que se arrastran por el suelo como las serpientes o gusanos, tal como se observa en el ejemplo de la figura 2.7.



Figura 2.7. Robot gusano
Fuente: (BBC, 2011)

- **Rodantes**

Su locomoción se basa en ruedas, las cuales constituyen una solución eficiente y sencilla para trabajar en superficies lisas y con cierto grado de inclinación, además que pueden transportar mayor carga que otros tipos de robots móviles. Su desventaja es que no trabaja bien en terrenos irregulares, en la figura 2.8 se puede ver un ejemplo de este tipo de robot.



Figura 2.8. Robot rodante
Fuente: (Libris, 2009)

- **Caminantes**

Son robots que se desplazan por medio de patas, cuya construcción es compleja debido a que los grados de libertad son numerosos en estos sistemas. Se los puede clasificar de acuerdo a la cantidad de patas que posean y pueden desplazarse con mayor facilidad que los otros robots a través de terrenos irregulares. Un ejemplo se observa en la figura 2.9.

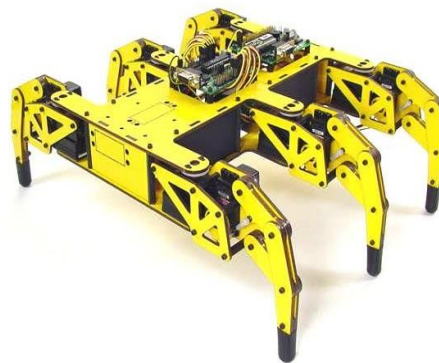


Figura 2.9. Robot hexápodo
Fuente: (Wilber, 2014)

- **Rulantes**

Su movimiento se realiza por medio de orugas o cadenas, que son una buena opción para trabajar en terrenos irregulares, sin sufrir daños por el entorno. Su principal desventaja es su ineficacia, debido a que se producen deslizamientos sobre el terreno al avanzar o girar, lo cual ocasiona errores al determinar la posición del robot mediante métodos cinemáticos. Un ejemplo de este robot se observa en la figura 2.10.



Figura 2.10. Robot Packbot

Fuente: (RoboticSpot, 2011)

2.1.2.2. Tipos de ruedas

Los robots rodantes para controlar su movimiento constan con al menos uno de los siguientes tipos de ruedas en su estructura:

- **Rueda motriz:** es la que proporciona fuerza de tracción al robot.
- **Rueda directriz:** es una rueda de direccionamiento de orientación controlable.
- **Rueda loca o rueda de castor:** es una rueda orientable, no controlada.

Las ruedas descritas pueden ser subclasificadas en los tipos de ruedas que se muestran en la figura 2.11.

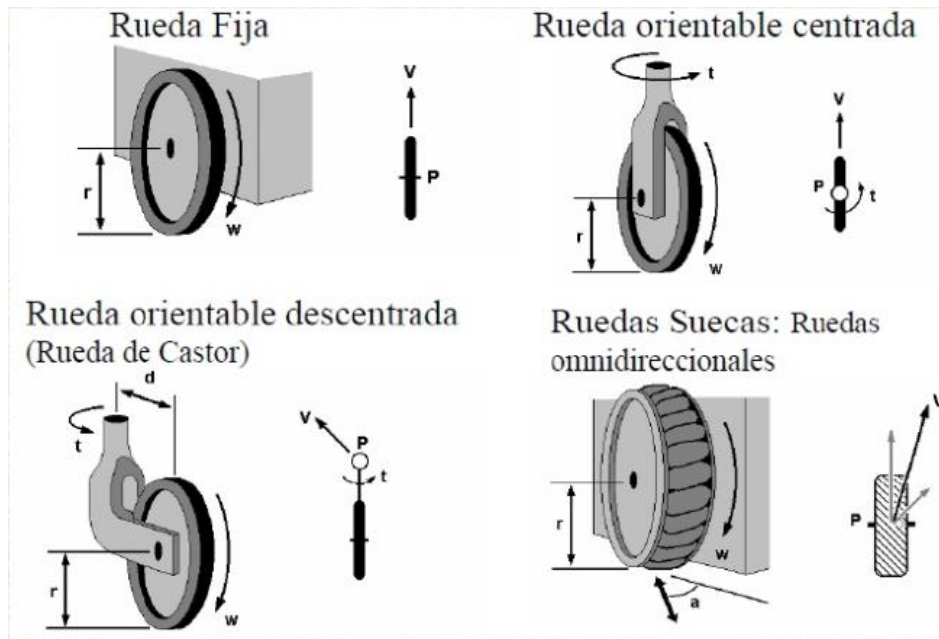


Figura 2.11. Tipos de ruedas

Fuente: (Pedro, 2011)

- **Rueda fija:** el movimiento se produce en la dirección de la rueda.
- **Rueda orientable centrada:** además del giro sobre el eje de la rueda, existe una rotación t alrededor del eje vertical que está en el centro de la rueda.
- **Rueda orientable descentrada:** gira sobre el eje de la rueda y rota alrededor del eje vertical situado a una distancia d desde el centro de la rueda.
- **Rueda sueca:** además de moverse en la dirección de la rueda, se mueve en dirección perpendicular a la dirección de la rueda.

2.1.2.3. Configuraciones de locomoción

Una parte importante en el diseño de un robot móvil con ruedas es la elección del tipo de configuración que tendrá la locomoción, es decir la forma en la que estarán distribuidos los elementos tales como: plataformas, ruedas y motores. Entre las configuraciones más importantes están:

- **Diferencial**

Es la configuración más sencilla de todas ya que cuenta con dos ruedas y cada una es controlada por un motor, permitiendo ser activadas de manera independiente para realizar los giros. Es una configuración muy común para sistemas utilizados en interiores, debido a que permite al robot girar sobre su propio eje, de esta manera puede moverse en espacios congestionados con cierta facilidad. El problema que presenta esta configuración es mantener el equilibrio, por lo que se puede agregar una o más ruedas locas para estabilizar la plataforma. En la figura 2.12 se puede observar un ejemplo de la distribución de ruedas de este robot.

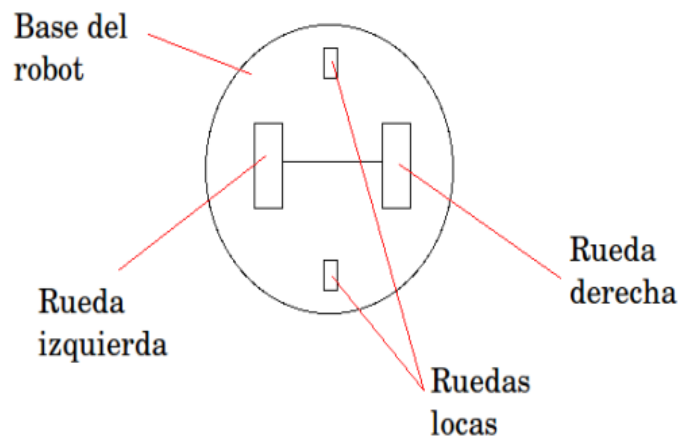


Figura 2.12. Configuración diferencial

Fuente: (Cuentos cuánticos, 2011)

- **Triciclo**

Esta configuración consta de tres ruedas, las dos traseras no están acopladas a ningún motor y sirven solamente para soporte. La rueda delantera es la que proporciona la dirección y tracción del robot. Esta configuración presenta problemas de estabilidad en terrenos irregulares, debido a que el centro de gravedad tiende a moverse lejos de la rueda delantera. En terrenos irregulares, la rueda motora puede perder contacto con el piso, impidiendo que se mueva el robot. Un ejemplo de la distribución de ruedas de este robot de muestra en la figura 2.13.

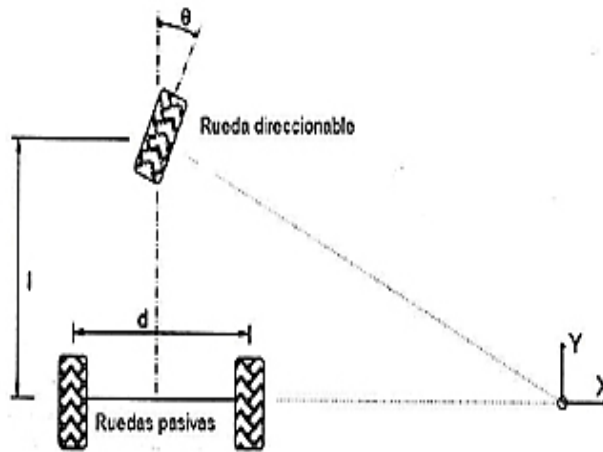


Figura 2.13. Configuración triciclo

Fuente: (Muchotrasto, 2008)

- **Ackerman**

Es una configuración ampliamente usada en automóviles. Posee dos ruedas traseras de tracción y dos ruedas delanteras de dirección. Esta configuración está diseñada para evitar el derrape de las ruedas, tener una mayor precisión en la determinación de la posición del robot mediante odometría y brindar una buena estabilidad. La distribución de las ruedas de este robot se muestra en la figura 2.14.

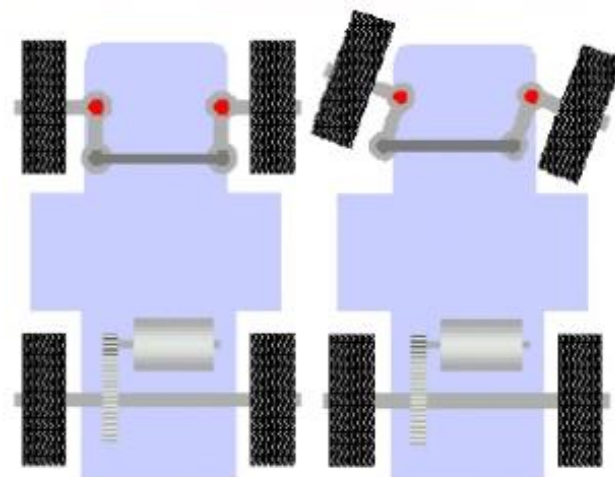


Figura 2.14. Configuración ackerman

Fuente: (Pedro, 2011)

2.1.3. MÉTODOS DE NAVEGACIÓN

2.1.3.1. Teleoperación

En el caso específico del uso de la teleoperación para controlar robots, surgió el término telerrobótica. Este término se implementó en la robótica móvil para referirse a la operación y navegación de los robots móviles con la supervisión de la inteligencia humana. La teleoperación consiste en que el operador pueda recibir información, principalmente por medios inalámbricos, sobre el robot y su entorno, y así pueda generar órdenes para que este las ejecute. Esta técnica se puede usar en diversos campos como: la cirugía, la exploración submarina y en cualquier sitio que represente un peligro para la vida humana. La figura 2.15 muestra un ejemplo de telerrobótica.

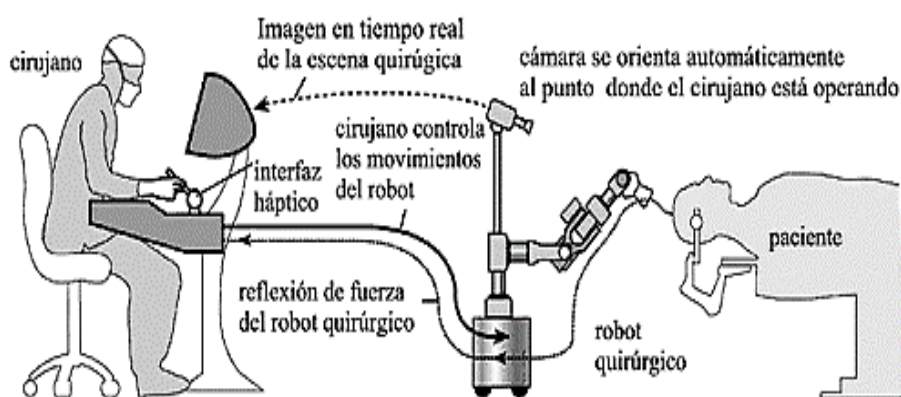


Figura 2.15. Sistema teleoperado
Fuente: (Sánchez, 2012)

2.1.3.2. Método basado en sensores

Son localizaciones particulares identificables por el sistema sensorial del robot que actúan como marcas selectas. Se representan como puntos que pueden tener características particulares de identificación, si los puntos se unen por arcos, representan accesibilidad para que el robot pueda desplazarse de un arco a otro hasta llegar a su objetivo. Este sistema es usado en los robots autónomos, aunque también se utiliza en los robots teleoperados para facilitar el manejo gracias a la trayectoria identificada. En la figura 2.16 se puede observar un ejemplo de las localizaciones sensoriales.

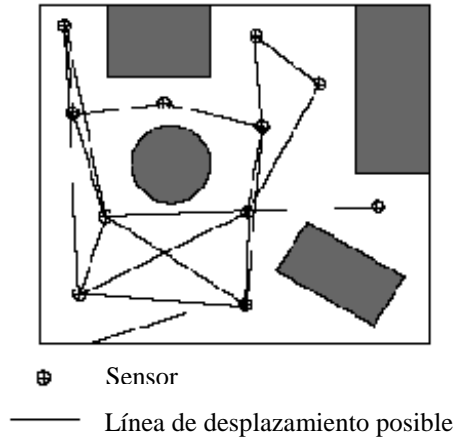


Figura 2.16. Trayectorias asistidas por sensores externos

Fuente: (Gonzales, 2005)

2.1.3.3. Método basado en mapas

Existen diversas formas de representar el entorno del robot mediante mapas, pero todos ellos tienen en común que se basan en métodos probabilísticos para construir el mapa y grabarlo en la memoria del robot. La mayoría de estos mapas se construyen por métodos visuales, mediante la toma de imágenes por cámaras especiales y la adquisición de las mismas por procesadores rápidos. Con esto se consigue que el robot autónomo sea más eficiente, ya que estima la trayectoria de manera exacta al recorrer por un entorno conocido. En la figura 2.17 se muestra un ejemplo de un mapa de ocupación.

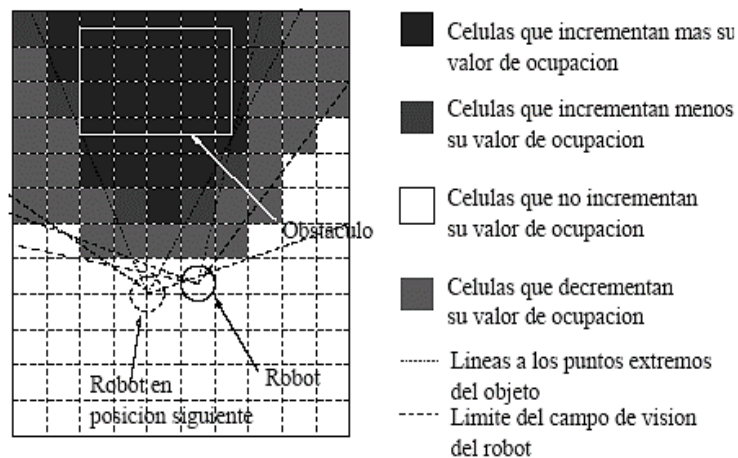


Figura 2.17. Construcción visual de un mapa de ocupación

Fuente: (Gonzales, 2005)

2.2. TARJETA DE CONTROL

Raspberry Pi es una computadora de placa reducida, enfocada a los aficionados y usos educativos, y como tal, se diferencia de una computadora normal en que se usa en sistemas embebidos funcionando como controlador. En la figura 2.18 se puede observar una placa Raspberry Pi.



Figura 2.18. Raspberry Pi modelo B+

Fuente: (Kiwi Electronics, 2015)

2.2.1. SISTEMA EN CHIP

El procesador en el interior de la Raspberry Pi es un procesador multimedia Broadcom BCM2835 system-on-chip (SoC). Esto quiere decir que la mayor parte de los componentes del sistema, incluidos la unidad central de procesamiento y la de gráficos junto con el audio y el hardware de comunicaciones, se encuentran integrados dentro de aquel único componente. (Upton, 2012)

- **Arquitectura**

Dentro de un SoC se suelen encontrar los principales componentes relacionados con el procesamiento de datos, como pueden ser los siguientes:

- Unidad central de procesamiento (CPU).
- Unidad de procesamiento gráfico (GPU).
- Memorias como RAM, ROM.
- Controladores del sistema, de memoria, de datos, programadores.
- Chips de gestión de interfaces como USB, microSD.
- Conectividad como Wi-Fi, Ethernet.
- Otros circuitos como de gestión de energía, sistemas de regulación.
- Componentes como relojes, temporizadores. (Espeso, 2014)

En la figura 2.19 se puede observar el diagrama de un SoC.

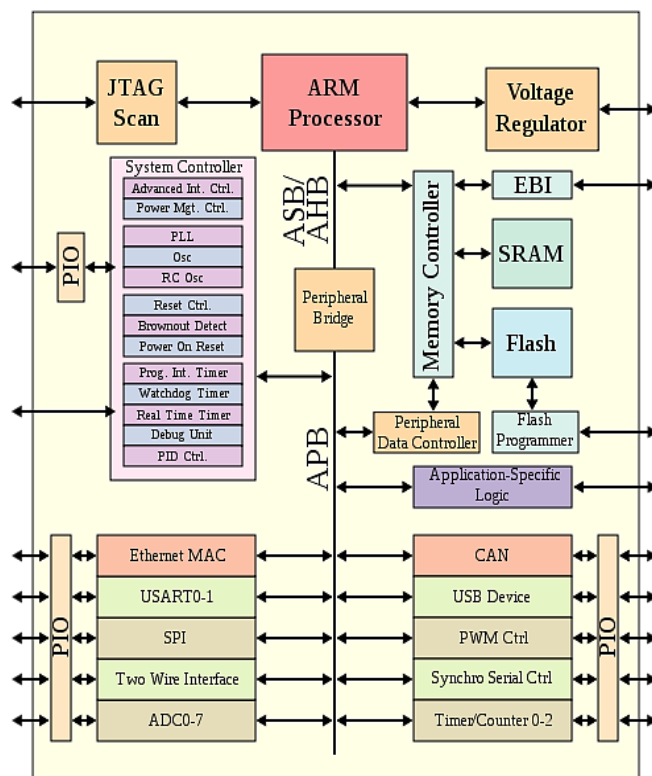


Figura 2.19. Arquitectura interna de un SoC

Fuente: (Burnett, 2007)

2.2.2. PROCESADOR

La Raspberry Pi cuenta con un procesador de 32 bits que utiliza una arquitectura conocida como Advanced RISC Machine (ARM). La arquitectura

ARM es poco conocida en el mundo de las computadoras de escritorio, en donde destaca, es en los dispositivos móviles. La combinación de la arquitectura Reduced Instruction Set Computer (RISC) y su bajo consumo energético lo convierten en la opción perfecta frente a los chips de computadoras de escritorio. (Upton, 2012)

2.2.3. MÓDULOS DE MEMORIA

- **RAM**

La Raspberry Pi tiene una memoria externa de acceso aleatorio (RAM), en la que puede leer o escribir en cualquier parte de la memoria y en cualquier momento. La RAM es volátil, lo que significa que cualquier cosa almacenada en esta memoria se eliminará cuando pierda su energía. (Upton, 2012)

- **ROM**

Internamente en el SoC de la Raspberry Pi se encuentra una memoria sólo de lectura (ROM), en la que se guardan los datos de forma permanente. Las ROM se programan con el contenido que se requiere durante la fabricación del circuito integrado. Se utiliza para programas fijos, como el sistema de arranque de una computadora. (Bolton, 2010)

2.2.4. PUERTO GPIO

El puerto de entrada y salida de propósito general (GPIO) de la Raspberry Pi modelo B+, que se observa en la figura 2.20, es un puerto de 40 pines, equipado de fábrica con dos filas de 20 conectores macho. La numeración de los pines del puerto GPIO está dividida en dos filas, una fila toma los números impares y la otra los números pares. Aunque el puerto GPIO ofrece un suministro de energía de 5 V, proveniente de la energía entrante, el funcionamiento interno se basa en lógica de 3.3 V. (Upton, 2012)

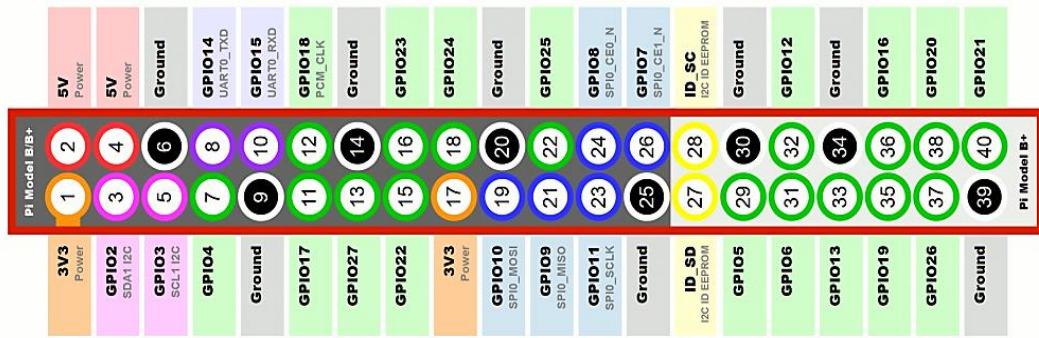


Figura 2.20. Diagrama GPIO Raspberry Pi modelo B+

Fuente: (Matt, 2012)

2.3. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La comunicación inalámbrica es aquella en la que ni el emisor ni el receptor se encuentran unidos de manera física, ya que la comunicación se realiza por medio de antenas, que son un elemento fundamental de cualquier instalación de radio, siendo tan importantes, que de ellas depende que la señal llegue hasta donde se tiene previsto con el mayor nivel y calidad que sea posible.

2.3.1. ANTENAS

Una antena es un dispositivo formado por un conjunto de conductores que, unido a un generador, permite la emisión de ondas de radio frecuencia, o que, conectado a una impedancia, sirve para captar las ondas emitidas por una fuente lejana. (Mesen, 2000)

2.3.1.1. Parámetros generales

- **Impedancia de entrada**

Una antena es un dispositivo de un puerto y, por lo tanto, presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la

corriente presente en el puerto de entrada. La impedancia de una antena tiene una parte real y otra imaginaria, y ambas dependen de la frecuencia. En la figura 2.21 se observa el circuito de una antena donde Z_{out} es la impedancia de la antena. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia f_0 si la parte imaginaria de la impedancia de entrada en f_0 es cero. (Anguera, 2008)

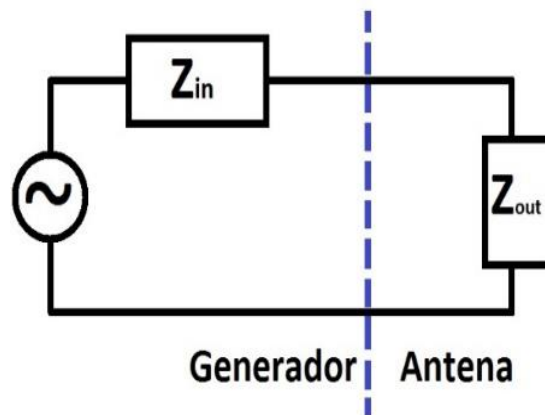


Figura 2.21. Circuito de transmisión de una antena

Fuente: (Pascual, 2014)

- **Eficiencia de radiación**

Esta eficiencia se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, se puede volver a definir la eficiencia de radiación como la relación entre la resistencia de radiación y la resistencia de la antena. (Mesen, 2000)

- **Diagrama de radiación**

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección. Atendiendo al diagrama de radiación se puede hacer una clasificación general de los tipos de antena como se muestra en la figura 2.22 y definir la dirección de la antena. (Araguz, 2013)

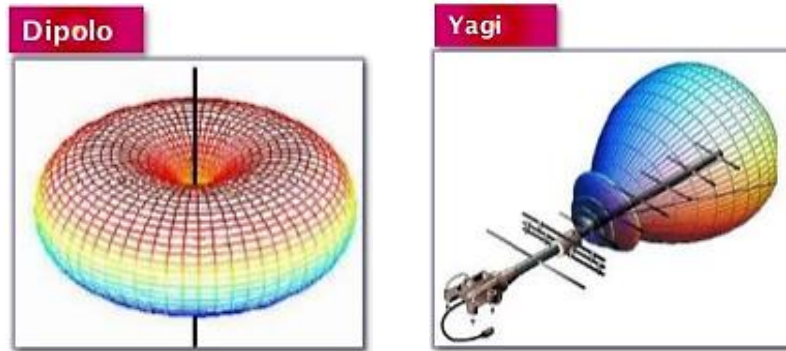


Figura 2.22. Radiación omnidireccional (dipolo) y direccional (yagi)

Fuente: (Coimbra, 2014)

Básicamente hay dos tipos de antenas: direccional y omnidireccional. En la primera, la antena de transmisión emite la energía electromagnética concentrándola en un haz; por tanto la antena de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. En el caso omnidireccional, el diagrama de radiación de la antena es disperso, emitiendo en todas direcciones alrededor de la antena. (Tomasi, 2003)

- **Ganancia**

La ganancia es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, que por lo general es una antena isotrópica, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. En la figura 2.23 se observa la ganancia G de una antena. (Mesen, 2000)

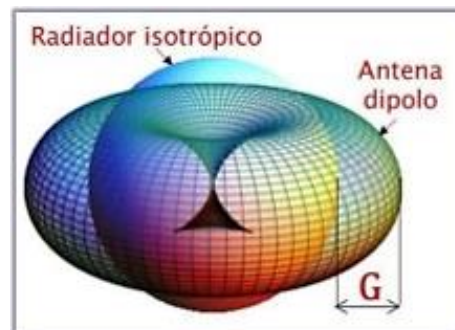


Figura 2.23. Ganancia de una antena

Fuente: (Coimbra, 2014)

La ganancia pone de manifiesto el hecho de que una antena real no radia toda la potencia que se le suministra, sino que parte de ésta se disipa en forma de calor. Un radiador isotrópico se define como una hipotética antena sin pérdidas que radia de la misma manera en todas direcciones. La unidad de ganancia de una antena es el dBd si se define respecto a un dipolo de media onda o dBi si se define respecto a una isotrópica. (Anguera, 2008)

2.3.1.2. Clasificación de las antenas

- **Antena de hilo**

Son antenas cuyo elemento radiante son conductores de hilo que tienen una sección despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo. Se utilizan extensamente en las bandas MF, HF, VHF y UHF. Como ejemplos de este tipo de antena se tiene: monopolo, dipolo, antena de espira y antena helicoidal, en la figura 2.24 se muestra esta antena. (Mejía, 2013)

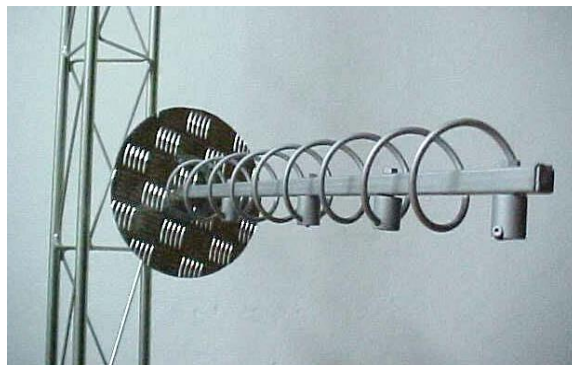


Figura 2.24. Antena helicoidal

Fuente: (Bernat, 2007)

- **Antena impresa**

Con la aparición de las estructuras impresas como líneas de transmisión mediante microtiras, aparece la antena impresa tipo parche. Consta de un parche metálico impreso sobre un sustrato dieléctrico, tal como una placa de circuito impreso. En la figura 2.25 se observa un ejemplo de este tipo de

antena. Sus dimensiones se eligen de tal forma que la estructura disipe la potencia en forma de radiación. (Coimbra, 2011)

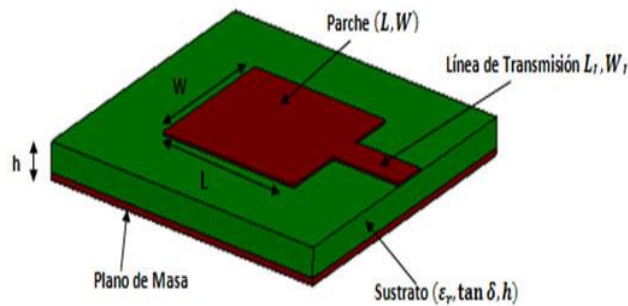


Figura 2.25. Elementos de una antena de parche

Fuente: (Gómez, 2013)

- **Antena de apertura**

Son antenas que se ayudan de superficies o aperturas para dirigir el haz electromagnético, concentrándolo en una dirección. La más conocida y usada es la antena parabólica, que se observa en la figura 2.26, tanto en aplicación terrestre como para enlaces con satélites. La recepción de señal con menor pérdida es mayor si el tamaño de la superficie de la antena lo es también, es decir, a mayor tamaño, mayor ganancia en una menor apertura angular. (Coimbra, 2011)

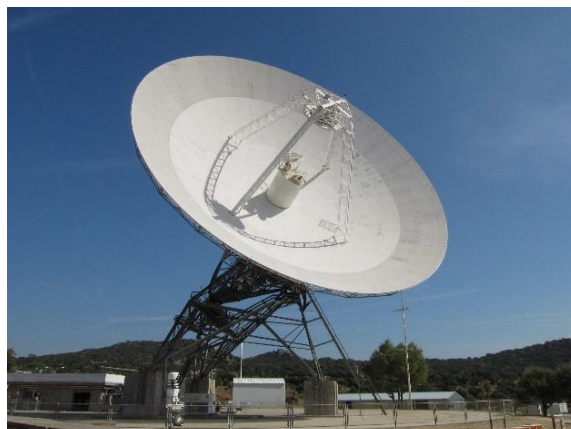


Figura 2.26. Antena parabólica

Fuente: (Cscjprofes, 2012)

2.3.2. DETERIORO DE LA TRANSMISIÓN

En los sistemas de comunicación se debe reconocer que la señal recibida será distinta que la señal transmitida debido a varias dificultades sufridas en la transmisión. Las dificultades más relevantes son:

- **Atenuación**

Es la reducción de densidad de potencia con la distancia. A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo que irradia la fuente, se dispersa. Esto es, las ondas se alejan cada vez más entre sí y, en consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde o disipa nada de la potencia irradiada, porque el frente de onda se aleja de la fuente; la onda sólo se extiende, o se dispersa, sobre un área mayor y disminuye la densidad de potencia. En la figura 2.27 se puede observar un ejemplo de una señal atenuada. (Tomasi, 2003)

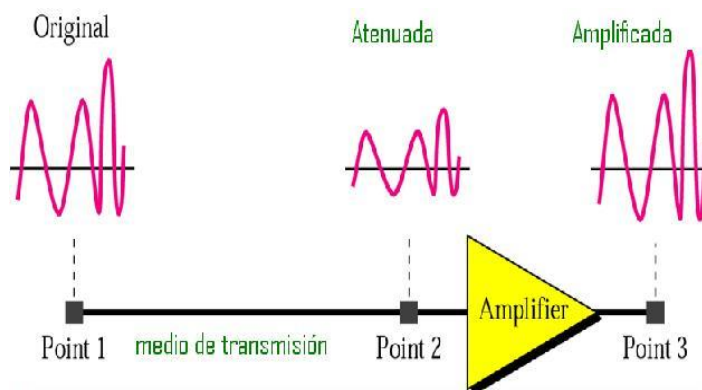


Figura 2.27. Transmisión de señal

Fuente: (Canto, 2008)

- **Distorsión de retardo**

Es cuando la señal cambia su forma de onda. La distorsión ocurre en una señal compuesta, formada por distintas frecuencias. Cada señal componente tiene su propia velocidad de propagación a través del medio y, por tanto, su

propio retraso en la llegada al destino final. En la figura 2.28 se observa el efecto de distorsión en una señal compuesta. (Forouzan, 2002)

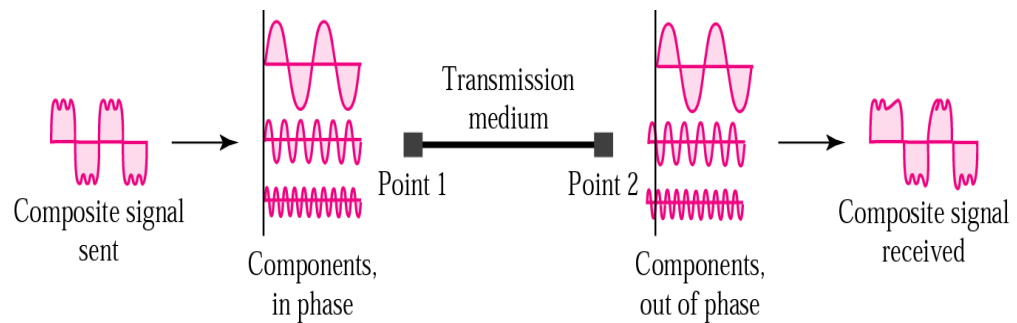


Figura 2.28. Señal distorsionada por retardo

Fuente: (Canto, 2008)

- **Ruido**

Es la interferencia eléctrica generada dentro o fuera de un dispositivo o circuito. En la figura 2.29 se observa la degradación de una señal a causa de este fenómeno.

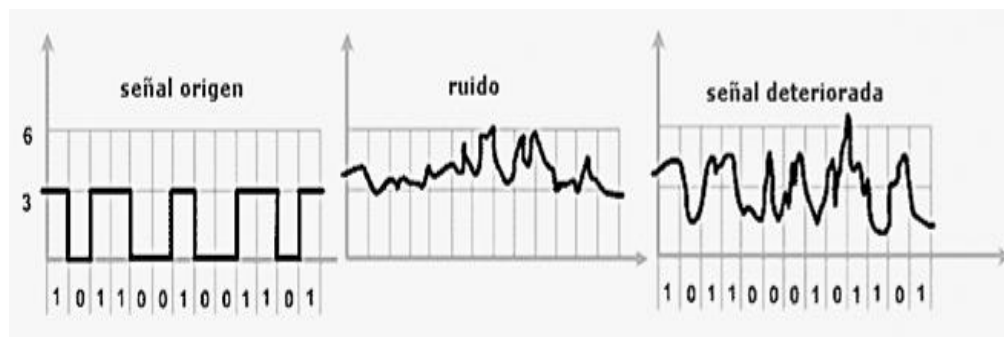


Figura 2.29. Efecto del ruido en una señal

Fuente: (Canto, 2008)

El ruido se puede clasificar según su origen en:

- **Ruido térmico**

Es el movimiento rápido y aleatorio de los electrones libres dentro de un conductor, producido por la agitación térmica, creando una señal extra no enviada originalmente por el transmisor. (Tomasi, 2003)

➤ **Ruido de intermodulación**

Es la generación de frecuencias indeseables de suma y diferencia, cuando se amplifican dos o más señales en un dispositivo no lineal, que puede ser un amplificador de señal grande. Para que haya ruido de intermodulación debe haber dos o más señales de entrada. (Tomasi, 2003)

➤ **Ruido impulsivo**

Se caracteriza por tener picos de gran amplitud y corta duración dentro del espectro total del ruido. Como indica el nombre, el ruido impulsivo consiste en ráfagas repentinas de pulsos de forma irregular, que por lo general duran entre algunos microsegundos y una fracción de milisegundo, dependiendo de su amplitud y su origen. Se pueden generar por motores eléctricos, electrodomésticos, alumbrado y rayos. En la figura 2.30 se observa una señal afectada por ruido impulsivo. (Tomasi, 2003)

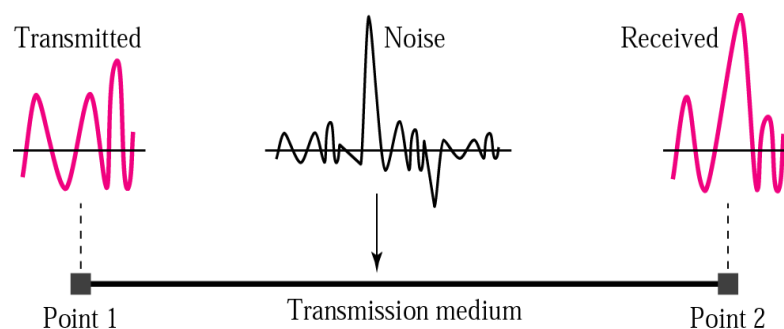


Figura 2.30. Señal con ruido impulsivo

Fuente: (Canto, 2008)

2.3.3. RED LAN INALÁMBRICA

Este sistema de comunicación apareció casi al mismo tiempo que las laptop, y consiste en equipar tanto a la oficina como las computadoras con transmisores de radio de corto alcance y receptores para que se puedan comunicar.

Varias empresas empezaron con la comercialización de redes de área local inalámbricas (Wireless Local Area Network “WLAN”). El problema era que ni siquiera había dos de ellas que fueran compatibles. La proliferación de estándares implicaba que una computadora equipada con un radio marca X no trabajaría en un cuarto equipado con una estación base marca Y. Por lo que la industria decidió que sería muy conveniente tener un estándar para esta red, de modo que el comité IEEE recibió la tarea de idear un estándar. Todos los demás estándares de LAN alámbrica tenían números como 802.1, 802.2 y 802.3 hasta 802.10, así que al estándar de LAN inalámbrica se le dio el número 802.11. (Tanenbaum, 2012)

2.3.3.1. Wi-Fi

Wireless Fidelity (Wi-Fi) es una marca registrada por la Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). La WECA tiene como misión certificar la interoperabilidad y compatibilidad entre diferentes fabricantes de productos inalámbricos bajo el estándar IEEE 802.11.

La WECA, actualmente Wi-Fi Alliance, fue fundada por 3Com, Cisco, Intersil, Agere, Nokia y Symbol, con el compromiso de impulsar el desarrollo a nivel mundial de la tecnología de LAN inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.11. Los dispositivos con el logo que se muestra en la figura 2.31 gozan de la garantía de interoperabilidad. (Guerrero, 2010)



Figura 2.31. Logotipo Wi-Fi

Fuente: (MET Laboratories, 2014)

Estándares que certifica

El estándar IEEE 802.11b empleó la técnica de transmisión inicial, el espectro disperso de secuencia directa en la banda de 2.4 GHz, que llegó a operar a tasas de hasta 11 Mbps y se convirtió rápidamente en un éxito.

Para aumentar la velocidad de las redes inalámbricas, se introdujeron en 1999 y 2003 nuevas técnicas de transmisión basadas en el esquema OFDM (Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal). La primera se llama 802.11a y utiliza una banda de frecuencia distinta, 5 GHz. La segunda se quedó con la banda de 2.4 GHz y se llama 802.11g. Ambas ofrecen tasas de transmisión de hasta 54 Mbps.

En 2009 finalizó la creación de unas técnicas de transmisión que utilizan varias antenas en forma simultánea en el transmisor y el receptor para aumentar la velocidad, conocidas como 802.11n. Con cuatro antenas y canales más amplios, el estándar 802.11n ahora define tasas de transmisión asombrosas de hasta 600 Mbps. (Tanenbaum, 2012)

2.3.3.2. Arquitectura de redes WLAN

Las redes 802.11 se pueden utilizar en dos modos:

- **Modo infraestructura**

El modo más popular es conectar clientes, a otra red, como la intranet de una empresa o internet. Este modo se muestra en la figura 2.32. En el modo de infraestructura, cada cliente se asocia con un punto de acceso (AP) que a su vez está conectado a una red alámbrica. El cliente envía y recibe sus paquetes a través del AP. Se pueden conectar varios puntos de acceso juntos, por lo general mediante una red alámbrica llamada sistema de distribución, para formar una red extendida WLAN. En este caso, los clientes pueden enviar paquetes a otros clientes a través de sus AP. (Tanenbaum, 2012)

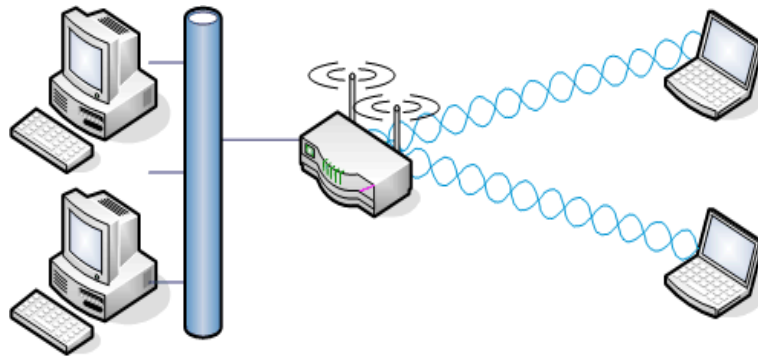


Figura 2.32. Modo infraestructura

Fuente: (Barrachina, 2005)

- **Modo ad hoc**

El modo que se muestra en la figura 2.33, es una red ad hoc. Este modo es una colección de computadoras que están asociadas de manera que puedan enviarse paquetes directamente unas a otras. No hay punto de acceso. Como el acceso a internet es la aplicación esencial para las redes inalámbricas, las redes ad hoc no son muy populares. (Tanenbaum, 2012)

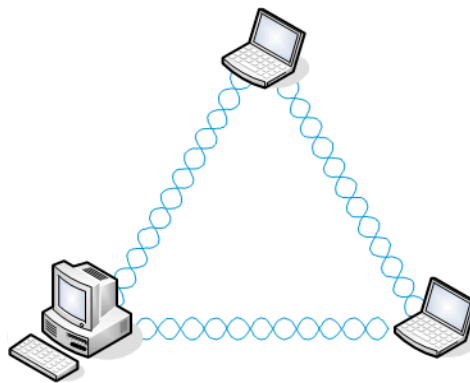


Figura 2.33. Modo ad hoc

Fuente: (Barrachina, 2005)

2.4. TRANSMISIÓN DE VIDEO

Cerca del año 2000 empezó a crecer de manera desmesurada el tráfico de audio y video en tiempo real. El tráfico en tiempo real es distinto del tráfico

web en cuanto a que se debe reproducir a cierta velocidad predeterminada para ser de utilidad. A diferencia del audio, el video ocupa una gran cantidad de ancho de banda. El video en internet de calidad razonable se codifica mediante compresión a tasas de alrededor de 1 Mbps. (Tanenbaum, 2012)

2.4.1. VIDEO DIGITAL

El ojo humano tiene la propiedad de que cuando aparece una imagen en la retina, ésta se retiene unos segundos antes de decaer. Si se dibuja una secuencia de imágenes a razón de 50 imágenes por segundo, el ojo no detecta que está viendo imágenes discretas. Todos los sistemas de video explotan este principio para producir imágenes en movimiento.

La representación digital más simple del video es una secuencia de tramas, cada una de las cuales consiste en una rejilla rectangular de elementos de imagen, o píxeles. Cada píxel puede ser de un solo bit, para representar ya sea negro o blanco. Sin embargo, la calidad de dicho sistema es pésima.

El siguiente paso es utilizar ocho (8) bits por píxel para representar 256 niveles de gris. Para el video a colores, muchos sistemas usan ocho (8) bits para cada uno de los componentes primarios de color: rojo, verde y azul (RGB). Esta representación es posible debido a que cualquier color se puede construir a partir de una superposición lineal de rojo, verde y azul con las intensidades apropiadas. Con 24 bits por píxel, hay cerca de 16 millones de colores, que es más de lo que el ojo humano puede distinguir. (Tanenbaum, 2012)

2.4.2. COMPRESIÓN DE VIDEO

La compresión es imprescindible para enviar video a través de la red. Incluso un video de calidad estándar con tramas de 640 por 480 píxeles, 24 bits de información de color por píxel y 30 tramas por segundo, ocupa más de 200 Mbps. Por esta razón, un gran conjunto de investigaciones durante las últimas décadas han conducido al desarrollo de técnicas y algoritmos de compresión que permiten transmitir video.

En el proceso de compresión se aplica un algoritmo al vídeo original para crear un archivo comprimido listo para ser transmitido o guardado. Para reproducir el archivo comprimido, se aplica el algoritmo inverso y se crea un vídeo que incluye prácticamente el mismo contenido que el vídeo original. El tiempo que se tarda en comprimir, enviar, descomprimir y mostrar un archivo es lo que se denomina latencia. Cuanto más avanzado sea el algoritmo de compresión, mayor será la latencia.

El par de algoritmos que funcionan conjuntamente se denomina códec de vídeo (codificador/decodificador). Los códec de vídeo de estándares diferentes no suelen ser compatibles entre sí. (Axis Communications, 2013)

- **M-JPEG**

Motion JPEG (Joint Photographic Experts Group) es un estándar que consiste en aplicar sucesivamente el algoritmo de compresión JPEG a las imágenes de una secuencia de video. Utiliza la tecnología de codificación intrafotograma, que consiste en comprimir cada fotograma por separado como se observa en la figura 2.34. Al no haber dependencia alguna entre los fotogramas, un vídeo M-JPEG es resistente, lo que significa que si falla un fotograma durante la transmisión, el resto del vídeo no se verá afectado. M-JPEG es un estándar que no requiere licencia y tiene una amplia compatibilidad. (Axis Communications, 2013)



Figura 2.34. Codificación de imágenes individuales

Fuente: (Axis Communications, 2013)

- **MPEG**

MPEG (Motion Picture Experts Group) son estándares de compresión utilizados principalmente para películas ya que pueden comprimir audio y video. El más usado es MPEG-4 que tiene dos formatos de video. El primer formato es el MPEG-4 Parte 2, compatible con aplicaciones de ancho de banda reducido y aplicaciones que requieren imágenes de alta calidad. Como todos los estándares MPEG requiere una licencia. El segundo formato es el H.264 y al igual que el primer formato utiliza la técnica de codificación diferencial, que se muestra en la figura 2.35, en la que un fotograma se compara con un fotograma de referencia y sólo se codifican los píxeles que han cambiado con respecto al fotograma de referencia. (Tanenbaum, 2012)

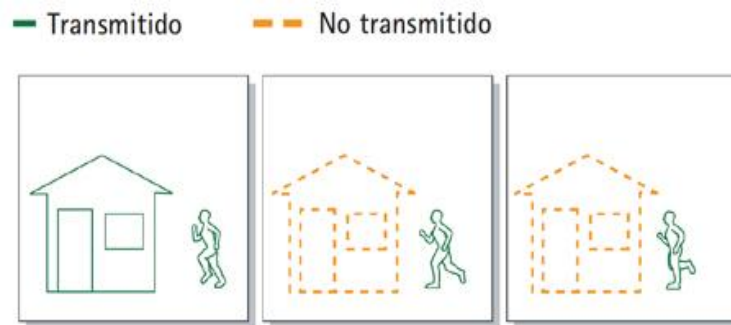


Figura 2.35. Secuencia de codificación diferencial

Fuente: (Axis Communications, 2013)

- **H.264**

Es el segundo formato MPEG-4, también conocido como MPEG-4 Parte 10. Se espera que el H.264 se convierta en la alternativa de estándar en los próximos años. Ello se debe a que, sin comprometer la calidad de la imagen, un codificador H.264 puede reducir el tamaño de un archivo de vídeo digital en más de un 80% si se compara con el formato M-JPEG, y hasta un 50% más en comparación con el estándar MPEG-4 Parte 2. Esto significa que se requiere menos ancho de banda y espacio de almacenamiento para los archivos de vídeo. (Axis Communications, 2013)

2.5. ACTUADORES ELÉCTRICOS

Son los motores eléctricos que con frecuencia se usan como elemento de control final en los sistemas de control por posición o de velocidad. Los motores se pueden clasificar en dos categorías principales: motores de corriente continua (directa) y motores de corriente alterna. (Bolton, 2010)

- **Motor de corriente continua**

La mayoría de los motores que se emplean en los sistemas de control modernos son los motores de corriente directa, los cuales se pueden dividir en dos grupos principales, los que usan escobillas para hacer contacto con un ensamble de anillo conmutador en el rotor y los que no tienen escobillas. Con los de escobillas, el rotor tiene devanado de bobina y el estator puede ser un imán permanente o electroimán, en la figura 2.36 se muestra un ejemplo de este motor. Con los que no tienen escobillas, el arreglo es a la inversa, en ese rotor es un imán permanente y el estator tiene el devanado de bobina. (Bolton, 2010)

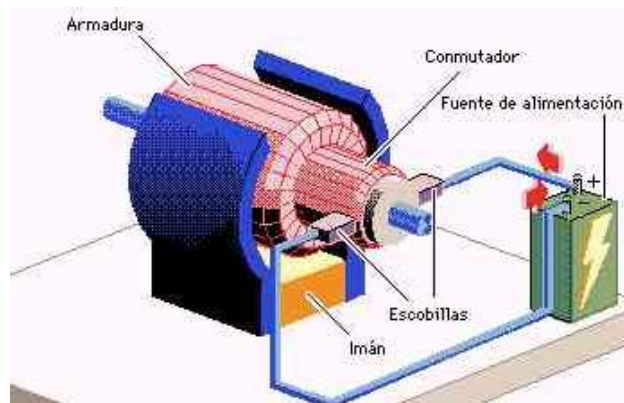


Figura 2.36. Partes de un motor de corriente directa

Fuente: (Rojas, 2008)

- **Servomotor**

Un servomotor es un motor que puede poner su eje en una determinada posición a través de una señal eléctrica de control conocida con el nombre

PWM (Pulse Width Modulation), de esta manera modificado el valor de la señal el servo se puede posicionar en cualquier ángulo en un rango de 0° a 180°. Son especiales en aplicaciones en donde se requiere mucha fuerza con precisión en su funcionamiento. En la figura 2.37 se pueden observar las partes de un servo. (Erazo, 2011)

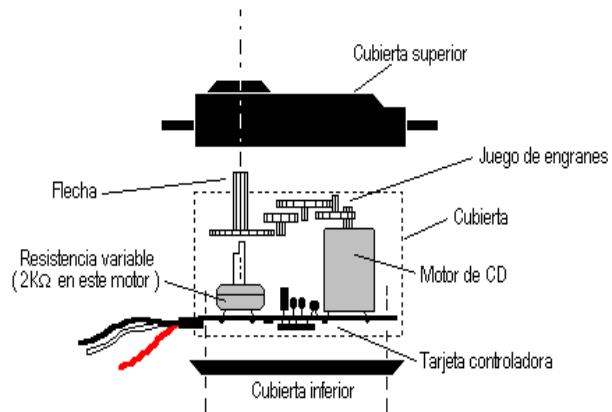


Figura 2.37. Partes de un servomotor

Fuente: (Ramirez, 2010)

3. METODOLOGÍA

La metodología de un sistema mecatrónico no es solo la unión de los sistemas electrónico y mecánico y es más que solo un sistema de control; es una integración completa de todos ellos, en la cual existe un enfoque integrado e interdisciplinario para el diseño en ingeniería. Por esta razón el proyecto se ha desarrollado basado en esta metodología, cuyo esquema se presenta en la figura 3.1.

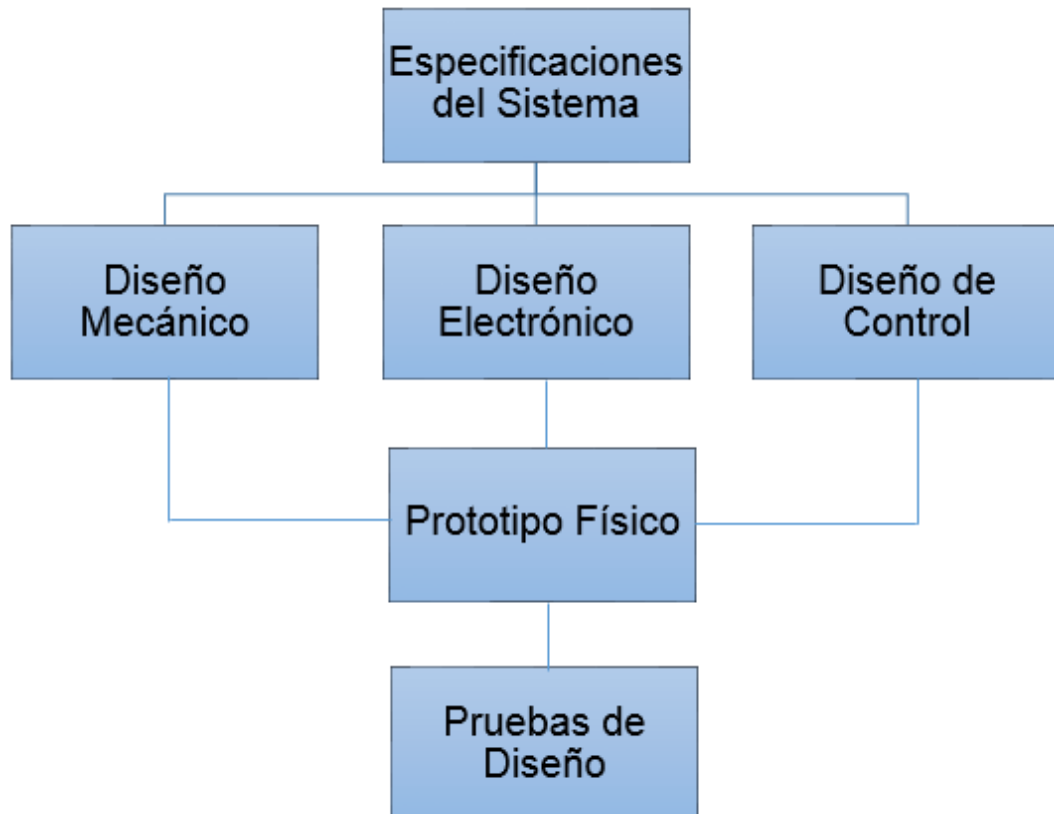


Figura 3.1. Metodología Mecatrónica

A fin de cumplir con el diagrama de la metodología Mecatrónica, el desarrollo del proyecto se realizó por etapas, a continuación se describe el desarrollo de cada una de ellas.

Primero se inicia con la investigación sobre los distintos métodos y tecnologías que existen actualmente para realizar el proyecto propuesto, para de esta manera seleccionar la mejor alternativa y ejecutarla.

Para realizar el diseño mecánico, se deben analizar los resultados de esfuerzos y deformaciones de las piezas de la estructura del robot, obtenidos del programa SolidWorks, para así limitar la carga máxima. Además es necesario diseñar una estructura apropiada para dar los grados de libertad que requiera la cámara del robot.

En el diseño electrónico se realiza la selección de los dispositivos necesarios para suministrar la energía que necesita el robot y además se diseñan circuitos con protecciones y reguladores para que en conjunto con la tarjeta de control, logren controlar los actuadores.

El diseño de control consiste en desarrollar un programa para la tarjeta de control, de manera que los pines seleccionados realicen las funciones definidas en la interfaz de usuario, también un programa con el cual el operador pueda interactuar con el robot, permitiendo controlarlo y obtener información de su entorno, además es necesario que este programa se vincule con el programa de la tarjeta de control.

Finalmente se ensamblan los sistemas mecánico, electrónico y de control para poder realizar las pruebas necesarias al prototipo y de ser necesario, aplicar las correcciones para solucionar los problemas presentados.

3.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE CONTROL

Se debe analizar las distintas tecnologías disponibles, considerando aspectos técnicos, financieros y necesidades del usuario, para construir al robot con la mejor alternativa. En la tabla 3.1 se presentan las posibles alternativas.

Tabla 3.1. Posibles soluciones de control

	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Dispositivo de control	Raspberry Pi B+	Arduino UNO	PIC 18F4550
Tecnología inalámbrica	Wi-Fi	ZigBee	Bluetooth
Interfaz de usuario	Aplicación web	Aplicación de escritorio	Aplicación de escritorio
Dispositivo de video	Cámara web	Cámara IP	Cámara inalámbrica

Mediante el método de criterios ponderados que se presenta en la tabla 3.2 se selecciona la mejor alternativa, calificando con 5 como máximo y 1 como mínimo, esta calificación se realiza evaluando las características de cada sistema desde el punto de vista técnico.

Tabla 3.2. Método de criterios ponderados

	Alcance de la señal	Confiabilidad	Consumo de energía	Peso	Costo	Σ
Solución 1	5	4	3	4	4	20
Solución 2	3	3	5	2	3	16
Solución 3	2	2	5	2	4	15

Una vez finalizada la ponderación de cada criterio de la tabla, se selecciona la alternativa con el mayor puntaje, en este caso es la solución 1 y a partir de esta se especifican los requerimientos del sistema.

3.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El robot explorador debe ser capaz de adaptarse a las distintas superficies que se puedan presentar a lo largo de su recorrido, en consecuencia, la plataforma debe ser resistente para que soporte el peso de los componentes electrónicos y cargas fluctuantes, además debe ser de un material ligero para facilitar el trabajo de los motores; que cuente con cuatro ruedas de caucho para disminuir las vibraciones, que sea de fácil construcción y tenga buena estabilidad para desplazarse incluso sobre superficies irregulares. Las dimensiones del robot explorador dependerán de la cantidad de elementos que se necesiten colocar en su interior y del trabajo a realizar.

Para hacer ligero y menos costoso al robot, es conveniente usar la menor cantidad de baterías y si es posible usar solo una batería de capacidad suficiente para suministrar energía a todos los componentes electrónicos para que funcionen por un tiempo mínimo de una hora, por lo que se necesita diseñar circuitos independientes que regulen la potencia adecuada para activar cada elemento.

Para analizar un entorno de manera remota, se necesita que el robot provea telepresencia al usuario, para lo cual se necesita una placa electrónica de control que permita conectar un adaptador Wi-Fi con una antena dipolo de mínimo 5 dBi de ganancia y una cámara web con compatibilidad UVC (USB Video Class), esta placa debe tener como mínimo una capacidad de 512 MB de RAM (Random Access Memory) y un procesador a 700 MHz, ya que realizará las funciones de compresión de video, comunicación inalámbrica, servidor web, control de motores y lectura de sensores. Con una placa de estas características se puede obtener video con una resolución de hasta 400 por 320 píxeles y 30 tramas por segundo, pero se puede incrementar la resolución si se utiliza una placa con mayor capacidad de procesamiento.

También se necesita una computadora con tarjeta de red Ethernet 10/100 o WLAN 802.11b/g/n para acceder a la interfaz de usuario, para así controlar al robot y guiarlo por una ruta mediante la visualización del video en tiempo real. La comunicación entre el robot y la computadora se realiza por medio de un AP (Access Point) con las mismas características de la tarjeta de red de la computadora, pero con una antena de la misma ganancia que tiene el robot. Además es importante que todos los dispositivos inalámbricos trabajen con el mismo estándar de WLAN (Wireless Local Area Network) para evitar atascos en la transmisión de la información, promoviendo el uso necesario del estándar IEEE 802.11n para garantizar que la transmisión de video sea en tiempo real para la distancia requerida, ya que actualmente es el que ofrece mayores tasas de transmisión de datos.

4. DISEÑO

Para realizar con criterio la selección de cada componente de los subsistemas mecánico, electrónico y de control que conforman el robot explorador, fue necesario realizar cálculos matemáticos y análisis mediante software, de manera que cada diseño se relacione uno con otro para obtener un prototipo mecatrónico funcional.

4.1. DISEÑO MECÁNICO

Para realizar el diseño mecánico es necesario usar un programa que permita modelar las piezas que conforman la estructura del robot explorador y así poder visualizar el resultado de la construcción completa. El programa seleccionado es SolidWorks, ya que permite crear piezas en tres dimensiones (3D) y ensamblarlas de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

4.1.1. DISEÑO DE SOPORTES PARA SERVOMOTORES

Los movimientos de la cámara web son controlados por dos servomotores, los cuales están ensamblados en una estructura que permite obtener los grados de libertad requeridos. Esta estructura está construida con diferentes piezas que sirven como soporte para la cámara web y los servomotores.

Las piezas que sirven para sostener la cámara están colocadas en el rotor del servomotor que permite el movimiento vertical de la cámara, una de estas piezas se muestra en la figura 4.1.

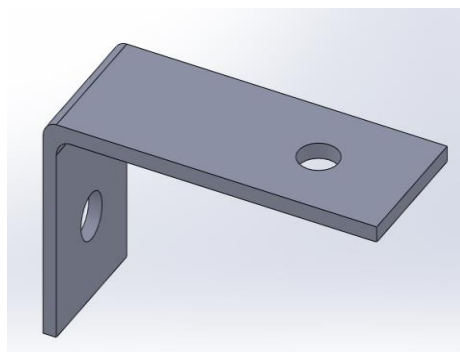


Figura 4.1. Unión servo - cámara web

En la figura 4.2 se observa la pieza creada para soportar el peso del servomotor y la cámara que tiene acoplada en su rotor, además esta pieza sirve para unir un servomotor con otro.

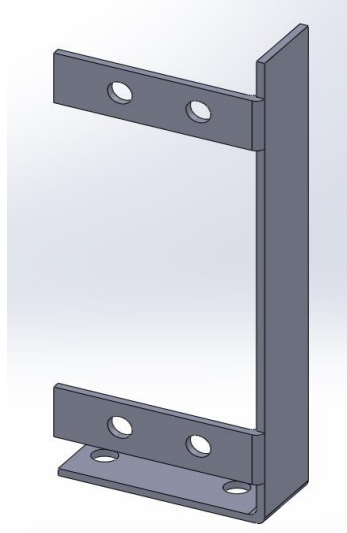


Figura 4.2. Unión servo – servo

La figura 4.3 muestra una de las piezas que están ancladas a la plataforma del robot y construidas para soportar el peso del servomotor que permite el movimiento horizontal de la cámara web y que tiene acoplado en su rotor la unión servo - servo.

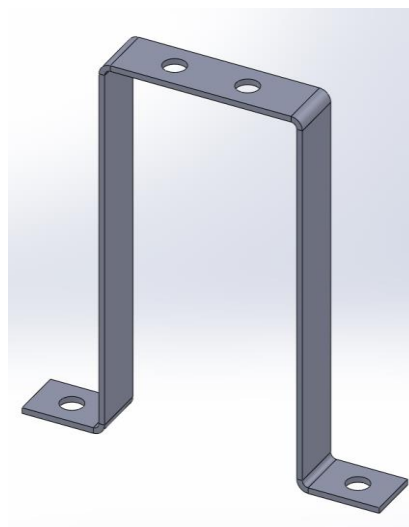


Figura 4.3. Unión plataforma – servo

Esta última pieza es la que se encuentra en las condiciones más críticas de trabajo, ya que tiene que soportar el peso del servomotor con todos los componentes que se encuentran ensamblados a la unión servo - servo. Por esta razón y debido a que se seleccionó el mismo material para todas las piezas, se estableció que el cálculo para determinar el espesor mínimo necesario, debe ser realizado únicamente en esta pieza para construir a las demás con el mismo espesor. El material escogido fue el acero ASTM A36, cuyas propiedades principales se observan en la tabla 4.1:

Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Propiedad mecánica	Magnitud [ksi]
Resistencia a la tensión	58
Resistencia de fluencia	36
Módulo de elasticidad	30 000

Fuente: (Mott, 2006)

El análisis se hace asumiendo que todas las fuerzas actúan sobre una sola pieza en lugar de las dos, para asegurar el diseño. Se comienza con la parte horizontal de la pieza donde se coloca el servomotor con tornillos, la posición de la carga generada por el peso de los componentes se muestra en la figura 4.4.

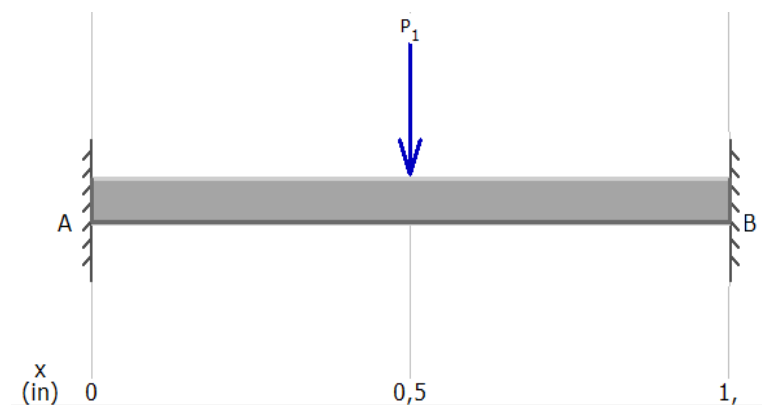


Figura 4.4. Posición de la carga generada por el peso

Primero se calculan las fuerzas de reacción que se encuentran únicamente en el eje vertical del elemento analizado, producidas en los apoyos A y B mediante la fórmula 4.1:

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{P_1}{2} \quad [4.1]$$

Donde:

R_{Ay} = Fuerza producida en el eje y del apoyo A

R_{By} = Fuerza producida en el eje y del apoyo B

P_1 = Fuerza producida por el peso de los componentes

$$R_{Ay} = \frac{0.44 \text{ lb}}{2}$$

$$R_{Ay} = 0.22 \text{ lb}$$

Luego se calculan los momentos originados como reacción en los apoyos A y B, que resultan ser de igual magnitud en ambos apoyos como en el cálculo anterior, tal como se expresa en la fórmula 4.2:

$$M_A = M_B = M_P = \frac{P_1 * L}{8} \quad [4.2]$$

Donde:

M_A = Momento flector producido en el apoyo A

M_B = Momento flector producido en el apoyo B

M_P = Momento flector producido donde está aplicada la carga

L = Longitud del elemento sobre el que está la carga

$$M_A = \frac{0.44 \text{ lb} * 1 \text{ pulg}}{8}$$

$$M_A = 0.055 \text{ lb} * \text{pulg}$$

La carga aplicada ocasiona esfuerzos normales por flexión en el elemento, entonces para hacer el primer cálculo de espesor de la sección, se utiliza el método de resistencia de fluencia, cuya condición de diseño se presenta en la fórmula 4.3:

$$\frac{M_P}{S} \leq \sigma_{perm} \quad [4.3]$$

Donde:

S = Módulo de la sección transversal

σ_{perm} = Esfuerzo normal permisible del material

El esfuerzo normal permisible del material se calcula con la ecuación 4.4:

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{N} \quad [4.4]$$

Donde:

S_y = Resistencia a la fluencia

N = Factor de seguridad

La resistencia a la fluencia se obtiene de la tabla 4.1 y el factor de seguridad aplicado es moderado como se muestra a continuación:

$$\sigma_{perm} = \frac{36\,000 \text{ psi}}{2}$$

$$\sigma_{perm} = 18\,000 \text{ psi}$$

Este dato y el momento calculados se reemplazan en la fórmula 4.3 y se determina lo siguiente:

$$\frac{0.055 \text{ lb} * \text{ pulg}}{S} \leq 18\,000 \text{ psi}$$

$$S \geq 3.06 \times 10^{-6} \text{ pulg}^3$$

Con este dato y conociendo el ancho de la sección transversal, que es de 0.28 pulgadas, se encuentra el espesor con la ecuación 4.5:

$$S = \frac{b * h^2}{6}$$

[4.5]

Donde:

b = Ancho de la sección transversal

h = Espesor de la sección transversal

$$3.06 \times 10^{-6} \text{ pulg}^3 = \frac{0.28 \text{ pulg} * h^2}{6}$$

$$h = \sqrt{6.56 \times 10^{-5}} \text{ pulg}$$

$$h = 0.008 \text{ pulg}$$

Después de obtener este dato, se procede a buscar una plancha del material que tenga un espesor similar al calculado, lo más cercano a esa medida que se encuentra es 0.028 pulgadas.

La segunda parte del análisis consiste en verificar si el espesor seleccionado es correcto para soportar las fuerzas que tiene la pieza en cualquiera de sus partes verticales, tal como se observa en la figura 4.5.

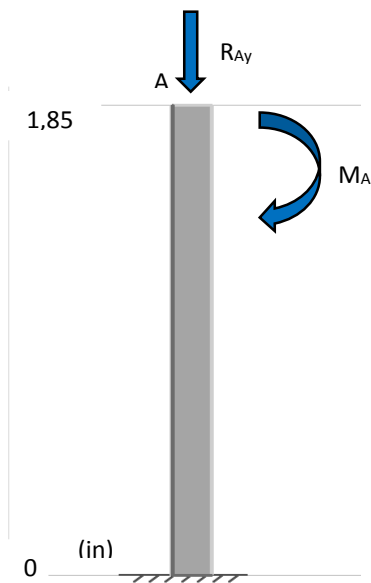


Figura 4.5. Diagrama de fuerzas en la parte anclada

El análisis se realiza tomando de manera indistinta cualquier parte vertical de la pieza, ya que las fuerzas que soportan son iguales, y se tiene que determinar el mayor esfuerzo normal sobre el elemento con la ecuación 4.6:

$$\sigma_c = -\frac{R_{Ay}}{A} - \frac{M_A}{S} \quad [4.6]$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo normal de compresión

A = Área de la sección transversal

Las fuerzas con signo negativo indican que comprimen al elemento y son las reacciones calculadas en el apoyo A o B, tal como se observa en la Figura 4.5. Para calcular S se utiliza la ecuación 4.5 con los datos de la plancha seleccionada, de la siguiente manera:

$$S = \frac{0.28 \text{ pulg} * 0.028^2 \text{ pulg}^2}{6}$$

$$S = 3.66 \times 10^{-5} \text{ pulg}^3$$

Estos datos se reemplazan en la ecuación 4.6 para determinar el esfuerzo normal de compresión, como se indica a continuación:

$$\sigma_c = -\frac{0.22 \text{ lb}}{0.28 \text{ pulg} * 0.028 \text{ pulg}} - \frac{0.055 \text{ lb} * \text{ pulg}}{3.66 \times 10^{-5} \text{ pulg}^3}$$

$$\sigma_c = -1\,530.79 \text{ psi}$$

Una vez calculado este esfuerzo, se evalúa si cumple la condición de la fórmula 4.3, como se muestra a continuación:

$$1\,530.79 \text{ psi} \leq \frac{36\,000 \text{ psi}}{2}$$

$$1\,530.79 \text{ psi} < 18\,000 \text{ psi}$$

Al demostrar que se cumple la condición, se comprueba que el espesor de la plancha del material seleccionado para construir la pieza es correcto.

Para observar los planos que contienen las dimensiones de los soportes, ir al anexo I.

4.1.2. DISEÑO DE LA PLATAFORMA

La plataforma es el elemento más importante de la estructura del robot, ya que en ésta se ensamblan las demás piezas estructurales y es la que debe soportar el peso de los componentes que se detallan en la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Peso de los componentes que carga el robot

Componente	Peso [lb]
Batería seca de 12 V y 5 Ah	3.53
Batería seca de 6 V y 4.5 Ah	1.58
Placa para regular el voltaje	0.07
Placa de control de motor DC	0.10
Raspberry Pi modelo B+	0.10
Cámara Logitech C170	0.17
Servo S3003	0.08
Servo 3001HB	0.09
Servo ECX1069	0.07
Soportes para servos	0.17

La estructura del robot explorador se basa en una plataforma móvil que fue construida por Gabriel Muñoz en el año 2013 en su trabajo de investigación “*Diseño y construcción de una plataforma móvil a control remoto para un brazo robótico en aplicaciones de seguridad*” para la Universidad Tecnológica Equinoccial.

En el mencionado trabajo de investigación se encuentra detallado el análisis de esfuerzos y deformaciones para diseñar una plataforma de nylon que soporte una carga de 8 lb, además mediante el programa SolidWorks realizó la simulación de los efectos que produce la carga, para obtener resultados de esfuerzo como se observa en la figura 4.6 y deformación de la plataforma como se observa en la figura 4.7.

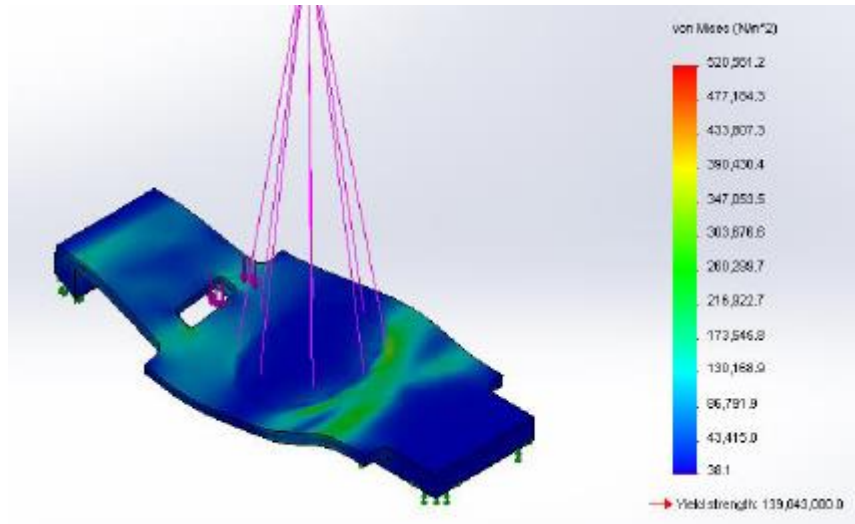


Figura 4.6. Resultados de esfuerzo de la plataforma

Fuente: (Muñoz, 2013)

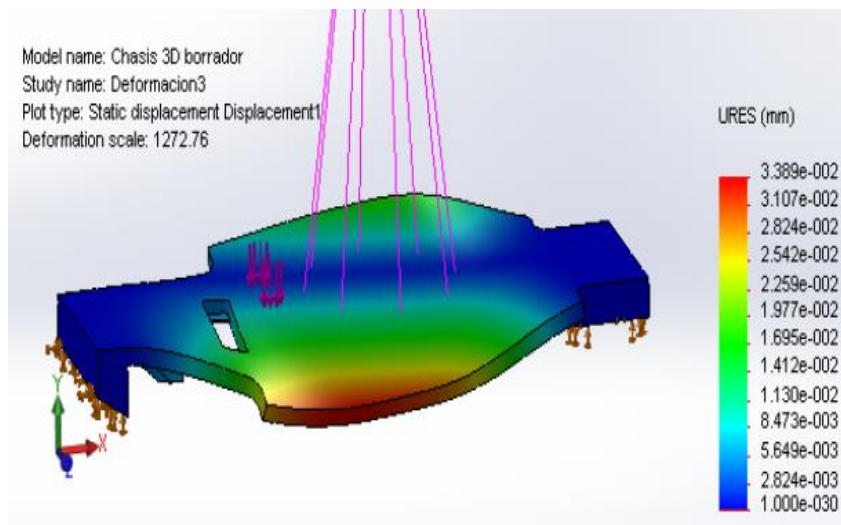


Figura 4.7. Resultados de deformación de la plataforma

Fuente: (Muñoz, 2013)

Igualmente realizó la simulación de los efectos que produce la carga en los apoyos de los amortiguadores delanteros y traseros. Se puede observar los resultados de esfuerzo en la figura 4.8 y deformación del soporte delantero en la figura 4.9.

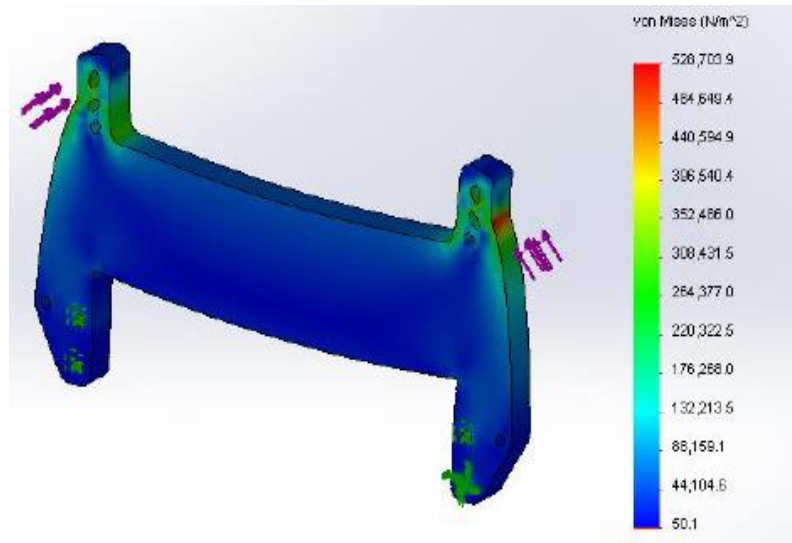


Figura 4.8. Resultados de esfuerzo del soporte delantero

Fuente: (Muñoz, 2013)

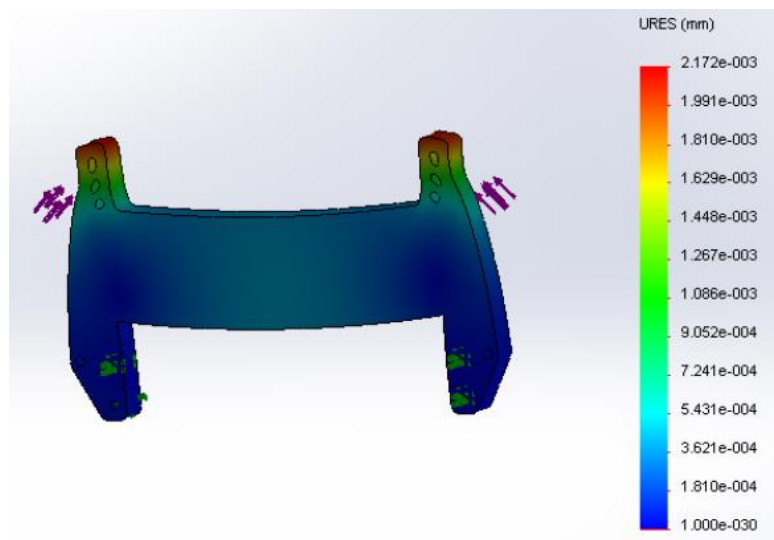


Figura 4.9. Resultados de deformación del soporte delantero

Fuente: (Muñoz, 2013)

Para el soporte trasero se puede observar los resultados de esfuerzo en la figura 4.10 y deformación en la figura 4.11.

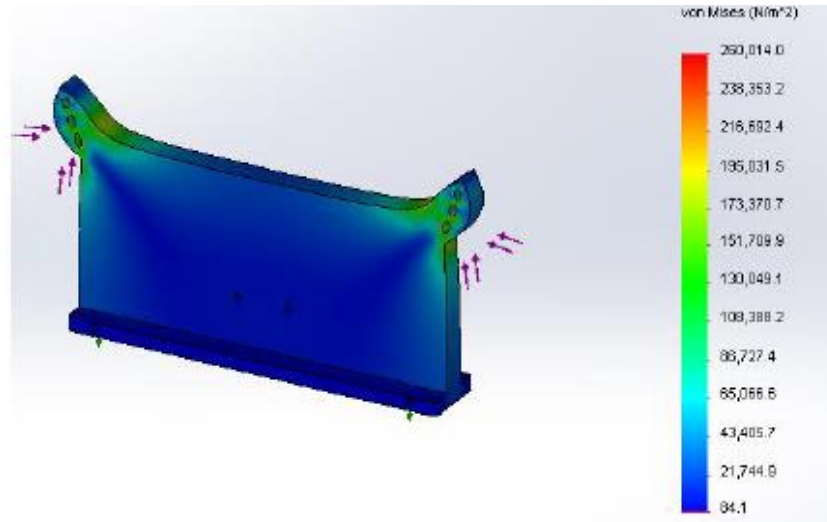


Figura 4.10. Resultados de esfuerzo del soporte trasero

Fuente: (Muñoz, 2013)

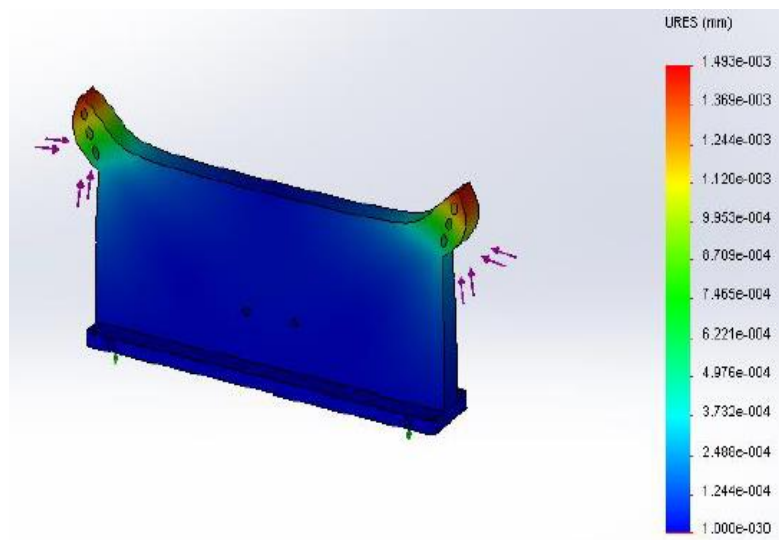


Figura 4.11. Resultados de deformación del soporte trasero

Fuente: (Muñoz, 2013)

Con base en los resultados de la simulación y las pruebas físicas que se hicieron a la plataforma, se demostró que puede soportar sin problemas una carga de 8 lb, motivo por el cual no es necesario realizar nuevamente el análisis en este trabajo de investigación ya que la carga a soportar en este caso es de 5.96 lb.

4.2. DISEÑO ELECTRÓNICO

Los componentes del sistema electrónico del robot explorador fueron seleccionados después de realizar un análisis sobre la energía que requieren los motores y dispositivos de la placa de control para realizar las tareas propuestas. El diseño trata sobre la selección de baterías, dispositivos electrónicos y creación de pistas para las placas electrónicas.

4.2.1. ANÁLISIS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Los elementos del robot que van a ser conectados a la fuente de alimentación son: una Raspberry Pi que necesita una fuente de 5 V, un motor de corriente continua (DC) y tres servomotores que necesitan una fuente de 6 V. Teniendo en cuenta que el robot debe funcionar por el tiempo mínimo de una hora, se decide colocar dos baterías, ya que una sola ocupa más espacio y es más pesada que dos baterías que sumen esa capacidad.

Para el motor DC se selecciona una batería seca de 6 V, para los demás dispositivos se opta por una batería seca de 12 V debido a que no hay de un valor intermedio entre 6 V y 12 V, ya que al usar reguladores de voltaje con salidas de 5 V y 6 V se necesita que el voltaje de entrada sea como mínimo 2V mayor que el de salida. La repartición de dispositivos a los cuales debe suministrar energía cada batería se realiza con respecto al consumo de corriente que se muestra en la tabla 4.3:

Tabla 4.3. Consumo de corriente de los dispositivos del robot

Dispositivo electrónico	Corriente de operación [A]
Motor DC ECX1071	2.24
Servomotor ECX1069	0.35
Servomotor S3003	0.23
Servomotor 3001HB	0.23
Raspberry Pi modelo B+	1.75

La suma de las corrientes de estos elementos es 4.8 A, que es un valor excesivo para el tamaño de baterías que se necesita en la aplicación, motivo por el cual se divide la corriente para que sea suministrada por dos baterías, una de ellas para el motor DC y otra para los demás dispositivos. La capacidad de cada batería se calcula con la ecuación 4.7:

$$C = I * t \quad [4.7]$$

Donde:

C = Capacidad de la batería

I = Corriente de descarga de la batería

t = Tiempo de descarga de la batería

Reemplazando los datos, la capacidad de la batería para el motor DC resulta:

$$C = 2.24 A * 1 h$$

$$C = 2.24 Ah$$

Una batería con esa capacidad suministra energía al motor por una hora, pero descargándose por completo, lo cual acorta desmesuradamente su tiempo de vida. La vida útil de las baterías se mide en ciclos de carga/descarga, para alcanzar una vida aproximadamente de 600 ciclos, la batería debe descargarse máximo al 45% de su capacidad nominal, según los datos que ofrece el fabricante que se muestran en el anexo II. Entonces se calcula la capacidad adecuada de la batería con la ecuación 4.8:

$$C_R = \frac{C * 100}{55} \quad [4.8]$$

Donde:

C_R = Capacidad recomendada para la batería

$$C_R = \frac{2.24 \text{ Ah} * 100}{55}$$

$$C_R = 4.07 \text{ Ah}$$

Con la ecuación 4.7, la capacidad de la batería para los servomotores y la Raspberry Pi resulta:

$$C = 2.56 \text{ A} * 1 \text{ h}$$

$$C = 2.56 \text{ Ah}$$

Igualmente para alcanzar una vida aproximadamente de 600 ciclos, según los datos que se muestran en el anexo II, es necesario calcular la capacidad adecuada de la batería mediante la ecuación 4.8:

$$C_R = \frac{2.56 \text{ Ah} * 100}{55}$$

$$C_R = 4.65 \text{ Ah}$$

Con estos datos se logra determinar las características que deben tener las baterías, entonces se adquieren las dos baterías, una de 6 V y 4.5 Ah y otra de 12 V y 5 Ah. Es importante verificar los datos del fabricante para asegurar que la batería funcione por el tiempo deseado bajo las condiciones establecidas.

4.2.2. DISEÑO DEL REGULADOR DE VOLTAJE

Una vez seleccionadas las baterías se debe diseñar el regulador de voltaje con respecto a las características de la batería y la potencia que necesitan los

dispositivos a los cuales se les va a suministrar energía. El análisis que se hace para seleccionar los elementos que conforman el circuito se detalla a continuación:

Reguladores de voltaje

Con la batería seleccionada se determina que se necesitan dispositivos que regulen el voltaje de 12 V a 6 V y 5 V, por lo que se decide colocar el regulador 7806 que entrega una corriente de hasta 1 A para los tres servomotores y el regulador 78S05 que entrega una corriente de hasta 2 A para la Raspberry Pi.

Disipadores de calor

Estos componentes metálicos son importantes para evitar que los reguladores de voltaje se calienten demasiado y se dañen, debido a que van a estar trabajando al máximo de su capacidad por un tiempo aproximado de una hora. Para seleccionar los disipadores se utiliza la ecuación 4.9:

$$R_{da} = \frac{T_j - T_a}{w} - R_{jc} - R_{cd} \quad [4.9]$$

Donde:

R_{da} = Resistencia térmica entre el disipador y el ambiente

T_j = Temperatura máxima en la junta

T_a = Temperatura ambiente

w = Potencia que disipará el componente

R_{jc} = Resistencia térmica entre la junta y la carcasa

R_{cd} = Resistencia térmica entre la carcasa y el disipador

Para el regulador 78S05, de la hoja de datos del fabricante se obtiene lo siguiente:

$$T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{jc} = 5 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

La temperatura en el interior del robot es:

$$T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

El contacto entre el regulador de voltaje y el disipador de calor es directo sin mica, según los datos de la tabla 4.4 se obtiene que:

$$R_{cd} = 0.8 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Tabla 4.4. Coeficientes de resistencias térmicas de aisladores

RESISTENCIA TERMICA CONTENEDOR -DISIPADOR				
Tipo de contenedor	Contacto directo sin mica	Contacto directo y silicona	Contacto con mica	Contacto con mica silicona
TO.5	1	0,7	--	--
TO.39	1	0,7	2	1,5
TO.126	1,4	1	1,4	1,3
TO.220	0,8	0,5	1,4	1,2
TO.202	0,8	0,5	1,4	1,2
TO.152	0,8	0,5	1,2	0,9
TO.90	0,5	0,3	1	0,7
TO.3P.	0,4	0,2	2,1	1,5
TO.59	1,2	0,7		
TO.117	2	1,7	--	--
SOT.48	1,8	1,5		
DIA.4L	1,1	0,7		
TO.66	1,1	0,65		

Fuente: (Cárdaba, 2000)

Después se utiliza la ecuación 4.10 para calcular el voltaje del regulador como se muestra a continuación:

$$V = V_{in} - V_{out}$$

[4.10]

Donde:

V = Voltaje del regulador

V_{in} = Voltaje que entra al regulador

V_{out} = Voltaje que sale del regulador

$$V = 12 V - 5 V$$

$$V = 7 V$$

Luego de obtener el voltaje se calcula la potencia que disipa el regulador de voltaje con la ecuación 4.11:

$$w = V * I$$

[4.11]

Donde:

w = Potencia que disipará el componente

V = Voltaje del regulador

I = Corriente que entrega el regulador

$$w = 7 V * 1.75 A$$

$$w = 12.25 W$$

Reemplazando estos datos en la ecuación 4.9 se puede calcular el valor del disipador que necesita el regulador 78S05 como se observa a continuación:

$$R_{da} = \frac{150^{\circ}C - 25^{\circ}C}{12.25 W} - 5^{\circ}C/W - 0.8^{\circ}C/W$$

$$R_{da} = 4.41^{\circ}C/W$$

Para el regulador 7806, de la hoja de datos del fabricante se obtiene lo siguiente:

$$T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{jc} = 5 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

La temperatura medida en el interior del robot es:

$$T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

El contacto entre el regulador y el disipador es directo sin mica, según los datos de la tabla 4.4 se obtiene que:

$$R_{cd} = 0.8 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Con la ecuación 4.10 se calcula el voltaje del regulador como se muestra a continuación:

$$V = 12 \text{ V} - 6 \text{ V}$$

$$V = 6 \text{ V}$$

Luego con la ecuación 4.11 se calcula la potencia que disipa el regulador de voltaje:

$$w = 6 \text{ V} * 0.81 \text{ A}$$

$$w = 4.86 \text{ W}$$

Reemplazando estos datos en la ecuación 4.9 se calcula el valor del disipador que necesita el regulador 7806 como se observa a continuación:

$$R_{da} = \frac{150 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}}{4.86 \text{ W}} - 5 \text{ }^\circ\text{C/W} - 0.8 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{da} = 19.92 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Simulación del circuito

Después de haber seleccionado los elementos que componen el regulador de voltaje, es importante realizar una simulación del circuito para comprobar que las conexiones realizadas regulen el voltaje correctamente. El circuito que se muestra en la figura 4.12 fue realizado y simulado en el programa Proteus con la aplicación ISIS.

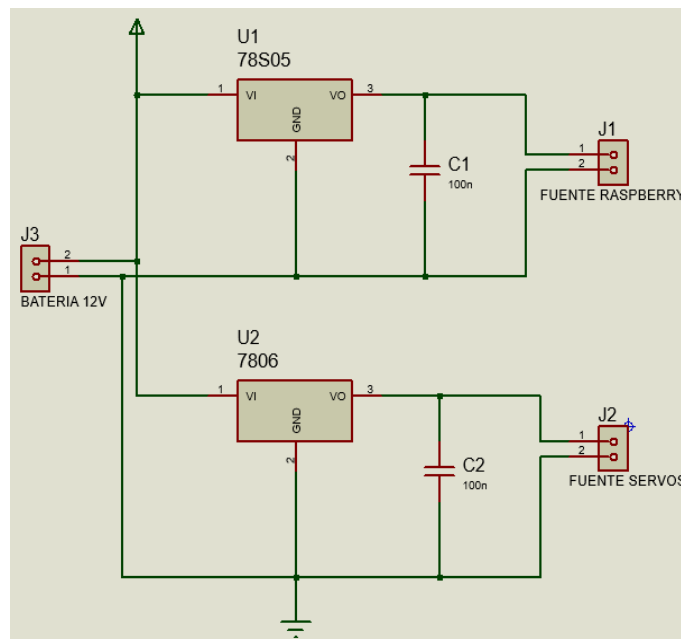


Figura 4.12. Circuito regulador de voltaje

Diseño de la placa de circuito impreso

Una vez verificado que el circuito funcionó de manera correcta, se procede a diseñar los caminos que conectan a los elementos electrónicos y por los cuales tiene que circular la corriente, para lo cual se utiliza el programa Proteus ya que también permite realizar este tipo de trabajo mediante la aplicación ARES. El diseño del circuito impreso resultó como se muestra en la figura 4.13.

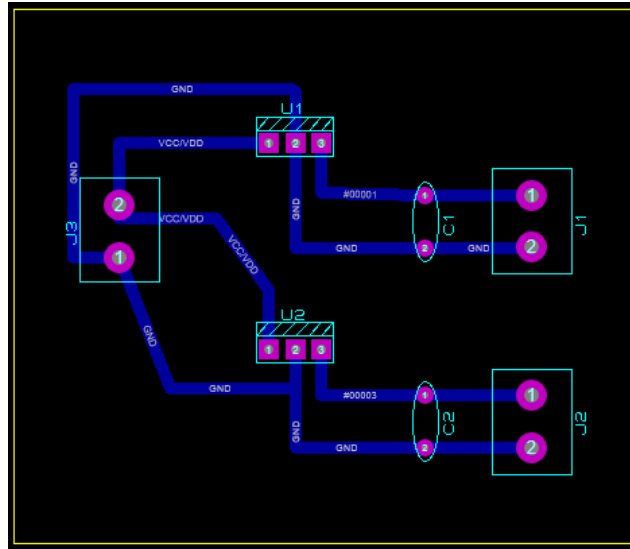


Figura 4.13. Distribución de la placa para regular el voltaje

4.2.3. DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL MOTOR DC

El circuito para controlar el motor DC se construyó de manera que contenga los dispositivos de potencia necesarios, para que con dos pines de la Raspberry Pi se pueda controlar la dirección de giro del eje del motor y para que con una señal PWM (Pulse Width Modulation) enviada a través de cualquiera de estos pines, se pueda controlar la velocidad con la que se desplazaría el robot. Además se incluyeron optoaisladores para proteger a la Raspberry Pi de la elevada potencia que maneja este circuito de control. A continuación se describe el análisis hecho para construir el circuito:

Transistores

Estos dispositivos son usados como conmutadores de acción rápida para controlar al motor, por esta razón se seleccionan tomando como referencia la potencia del motor para desplazar al robot. Entonces se decidió usar el transistor TIP31C y su complementario TIP32C, porque soportan una corriente de colector de hasta 5 A y el voltaje de saturación máximo entre colector y emisor es 1.2 V.

Después de esta selección se procede a calcular la corriente y resistencia de base de los transistores para que se saturen dependiendo de la dirección de giro que requiera la aplicación, para lo cual se analiza una parte del circuito que se observa en la figura 4.14, ya que la otra parte es igual y se activa cuando se necesita que el rotor gire en dirección contraria.

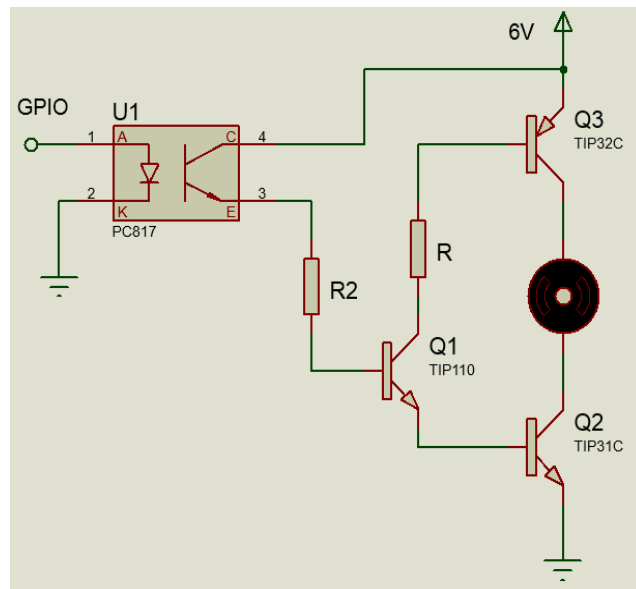


Figura 4.14. Mitad del circuito para controlar el motor DC

Al tener la disposición mostrada de los elementos, la resistencia de base R del TIP32C también regula la corriente de la base del TIP31C cuando se satura el TIP110 y el optoaislador, entonces el cálculo de la corriente de base se realiza con la ecuación 4.12:

$$\beta_{sat} = \frac{I_C}{I_B}$$

[4.12]

Donde:

β_{sat} = Ganancia del transistor para alcanzar la saturación

I_C = Corriente máxima de colector según la carga

I_B = Corriente de base para saturar al transistor

La ganancia del TIP31C para alcanzar la saturación se obtiene de la hoja de datos del fabricante y la corriente de arranque del motor es de 4 A, estos datos se reemplazan como se indica:

$$10 = \frac{4 A}{I_B}$$

$$I_B = 400 mA$$

Debido a que los optoaisladores soportan corrientes pequeñas en su colector, se selecciona el transistor Darlington TIP110 para conducir la corriente calculada, ya que soporta una corriente de hasta 2 A en su colector y se necesita una pequeña corriente de base para saturarlo. La ganancia del transistor TIP110 para alcanzar la saturación se obtiene de la hoja de datos del fabricante y se reemplaza en la ecuación 4.12 para obtener la corriente de base como se observa a continuación:

$$250 = \frac{400 mA}{I_{B2}}$$

$$I_{B2} = 1.60 mA$$

Para conducir esta corriente se utiliza el optoaislador PC817 para que se active por una señal PWM del puerto GPIO de la Raspberry Pi y así controlar la velocidad del motor. Después de obtener estos datos, analizando la malla de la base del TIP32C se obtiene la ecuación 4.13 para calcular la resistencia de base como se muestra:

$$R = \frac{V_{CC} - V_{EB} - V_{CE(sat)} - V_{BE}}{I_B}$$

[4.13]

Donde:

R = Resistencia de base del transistor TIP32C

V_{CC} = Voltaje de la batería

V_{EB} = Voltaje entre el emisor y la base del transistor PNP

$V_{CE(sat)}$ = Voltaje entre colector y emisor en saturación

V_{BE} = Voltaje entre la base y el emisor del transistor NPN

El voltaje entre colector y emisor del TIP110 en saturación se obtiene de la hoja de datos del fabricante y se reemplaza como se muestra a continuación:

$$R = \frac{6\text{ V} - 1.3\text{ V} - 0.8\text{ V} - 1.3\text{ V}}{400\text{ mA}}$$
$$R = 6.50\ \Omega$$

Para calcular la resistencia de base R2 del TIP110, se analiza la malla de su base y se obtiene la ecuación 4.14:

$$R2 = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)} - V_{BE1} - V_{BE2}}{I_{B2}} \quad [4.14]$$

Donde:

R2 = Resistencia de base del transistor TIP110

V_{BE1} = Voltaje entre la base y el emisor del transistor Darlington

V_{BE2} = Voltaje entre la base y el emisor del transistor de potencia

El voltaje entre colector y emisor del PC817 en saturación se obtiene de la hoja de datos del fabricante y se reemplaza como se muestra a continuación:

$$R2 = \frac{6\text{ V} - 0.2\text{ V} - 1.25\text{ V} - 1.3\text{ V}}{1.6\text{ mA}}$$
$$R2 = 2.03\text{ k}\Omega$$

Disipadores de calor

Estos componentes se instalan en los transistores para evitar que su potencia se limite por efecto de altas temperaturas en su juntura. Para determinar los disipadores necesarios para el TIP31C y TIP32C, primero se calcula la potencia a disipar mediante la ecuación 4.15:

$$P_D = V_{CE(sat)} * I_C \quad [4.15]$$

Donde:

P_D = Potencia de disipación del transistor

El voltaje entre colector y emisor en saturación de los transistores se obtiene de la hoja de datos del fabricante y se reemplaza con la corriente de arranque del motor, asumiendo la condición más crítica; el cálculo se muestra a continuación:

$$P_D = 1.2 V * 4 A$$

$$P_D = 4.8 W$$

De la hoja de datos del fabricante se obtiene lo siguiente:

$$T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{jc} = 3.13 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

La temperatura en el interior del robot es:

$$T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

El contacto entre el transistor y el disipador de calor es directo sin mica, según los datos de la tabla 4.4 se obtiene que:

$$R_{cd} = 0.8 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Reemplazando estos datos en la ecuación 4.9 se calcula el valor del disipador que necesitan los transistores como se observa a continuación:

$$R_{da} = \frac{150\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}}{4.8\text{ W}} - 3.13\text{ }^{\circ}\text{C/W} - 0.8\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{da} = 22.11\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Simulación del circuito

Al haber terminado de seleccionar los elementos que componen el controlador del motor DC, es importante realizar una simulación en la aplicación ISIS para comprobar que el circuito funcione correctamente. El circuito realizado se observa en la figura 4.15.

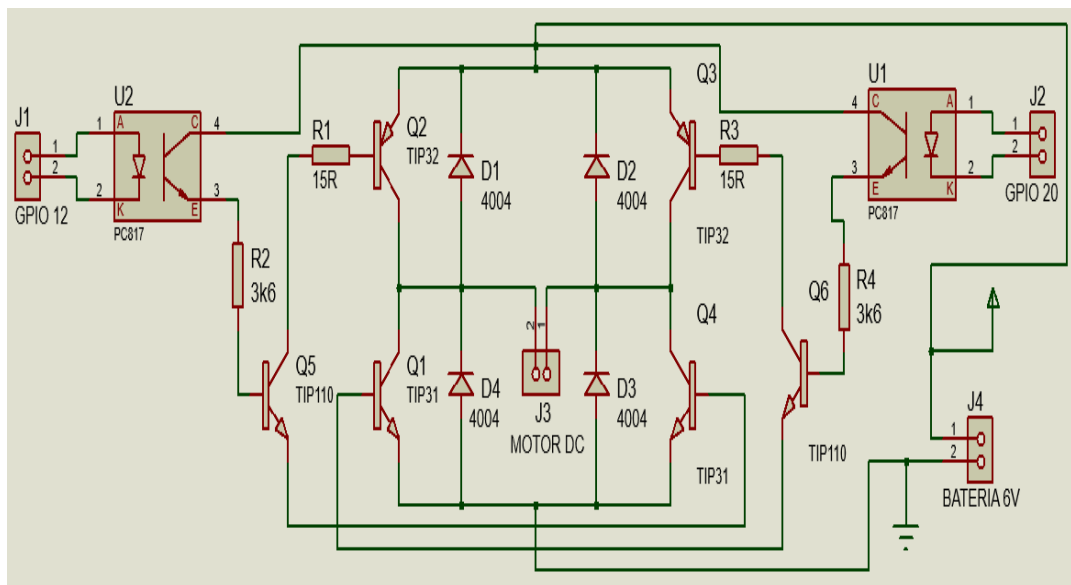


Figura 4.15. Circuito controlador de motor DC

Diseño de la placa de circuito impreso

Cuando se verifica que el circuito funciona de manera correcta, se procede a diseñar en la aplicación ARES los caminos que conectan a los dispositivos electrónicos, de manera que el diseño de la placa resultó como se observa en la figura 4.16.

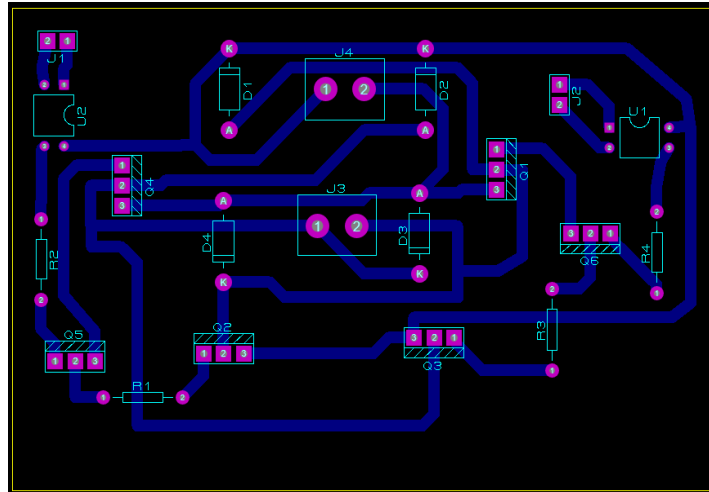


Figura 4.16. Distribución de la placa controladora del motor DC

4.2.4. CÁLCULO DE LA ANTENA DEL ROBOT

Es importante determinar las características que debe tener la antena del robot para asegurar que la conexión inalámbrica sea estable hasta una distancia de 100 m. Se inicia con la conversión de potencia de las antenas utilizadas en la red mediante la ecuación 4.16:

$$P = 1 \text{ mW} * 10^{\frac{x}{10}} \quad [4.16]$$

Donde:

P = Potencia en mW

x = Nivel de potencia en dBm

Generalmente las especificaciones de potencia de los dispositivos de red se expresan en dBm, por este motivo se debe trasladar al tipo de unidad que se utiliza en las ecuaciones. La potencia de transmisión del adaptador Wi-Fi del robot se calcula de la siguiente forma:

$$P = 1 \text{ mW} * 10^{\frac{13}{10}}$$

$$P = 19.95 \text{ mW}$$

La potencia de recepción del AP se calcula de la siguiente manera:

$$P = 1 \text{ mW} * 10^{\frac{-68}{10}}$$

$$P = 1.58 \times 10^{-7} \text{ mW}$$

La pérdida de potencia en el espacio libre se calcula con la ecuación 4.17:

$$L_{fs} = 10 \log\left(\frac{P_T}{P_R}\right)$$

[4.17]

Donde:

L_{fs} = Pérdida en el espacio libre

P_T = Potencia de transmisión

P_R = Potencia de recepción

Las potencias de transmisión y recepción calculadas se reemplazan como se muestra a continuación:

$$L_{fs} = 10 \log\left(\frac{19.95 \text{ mW}}{1.58 \times 10^{-7} \text{ mW}}\right)$$

$$L_{fs} = 80.99 \text{ dB}$$

Una vez obtenida la pérdida en el espacio libre, se procede a calcular la ganancia que debe tener la antena del robot mediante la ecuación 4.18:

$$G_T = 92.44 + 20 \log(f) + 20 \log(r) - G_R - L_{fs}$$

[4.18]

Donde:

G_T = Ganancia de la antena de transmisión en dBi

f = Frecuencia de operación en GHz

r = Distancia radial entre antenas en km

G_R = Ganancia de la antena de recepción en dBi

La ganancia de la antena de recepción se obtiene de las especificaciones técnicas del AP y se reemplazan los datos como se indica:

$$G_T = 103.44 + 20 \log(2.4) + 20 \log(0.1) - 5 - 80.99$$

$$G_T = 5.05 \text{ dBi}$$

De esta manera se determina que es necesario colocar una antena de 5 dBi en el adaptador Wi-Fi del robot, para que se logre obtener una comunicación estable entre el robot y el AP hasta la distancia especificada.

4.3. DISEÑO DE CONTROL

Para que la Raspberry Pi pueda interactuar con los componentes electrónicos que tiene conectados a sus puertos, se define la función que realiza cada uno de ellos, para luego especificarlos en un programa que se ejecute cada vez que necesite el usuario. El diseño del sistema de control se basa en dos programas, uno para la placa de control y otro para la interfaz de usuario.

4.3.1. PROGRAMACIÓN DE LA PLACA DE CONTROL

En la memoria de la Raspberry Pi se instala el sistema operativo Raspbian, que es una distribución de Linux basada en Debian, que incluye algunos lenguajes de programación, de los cuales el lenguaje Python fue seleccionado para controlar los actuadores y obtener datos de los sensores del robot. En la figura 4.17 se puede observar el diagrama de flujo del programa de la placa de control, y en el anexo III se muestra el código fuente.

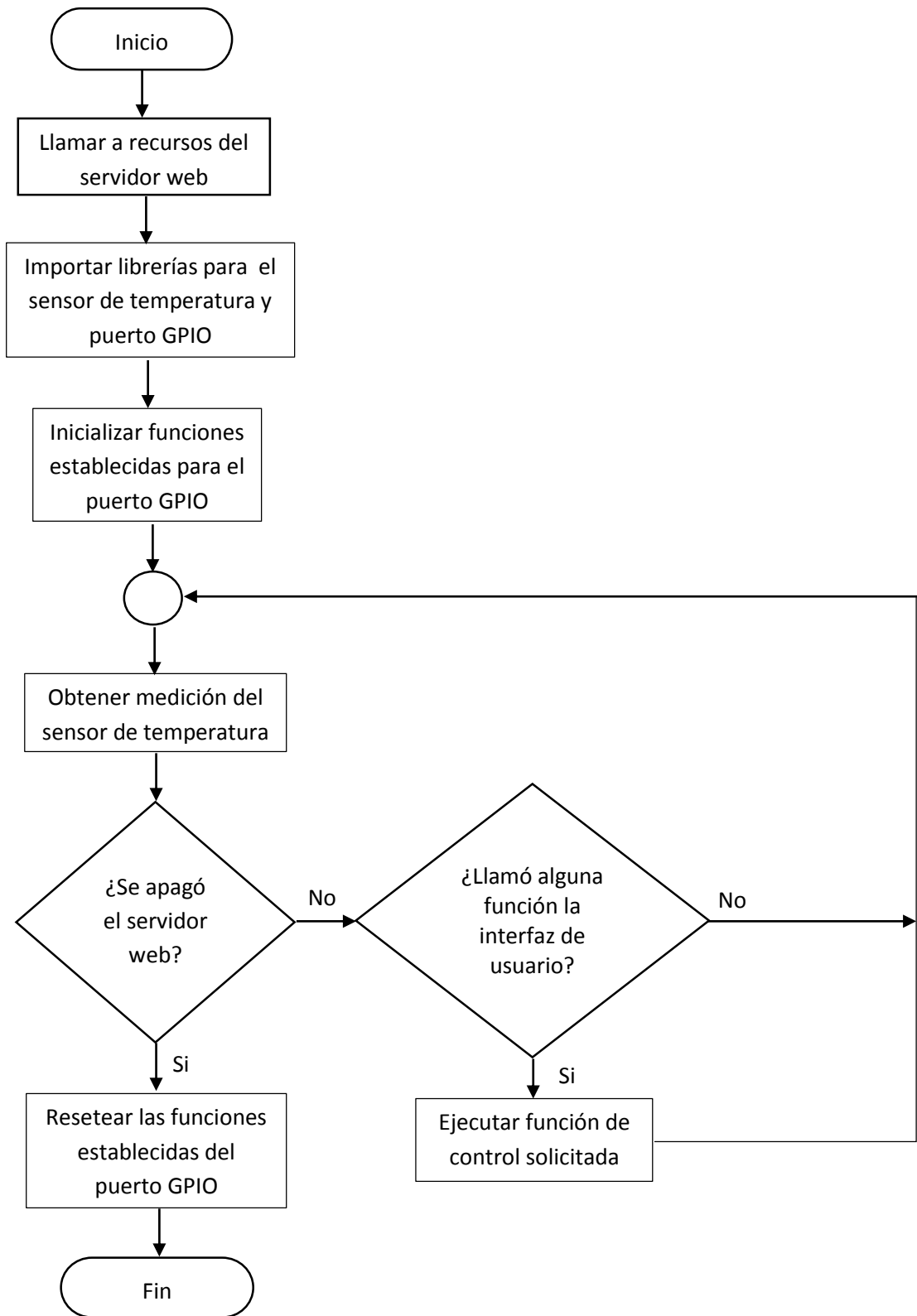


Figura 4.17. Diagrama de flujo del programa de la placa de control

Cuando se enciende la Raspberry Pi, se inicia el servidor web junto con el programa de la placa de control, inmediatamente el programa solicita el uso de los recursos del servidor web e importa la librería del puerto GPIO para que pueda receptar y realizar las funciones de control, también importa la librería del sensor de temperatura DS18B20 para que se reconozca a este sensor y se envíen las mediciones a la interfaz de usuario.

Después se inicializan las funciones ya sean de entrada o salida que fueron asignadas a cada pin del puerto GPIO según la función a realizar. Luego comienza el proceso cíclico del programa cuando se obtienen las mediciones del sensor de temperatura cada segundo.

Para que el proceso continúe se debe verificar que el servidor web sigue encendido, para así evaluar si fue llamada alguna función del programa desde la interfaz de usuario. Cuando no se invoca ninguna función, el programa regresa al proceso cíclico sin realizar ninguna tarea. Cuando fue llamada una función, se ejecuta el código al que está vinculado el botón pulsado.

Si el botón para controlar un actuador es pulsado, el programa ejecuta la función solicitada que está dentro del código del programa, después regresa al proceso cíclico. Si el botón para activar la cámara es presionado, el programa busca y ejecuta el código que se encuentra en una ruta especificada para activar la cámara si está apagada y regresa al proceso cíclico.

El proceso cíclico del programa continúa hasta cuando se compruebe que se apagó el servidor web, entonces el programa resetea las funciones asignadas a los pines del puerto GPIO y finaliza el proceso.

4.3.2. PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO

Para controlar al robot de manera remota, se elaboró una interfaz gráfica de usuario en el lenguaje de programación HTML, que fue complementado por otros lenguajes como CSS para dar estilo a la interfaz y JavaScript para establecer un vínculo entre Python y HTML. Para acceder a la interfaz de

usuario y se mantenga disponible cada vez que se requiera, se instaló la aplicación WebIOPi en la Raspberry Pi para que realice la función de servidor web. En la figura 4.18 y 4.19 se observa la interfaz de usuario creada.



Figura 4.18. Inicio de la interfaz de usuario



Figura 4.19. Interfaz de usuario con la cámara activada

El código de la interfaz de usuario se presenta en el anexo IV y a continuación se muestra el diagrama de flujo de este programa en la figura 4.20.

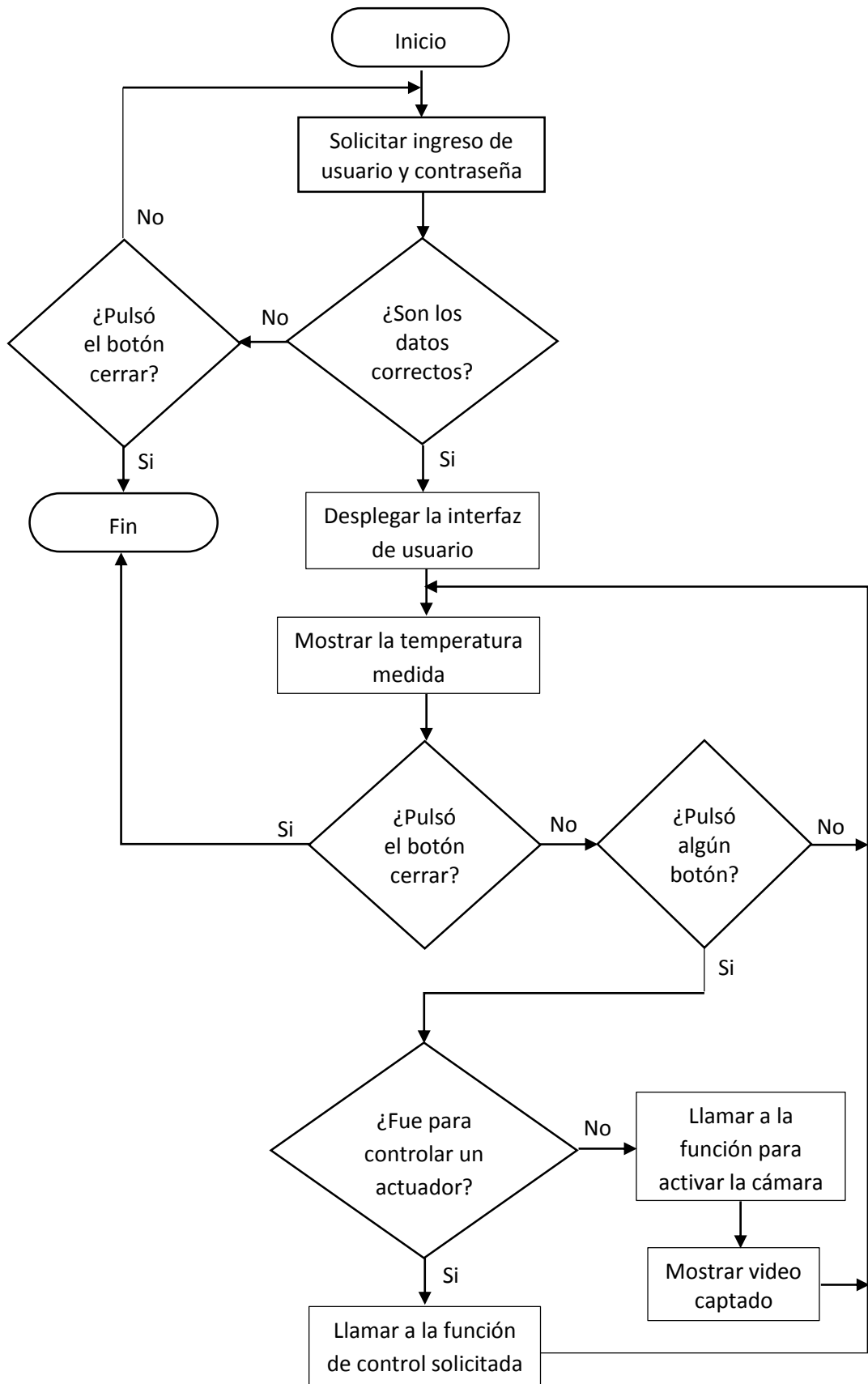


Figura 4.20. Diagrama de flujo del programa de la interfaz de usuario

Cuando el usuario se conecta a la red donde está también conectado el robot explorador y digita en el navegador web la dirección IP asignada al robot con el puerto del servidor usado para controlar al robot, en este caso el 8000, se inicia el programa de la interfaz de usuario solicitando el ingreso del usuario y contraseña para acceder al servidor web.

En el caso que los datos hayan sido incorrectos porque el usuario no sabe, podría cerrar su navegador web y terminaría el proceso. Pero si el usuario se equivocó y no cierra su navegador web, se vuelve a solicitar el ingreso de los datos para comprobarlos.

En el caso que los datos hayan sido correctos, se despliega la interfaz de usuario y se inicia el proceso cíclico del programa cuando se muestra la temperatura medida por el sensor.

Mientras no se cierre el navegador web el proceso continúa y se evalúa si el usuario pulsó algún botón, cuando no pulsa ningún botón el programa regresa al proceso cíclico sin realizar ninguna acción. Cuando pulsa un botón se realiza una función dependiendo si es para controlar algún actuador del robot o para controlar la cámara.

Si se pulsa el botón de control de un actuador, el programa llama a la función solicitada del programa de la placa de control y después regresa al proceso cíclico. Si se pulsa el botón para activar la cámara, el programa llama a la función del programa de la placa de control para activar la cámara, reproduce el video de captado en formato M-JPEG y regresa al proceso cíclico.

El proceso cíclico del programa finaliza cuando se comprueba que el usuario cerró el navegador web.

4.4. ENSAMBLAJE DEL ROBOT EXPLORADOR

Primero se mecanizan las piezas de acero que conforman los soportes de los servomotores y luego se las pinta de negro. Estas piezas terminadas se pueden observar en la figura 4.21.



Figura 4.21. Piezas para soportar los servomotores

El ensamblaje comienza armando el soporte que permite a la cámara moverse de manera vertical, aquí se sujeta un servomotor en la unión servo - servo y se acoplan a las uniones servo - cámara web, la pieza del rotor del servomotor y la cámara web, tal como se muestra en la figura 4.22.



Figura 4.22. Ensamblaje servomotor con cámara web

Luego se ensambla el soporte que permite a la cámara moverse de manera horizontal, se sujeta otro servomotor a las uniones plataforma - servo y se fijan

estas uniones a la plataforma por medio de tornillos, como se observa en la figura 4.23.

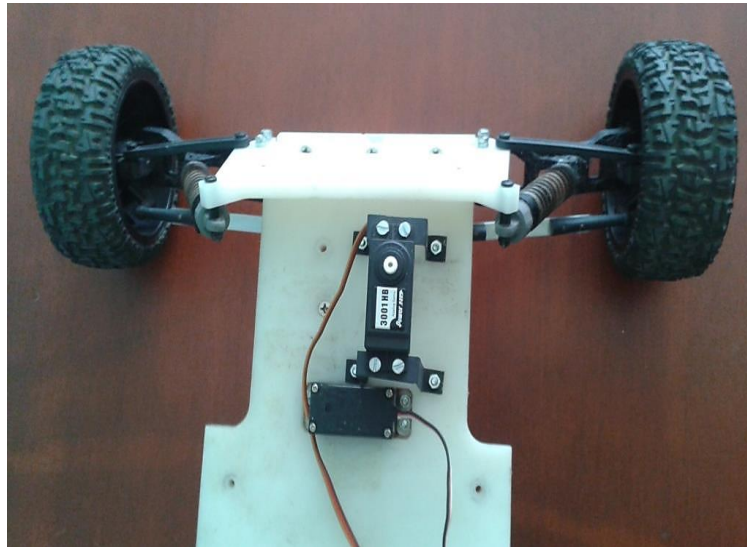


Figura 4.23. Ensamblaje servomotor con plataforma

Una vez realizadas las placas electrónicas se procede a unir los disipadores de calor con los dispositivos electrónicos especificados, para luego soldar todos los dispositivos en las posiciones respectivas, las placas resultantes se muestran en la figura 4.24 y 4.25.

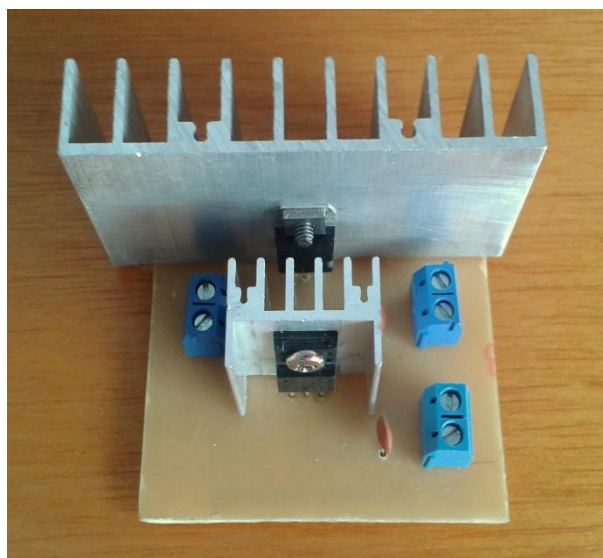


Figura 4.24. Placa para regular el voltaje

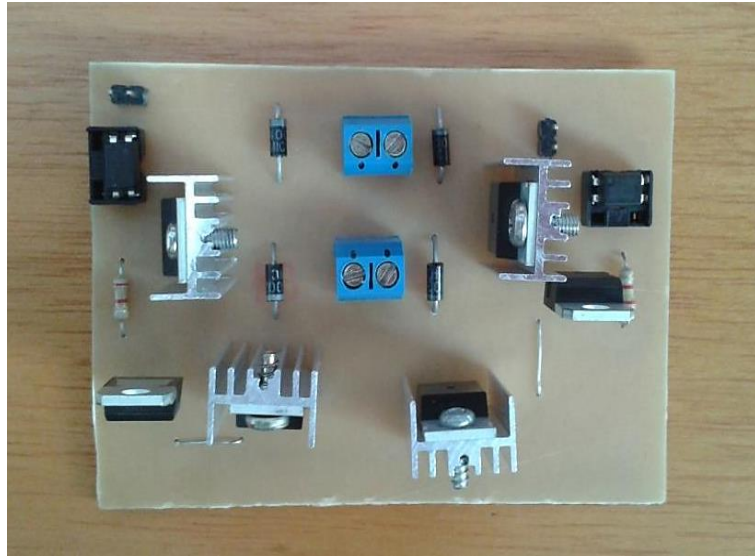


Figura 4.25. Placa para controlar el motor DC

Después se colocan separadores metálicos, se fijan las placas electrónicas y las baterías a la plataforma, y se inicia la conexión de los actuadores a las placas respectivas como se observa en la figura 4.26.



Figura 4.26. Conexión de actuadores a las placas

También se conectan los cables de las baterías a las placas, la batería de 12V se enlaza a la placa por medio de un interruptor, se coloca el sensor de

temperatura y el cable de suministro de energía de la Raspberry Pi. En la figura 4.27 se puede apreciar todas las conexiones realizadas.

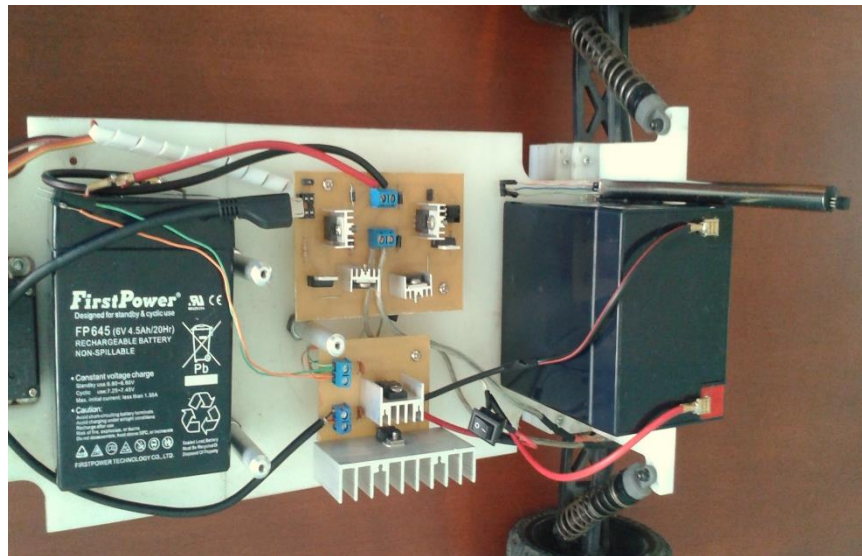


Figura 4.27. Conexión de las baterías a las placas

Luego se coloca la Raspberry Pi con su carcasa sobre los separadores metálicos y se realizan las conexiones del sensor de temperatura, servomotores y placa para controlar al motor DC en el puerto GPIO. En la figura 4.28 se observa la unión de la Raspberry Pi con los dispositivos mencionados.

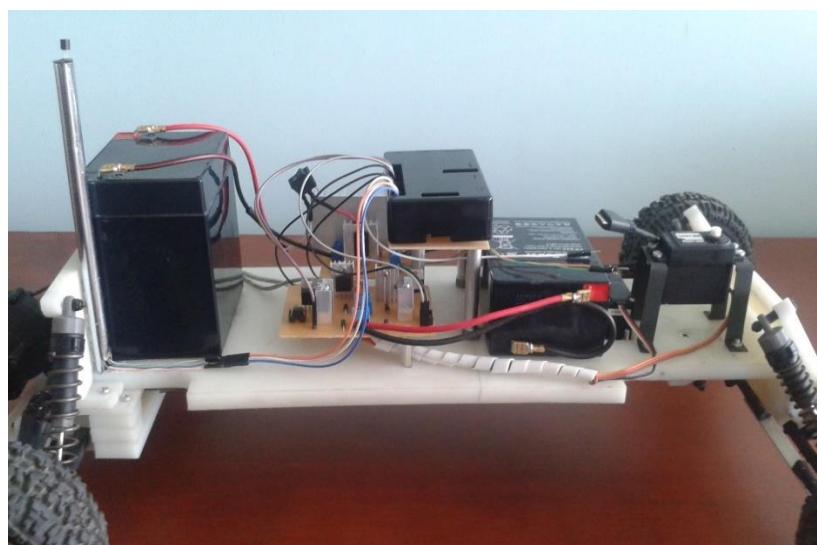


Figura 4.28. Conexión de la Raspberry Pi

Finalmente se instala la carcasa del robot para colocar en la Raspberry Pi, la cámara web y el adaptador Wi-Fi en los puertos USB, también se conecta el cable de alimentación y el servomotor en el que está acoplada la cámara. Por último se acopla la unión servo - servo en el rotor del servomotor que permite el movimiento horizontal de la cámara. En la figura 4.29 se aprecia el proyecto finalizado.



Figura 4.29. Robot explorador terminado

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para comprobar el funcionamiento de todos los sistemas que componen el robot explorador, se realizó una serie de ejercicios para evaluar los parámetros de los requisitos planteados.

Primero se inició con pruebas para determinar el tipo de terreno sobre el cual puede desplazarse, la velocidad de desplazamiento y la estabilidad del robot. También se evaluó el tiempo de autonomía que ofrecen las baterías, el desempeño de la tarjeta de control y las demás placas electrónicas. Por último se evaluó el alcance que ofrecen las antenas usadas en el proyecto, a continuación se detallan las pruebas mencionadas.

5.1. PRUEBAS SOBRE TERRENOS REGULARES E IRREGULARES

Para comprobar el desempeño de la estructura y del sistema electrónico del robot explorador, se realizaron pruebas sobre las diferentes superficies a las cuales debe adaptarse. Se evaluó sobre terrenos regulares como concreto, adoquines y cerámica, y sobre terrenos irregulares como césped y tierra rocosa. En la tabla 5.1 se puede observar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al robot sobre superficies planas.

Tabla 5.1. Resultados del robot sobre terrenos regulares e irregulares

Tipo de superficie	Velocidad máxima [m/s]	Velocidad mínima [m/s]	Movilidad	Estabilidad
Cerámica	2.40	1.22	Excelente	Excelente
Concreto	2.29	0.91	Excelente	Excelente
Adoquín	2.25	0.92	Buena	Excelente
Tierra	1.67	0.43	Regular	Buena
Césped	0	0	Mala	Buena

Se realizó la prueba sobre cerámica, como se muestra en la figura 5.1, que tiene un bajo coeficiente de rozamiento, donde el robot no tuvo problemas para desplazarse a su velocidad mínima y máxima, ya que las llantas de caucho junto con el peso de todos componentes permitieron tener suficiente fuerza de rozamiento para mover al robot sin que resbale.



Figura 5.1. Prueba sobre cerámica

Sobre concreto, como se observa en la figura 5.2, la prueba resultó bastante satisfactoria, ya que el relieve y rugosidad que tiene esta superficie permitieron que el robot se desplace sin dificultad tanto a la velocidad mínima como a la máxima. Además se obtuvieron las velocidades esperadas debido a que se consiguió una fuerza de rozamiento óptima entre las llantas y este tipo de superficie.



Figura 5.2. Prueba sobre concreto

En la superficie de adoquines, como se muestra en la figura 5.3, la movilidad fue buena, ya que estableciendo la velocidad máxima, el robot se pudo desplazar fácilmente a pesar que tuvo pequeños inconvenientes al arrancar cuando las llantas se encontraban sobre una unión entre adoquines desnivelados; pero con la velocidad mínima no se pudo arrancar en esta condición a menos que las llantas se encuentren sobre un solo adoquín o se incremente la velocidad.



Figura 5.3. Prueba sobre adoquines

La movilidad en la prueba sobre tierra fue regular, debido a que este tipo de superficie presentó varias irregularidades producidas por piedras o pequeños montículos como se observa en la figura 5.4. El robot pudo desplazarse con cierta dificultad sobre el terreno estableciendo la velocidad máxima, pero cuando se configuró la velocidad mínima no pudo moverse en ninguna dirección, por lo que la velocidad mínima de la prueba fue la velocidad media definida en el programa. En esta prueba también se presentaron los inconvenientes en el arranque como en la prueba sobre adoquines, motivo por el cual se tuvo que incrementar la velocidad o colocar las llantas sobre una zona plana.



Figura 5.4. Prueba sobre tierra

Para realizar la prueba sobre césped, se hizo una transición desde concreto hacia este tipo de superficie como se observa en la figura 5.5, donde el robot se desplazó unos centímetros debido al impulso que le dejó el arranque sobre concreto. El robot no se pudo desplazar sobre césped de 2 cm de alto ya que la caja de reducción a la que está acoplado el motor tiene pocos engranes y como consecuencia un torque pequeño para el peso que debe mover.



Figura 5.5. Transición entre superficies

En todas las pruebas realizadas, el tiempo que se demoró el robot en alcanzar su velocidad nominal fue dependiendo del tipo de terreno, yendo del más rápido al más lento, el orden fue: cerámica, concreto, adoquines y tierra. También se observó que en todos los tipos de terreno tuvo una estabilidad adecuada al desplazarse, debido a que su estructura está construida con cuatro ruedas y amortiguadores. Aunque sobre cerámica se desplazó de la mejor manera, es poco probable que se encuentre este tipo de superficie en campo, razón por la cual se determinó que el concreto es la superficie óptima para que se desplace el robot explorador.

5.2. PRUEBAS SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS

Esta prueba sirve para delimitar por completo el sistema electrónico y mecánico que controlan al motor DC. Para evaluar el desplazamiento del robot sobre planos inclinados, se seleccionó al concreto ya que fue la superficie en la que mejor se adaptó; además las pruebas se hicieron con la velocidad máxima, porque es en la que se obtiene torque constante, y sobre pendientes cuya altura no supere la del robot. En la tabla 5.2 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre pendientes con distintos grados de inclinación.

Tabla 5.2. Resultados de desplazamiento sobre superficies inclinadas

Ángulo de inclinación	Desplazamiento de subida	Estabilidad de subida	Estabilidad de bajada
10°	Excelente	Excelente	Excelente
15°	Excelente	Excelente	Excelente
20°	Bueno	Excelente	Excelente
25°	Bueno	Bueno	Excelente
30°	Bueno	Bueno	Bueno
35°	Regular	Regular	Bueno

En las pruebas sobre superficies de 10° y 15° de inclinación, el motor DC no tuvo ninguna dificultad para desplazar al robot tanto de subida como de bajada, y la estabilidad fue buena en las dos situaciones ya que el cambio de ángulo de la superficie fue mínimo. En la figura 5.6 se observa al robot subiendo una pendiente de 15° de inclinación.



Figura 5.6. Prueba sobre pendiente de 15° de inclinación

Sobre las superficies de 20° y 25° de inclinación, el motor DC experimentó pequeñas dificultades para desplazar al robot de subida, ya que con este ángulo el peso de todos elementos influyó medianamente para contrarrestar la fuerza del motor, de la manera que se muestra en la figura 5.7. La estabilidad de subida en 25° fue buena ya que hubo un ligero impacto de las llantas con el inicio de la pendiente. De bajada no hubo problema ya que el motor no hace ningún esfuerzo y la estabilidad fue excelente.

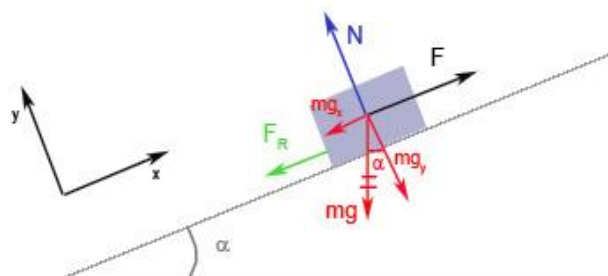


Figura 5.7. Distribución del peso sobre pendientes
(Catedu, 2014)

En las superficies de 30° y 35° de inclinación, el desplazamiento de subida resultó difícil para el motor DC, debido a que la componente del peso con estos ángulos, representa una fuerza de oposición grande con respecto a la fuerza del motor, además que el impacto de las llantas con el inicio de la pendiente disminuyó significativamente el impulso y estabilidad del robot. Para 30°, como se observa en la figura 5.8, el motor no se exigió al límite por lo que el desplazamiento fue bueno, al igual que la estabilidad en subida y bajada gracias a los amortiguadores. Para 35° el motor tuvo que trabajar a su máxima capacidad para subir la pendiente, teniendo un desplazamiento regular y una estabilidad buena en bajada pero regular en subida debido al impacto con la pendiente.



Figura 5.8. Prueba sobre pendiente de 30° de inclinación

Con estas pruebas se demostró que la estructura construida es adecuada para soportar impactos además del peso del robot, por lo que se determinó que puede desplazarse sin problemas de estabilización sobre terrenos irregulares. También se evidenció que la caja de reducción a la que está acoplado el motor es deficiente, ya que por este motivo no se obtuvo la fuerza suficiente para desplazar al robot sobre superficies con pendientes superiores a los 35°.

5.3. PRUEBA DE LA DISTANCIA MÁXIMA DE CONECTIVIDAD

Esta prueba se realizó para conocer la cobertura que tiene la red en una zona plana libre de obstáculos con las antenas y equipos especificados anteriormente, como se muestra en la figura 5.9, en la cual se determinó que existe una comunicación estable entre el usuario y el robot explorador a una distancia máxima de 100 m.



Figura 5.9. Dispositivos necesarios en la red inalámbrica

Para evaluar la calidad de la señal y la distancia máxima de conectividad, el computador utilizado como control remoto del robot, sirvió para verificar los parámetros que se presentan en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Resultados de la red con respecto a la distancia

Distancia [m]	Velocidad del video [fps]	Recepción de lectura del sensor [s]	Transmisión de señales de control [s]
20	30	1	0.11
40	30	1	0.11
60	30	1	0.11
80	30	1	0.11
100	30	1	0.24
105	22	1.1	0.24
110	20	1.1	0.31

Estas distancias fueron medidas entre el AP y el robot, como se indica en la figura 5.10, hasta 100 m se verificó que el video y la lectura del sensor de temperatura se mostraban en tiempo real y los controles para mover los actuadores del robot se ejecutaban sin retardos, una distancia mayor provocó que el video se muestre retrasado.



Figura 5.10. Zona para probar la conectividad máxima

La distancia máxima de conectividad que se obtuvo fue la esperada, ya que la potencia entregada a las antenas y la ganancia de cada una, proveen un radio de señal sin pérdidas a la distancia establecida como LAN. Además se comprobó que el video ocupa gran cantidad de ancho de banda, razón por la cual a una distancia mayor a la establecida, la atenuación de la señal disminuye la velocidad de transmisión, causando lentitud en la reproducción del video.

5.4. PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE LA CPU

Estas pruebas se realizaron desde que se inició el servidor web, para monitorear el uso de la CPU de la Raspberry Pi mientras el usuario controlaba el robot. Al principio, cuando simplemente se ingresó a la interfaz de usuario, su uso fue del 2% ya que el único proceso que realiza en ese instante es tomar las lecturas del sensor de temperatura y mostrarlas. Cuando el usuario pulsó

un botón para mover algún actuador, el uso subió hasta el 5% como se observa en la figura 5.11 y luego bajó nuevamente al 2% cuando el usuario dejó de pulsar el botón.

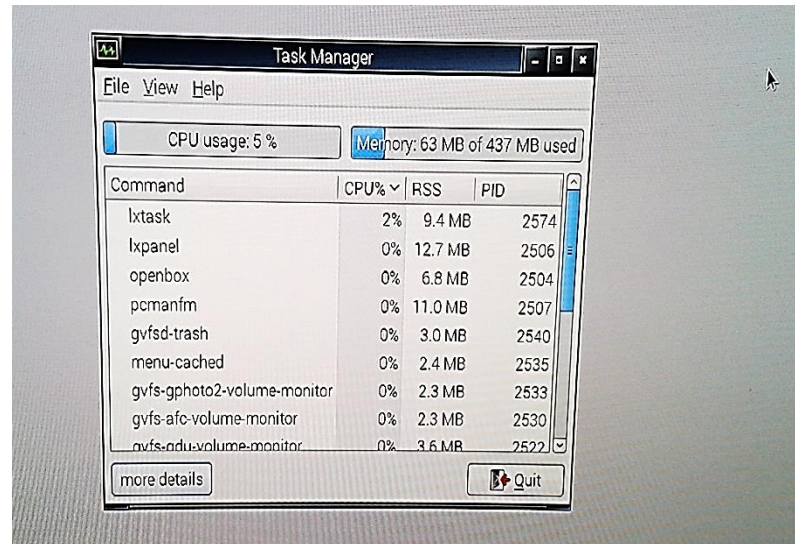


Figura 5.11. Uso de la CPU al 5%

Cuando el usuario pulsó el botón para activar la cámara, el uso subió y se mantuvo en 55% hasta que el usuario pulsó un botón para mover algún actuador y entonces el uso subió hasta el 59% tal como se muestra en la figura 5.12.

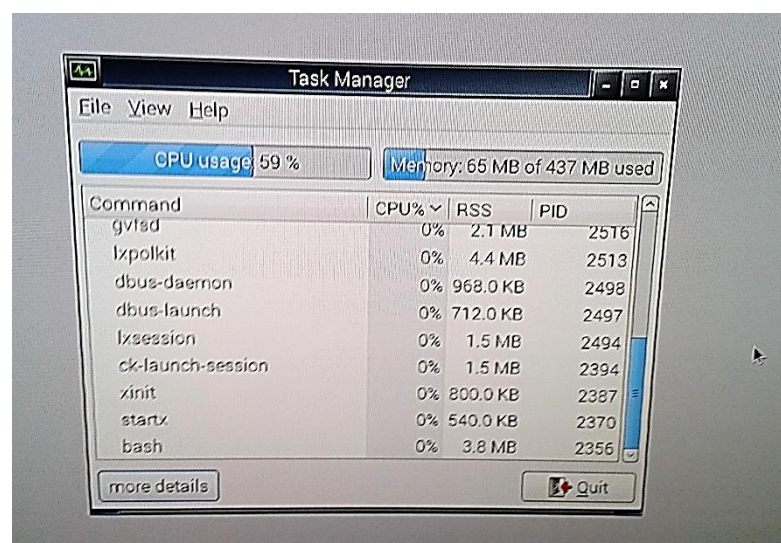


Figura 5.12. Uso de la CPU al 59%

Estas pruebas demostraron que el hardware que posee la Raspberry Pi es suficientemente capaz para realizar las funciones designadas sin dificultad, además se observó que el proceso de compresión de video usa el mayor porcentaje de recursos de la CPU, debido a que se configuró de manera que el video se observe a una velocidad fluida, y que ningún proceso influye en la cantidad de memoria utilizada.

5.5. PRUEBA DEL TIEMPO DE AUTONOMÍA

Durante 1 hora y 20 minutos de funcionamiento del robot cuando finalizaron todas las pruebas descritas anteriormente, se realizaron mediciones del voltaje de las baterías cada cierto tiempo como se observa en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Resultados del tiempo de autonomía

Tiempo transcurrido [min]	Batería para el motor DC [V]	Batería para Raspberry Pi y servomotores [V]
20	6.31	12.55
40	6.13	12.29
60	5.92	12.03
80	5.86	11.75

La batería del motor DC bajó el voltaje de 6.5 V a 5.86 V como se indica en la figura 5.13 y el voltaje de la batería de los demás elementos bajó de 12.8 V a 11.75 V como se aprecia en la figura 5.14, estos valores se encuentran dentro del rango en el que el fabricante garantiza que las baterías aún no se han descargado al 45% de su capacidad y sirven para que las placas electrónicas a las que suministran energía operen correctamente.



Figura 5.13. Medición de voltaje en la batería de 6 V



Figura 5.14. Medición de voltaje en la batería de 12 V

Con esto se concluyó que la batería del motor DC ofrece autonomía por al menos una hora, ya que dependiendo de la cantidad de movimientos y del terreno sobre el cual se desplaza el robot, puede aumentar este tiempo; mientras que la batería de los demás elementos tiende a funcionar por una hora, ya que el consumo de corriente de la Raspberry Pi es constante y lo único que varía es la corriente que ocupan los servomotores dependiendo de los movimientos que estos realicen.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El sistema mecánico al estar constituido por materiales ligeros y resistentes a la vez, evita el uso de motores de gran potencia para el desplazamiento y además soporta sin dificultad el peso de los elementos que conforman el robot; este tipo de materiales en conjunto con los amortiguadores y llantas, conforman un sistema eficiente para absorber cargas de impacto que se puedan presentar en terrenos irregulares y así mantenerse estable.
- La insuficiencia de torque del sistema motriz que se evidenció en ciertas pruebas de desplazamiento sobre distintos tipos de superficie, se concluyó que fue a causa de la deficiente caja reductora a la que está acoplado el rotor, descartando la posibilidad que sea debido a la falta de suministro de energía, ya que el circuito para controlar al motor fue diseñado específicamente para manejar la potencia requerida.
- El alcance del sistema de comunicación inalámbrica fue limitado por la velocidad de transmisión mínima que se necesita para reproducir el video en tiempo real, debido a la gran cantidad de datos que contienen el video y por las características de las antenas seleccionadas, ya que la señal radiada comienza a atenuarse drásticamente después de una distancia mayor a 100 m en una zona sin obstáculos.
- Se demostró que es posible desarrollar sistemas complejos de comunicación y control en el ámbito de la robótica mediante el uso de herramientas con licencia libre, como en este caso Raspbian con su aplicación WebIOPi, que incluso resultaron una forma sencilla para crear una interfaz de usuario que pueda ejecutarse sin necesidad de instalar programas o archivos especiales en el dispositivo que funcione como control remoto del robot explorador.

- Con una carga inicial completa, las baterías ofrecen autonomía por el tiempo mínimo establecido, sin importar la cantidad de movimientos que realice el robot ni del terreno sobre el cual se desplace, ya que la capacidad de las baterías fue sobredimensionada en 100% para prolongar la vida útil y que las placas electrónicas puedan operar con normalidad por al menos una hora.
- Se demostró que la Raspberry Pi tiene un hardware suficientemente capaz para realizar las funciones designadas, usando hasta el 60% de su capacidad de procesamiento; pero en el caso que se requiera mejorar el video con una resolución superior a 400 por 320 píxeles, se concluyó que la capacidad de procesamiento no es suficiente aunque se ocupe al máximo, ya que no se consigue una velocidad de reproducción fluida.

6.2. RECOMENDACIONES

- Reemplazar las baterías de plomo-ácido por unas de polímero de litio, ya que son mucho más ligeras y así el motor DC tenga mayor facilidad para desplazar al robot sobre superficies irregulares.
- Rediseñar la caja reductora para que provea el torque necesario para desplazar al robot sobre cualquier tipo de terreno y de ser posible instalar este sistema de reducción en las llantas delanteras para que tenga una tracción 4x4.
- Implementar formatos de compresión de video que reduzcan el tamaño del archivo en más del 50% sin comprometer la calidad, como el H.264, para que se requiera una menor velocidad de transmisión de datos.
- Utilizar como emisor y receptor puntos de acceso para exteriores, ya que poseen antenas de mayor potencia y ganancia, para que el alcance de la señal llegue hasta algunos kilómetros.
- Realizar una base de datos para guardar la información que se obtenga de cada exploración y así se pueda hacer análisis estadísticos y llevar un historial de las zonas en la que ha estado el robot explorador.
- Instalar más sensores para que se pueda obtener una información más detallada del entorno y del estado en que se encuentran los dispositivos que componen el robot explorador.
- Implementar una tarjeta controladora que posea mejores características que el modelo de Raspberry Pi utilizado, para incrementar la resolución del video o usar la cámara desarrollada específicamente para el conector CSI de la tarjeta, ya que la compresión se realiza más rápido y en formato H.264.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, I. (2000). LA TELEOPERACIÓN. Recuperado el 3 de diciembre de 2014, de <http://www.tecnun.es/asignaturas/control1/proyectos/teleop2D/teleoperacion.htm>
- Anguera, J., & Pérez, A. (2008). TEORÍA DE ANTENAS. Recuperado el 3 de diciembre de 2014, del sitio Web del Departamento de Estudios Semipresenciales de Ingenierías La Salle: http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoriana_antenas.pdf
- Argudo, G., & Arpi, A. (2012). *Diseño y construcción de un robot móvil tele operado para la asistencia en operaciones de alto riesgo del Cuerpo de Bomberos*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- AXIS COMMUNICATIONS. (2013). Compresión de video. Recuperado el 15 de marzo de 2015, de http://www.axis.com/es/products/video/about_networkvideo/compression.htm
- Barrachina, J. (2005). Configuración de Redes Inalámbricas. Recuperado el 13 de marzo de 2015, de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/equipamiento-tecnologico/redes/261-jose-barrachina-bellver>
- Blake, R. (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: Thomson Learning.

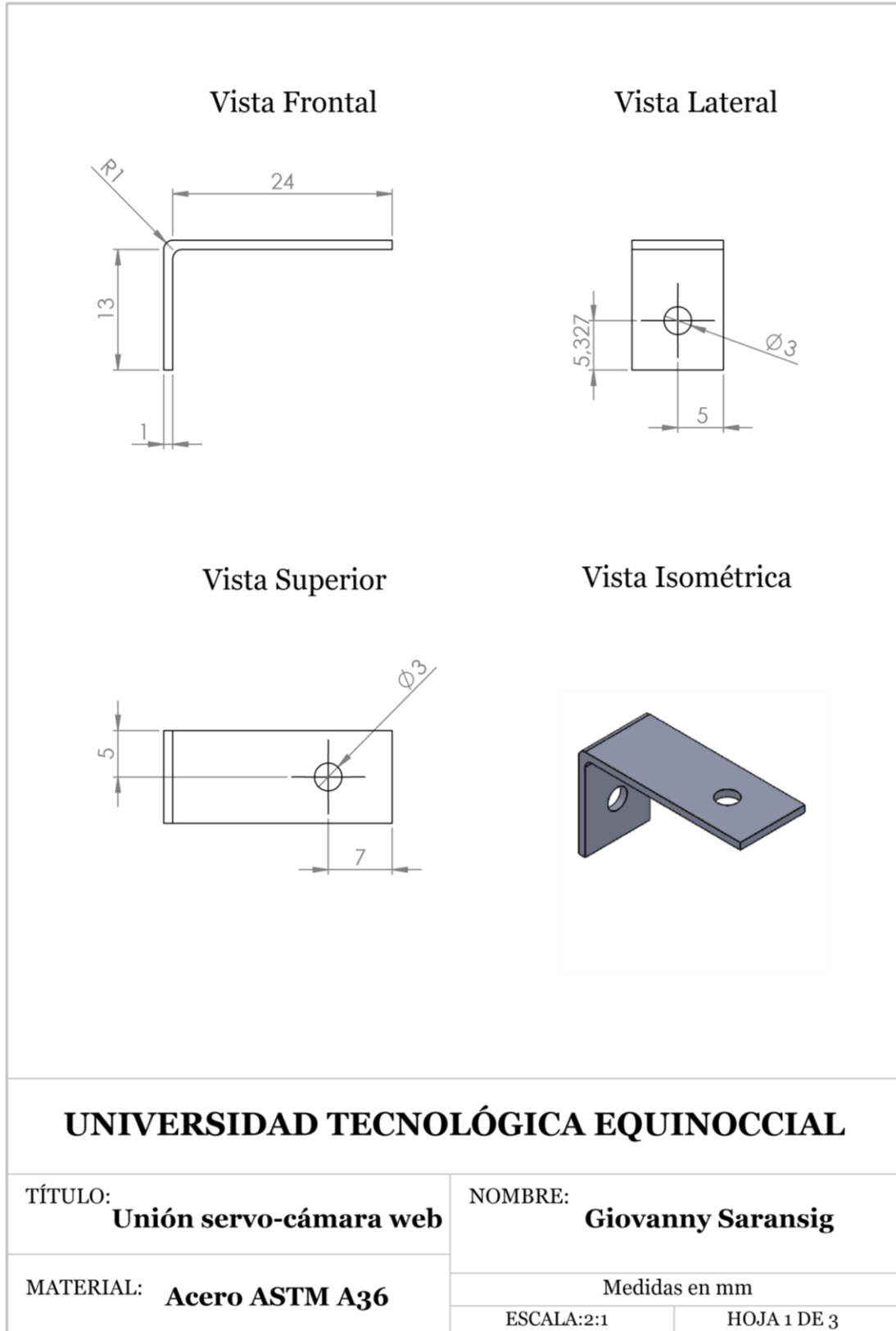
- Bolton, W. (2010). *Mecatrónica: Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. México: Alfaomega.
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*. México: Pearson Educación.
- Forouzan, B. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicación*. Madrid: McGraw-Hill.
- Gómez, J., & Ollero, A. (2006). *Teleoperación y Telerrobótica*. Madrid: Pearson Educación.
- Gómez, E., & Rodríguez I. (2013, enero). Estudio de la variación de diferentes parámetros en antenas de microcinta AAPC. Recuperado el 12 de febrero de 2015, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59282013000100003&script=sci_arttext
- Gonzáles, V. (2002). Control automatizado y robótica. Recuperado el 4 de diciembre de 2014, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm
- Gonzáles, V., & López, A. (2006). Control y Robótica. Recuperado el 4 de diciembre de 2014, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.5.htm
- Guerrero, V., & Yuste, R. (2009). *Comunicaciones industriales*. Barcelona: MARCOMBO.

- Miranda, J., & Sebastián J. (2002). *Ingeniería de Microondas*. Madrid: Pearson Educación.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- Muñoz, G. (2013). *Diseño y construcción de una plataforma móvil a control remoto para un brazo robótico en aplicaciones de seguridad*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Richardson, M., & Wallace, S. (2013). *Getting Started with Raspberry Pi*. Estados Unidos: O'Reilly Media.
- Sánchez, E. (2012). *Implementación de algoritmos de control de teleoperación en una plataforma compact-RIO*. Pamplona: Universidad de Navarra.
- Tanenbaum, A., & Wheterall, D. (2012). *Redes de computadoras*. México: Pearson Educación.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación.
- Upton, E., & Halfacree, G. (2012). *Raspberry Pi User Guide*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.

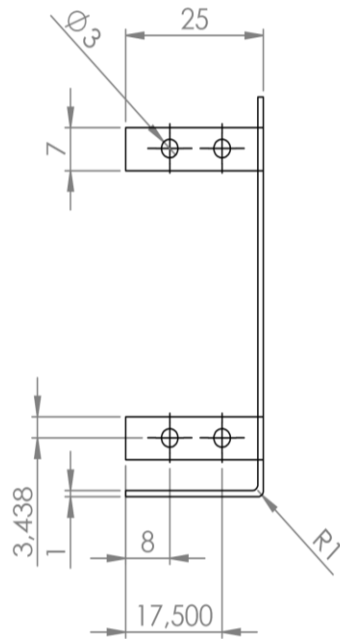
ANEXOS

ANEXO I

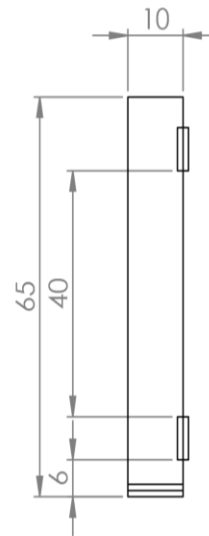
Planos de los soportes para servomotores



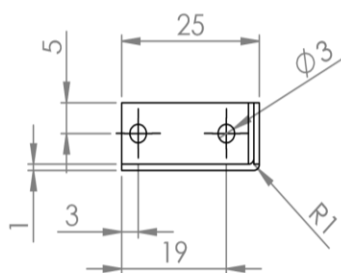
Vista Frontal



Vista Lateral



Vista Superior



Vista Isométrica



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

TÍTULO: **Unión servo-servo**

NOMBRE: **Giovanny Saransig**

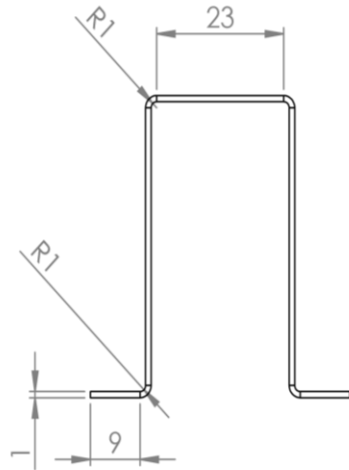
MATERIAL: **Acero ASTM A36**

Medidas en mm

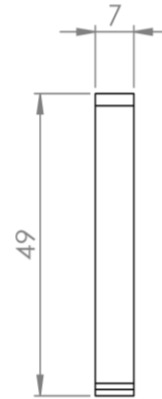
ESCALA:2:1

HOJA 2 DE 3

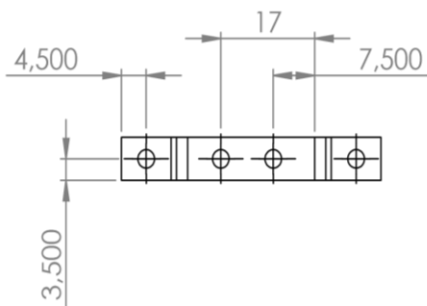
Vista Frontal



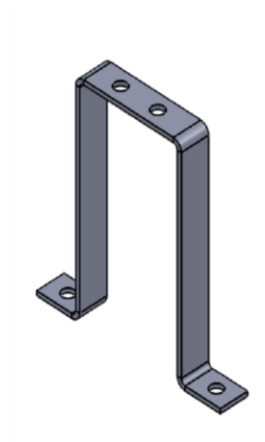
Vista Lateral



Vista Superior



Vista Isométrica



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

TÍTULO:
Unión plataforma-servo

NOMBRE:
Giovanny Saransig

MATERIAL:
Acero ASTM A36

Medidas en mm

ESCALA:2:1

HOJA 3 DE 3

ANEXO II

Hojas técnicas de las baterías

FirstPower Technology Co., Ltd.

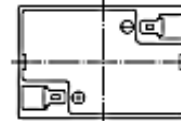
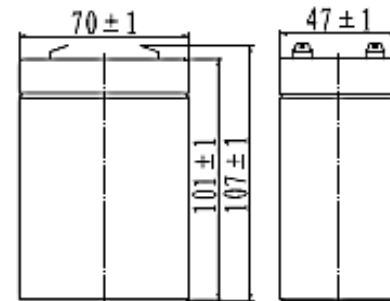
FP645(6V4.5Ah)

Specifications

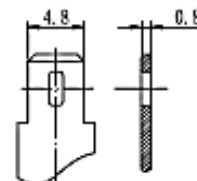
Nominal Voltage		6 V
Capacity (25°C)	20HR(5.25V)	4.5Ah
	10HR(5.25V)	4.2Ah
	1HR(4.80V)	2.93Ah
Dimension	Length	70 ± 1mm (2.76inch)
	Width	47 ± 1mm (1.85inch)
	Height	101 ± 1mm (3.98inch)
	Total Height	107 ± 1mm (4.21inch)
Approx. Weight		0.72kg (1.58lbs) ± 5%
Terminal type		T1
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx. 25mΩ
Capacity affected by temperature (20HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ± 3°C (77°F ± 5°F)
Operating temperature range	Discharge	-15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F)
	Charge	-10°C ~ 50°C (14°F ~ 122°F)
	Storage	-20°C ~ 50°C (-4°F ~ 122°F)
Float charging voltage(25°C)		6.80 to 6.90V Temperature compensation: -9mV/°C
Cyclic charging voltage(25°C)		7.25 to 7.45V Temperature compensation: -15mV/°C
Maximum charging current		1.35A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		67.5A(5 sec.)
Designed floating life(20°C)		10years

- ◆ Absorbent glass mat technology;
- ◆ Recognized by UL & CE;
- ◆ ABS container.

Dimensions



Terminal



Terminal T1

Constant Current Discharge Characteristics (A, 25°C)

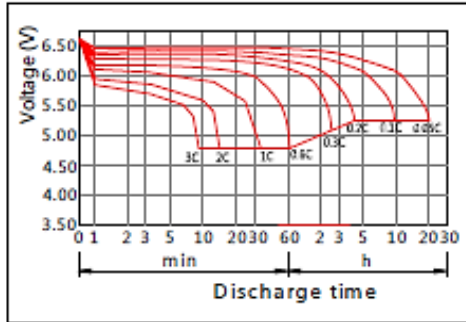
F.V/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	10h	20h
4.80V	17.1	10.8	8.55	4.77	2.93	1.60	1.15	0.92	0.78	0.42	0.228
4.95V	16.6	10.5	8.34	4.67	2.88	1.59	1.14	0.91	0.78	0.42	0.227
5.10V	15.9	10.0	8.04	4.53	2.81	1.58	1.13	0.91	0.77	0.42	0.226
5.25V	15.2	9.61	7.76	4.42	2.75	1.55	1.13	0.90	0.77	0.42	0.225
5.40V	14.4	9.07	7.35	4.26	2.67	1.51	1.09	0.87	0.74	0.41	0.221

Constant Power Discharge Characteristics (Watt, 25°C)

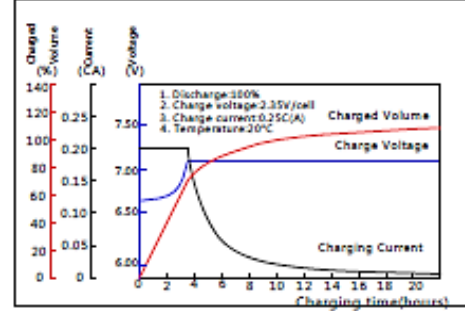
F.V/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	10h	20h
4.80V	95.4	60.9	48.7	27.3	16.9	9.35	6.82	5.47	4.66	2.55	1.37
4.95V	92.6	59.1	47.6	26.8	16.7	9.30	6.78	5.43	4.63	2.54	1.36
5.10V	88.7	56.6	45.8	26.0	16.3	9.21	6.73	5.40	4.60	2.53	1.36
5.25V	84.9	54.2	44.3	25.3	15.9	9.08	6.68	5.36	4.57	2.51	1.35
5.40V	80.2	51.2	41.9	24.4	15.4	8.85	6.48	5.20	4.43	2.46	1.32

Note: The above characteristics data can be obtained within three charge/discharge cycles.

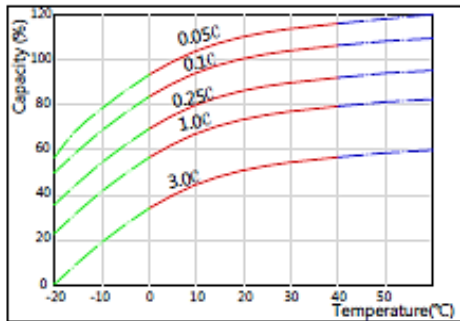
Discharge Characteristics(25°C)



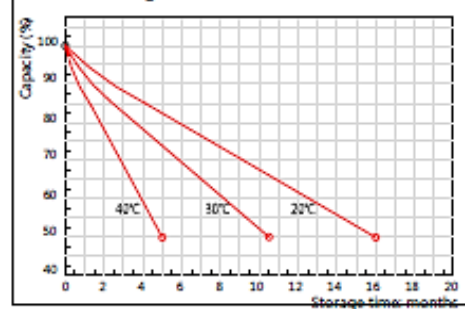
Charging Characteristics(25°C)



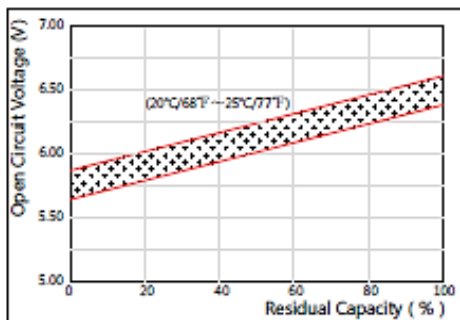
Effect of Temperature on Capacity



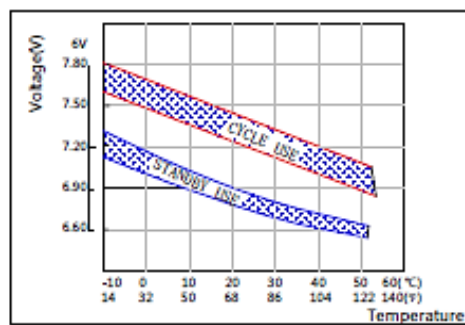
Self-discharge Characteristics



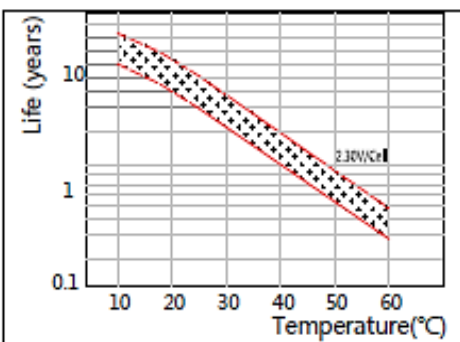
The Relationship for Open Circuit Voltage and Residual Capacity (25°C)



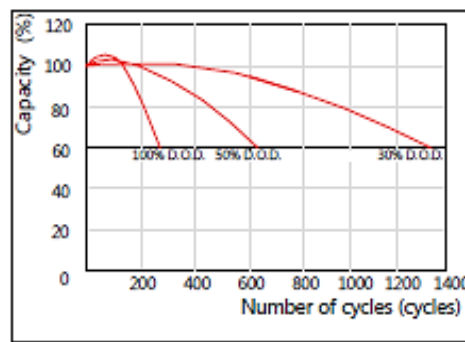
The Relationship for Charging Voltage and Temperature



Floating Life on Temperature



Cycle Life on D.O.D(25°C)

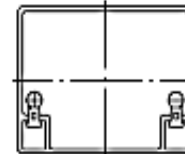
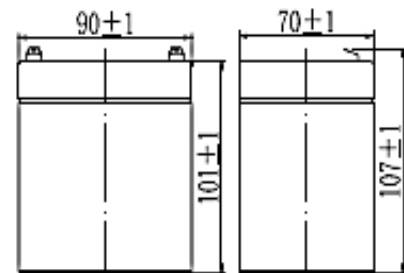


Specifications

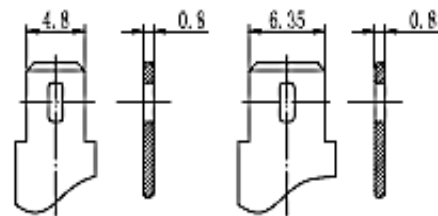
Nominal Voltage		12 V
Capacity (25°C)	20HR(10.5V)	5Ah
	10HR(10.5V)	4.7Ah
	1HR(9.60V)	3.25Ah
Dimension	Length	90±1mm (3.54inch)
	Width	70±1mm (2.76inch)
	Height	101±1mm (3.98inch)
	Total Height	107±1mm (4.21inch)
Approx. Weight		1.60kg (3.53lbs)±5%
Terminal type		T1/T2
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx. 26mΩ
Capacity affected by temperature (20HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C±5°C(77°F±5°F)
Operating temperature range	Discharge	-15°C~50°C(5°F~122°F)
	Charge	-10°C~50°C(14°F~122°F)
	Storage	-20°C~50°C(-4°F~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.60 to 13.80V Temperature compensation: -18mV/°C
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V Temperature compensation: -30mV/°C
Maximum charging current		1.5A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		75A(5 sec.)
Designed floating life(20°C)		10years



Dimensions



Terminal



Terminal T1

Terminal T2

- ◆ Absorbent glass mat technology;
- ◆ Recognized by UL & CE;
- ◆ ABS container.

Constant Current Discharge Characteristics (A, 25°C)

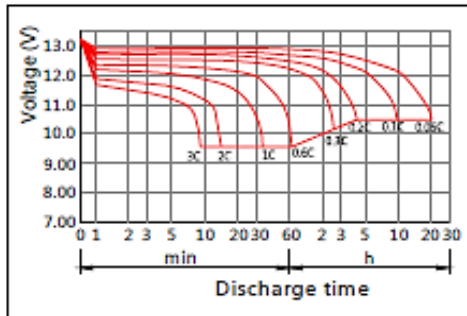
F.V/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	10h	20h
9.60V	19.0	12.0	9.50	5.30	3.25	1.78	1.28	1.02	0.87	0.47	0.25
9.90V	18.4	11.6	9.27	5.19	3.20	1.77	1.27	1.01	0.86	0.47	0.25
10.2V	17.7	11.2	8.93	5.04	3.12	1.75	1.26	1.01	0.86	0.47	0.25
10.5V	16.9	10.7	8.63	4.91	3.06	1.72	1.25	1.00	0.85	0.47	0.25
10.8V	16.0	10.1	8.17	4.73	2.96	1.68	1.21	0.97	0.82	0.46	0.25

Constant Power Discharge Characteristics (Watt, 25°C)

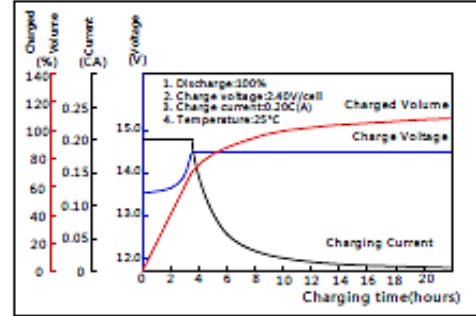
F.V/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	10h	20h
9.60V	212	135	108	60.7	37.6	20.8	15.1	12.1	10.4	5.66	3.05
9.90V	206	131	106	59.5	37.1	20.7	15.1	12.1	10.3	5.64	3.03
10.2V	197	126	102	57.7	36.1	20.5	15.0	12.0	10.2	5.61	3.02
10.5V	189	120	98.3	56.3	35.4	20.2	14.9	11.9	10.1	5.58	3.00
10.8V	178	114	93.1	54.2	34.3	19.7	14.4	11.6	9.84	5.47	2.94

Note: The above characteristics data can be obtained within three charge/discharge cycles.

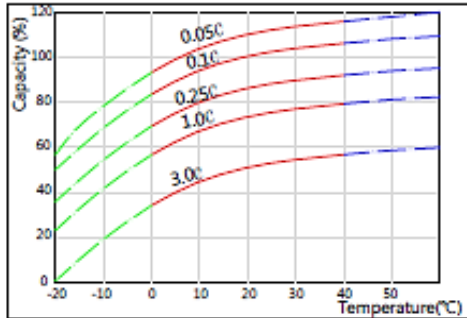
Discharge Characteristics(25°C)



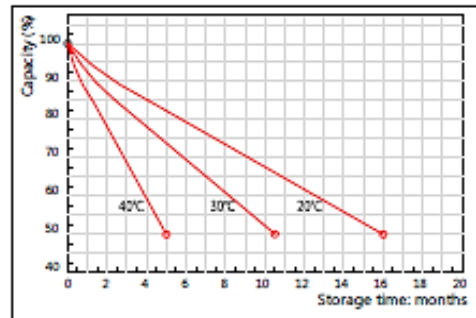
Charging Characteristics(25°C)



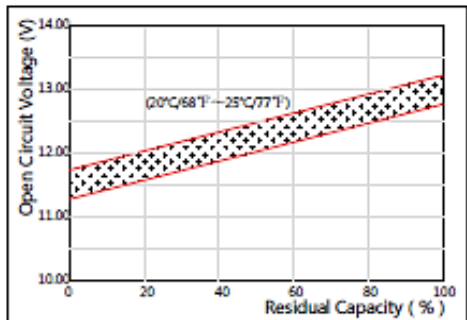
Effect of Temperature on Capacity



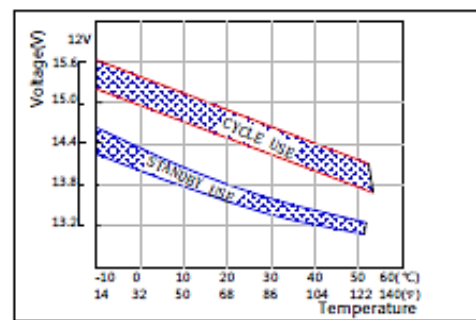
Self-discharge Characteristics



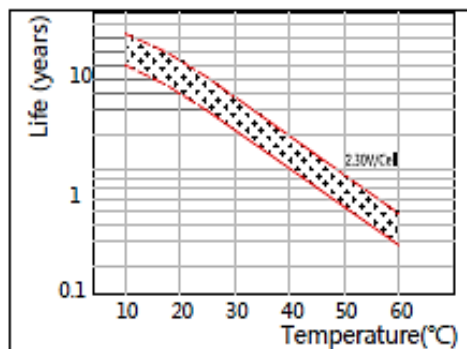
The Relationship for Open Circuit Voltage and Residual Capacity (25°C)



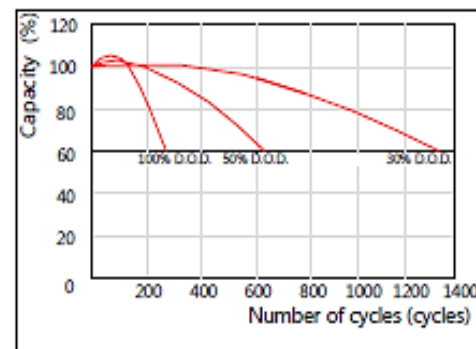
The Relationship for Charging Voltage and Temperature



Floating Life on Temperature



Cycle Life on D.O.D(25°C)



ANEXO III

Código de programación de la placa de control

```
# Imports
import webiopi
from subprocess import call
from webiopi.devices.sensor import DS18B20

# Libreria GPIO
GPIO = webiopi.GPIO

# ----- #
# Definición constantes #
# ----- #

# Sensor digital de temperatura
temp0 = DS18B20()

# GPIOs servomotores
S1=25 # Direccion carro
S2=24 # Direccion horizontal camara
S3=23 # Direccion vertical camara

# GPIOs motor trasero
L1=12 # Adelante
L2=20 # Atras

global speed
speed=0.8

# ----- #
# Funciones motor trasero #
# ----- #

def car_stop():
    GPIO.pulseRatio(L1, 0)
    GPIO.pulseRatio(L2, 0)

def car_forward():
    GPIO.pulseRatio(L1, speed)

def car_backward():
    GPIO.pulseRatio(L2, speed)

def set_low():
    global speed
    if (speed > 0.6):
        speed = speed - 0.1

def set_high():
    global speed
```

```

        if (speed < 1):
            speed = speed + 0.1

#-----#
# Funciones servos                                #
#-----#

def servo_stop():
    GPIO.pulseRatio(S1, 0)
    GPIO.pulseRatio(S2, 0)
    GPIO.pulseRatio(S3, 0)

def dir_left():
    GPIO.pulseRatio(S1, 0.041)
    webiopi.sleep(1)
    GPIO.pulseRatio(S1, 0)

def dir_center():
    GPIO.pulseRatio(S1, 0.069)
    webiopi.sleep(1)
    GPIO.pulseRatio(S1, 0)

def dir_right():
    GPIO.pulseRatio(S1, 0.083)

def pos_up():
    GPIO.pulseRatio(S3, 0.083)
    webiopi.sleep(0.02)
    GPIO.pulseRatio(S3, 0)

def pos_down():
    GPIO.pulseRatio(S3, 0.025)
    webiopi.sleep(0.02)
    GPIO.pulseRatio(S3, 0)

def pos_left():
    GPIO.pulseRatio(S2, 0.11)
    webiopi.sleep(0.02)
    GPIO.pulseRatio(S2, 0)

def pos_center():
    GPIO.pulseRatio(S2, 0.063)
    GPIO.pulseRatio(S3, 0.043)
    webiopi.sleep(0.02)
    GPIO.pulseRatio(S2, 0)
    GPIO.pulseRatio(S3, 0)

def pos_right():
    GPIO.pulseRatio(S2, 0.02)
    webiopi.sleep(0.02)
    GPIO.pulseRatio(S2, 0)

```

```

#-----#
# Funciones cámara                               #
#-----#

def cam_start():
    return_code = call("/home/pi/robot/video.sh", shell=True)

# ----- #
# Definición macros                               #
# ----- #

@webiopi.macro
def camera():
    cam_start()

@webiopi.macro
def low_speed():
    set_low()

@webiopi.macro
def high_speed():
    set_high()

@webiopi.macro
def go_forward():
    car_forward()

@webiopi.macro
def go_backward():
    car_backward()

@webiopi.macro
def turn_left():
    dir_left()

@webiopi.macro
def turn_center():
    dir_center()

@webiopi.macro
def turn_right():
    dir_right()

@webiopi.macro
def stop():
    car_stop()

@webiopi.macro
def cam_up():
    pos_up()

```

```

@webiopi.macro
def cam_down():
    pos_down()

@webiopi.macro
def cam_left():
    pos_left()

@webiopi.macro
def cam_center():
    pos_center()

@webiopi.macro
def cam_right():
    pos_right()

@webiopi.macro
def Temp(arg0):
    return("%s" %(Temp0))

# ----- #
# Inicialización #
# ----- #

def setup():
# Instalacion GPIOs
    GPIO.setFunction(L1, GPIO.PWM)
    GPIO.setFunction(L2, GPIO.PWM)

    GPIO.setFunction(S1, GPIO.PWM)
    GPIO.setFunction(S2, GPIO.PWM)
    GPIO.setFunction(S3, GPIO.PWM)

    stop()
    servo_stop()

def loop():
# Proceso ciclico cada segundo
    global Temp0
    Temp0 = "%.2f" %(temp0.getCelsius())
    webiopi.sleep(1)

def destroy():
# Resetea las funciones GPIO
    GPIO.setFunction(L1, GPIO.IN)
    GPIO.setFunction(L2, GPIO.IN)

    GPIO.setFunction(S1, GPIO.IN)
    GPIO.setFunction(S2, GPIO.IN)
    GPIO.setFunction(S3, GPIO.IN)

```

ANEXO IV

Código de programación de la interfaz de usuario

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd">
<html>
<head>
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
  charset=UTF-8">
  <meta name="viewport" content = "height = device-height,
  width = 420, user-scalable = no" />
  <title>Control Remoto</title>
  <script type="text/javascript"
src="/webiopi.js"></script>
  <script type="text/javascript">

  function init() {
    var button;

    button = webiopi().createButton("bt_up", "\\",
go_forward, stop);
$("#up1").append(button);

    button = webiopi().createButton("bt_left", "<",
turn_left);
$("#middle1").append(button);

    button = webiopi().createButton("bt_center", "O",
turn_center);
$("#middle1").append(button);

    button = webiopi().createButton("bt_right", ">",
turn_right);
$("#middle1").append(button);

    button = webiopi().createButton("bt_down", "\\/",
go_backward, stop);
$("#down1").append(button);

    button = webiopi().createButton("cam_up", "\\",
cam_up);
$("#up2").append(button);

    button = webiopi().createButton("cam_left", "<",
cam_left);
$("#middle2").append(button);

    button = webiopi().createButton("cam_center", "O",
cam_center);
$("#middle2").append(button);
```



```

button = webiopi().createButton("cam_right", ">",
cam_right);
$("#middle2").append(button);

button = webiopi().createButton("cam_down", "\\\/",
cam_down);
$("#down2").append(button);

button = webiopi().createButton("cam", "Visualizar",
camera);
$("#up3").append(button)

button = webiopi().createButton("dis_vel", "-",
low_speed);
$("#middle3").append(button);

button = webiopi().createButton("inc_vel", "+",
high_speed);
$("#middle3").append(button);

button = webiopi().createButton("temp", "Temperatura",
show_temp);
$("#up4").append(button)

}

function low_speed() {
    webiopi().callMacro("low_speed");
}

function high_speed() {
    webiopi().callMacro("high_speed");
}

function go_forward() {
    webiopi().callMacro("go_forward");
}

function go_backward() {
    webiopi().callMacro("go_backward");
}

function turn_right() {
    webiopi().callMacro("turn_right");
}

function turn_center() {
    webiopi().callMacro("turn_center");
}

function turn_left() {
    webiopi().callMacro("turn_left");
}

```

```

function stop() {
    webiopi().callMacro("stop");
}

function cam_up() {
    webiopi().callMacro("cam_up");
}

function cam_down() {
    webiopi().callMacro("cam_down");
}

function cam_right() {
    webiopi().callMacro("cam_right");
}

function cam_center() {
    webiopi().callMacro("cam_center");
}

function cam_left() {
    webiopi().callMacro("cam_left");
}

function camera() {
    $("#vid").html('');
    webiopi().callMacro("camera");
    $("#vid").html('');
}

function show_temp() {
    var args = [0]
    webiopi().callMacro("Temp", args, temp_callback);
}

function temp_callback(macro, args, data) {
    temp0 = data.split(" ")[0];
    webiopi().setLabel("temp", "Temperatura: " + temp0
    + " °C");
}

setInterval("show_temp()", 1000);{

webiopi().ready(init);

</script>
<style type="text/css">
    button {
        margin: 5px 5px 5px 5px;
        width: 50px;
        height: 50px;

```

```

        font-size: 24pt;
        font-weight: bold;
        color: white;
    }
    #temp {
        background-color: red;
        display: block;
        margin: 5px 5px 5px 5px;
        width: 209px;
        height: 50px;
        border-radius: 10px;
        font-size: 12pt;
        font-weight: 600;
    }
    #bt_up, #bt_left, #bt_center, #bt_right, #bt_down {
        background-color: blue;
    }
    #cam_up, #cam_left, #cam_center, #cam_right,
    #cam_down {
        background-color: green;
    }
    #dis_vel, #inc_vel {
        background-color: teal;
    }
    #cam {
        background-color: teal;
        width: 150px;
        font-size: 12pt;
    }
</style>

</head>
<body>
<h1><center>ROBOT EXPLORADOR</h1>

    <div style="float:right">
    <div id="content" align="center">
        <div id="up4"></div>
        <div id="middle4"></div>
    </div>
    </div>

    <div style="float:left">
    <div id="content" align="left">
        <h3>Autor: Giovanni Saransig</h3>
        <h3>Año: 2015</h3>
    </div>
    </div>

    <div id="content" align="center">
        <div id="vid"></div>
    </div>

```

```

<div style="float:left">
<div id="content" align="center" style="color:blue">
  <h2>CONTROL DE LA PLATAFORMA</h2>
  <div id="up1"></div>
  <div id="middle1"></div>
  <div id="down1"></div>
</div>
</div>

<div style="float:right">
<div id="content" align="center" style="color:green">
  <h2>CONTROL DE LA CAMARA WEB</h2>
  <div id="up2"></div>
  <div id="middle2"></div>
  <div id="down2"></div>
</div>
</div>

<div style="float:center">
<div id="content" align="center" style="color:teal">
  <h2>CAMARA WEB</h2>
  <div id="up3"></div>
  <h2>VELOCIDAD DE LA PLATAFORMA</h2>
  <div id="middle3"></div>
  <div id="down3"></div>
</div>
</div>

</body>
</html>

```