



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE ELECTRICIDAD.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
UN BOTE ABASTECIDO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.**

AUTOR: CASTILLO PINOS BYRON WILFRIDO

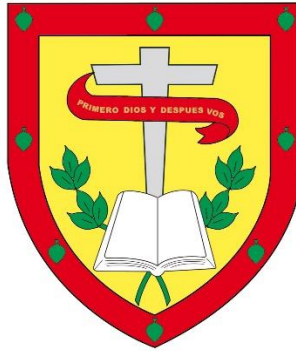
QUINDE GÓMEZ CRISTIAN JOEL

DIRECTOR: ING. ICAZA ÁLVAREZ DANIEL ORLANDO Msc.

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN BOTE
ABASTECIDO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: CASTILLO PINOS BYRON WILFRIDO

QUINDE GÓMEZ CRISTIAN JOEL

DIRECTOR: ING. ICAZA ÁLVAREZ DANIEL ORLANDO Msc.

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Byron Wilfrido Castillo Pinos y **Cristian Joel Quinde Gómez** portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N.º **0302599253** y **0302471354**. Declaramos ser autores de la obra: **“Diseño e Implementación de un Sistema de Control para un Bote Abastecido por Energía Solar Fotovoltaica”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 24 de enero de 2024

F:

Byron Wilfrido Castillo Pinos

0302599253

F:

Cristian Joel Quinde Gómez.

0302471354

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Castillo Pinos Byron Wilfrido y Quinde Gómez Cristian Joel, bajo mi supervisión



Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez MsC.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi padre que está en el cielo y que gracias a sus enseñanzas me han inspirado a seguir adelante y ser el ejemplo de lo que él fue en su momento como persona. Por otra parte, también se la dedico a mi sobrino Michael a quien le agradezco por compartir muchos años conmigo logrando convertirte como mi hermano menor y que en el tiempo que convivimos siempre estuviste apoyándome y cuidándome en los momentos que más lo necesitaba. A toda mi familia y amigos que confiaron en mí desde el primer día y siempre estuvieron apoyándome para lograr lo que finalmente me lo prometí, este logro también es de ustedes.

Byron Wilfrido Castillo Pinos

Dedico esta tesis a mis padres que, en este momento me encuentro reflexionando sobre el camino que he recorrido hasta llegar a donde estoy hoy. No puedo evitar recordar todos esos momentos en lo que ustedes son su incansable esfuerzo y dedicación, hicieron posible que tuviera la oportunidad de recibir una educación que ha forjado mi presente y mi futuro. Gracias a su sacrificio he podido crecer y aprender y eso es algo que nunca podre agradecer lo suficiente. A mis hermanos y sobrinos quiero decirles que su apoyo ha sido mi roca a lo largo de este viaje, en cada paso que he dado ustedes han estado a mi lado brindándome aliento ya sea en los momentos difíciles o de triunfo, su presencia ha sido un regalo en mi vida gracias por ser mi familia y por ser el vínculo que fortalece mi camino. Por último, a mi gran amigo que está en el cielo, aunque no este físicamente presente siento tu presencia en cada logro y desafío, tu amistad ha sido una luz que ilumina mi camino, incluso en los días más oscuros, aprecio cada recuerdo compartido y cada risa que aun suena en mi corazón, aunque te encuentres lejos sé que tu espíritu sigue acompañándome. Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes, cada uno ha contribuido de manera única y valiosa a mi vida y quiero expresar mi profundo felicidad, mis éxitos llevan la huella de su amor, apoyo y sacrificio, con gratitud eterna.

Cristian Joel Quinde Gómez

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme la sabiduría y permitirme llegar a esta instancia de mi vida. A mi madre Teresa que la debo todo desde el primer día que me vio nacer, al ser mi más grande inspiración y que con su inmenso amor me ha permitido culminar una etapa importante de mi vida. A mis hermanos y hermanas de manera especial a Juan por inculcarme por el camino del bien que a pesar de ya no tenerte cerca nunca se olvida lo aprendido y que la distancia no permite a que siempre estés pendiente de mí y mi mamita. También quiero agradecer a mi cuñado Manuel que en toda mi vida universitaria siempre me ha estado apoyando en lo que necesite y lo que hoy se también es también gracias a él. Por último, agradezco a mi tutor y amigo el Ing. Daniel Icaza por tenerme paciencia y dedicatoria no solo en el desarrollo de esta tesis sino también en toda la trayectoria de mi vida universitaria y brindarme todo su conocimiento para un mejor futuro

Byron Wilfrido Castillo Pinos

Primeramente, agradezco a Dios por todas las bendiciones que ha derramado en mi vida, tu guía constante ha sido la luz que ha iluminado mi camino dándome fuerza en los momentos difíciles como en los momentos alegres para llegar a esta instancia de mi vida. A mi padre Julio y a mi madre Lucia les agradezco a ustedes por el apoyo inquebrantable, su sabiduría en guiarme y el ejemplo de amor y dedicación, cada sacrificio que han puesto por mí no ha sido desapercibido, lo valoro profundamente la forma en la que, moldeado mi vida, mi refugio ha sido su amor y su orientación mi brújula y agradezco por ser mis pilares de mi existencia. A mis abuelos que han sido mi tesoro en mi vida con su sabiduría y cariño, a través de sus experiencias he aprendido lecciones valiosas que ha enriquecido mi ser, agradezco mi conexión especial que compartimos y el legado de amor y fortaleza que han dejado en mi vida. A mis hermanos, cuñados (as), tíos (as), primos (as), sobrinos (as) y amigos, cada uno de ustedes han contribuido de manera única en mi historia, en cada risa, lagrimeada y cada abrazo que hemos compartido he sentido el amor y cariño que nos une como familia y amigos, agradecerles la riqueza que cada uno de ustedes han aportado en mi vida, haciendo que cada día se especial y significativo. Por último, agradezco a mi tutor y amigo el Ing. Daniel Icaza por tenerme paciencia y dedicatoria no solo en el desarrollo de esta tesis sino también en toda la trayectoria de mi vida universitaria y brindarme todo su conocimiento para un mejor futuro

Cristian Joel Quinde Gómez

RESUMEN

El incremento de las energías renovables especialmente los sistemas fotovoltaicos tienden a ser cada día más significativo para el abastecimiento de energía de una manera autosustentable y agradable con el medio ambiente, es por ello que para el presente trabajo de investigación se toma como base un bote que es impulsado por energía solar el mismo que es propiedad de la Universidad Católica de Cuenca que en su originalidad funciona de forma manual haciendo uso de la fuerza física. Primeramente, se presenta resultados de simulación del sistema de control por control difuso. Como segundo punto haciendo énfasis en el objetivo principal y objetivos secundarios el trabajo también muestra la creación de una aplicación desarrollada en software en línea App Inventor, aplicación de libre acceso para dispositivos Android y con la ayuda de un microcontrolador que en este caso se usó una Raspberry pi 3 se logró implementar un sistema automático para que por medio del dispositivo móvil se pueda tener el control de velocidad y giro de bote sustentable haciendo que se vuelva de una manera fácil y sencilla con simplemente presionar un grupo de botones. Adicional a todo lo mencionado se consideró que el bote pueda funcionar en su forma original es decir de forma manual de ser el caso en que el sistema presente fallas de conexión, quemaduras de elementos electrónicos u otro medio que impida el adecuado funcionamiento una vez cambiado al estado automático.

Palabras clave: energías renovables, control, aplicación, Raspberry pi 3, App inventor.

ABSTRACT

The increase of renewable energies, especially photovoltaic systems, is becoming more significant every day for the supply of energy in a self-sustainable and environmentally friendly way. This research is based on a solar-powered boat owned by the Catholic University of Cuenca, initially operated manually using physical force. First, the simulation results of the fuzzy control system are presented. As a second point —emphasizing the main objective and the secondary ones— the work also shows the creation of an application developed in the online software App Inventor. This is a freely available application for Android devices, supported by a microcontroller—in this case, a Raspberry Pi 3 was used—; it was possible to implement an automatic system so that, through the mobile device, the speed and rotation of the sustainable boat can be controlled, making it easily accessible by simply pressing a group of buttons. Additionally, it was considered that the boat could operate in its original form, i.e., manually if the system presents connection failures, burnt electronic elements, or any other issues that would prevent its correct operation once switched to automatic mode.

Keywords: renewable energies, control, application, Raspberry pi 3, App inventor.

CONTENIDO

| | |
|---|-------------|
| DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD..... | ii |
| CERTIFICACIÓN..... | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABLAS | xiii |
| LISTA DE ANEXOS | xiii |
| CAPITULO 1..... | 1 |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1. Objetivos..... | 1 |
| 1.1.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.2. Alcance..... | 2 |
| 1.3. Justificación | 2 |
| CAPITULO 2..... | 3 |
| 2. Trabajos previos..... | 3 |
| 2.1. Estado del arte | 3 |
| 2.2. Metodología..... | 6 |
| 2.2.1. Descripción general del sistema de control | 6 |
| 2.2.2. Estructura del sistema eléctrico (SE) integrado | 7 |
| 2.2.3. Operación del sistema de control eléctrico integrado | 9 |
| 2.2.4. Operación de control de regulador de voltaje | 9 |
| 2.2.5. Funcionamiento del controlador central MGCC | 10 |
| 2.2.6. Concepto operativo fundamental de un sistema eléctrico de un bote solar. ... | 13 |
| 2.2.7. Visión del sistema de operación, control y multiterminal basado en VSC..... | 14 |
| 2.2.8. Intercambio de energía por medio de control difuso. | 15 |
| 2.2.9. Intercambio de energía por medio de control difuso simplificado | 17 |
| 2.2.10. Resultado del sistema metodológico integrado | 20 |
| 2.2.11. Modelado matemático..... | 22 |
| 2.2.11.1. Ecuaciones generales consideradas..... | 22 |
| 2.2.11.2. Representación del modelo. | 23 |
| 2.2.11.3. Cálculo de parámetros..... | 25 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.2.11.4. | Cinemática..... | 28 |
| 2.2.11.5. | Dinámica..... | 31 |
| 2.2.11.6. | Peso aparente..... | 32 |
| 2.2.11.7. | Propulsión..... | 33 |
| 2.2.11.8. | Resistencia..... | 33 |
| 2.2.11.9. | Posicionamiento..... | 33 |
| 2.2.12. | Elaboración y operatividad simple del sistema de control..... | 34 |
| 2.2.12.1. | Modelo de respuesta de control del bote real..... | 34 |
| CAPITULO 3..... | | 36 |
| 3. MARCO TEORICO..... | | 36 |
| 3.1. | Sistema solar fotovoltaico..... | 36 |
| 3.2. | Tecnologías aplicables en los sistemas solares fotovoltaicos..... | 36 |
| 3.2.1. | Energía fotovoltaica integrada en edificios..... | 36 |
| 3.2.2. | La energía solar fotovoltaica conectada..... | 37 |
| 3.3. | Sistema solar fotovoltaico en un bote..... | 37 |
| 3.4. | Motor de corriente continua..... | 39 |
| 3.5. | Sistema de control..... | 40 |
| 3.5.1. | Microcontroladores..... | 40 |
| 3.5.2. | Raspberry Pi..... | 41 |
| 3.5.3. | Raspberry Pi 1..... | 41 |
| 3.5.4. | Raspberry Pi 2..... | 42 |
| 3.5.5. | Raspberry Pi 3..... | 42 |
| 3.5.6. | Raspberry Pi 4..... | 43 |
| 3.6. | Lenguaje de programación Python..... | 43 |
| 3.7. | Teléfonos inteligentes y Sistemas operativos Android..... | 44 |
| 3.8. | Protocolo de comunicación bluetooth..... | 44 |
| 3.8.1. | Definición..... | 44 |
| 3.8.2. | Bluetooth HC-05..... | 45 |
| 3.8.3. | Bluetooth HC-06..... | 45 |
| 3.9. | Lenguaje de programación para app..... | 46 |
| 3.9.1. | Android studio..... | 46 |
| 3.9.2. | MIT App inventor..... | 46 |
| CAPITULO 4..... | | 47 |
| 4. DISEÑO DE LA APP PARA DISPOSITIVOS ANDROID..... | | 47 |
| 4.1. | Metodología para el diseño..... | 47 |
| 4.1.1. | Descripción estructural del sistema..... | 47 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 4.1.2. | Diagrama de Uso..... | 48 |
| 4.1.3. | Requerimientos del sistema..... | 49 |
| 4.2. | Hardware..... | 49 |
| 4.2.1. | Requerimientos del sistema de alimentación..... | 49 |
| 4.2.2. | Requerimientos del sistema de protección..... | 49 |
| 4.2.3. | Requerimiento del sistema de actuadores..... | 50 |
| 4.3. | Software..... | 50 |
| 4.3.1. | Requerimiento del sistema de control..... | 50 |
| 4.3.2. | Diseño de hardware..... | 50 |
| 4.4. | Sistema de alimentación..... | 51 |
| 4.5. | Sistema de protección..... | 52 |
| 4.6. | Sistema de actuadores..... | 53 |
| 4.6.1. | Circuito de actuador Motor 1..... | 53 |
| 4.6.2. | Circuito de actuador Motor 2 y 3..... | 53 |
| 4.6.3. | Circuito de actuador para motor de direccionamiento..... | 54 |
| 4.7. | Diseño de software..... | 57 |
| 4.7.1. | Interfaz de usuario..... | 57 |
| 4.8. | Configuración de raspberry..... | 62 |
| | ANALISIS DE RESULTADOS..... | 65 |
| | CONCLUSIONES..... | 70 |
| | RECOMENDACIONES..... | 72 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 73 |
| | ANEXOS..... | 79 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura. 1. Diagrama de bloques del sistema de control del bote solar. | 7 |
| Figura. 2. Sistema eléctrico del bote basada en sistema VSC | 8 |
| Figura. 3. Sistemas eléctricos independiente integradas al sistema VSC. | 8 |
| Figura. 4. Representación del sistema eléctrico de control. | 9 |
| Figura. 5. Configuración de un bote con sistema eléctrico de corriente continua en operación de control de regulador de voltaje. | 10 |
| Figura. 6. Funcionamiento de MGCC: (a) diagrama de estado, (b) perfil de batería de litio. | 11 |
| Figura. 7. Perfil de operación de los sistemas eléctricos: (a) perfil de operación (ESS), (b) perfil de operación (PV). | 12 |
| Figura. 8. Comparación de SOC y el sistema eléctrico. | 13 |
| Figura. 9. Modelo equivalente de un sistema eléctrico de corriente continua para un bote. | 14 |
| Figura. 10. Diagrama de bloques de control para una etapa multiterminal. | 14 |
| Figura. 11. Diagrama de bloques de control de bus de corriente continua. | 15 |
| Figura. 12. Esquema de control de control difuso. | 15 |
| Figura. 13. Respuesta de simulación de intercambio de energía para un sistema eléctrico de CC con control difusa. | 16 |
| Figura. 14. Cambio de energía de entrega y recibimiento con control difusa. | 17 |
| Figura. 15. Esquema de control de control difuso simplificado. | 17 |
| Figura. 16. Respuesta de simulación de intercambio de energía para un sistema eléctrico de CC con control difusa simplificada. | 18 |
| Figura. 17. Cambio de energía de entrega y recibimiento con control difusa simplificada. | 19 |
| Figura. 18. Cambio de energía de entrega y recibimiento con control difusa simplificada para dos SEs. | 19 |
| Figura. 19. Activación de intercambio de energía por control difuso del sistema eléctrico seleccionado. | 20 |
| Figura. 20. Intercambio de energía del sistema eléctrico seleccionado. | 21 |
| Figura. 21. Perfil de operación de SOC del sistema eléctrico seleccionado. | 21 |
| Figura. 22. Sistema global y local (inercial, S_i ; ligado al barco, S_r). | 22 |
| Figura. 23. Modelo de barco con las entradas y salidas del sistema físico. | 23 |
| Figura. 24. Presentación de las fuerzas y momentos que actúan sobre el casco. | 24 |
| Figura. 25. Forma Diferencial del Robot impulsado por dos ruedas. | 30 |
| Figura. 26. Variables de entrada y salida de la representación real. | 34 |
| Figura. 27. Sistema físico del modelo propuesto en Simulink. | 34 |
| Figura. 28. Sistema solar fotovoltaico | 38 |
| Figura. 29. Diseño de 2 sistemas para embarcaciones con energía solar. | 39 |
| Figura. 30. Motor de imán permanente. | 40 |

| | |
|---|----|
| Figura. 31. Raspberry Pi modelo A | 41 |
| Figura. 32. Raspberry Pi 2..... | 42 |
| Figura. 33. Raspberry Pi 3..... | 42 |
| Figura. 34. Raspberry Pi 4..... | 43 |
| Figura. 35. Sistema operativo Android..... | 44 |
| Figura. 36. Modulo Bluetooth HC-05..... | 45 |
| Figura. 37. Modulo Bluetooth HC-06..... | 45 |
| Figura. 38. Diagrama de bloques del sistema. | 47 |
| Figura. 39. Diagrama de uso del sistema. | 48 |
| Figura. 40. Esquema de conexión del Hardware del bote..... | 50 |
| Figura. 41. Conexión de baterías para 12 y 24 VDC..... | 51 |
| Figura. 42. Módulo LM2596. | 51 |
| Figura. 43. Circuito de protección. | 52 |
| Figura. 44. Circuito actuador para motor 1. | 53 |
| Figura. 45. Circuito actuador para motor 2 y 3. | 54 |
| Figura. 46. Circuito actuador para motor 4. | 54 |
| Figura. 47. Módulo L298N..... | 55 |
| Figura. 48. Circuito de protección y actuador para motores 1,2 y 3..... | 55 |
| Figura. 49. Circuito de protección y actuador para motores 4 de direccionamiento..... | 56 |
| Figura. 50. Diseño placa de mando para control de motores. | 56 |
| Figura. 51. Creación de Proyecto. | 57 |
| Figura. 52. Menú de funciones y diseño. | 57 |
| Figura. 53. Visor de interfaz base. | 58 |
| Figura. 54. Menú de edición de componentes y funcionalidades APP..... | 58 |
| Figura. 55. Diseño final interfaz de usuario APP móvil. | 59 |
| Figura. 56. Entorno de programación APP..... | 59 |
| Figura. 57. Programación Orientación, Comunicación Bluetooth e inicialización de botones y etiquetas. | 60 |
| Figura. 58. Función al aplastar el botón arriba que indica el aumento de velocidad y varia las imágenes de velocímetro. | 60 |
| Figura. 59. Función al aplastar el botón abajo que indica el decremento de velocidad y varia las imágenes de velocímetro. | 61 |
| Figura. 60. Función de botones izquierda, derecha, centro y reversa. | 61 |
| Figura. 61. Aplicación para boot de Raspberry. | 62 |
| Figura. 62. Conexión Raspberry periféricos y alimentación..... | 63 |
| Figura. 63. ubicación de bote en prueba. | 65 |
| Figura. 64. Velocidad de alcance con respecto al tiempo..... | 65 |

| | |
|---|----|
| Figura. 65. Corrientes de prueba. | 66 |
| Figura. 66. Pulsos de direccionamiento. | 66 |
| Figura. 67. Alcance de señal inalámbrica. | 67 |
| Figura. 68. Consumo de potencia por velocidades. | 68 |
| Figura. 69. Perfil de potencia. | 68 |
| Figura. 70. Estado de carga de las baterías (SOC)..... | 69 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Parametros de sistema eléctrico independiente en función de MGCC..... | 12 |
| Tabla 2. Combinaciones de control difuso. | 16 |
| Tabla 3. Combinaciones de control difuso simplificado. | 18 |
| Tabla 4. Peso de la embarcación por componentes..... | 26 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1: Código de Python. | 79 |
| Anexo 2: Prueba de funcionamiento del sistema de bote. | 83 |
| Anexo 3: Ubicación de prueba de funcionamiento “laguna de chocar – Azogues – Ecuador”. | 84 |
| Anexo 4: Tomas termográficas del panel solar del bote, exhibición de puntos centrales y alta temperatura en diferentes horas del día. | 85 |
| Anexo 5: Archivo fotográfico de autorización del uso de laguna de chocar Azogues – San Marcos. | 86 |
| Anexo 6: Gráficas del Sistema de modelado propuesto realizado en Simulink. | 87 |

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION

El uso de la fuerza física humana para el control de botes de remo, el uso múltiple ya sea en parques recreativos, lagos pequeños o bien que surja la necesidad de optar por este medio que permita el adecuado funcionamiento en el agua, tienden a causar algún tipo de daño físico ya sea por el mal uso o simplemente un uso prolongado donde la persona no tiene descanso.

Si bien es cierto hoy en día existen muchas posibilidades de elegir otro tipo de medios donde no se requiera el 100% de la fuerza física para la movilización en los lugares antes mencionados. Se pueden elegir uno de los botes más comunes que son a combustión por lo que permite reducir el esfuerzo físico de la persona, por otra parte, como aspecto negativo de estos son la contaminación producida al medio ambiente, por lo que estos motores generalmente contaminan el aire emitiendo CO₂ y a su vez contaminan el agua derramando hidrocarburos.

Otra de las alternativas que se puede optar para la reducción del uso de la fuerza física son los botes con propulsión eléctrica, que a pesar de poseer esa finalidad también tienen la gran ventaja de brindar una solución en cuanto a contaminación se refiere, el aspecto negativo que podemos encontrar con este tipo de alternativa son los altos costos que se requieren para su implementación y a su vez el mantenimiento.

El primer punto referencial de este trabajo de titulación consistió en optar por un bote eléctrico que es impulsado mediante energía solar fotovoltaica y de esta manera proporcionar un mecanismo en el que se reduzca el esfuerzo físico del usuario por un mecanismo mucho más apropiado y eficiente. Para realizar este proceso se contó con el apoyo de un bote realizado por la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca para el correspondiente trabajo de investigación.

Adicionalmente para poder realizar este proceso, se desarrolló una aplicación gratuita de libre acceso para dispositivos móviles, se optó por este medio por que hoy en día, las personas tienen un aparato móvil a su disposición donde manipularlo no requiere de un esfuerzo físico que conlleve a ocasionar alguna lesión. Por medio de esta aplicación se podrá controlar el manejo del bote mediante conexión Bluetooth, para ello con solo descargar la aplicación y tener la conexión del dispositivo podrá permitir gestionar el control del bote de manera fácil y práctica.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una aplicación para teléfonos móviles Android que permita el control de velocidad y direccionamiento de un bote acuático que es impulsado por medio de energía renovable fotovoltaica.

1.1.2. Objetivos específicos

- Validar el modelo matemático con el funcionamiento real al implementar un sistema de control.
- Desarrollar un modelo que permita el control y direccionamiento de un bote que funcione de manera automática o manual.
- Por medio de un teléfono inteligente permitir la reducción del esfuerzo físico para la manipulación de un bote.
- Coordinar un sistema automatizado moderno con la aplicación de las energías renovables.
- Mediante una placa MICROCONTROLADORA tener todo el control para el funcionamiento del modo automático del mismo.
- Analizar los resultados de pruebas realizadas en la laguna de Chocar de la parroquia Luis Cordero del Cantón Azogues.

1.2. Alcance

Este proyecto de investigación consiste en el diseño e implementación de una aplicación realizada con programación en Python para el control de un bote acuático dedicado al servicio de turismo que está impulsado mediante energías renovables, específicamente utilizando la energía fotovoltaica. La finalidad de este proyecto es evitar el uso de la fuerza humana para el control de botes manual, logrando la mejor comodidad de sus ocupantes durante el trayecto que quieran realizar.

1.3. Justificación

Con el desarrollo de esta aplicación móvil podemos asegurar la integración con el entorno físico por medio de señales inalámbrica donde se envía y se recepta una señal de comandos que generan acciones que son controladas por el usuario u operador.

Esta investigación permitirá realizar el control autónomo del bote turístico por medio de un aplicativo móvil y utilizando energía sustentable lo cual implicaría la interacción de componentes mecánicos, sistemas de energías renovables, procesos automáticos e intervención humana reducida con el aplicativo móvil.

CAPITULO 2

2. TRABAJOS PREVIOS

2.1. Estado del arte

Las energías renovables especialmente los sistemas solares fotovoltaicos corresponde a una de las áreas primordiales que se puede optar para el abastecimiento de energía eléctrica al tener una metodología de fácil manipulación y que adicional a ello puede ser relevante en conjunto con las nuevas tecnologías de control, iluminación u otro medio.

Con este criterio se asocian investigaciones referentes al tema principal del trabajo de investigación para tener una visión precisa del objetivo alcanzar.

Los sistemas fotovoltaicos han venido creciendo a gran escala tanto a nivel nacional como internacional que por su parte lo podemos encontrar implementados en áreas arquitectónicas, tecnológicas u otras en las que se requiera la necesidad de optar este medio tal y como presenta Urgilés Bermeo (2019) quien en su trabajo de titulación presenta “un modelo de paneles solares para una capilla” que carencia de energía eléctrica “obteniendo muy buenos resultados tanto a nivel de modelo matemático como pruebas de funcionamiento”. La implementación de los sistemas solares requieren de un proceso tanto ecológico y matemático tal es el caso que desarrollo Bernal Bernal (2021) dónde presenta un “estudio completo del diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para la iluminación ornamental para la iglesia de la parroquia Turi”. En dicho documento podemos encontrar todo el análisis que se requiere para aplicar esta tecnología y podemos decir que el factor clave es obtener los datos meteorológicos de la zona a implementar ya que con esos valores se puede realizar el resto de cálculos y diseños requeridos. Existen autores que realizan estudios según se acomoden a las necesidades y utilizan herramientas de trabajo para la obtención de resultados tal y como lo describen Aez Canprado & Armijos Yalama (2020) que “para el estudio del abastecimiento de energía eléctrica mediante sistemas solares a monumentos hacen uso de la herramienta Matlab-Simulink para la obtención de datos en diferentes condiciones de operación y así evitar una equivocación en el momento de realizar las inversiones y por ende su implementación”. Para la obtención de los sistemas de iluminación optan por el software Dialux, teniendo así valores reales y comparativos con el mundo real.

El recurso de los sistemas solares tienen el objetivo principal de reducir considerablemente el dióxido de carbono generado por los distintos medios es por ello que Sumba Zumba (2022) presenta un “dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para una electrolinera en los espacios turísticos, debido a un análisis previo de combustibles desprendidos por los distintos automóviles”, generando así una iniciativa de optar por un

coche eléctrico que tendrá la capacidad de ser recargado en esta electrolinera y con esto podemos apreciar que los sistemas van en aumento y en combinación con nuevas tecnologías. Otra de las opciones que se tiene es la que proponen Lojano-Riera et al. (2023) quienes realizaron “un análisis de coches eléctricos con la implementación de paneles solares en el techo obteniendo un aumento significativo del 40% en el cuidado del medio natural y apenas del 14% de un descuido natural propuesta que puede ser muy significativa para el futuro”. En base a ese estudio Icaza-Álvarez et al (2023) “tienen claro que la movilidad eléctrica es el plan perfecto para el sector público como privado pues previo a ello y con la ayuda de la herramienta EnergyPLAN describen como sería el comportamiento de una ciudad al optar por una movilidad 100% eléctrica”.

Es así la perspectiva de la combinación de los sistemas solares con otros medios Delgado Quituisaca (2021) llegó a concluir que “existe la posibilidad de unir un sistema solar con un sistema mecánico-móvil” que para su caso de estudio presentó “la implementación de un sistema solar para un quiosco desplegable generando un recorrido con el abastecimiento de energía por medio de la luz solar”. Un caso similar es el de Icaza et al. (2018) quienes “crearon un vehículo móvil destinada a brindar el servicio de comidas rápidas, gracias a la implementación de un circuito eléctrico y adjuntando al mismo un conjunto de paneles solares garantizaron toda la energía necesaria para la cocción de los alimentos” brindando así la sustitución de recursos no renovables por una fuente amigable y confiable con el medio ambiente.

La energía solar fotovoltaica se ha considerado como un pilar fundamental para reemplazar el papel de combustibles fósiles en barcos, botes, canoas, etc. Kurniawan (2016). Con ello la creación de embarcaciones que funcionan con luz solar y una de ellas es la que diseño Rivera Solorio et al. (2013) que “con la ayuda de herramientas sofisticadas CFD (Computational Fluid Dynamics), CAM (Computer Aided Manufacturing), FEM (Finite Element Method) y CAD (Computer Aided Design)”, “fue capaz de construir un bote que es propulsado por energía solar”. Considerando el área de movilidad del objeto y forma del mismo Tamunodukobipi et al. (2018) “fabricaron un bote teniendo presente el modelo, la resistencia, la estabilidad y el entorno operativo del mismo, con la ayuda de herramientas CAHl y Savitsky” obtuvo un resultado de rendimiento y de hidrodinámicas adecuadas para su funcionamiento. Por otra parte, Mahmud et al. “diseñaron un barco que es conducido por energía netamente solar minimizando la contaminación ambiental y el costo del combustible”, “lo que le hace diferente de otros barcos comunes es que este presenta un sistema de energía adicional como respaldo integrado una célula fotovoltaica que impulsará el barco para que el sistema sea más seguro tanto mecánica como eléctrico”. Si de diferencias se trata resaltamos el trabajo

importante que presenta Lee et al. (2013), “al desarrollar un prototipo de barco que se caracteriza por tener una generación fotovoltaica, un motor diésel, un banco de baterías almacenadoras de energía y un inversor autónomo conectado a la red” es por este punto final lo que le hace especial ya que por medio de este el barco “tendrá la capacidad de reducir el consumo de combustible y a su vez aportar con suministro de energía a la red eléctrica cuando esta esté conectada a la red inteligente”. Cristea (2013) “detalla que para trabajos futuros se debe considerar la eficiencia de los paneles solares en un barco en movimiento y estacionado para un determinado tiempo”, esto se logró determinar gracias al Software LabVIEW proponiendo optar por los módulos fotovoltaicos apropiados. No solo se considera lo mencionado pues Spagnolo et al. (2012) en su trabajo en la creación de un barco solar señala a “las baterías como un almacenamiento y gestión de energía, teniendo así una idea innovadora del tiempo de carga y descarga de las mismas consta tanto el tiempo de vida durante el naufragio con el control de la autonomía real”.

El principio de control en los botes comienza con el cambio de motores Reabroy et al. (2015). Considerando este criterio Soleymani et al. (2015) “desarrolló un controlador de tipo termostato que permitió optimizar el flujo de energía de los principales componentes que abarca un bote solar”, esto se logró mediante un algoritmo de optimización de enjambre de partículas. El control de voltaje y la distribución de la carga en un bote solar son aspectos críticos de controlar teniendo una inestabilidad de operación es por esto que Mohammed et al. (2023) “desarrollaron como técnica de controlador un ajuste de valores resistivos alimentadoras a cada uno de los convertidores”. Los sistemas de propulsión (motores) son la base fundamental de una nave marina es tanto así que su control tiene que ser considerable, así lo describen Sousa et al. (2000) quienes “analizan profundamente un motor de inducción de un bote solar controlado por un control por vector indirecto describiendo una lógica más relevante para el control de la eficiencia de optimización en el control de velocidad o par”, optando por un convertidor elevador que adicional de lo mencionado tiene la ventaja de reducir las pérdidas del inversor. Freire et al. (2010) “utilizan otro criterio de control en los sistemas de propulsión teniendo como base baterías de plomo ácido y un convertidor de potencia para motor de corriente continua con una propuesta de obtener un control de velocidad con un controlador de modo deslizante”. En caso en dónde los motores están propensos a tener perturbaciones que permiten el mal funcionamiento Xu et al. (2023) desarrollaron “un sistema de control basado en pruebas de funcionamiento obtenido por medio de movimientos ideales y basándose en este criterio crearon un sistema de control denominado control regulador cuadrático capaz de reducir los fenómenos de vibración”.

Un dispositivo móvil (Smartphone) hoy en día se ha vuelto una herramienta para la solución de problemas especialmente en las áreas de ingeniería por ejemplo esta herramienta nos puede facilitar en la visualización de algoritmos hasta la realidad aumentada en sistemas de control con aplicativos en su interior Jain et al. (2018). La derivación de los sistemas de control para teléfonos inteligentes parte primero por estar asociado a un microcontrolador capaz de recibir órdenes del equipo y procesar según lo requerido Zamudio Beltrán et al., s. f. Partiendo de estos conceptos podemos encontrar sistemas de control directamente desde nuestros teléfonos inteligentes hacia el mundo real según lo que queramos controlar, tanto así que Hegde (2023) presentó un proyecto que consistió en la “creación de una aplicación para los dispositivos móviles que nos permita tener el control de sistemas embebidos para vehículos”, en este caso “los sistemas embebidos es la sonorización remota y la detección de daños ambientales que este demande todo esto por con la ayuda de un microcontrolador Arduino”. Otro invento descrito por Kun et al. (2013) es la creación de un “sistema de control para un vehículo que emite información en tiempo real del estado del automóvil hacía un teléfono inteligente y que para este caso se utiliza un microcontrolador CC2540”. La asociación de las energías renovables influye constantemente para garantizar un medio puro y regenerativo tanto fue así que Sanap et al. (2023) proponen crear “un aplicativo móvil para un bote pequeño alimentado por energía solar y con la ayuda de un microcontrolador tener el control de poder realizar la limpieza de una piscina, proporcionando una solución rentable y energéticamente eficiente”. Un caso similar es el de Suhaimi & Rahman (2021) al utilizar la misma metodología de carecer de un “teléfono inteligente, un microcontrolador, y un bote solar este se diferencia por estar creado a tener el control de residuos específicamente en material reciclado o material no utilizado para la reducción de contaminación”. Por último, presentamos el trabajo realizado por Megat Khairuddin & Likhman Nur Hakim (2015) quienes “con la ayuda de un microcontrolador (Arduino), una aplicación para teléfonos inteligentes y un barco solar” “diseñaron un sistema de control que nos permite controlar dos motores de corriente continua”, el objetivo principal es hacer que el barco se mueva hacia adelante, hacia atrás, hacia la derecha y hacia la izquierda.

2.2. Metodología

El sistema metodológico que rige la comprobación de cumplimiento a los objetivos planteados es descrito a continuación por medio de un proceso en diagramas de bloques que a su vez se dividirán en sub bloques o esquemas representativos a los diagramas implementados para tener una mejor visión, los mismos que se especificarán con una determinada descripción previa con la finalidad de obtener el sistema de control deseado.

2.2.1. Descripción general del sistema de control

Como se mencionó en anterioridad para tener una misión de la propuesta tenemos como primer caso presentar un modelo del sistema de control que corresponde a un sistema PID que tiene como retro alimentación un sistema fotovoltaico en la interfaz móvil y como estructura general está involucrado tanto el bote en su forma original, las partes eléctricas, electrónicas y las derivas para su funcionamiento: partiendo de estas perspectivas se tiene como datos de entrada del sistema un valor generado por parte del panel solar, interfaz móvil y como datos de salida la velocidad y dirección del bote. Por medio de lo mencionado se plantea un primer modelo de sistema de control en un modelo esquemático de fácil entendimiento la misma que se puede apreciar en la **Figura 1**.

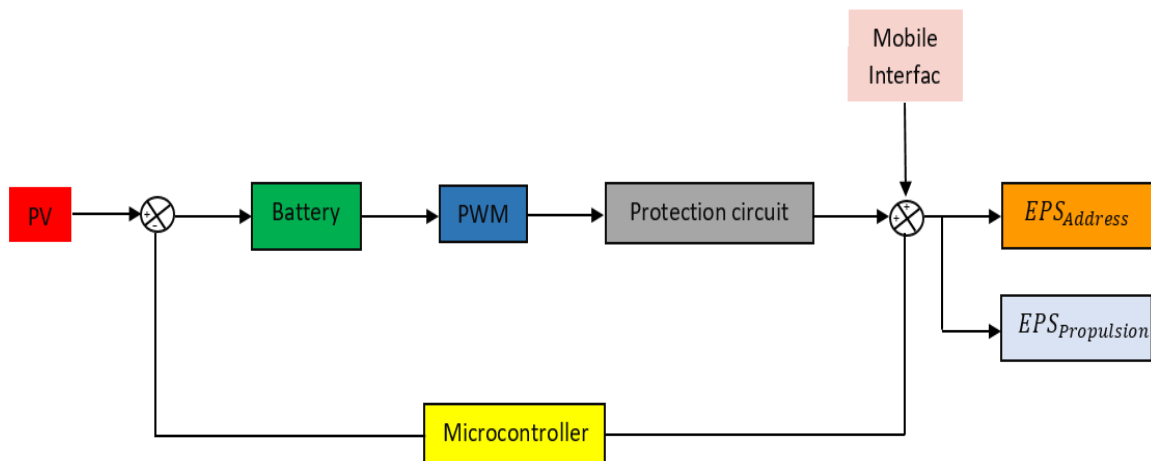


Figura. 1. Diagrama de bloques del sistema de control del bote solar.
Fuente: (Autores)

Se puede evidenciar el comportamiento que tendrá el sistema el cuál constará de un panel fotovoltaico, un sistema de propulsión (EPS), un sistema de dirección (motor CC), un banco de baterías, placa microcontroladora, interfaz móvil. Las ilustraciones encerradas en rojo describen la potencia generada por el panel la misma que tendrá la capacidad para alimentar a todo el sistema, por otra parte las ilustraciones encerradas con verde describen el comportamiento del bote una vez desprendido en el agua, el mismo que es propulsado por tres motores que son encendidos secuencialmente dependiendo de la velocidad en la que se requiera desplegar, seguidamente tenemos la ilustración encerrado con azul que es el indicador de giro del bote así mismo una vez desprendido en el agua, y por último y más importante la ilustración encerrado con amarillo representa el comportamiento del microcontrolador que tiene como finalidad primordial realizar todo el trabajo de manejo de motores para realizar lo mencionado, adicional a ello se consideró un sistema eléctrico de protección la cual podemos apreciar el comportamiento del mismo en la ilustración encerrada de rozada.

2.2.2. Estructura del sistema eléctrico (SE) integrado

Partiendo con la generación de energía se tiene que el sistema tiende a ser del todo sustentable para el adecuado funcionamiento. En la **Figura 2** se aprecia la estructura del bote con el SE integrado basado en VSC incorporado en un conjunto bus de corriente continua de todo el sistema:

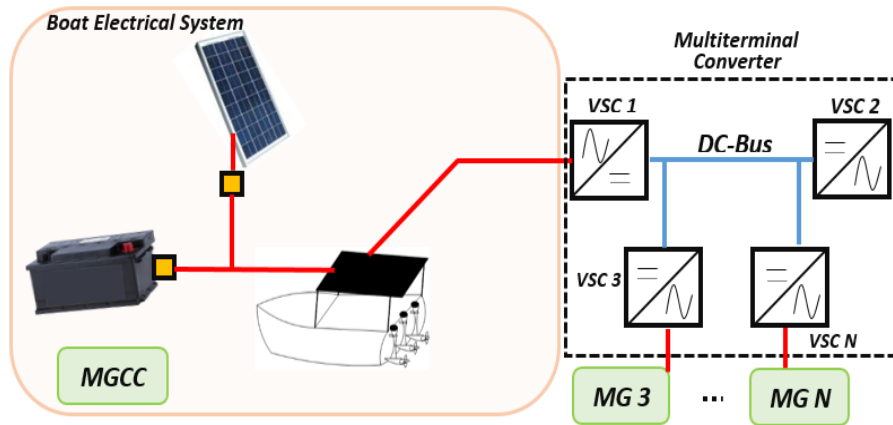


Figura. 2. Sistema eléctrico del bote basada en sistema VSC
Fuente: (Autores)

Las configuraciones eléctricas del bote integrado al sistema han sido seleccionados en una configuración estándar, los mismos que se pueden visualizar en la **Figura 3**, el principio de generación es basado en un sistema híbrido solar fotovoltaica (PV), un ESS basado en baterías y por último un centro de consumo o carga (motores). Al estar asociado un conjunto se tiene como ventaja que cada sistema eléctrico del bote está incorporado a un controlador central (MGCC) que será el encargado y responsable de facilitar el adecuado funcionamiento para garantizar el equilibrio de energía de una manera distribuida a todos los elementos mencionados.

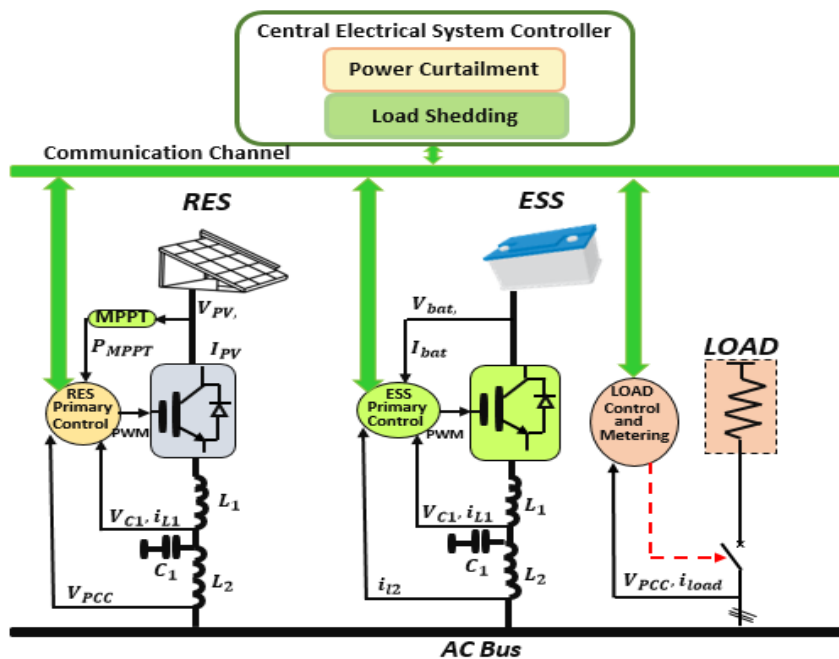


Figura. 3. Sistemas eléctricos independiente integradas al sistema VSC.
Fuente:(Autores)

2.2.3. Operación del sistema de control eléctrico integrado

El esquema que representa esta estructura se visualiza en la **Figura 4**, dónde se especifica que el sistema de control compuesto por un circuito eléctrico unida por un convertidor multiterminal dónde la primera etapa especifica el operandum del control que ejerce cada convertidor de potencia en todo el sistema, al considerar que el sistema está relacionado a una fuente de voltaje. En el circuito eléctrico el VSC tiene la finalidad de funcionar en modo de control de voltaje garantizando el buen funcionar del bus de corriente continua permitiendo el flujo de energía adecuado, el uso de bucles de control para caídas de corriente continua se puede implementar mediante reguladores de voltaje siendo adaptativo para una, dos o más convertidores. En la segunda etapa de control el MGCC tiene el cargo de supervisor adentrándose en dos funciones primordiales, la primera intervención es la tarea de limitar la producción originada por la fuente de energía renovable (RES) con el fin de evitar una posible sobrecarga de la o las baterías, y por otro lado la segunda intervención tiene que ver con la tarea de desconectar la carga siempre y cuando surja la necesidad para así también evitar sobrecargas de la o las baterías. Y el tercer y último escalón del sistema de control (Energy Exchange Management) sirve para garantizar el intercambio de energía en conjunto con la corriente alterna cuando surja la necesidad de optar por esa fuente generadora lo que hace un sistema de control eléctrico acoplable.

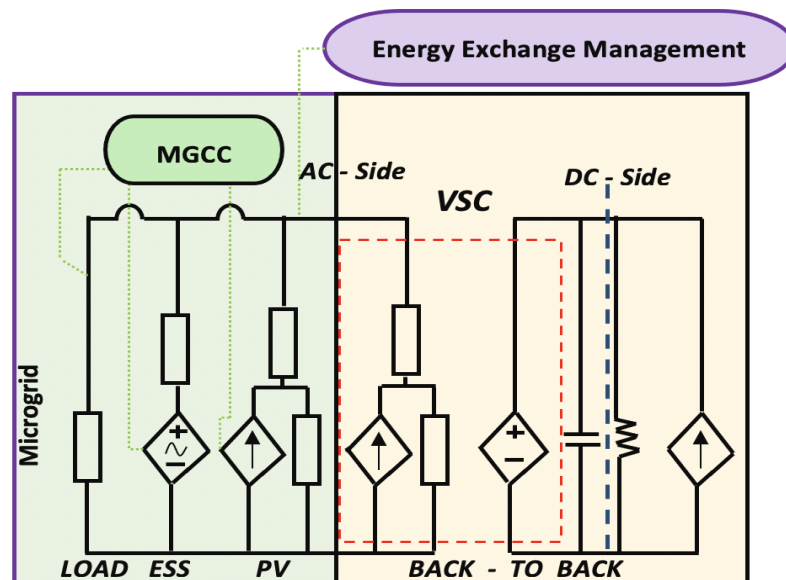


Figura. 4. Representación del sistema eléctrico de control.
Fuente:(Autores)

2.2.4. Operación de control de regulador de voltaje

Los reguladores de voltaje en el bus de corriente continúan también pueden presentar irregularidades pero que son solucionables implementando un sistema de control externo por medio de una arquitectura centralizada, esto quiere decir que el controlador del bote en el sistema eléctrico central (MGCC) detectará el valor de voltaje disperso en el bus y lo compara con el valor de referencia. Si por a o b existe irregularidades externas otra solución es implementar un controlador PI dentro del MGCC, este presentará y procesará el error de voltaje originado el cual será presentado por comunicación al controlador local de cada convertidor a través de un enlace. Si el problema de distribución de la potencia de carga es inexacto se puede compensar mitigando los efectos de los desajustes de resistencia del bus. Un ejemplo de esto tenemos representado en la **Figura 5**, dónde tenemos diferentes convertidores de corriente continua conectados en paralelo, estas conexiones generan redes alimentados por un número de baterías con la capacidad de proporcionar la energía suficiente a un bote con un sistema eléctrico de corriente continua. Es importante tener un reparto de energía preciso entre convertidores para así evitar la descarga inminente de las baterías y obtener una vida más prolongada del sistema.

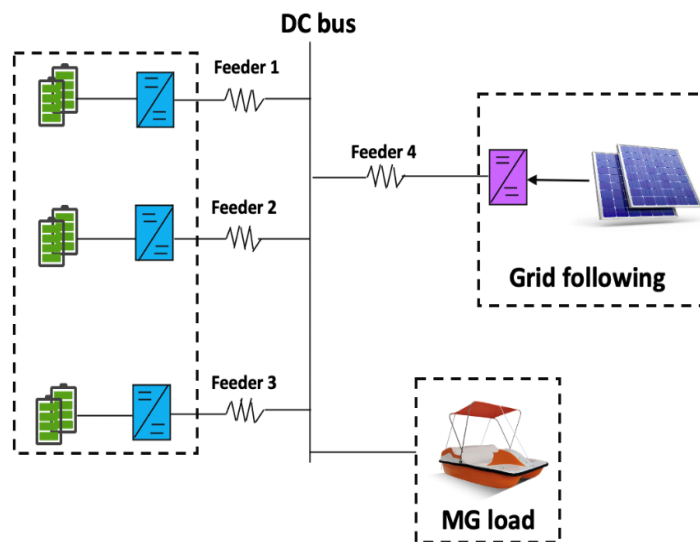


Figura. 5. Configuración de un bote con sistema eléctrico de corriente continua en operación de control de regulador de voltaje.

Fuente:(Autores)

2.2.5. Funcionamiento del controlador central MGCC

Para comprender el funcionamiento de MGCC en un bote con un sistema eléctrico se genera una estrategia de gestión de energía basada en limitaciones de baterías (ESS), las adecuadas son baterías de plomo-ácido y de iones de litio por ser las utilizadas en la integración de RES. La estrategia de limitaciones depende de la información recibida de los recursos distribuidos y de los límites de carga de los ESS, según lo mencionado el sistema de funcionamiento se reescribe en tres modelos Figura 6.

Primer Modelo (I): Como es de conocimiento los ESS se mantienen en carga o descarga en función de la utilización del sistema en generación y consumo ($P_{ESS} = P_{RES} - P_{LOAD}$), con este criterio se menciona que cuando una batería alcanza su nivel máximo o mínimo de carga el funcionamiento del sistema eléctrico pasa del modelo I al modelo II o II respectivamente.

Segundo modelo (II): Al momento de que el sistema ESS obtenga el nivel máximo de carga los RES tienden a reducir por defecto a su potencia máxima disponible (P_{MP}) con el fin de abastecer el equilibrio de energía ($P_{RES} = P_{LOAD}$), al momento de que la generación (P_{RES}) esté en un estado menor al consumo (P_{LOAD}) se dice que operación del sistema vuelve al estado inicial del modelo I.

Tercer modelo (III): Este modelo hace referencia cuando el sistema ESS obtenga el nivel mínimo de descarga haciendo que la carga se desconecte para evitar una descarga aun mayor no deseada. Luego de un periodo de tiempo se volverá a conectar haciendo que la MGCC vuelva al modelo I siempre y cuando el SOC se encuentre por encima del valor nominal. El valor nominal es selectivo, pero se recomienda alrededor del 50% al momento de la reconexión de carga, por ser un valor intermedio entre los niveles máximos y mínimos.

La **Figura 6 (a)** nos indica el diagrama representativo de la gestión llevada por reglas que rigen en la implementación de los MGCC, por otra parte, para la **Figura 6 (b)** muestra el perfil de carga utilizado para una batería de iones de litio en conjunto a lo relacionado a los modelos de operación presentados en los párrafos anteriores.

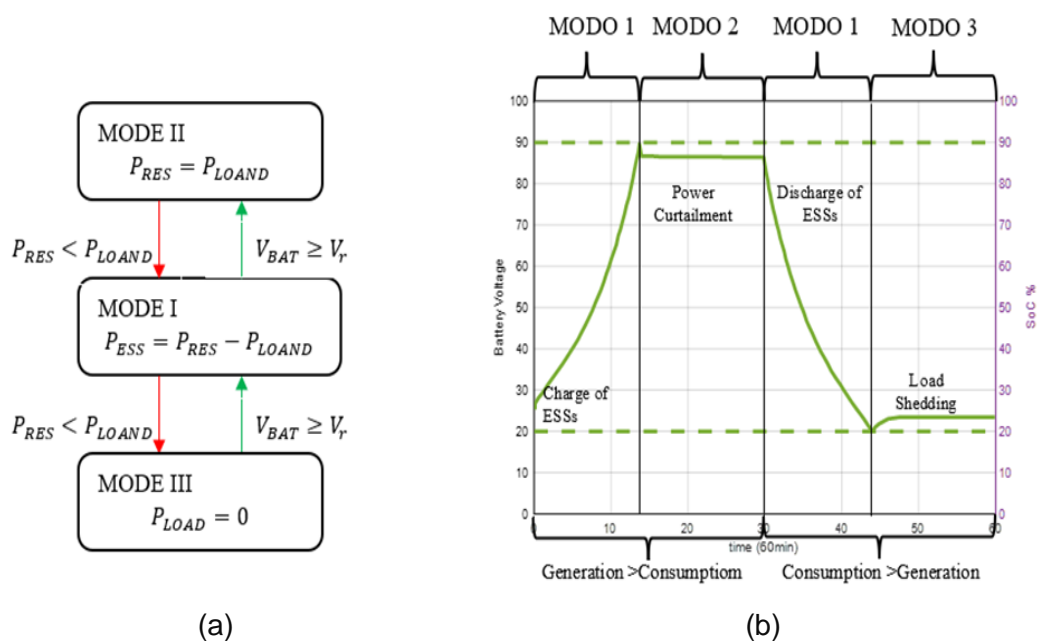


Figura. 6. Funcionamiento de MGCC: (a) diagrama de estado, (b) perfil de batería de litio.
Fuente:(Autores)

Todo lo mencionado en función del sistema de la gestión energética en relación al funcionamiento del MGCC se detalla mediante los resultados de simulación para un sistema eléctrico con perfil de generación (PV) y cargas diferentes (ESS). En la **Tabla 1** encontramos todos los parámetros necesarios que rigen en la necesidad del sistema eléctrico y por otra parte el resultado de la simulación realizada para un lapso de 24 horas se muestra en la **Figura 7**

Como primer resultado tenemos la ilustración de la **Figura 7 (a)** donde muestra la respuesta del sistema eléctrico y se puede acotar que el ESS limpia todo su rango operativo haciendo que el sistema opere bajo los tres modelos mencionados. Por otra parte, la **Figura 7 (b)** muestra el resultado del perfil de operación de generación (PV) manteniéndole siempre en el modelo I debido a que el ESS en algún punto de operación usa menos de la mitad de su capacidad.

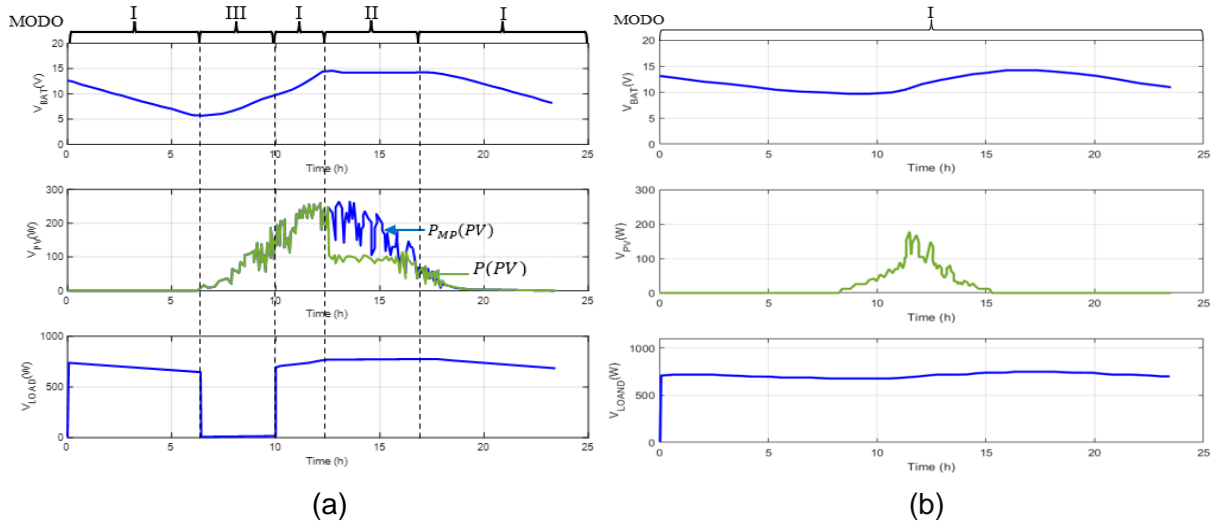


Figura. 7. Perfil de operación de los sistemas eléctricos: (a) perfil de operación (ESS), (b) perfil de operación (PV).

Fuente: (Autores)

Tabla 1: Parámetros de sistema eléctrico independiente en función de MGCC.

Fuente: (Autores)

| Parameter | Power System Stage | Symbol | Value |
|--------------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| Nominal Load | | $P_{LOADMAX}$ | 3 kW |
| Maximum Power from RES | | P_{RESMAX} | 3 kW |
| Nominal Bus Voltage | | E^* | $230 * \sqrt{2}V$ |
| Nominal Bus Frequency | | f^* | 60 Hz |
| Inverter Inductors | | L1, L2 | 1.8 mH |
| Filter Capacitors | | C | μf |
| ESS Parameters | | | |
| Nominal Voltage | | V Bat | 100 V |
| Regulation Voltage | | V_r | 100 V |
| End-of-discharge voltage | | V_{ED} | 75 V |

| | | | |
|---------------------------------|--|--------------|------------|
| Maximum SOC | | SOC_{MAX} | 90% |
| Minimum SOC | | SOC_{MIN} | 20% |
| Battery Capacity | | C_{BAT} | 50 Ah |
| Charging7discharging efficiency | | η_{bat} | 0.9 |
| Maximum power for ESS | | P_{ESSMAX} | $\pm 3 kW$ |

En el transcurso de las de las 24 horas los modelos presentan altos y bajos por ejemplo entre las 5 y 10 el perfil EES podría proporcionar sin ningún inconveniente potencialmente proporcionar energía al perfil de operación (PV), y en las horas 12 y 17 los sistemas podrán almacenar más energía con la finalidad de usar más eficientemente los recursos disponibles

Figura 8.

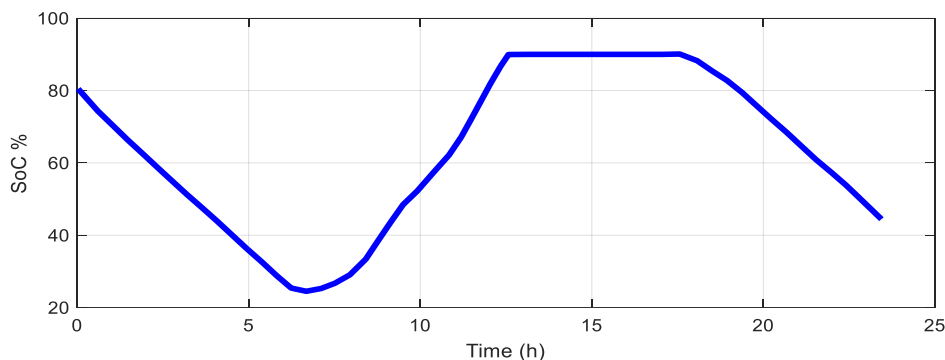


Figura. 8. Comparación de SOC y el sistema eléctrico.

Fuente: (Autores)

2.2.6. Concepto operativo fundamental de un sistema eléctrico de un bote solar.

La **Figura 9** representa el esquema equivalente para un SE de corriente continua para un bote, este modelo consta de un convertidor de CC-CC mostrado en forma de fuente de voltaje dependiente, y una carga central asociada al sistema eléctrico. Por tanto el sistema funciona de la siguiente manera; para tener un control eficaz de voltaje de bus de corriente continua y a la vez una repartición de la energía de convertidor en el sistema eléctrico, se tiene que el convertidor deberá emplearse un esquema de control en cascada el mismo que referencie a un bucle de voltaje de salida externo, con ello se logra tener como referencia que para el controlador de voltaje de salida del convertidor se tendrá un ajuste usando la entrada del controlador de voltaje extremo o punto de ajuste ya que se tiene a todos ellos en un solo punto común de la red. Es así que se logra tener un valor de potencia de carga para el convertidor y que es proporcionales a su potencia nominal.

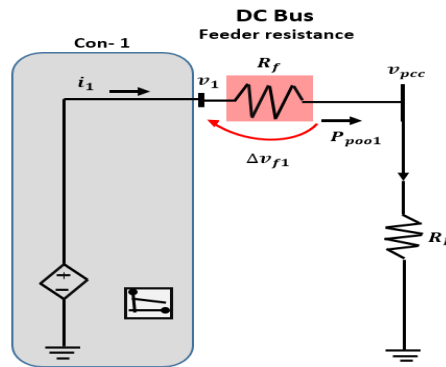


Figura. 9. Modelo equivalente de un sistema eléctrico de corriente continua para un bote.
Fuente: (Autores)

2.2.7. Visión del sistema de operación, control y multiterminal basado en VSC

El sistema como tal viene representado en un diagrama de bloques de control nombrado para una etapa multiterminal basada en VSC para dos sistemas eléctricos (SEs), la Figura 10 nos indica esta representación. Una de las ventajas que presenta esta configuración es que al sistema se pueden añadir más subredes de corriente continua, teniendo como configuraciones originales que al menos uno de los VSC será responsable de regular el bus de corriente continua, y que por otro lado los demás VSC están encargados de regular el flujo de energía entre los SEs ajustándose a los puntos de potencia activa (P^*) que con ante mano fueron definidos en la etapa de gestión de intercambio de energía.

Se observa en la **Figura 10** que el interruptor de intercambio actúa como si optara como uno de los VSC en el convertidor multiterminal para representar como si fuera el nuevo controlador de bus de CC o sino también para representar como si fuera el controlador del flujo de energía. Para ello es muy versátil decir que el SE va asumir estos roles antes de realizar el intercambio de energía, y por su parte indicar que sistema eléctrico es la de mayor capacidad de almacenamiento para que sea la responsable de la regulación del bus de CC. La **Figura 11** muestra un diagrama de bloque de como el sistema VSC conectado a MG1 es capaz de controlar de una manera regulable el bus de corriente continua.

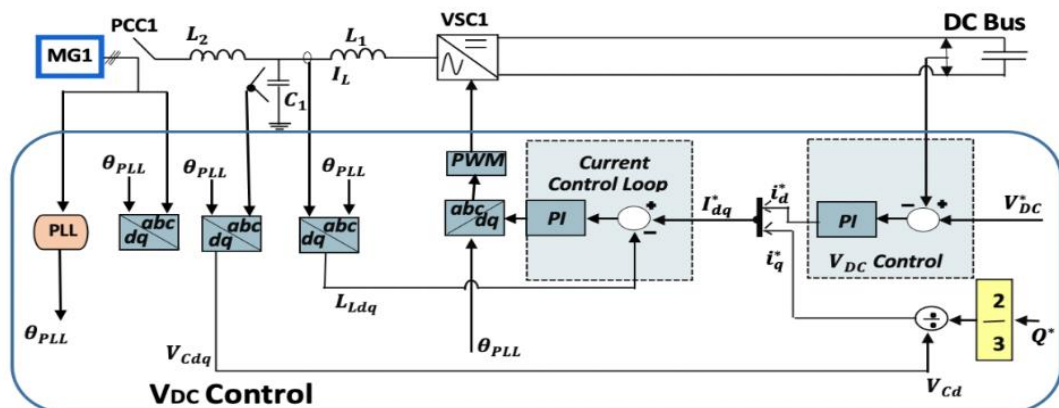


Figura. 10. Diagrama de bloques de control para una etapa multiterminal.
Fuente: (Autores)

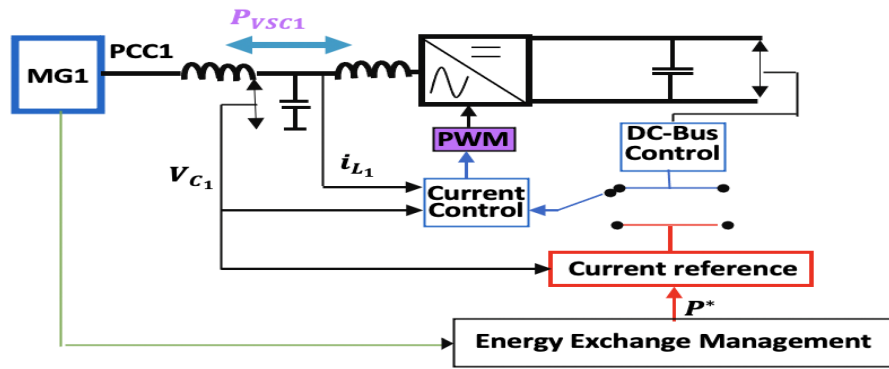


Figura. 11. Diagrama de bloques de control de bus de corriente continua.
Fuente: (Autores)

2.2.8. Intercambio de energía por medio de control difuso.

El sistema de control difuso hace referencia a un algoritmo computacional que abarca parámetros para su implementación los mismo que son representados en los puntos posteriores.

- Los valores de datos de entrada y salida son primordiales en el análisis para el diseño del sistema de interferencia de control difusa, son considerados como datos Negativos Grande (NB) que son los encargados de cuantificar valores entre 0 y 1 y según el acertijo del valor de entrada se considerará como datos Positivos Grande (PB). Por lo general los datos son lineales con un número de entrada y un rango de mapeo considerado que la asignación de funciones de membresía constituirá un diseño de mapeo de entrada y siguiente a ella una asignación de acciones de control.
- En el algoritmo la estrategia del IF-THEN define el camino para guiar hacia el intercambio de energía en el SE) se logra gracias a las declaraciones de variables intermitentes que son valores de entrada y salida las que determinarán las respectivas acciones de control apropiada según el requerimiento de las condiciones planteadas.

La regla de control difusa presenta una derivación de un total de 225 combinaciones que son representadas en la Tabla 2. Y el esquema de control representativo a las combinaciones posibles se puede apreciar en la **Figura 12**.

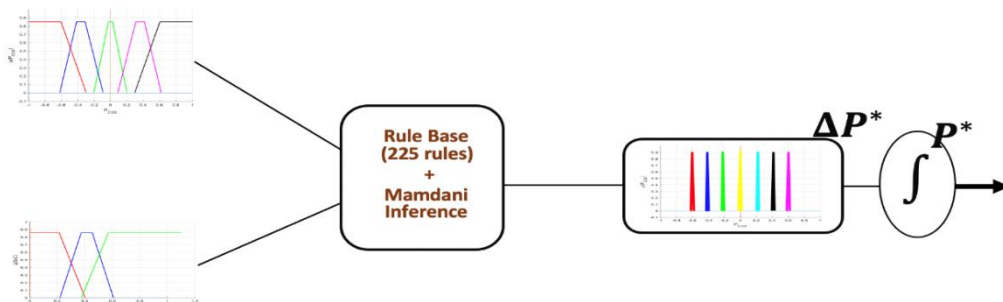


Figura. 12. Esquema de control de control difuso.
Fuente: (Autores)

Tabla 2. Combinaciones de control difuso.

Fuente: (Autores)

| | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Z | PS | PM | Z | Z | PS | NM | Z | Z |
| Z | PM | PM | NS | Z | Z | NM | NS | Z |
| NM | NS | Z | NM | NS | Z | NB | NS | Z |
| NM | NM | Z | NB | NB | Z | NB | NM | NS |
| NB | NM | NS | NB | NM | NS | NB | NM | NS |
| Z | PS | PS | NS | Z | PS | NM | NS | Z |
| Z | PS | Z | NM | NS | Z | NB | NS | Z |
| NS | Z | Z | NB | NS | Z | NB | NM | NS |
| NS | Z | Z | NB | NM | Z | NB | NM | NS |
| PM | PS | PB | Z | PS | PM | Z | Z | Z |
| PS | PS | PM | Z | PS | PS | NS | Z | Z |
| Z | Z | PM | NS | Z | PS | NM | NS | Z |
| Z | Z | PM | NM | Z | PS | NM | NS | Z |
| NS | Z | PS | NM | Z | Z | NM | NM | NS |
| PS | PM | PM | PS | PS | PB | Z | Z | PS |
| PS | PS | PS | Z | PS | PM | NS | Z | PS |
| PS | PS | PS | Z | Z | PS | NM | Z | Z |
| Z | Z | PS | Z | Z | Z | NB | NS | Z |
| Z | Z | PS | NS | Z | Z | NB | NS | Z |
| PB | PB | PB | PM | PM | PB | Z | Z | PM |
| PM | PM | PB | PS | PS | PM | Z | Z | PS |
| PM | PS | PB | Z | PS | PM | NS | Z | PS |
| PS | Z | PM | NS | Z | PS | NM | NS | Z |
| Z | Z | PS | NM | Z | PS | NM | NM | Z |
| H | M | L | H | M | L | H | M | L |

Los resultados de simulación del intercambio de energía por control difuso para un SE interconectado por medio de un convertidor multiterminal para un periodo de 24 horas son mostrados en la **Figura 13**.

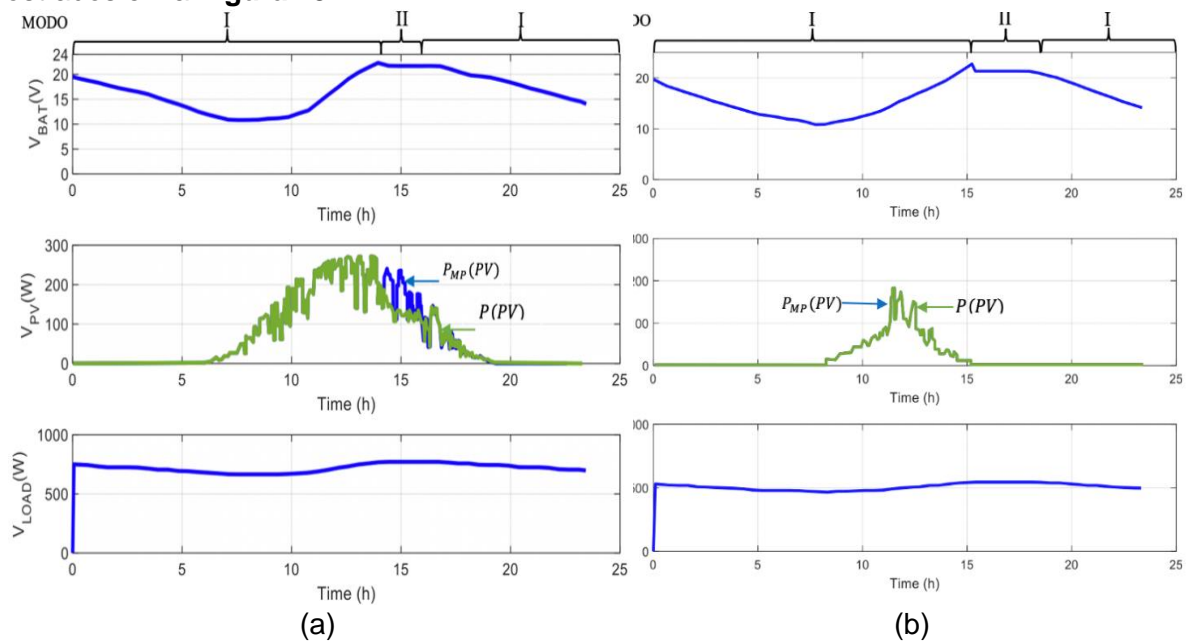


Figura. 13. Respuesta de simulación de intercambio de energía para un sistema eléctrico de CC con control difusa.

Fuente:(Autores)

Se menciona que el sistema presenta los perfiles de cambio de energía en el SE P_V por ejemplo los valores que están representados positivamente quieren decir que el sistema eléctrico (SE) está recibiendo energía, pero si estos están representados negativamente quiere decir que el sistema eléctrico (SE) está entregando energía, observar **Figura 14**.

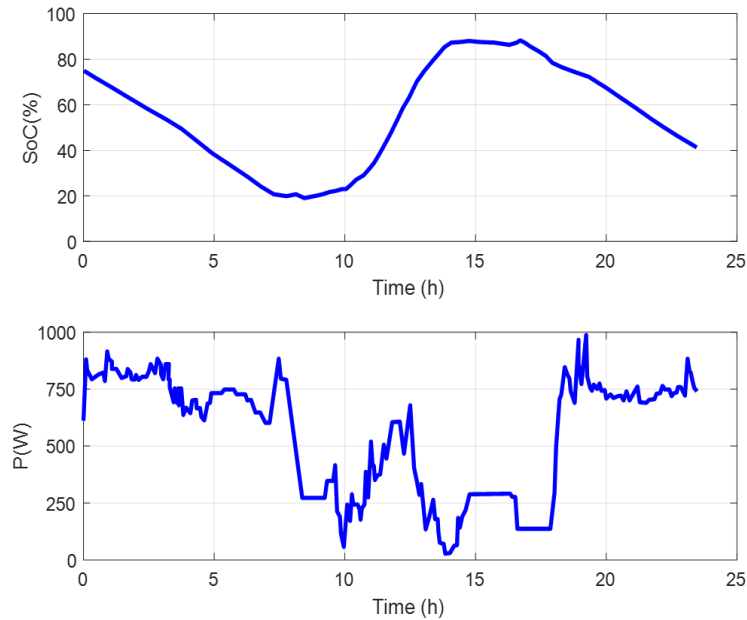


Figura. 14. Cambio de energía de entrega y recibimiento con control difusa.
Fuente:(Autores)

2.2.9. Intercambio de energía por medio de control difuso simplificado

Para este sistema sugiere que sea considerado directamente como datos de entrada a las baterías pues al tratarse de un intercambio de energía este método reduce considerablemente el algoritmo computacional que va a carecer de 20 combinaciones posible para el mapeo teniendo un control difuso más eficiente, confiable y reducido. Las reglas de control difuso son las mismas que fueron presentadas en el apartado anterior por lo que rigen los mismos conceptos. El modelo de control de este sistema para un SE de corriente continua se encuentra especificado en la **Figura 15** y posterior a ello la tabla de las 20 combinaciones posibles viene representada en la **Tabla 3**.



Figura. 15. Esquema de control de control difuso simplificado.
Fuente:(Autores)

Tabla 3. Combinaciones de control difuso simplificado.
Fuente: (Autores)

| | | | |
|----|----|----|----|
| PB | PB | PS | PM |
| PS | PM | Z | PM |
| Z | PS | NS | Z |
| NM | Z | NB | NM |
| NM | NS | NB | NM |

De la misma manera que en los apartados anteriores se muestra los resultados de simulación desarrollados para un SE interconectado por medio de un convertidor multiterminal para un periodo de 24 horas **Figura 16**.

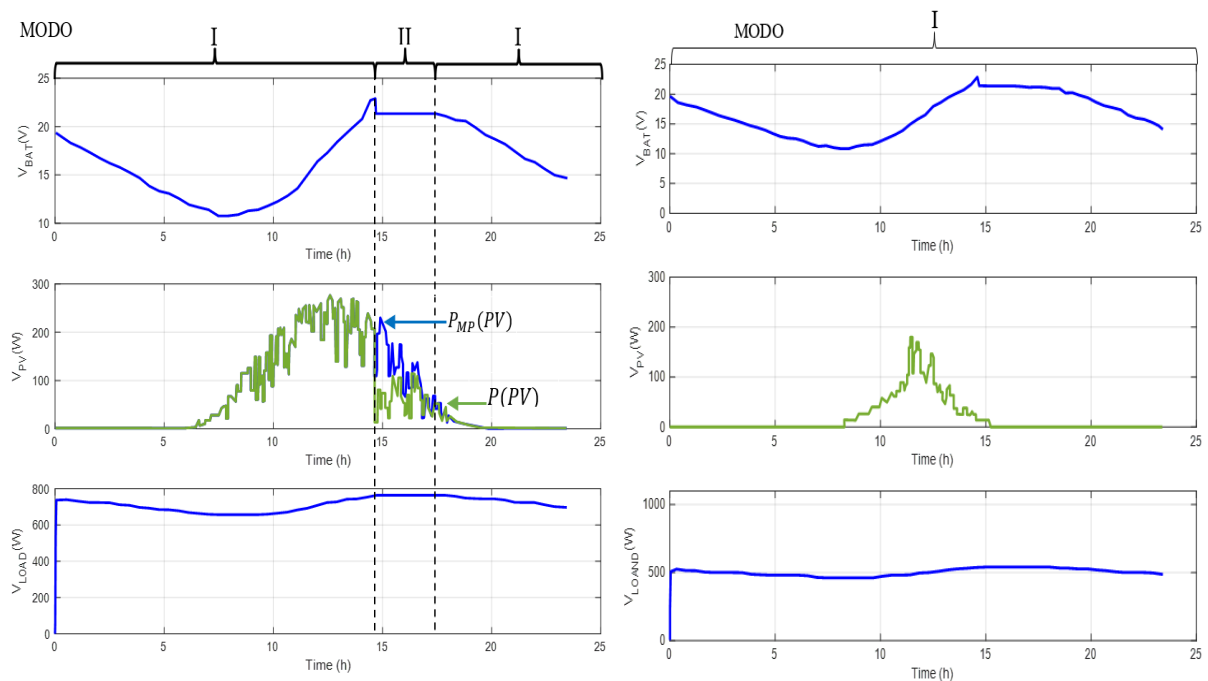


Figura. 16. Respuesta de simulación de intercambio de energía para un sistema eléctrico de CC con control difusa simplificada.
Fuente:(Autores)

Detallando el comportamiento y haciendo una comparación con el apartado anterior tenemos que el intercambio de energía presenta una mejor gestión energética, por ejemplo, este modelo de control difuso simplificado no presenta cargas de desconexión, y por otro lado permite tener un mejor rendimiento de control al no tener algún tipo de pérdidas en la generación de energía obteniendo así un 52% de energía restringida y un 16% en comparación con el apartado presentado anteriormente.

El comportamiento de los mencionado se puede observar en la **Figura 17**. Adicional a ello se puede mencionar que los resultados presentan la etapa de conversión en el intercambio de energía para el SE determinando un mejor rendimiento de la misma.

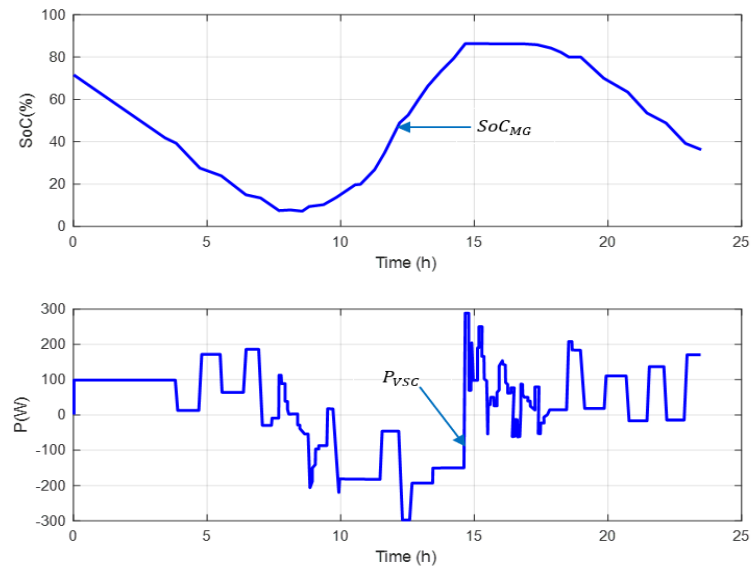


Figura. 17. Cambio de energía de entrega y recibimiento con control difusa simplificada.

Fuente:(Autores)

En este trabajo se consideró también presentar un modelo de intercambio de energía para dos SEs de ser el caso que en trabajos futuros se vea la necesidad de aplicar este método. Al primer SEs se le agrega otro sistema fotovoltaico con variaciones en el perfil potencial dando como resultado reconocer que el VSC de SE1 será el encargado de mantener el equilibrio de potencia de Bus de corriente continua, a diferencia de la SE2 que estará encargada de inyectar la energía necesaria al Bus de corriente continúa referenciándose a la energía definida por la interferencia de energía difusa. Para tener un mejor confort de las simulaciones el trabajo muestra los resultados realizados por medio de un controlador difuso.

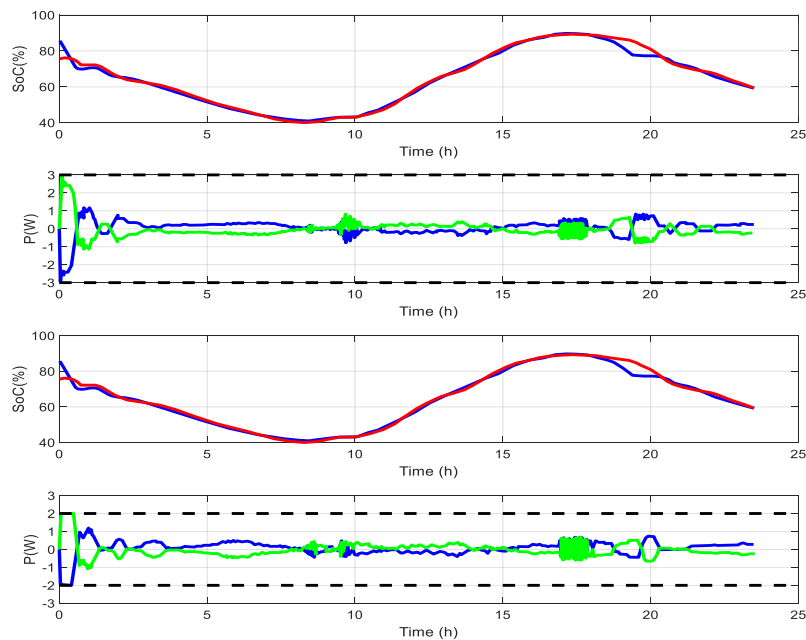


Figura. 18. Cambio de energía de entrega y recibimiento con control difusa simplificada para dos SEs.

Fuente:(Autores)

Las respuestas de las simulaciones para los dos SEs interconectados por medio de un convertidor multiterminal para un periodo de 24 horas son mostradas en la **Figura 18**.

Las **Figuras 18 (a), (b)**, nos indican el comportamiento del intercambio de energía siendo controlado por un controlador difuso, dónde los SEs parten con diferentes SOC iniciales por ejemplo el SE1 parte con un 85% y el SE2 con un 75%, haciendo que este sistema tome la iniciativa del primer modelo (I) en términos de MGCC de la sección 2.2.5 donde no existe desconexión de carga ni pérdidas de energía.

En otro punto las **Figuras 18 (c), (d)** nos indican el estado potencial de los SEs, en este apartado VSC1 es el encargado de mantener equilibrado la potencia demandada por VSC2, también se evidencia que la **Figura 18 (d)** limita la potencia proporcionada para cada sistema eléctrico integrado.

2.2.10. Resultado del sistema metodológico integrado

Como se pudo apreciar en la sección 2.2.2 tenemos el sistema eléctrico integrado para esta investigación que consta de un sistema híbrido solar fotovoltaica (PV), un ESS basado en baterías y un centro de consumo o carga (bote), los parámetros de entrada y salida fueron considerados en la sección 2.2, para la simulación solo se considera como dato de entrada al valor de generación del panel.

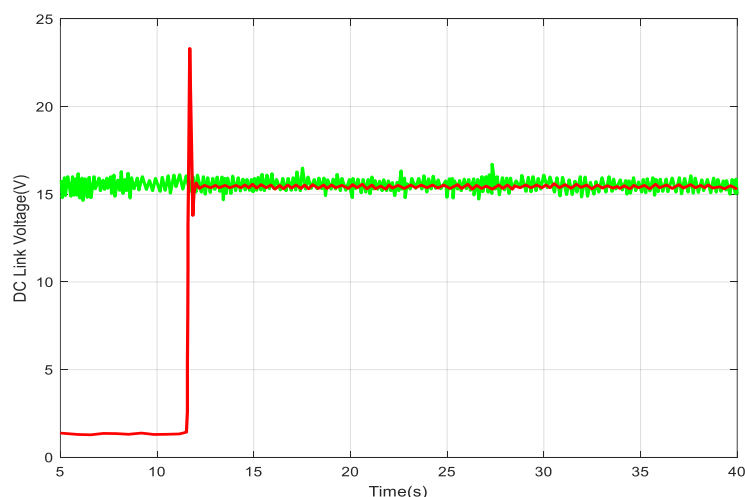


Figura. 19. Activación de intercambio de energía por control difuso del sistema eléctrico seleccionado.
Fuente:(Autores)

El sistema al estar basado en VSC y al configurar un SE de CC se experimenta los resultados de simulación por medio de control difuso, por tanto, los parámetros que rigen en la respectiva prueba son considerados los presentados en la **Tabla 1**. La primera respuesta al intercambio de energía del sistema eléctrico es representada en la **Figura 19**, en dónde consta que el control de bus de corriente continua se activa en un periodo de 14 segundos regulando el voltaje en todo el transcurso de operación. Como segunda respuesta tenemos

que la aplicación de intercambio de energía por control difuso en este sistema representa un aspecto positivo al no producirse ningún tipo de desconexión de carga y mucho menos algún tipo de descarga en los sistemas de almacenamiento ESS para cada modelo, observar la **Figura 20**.

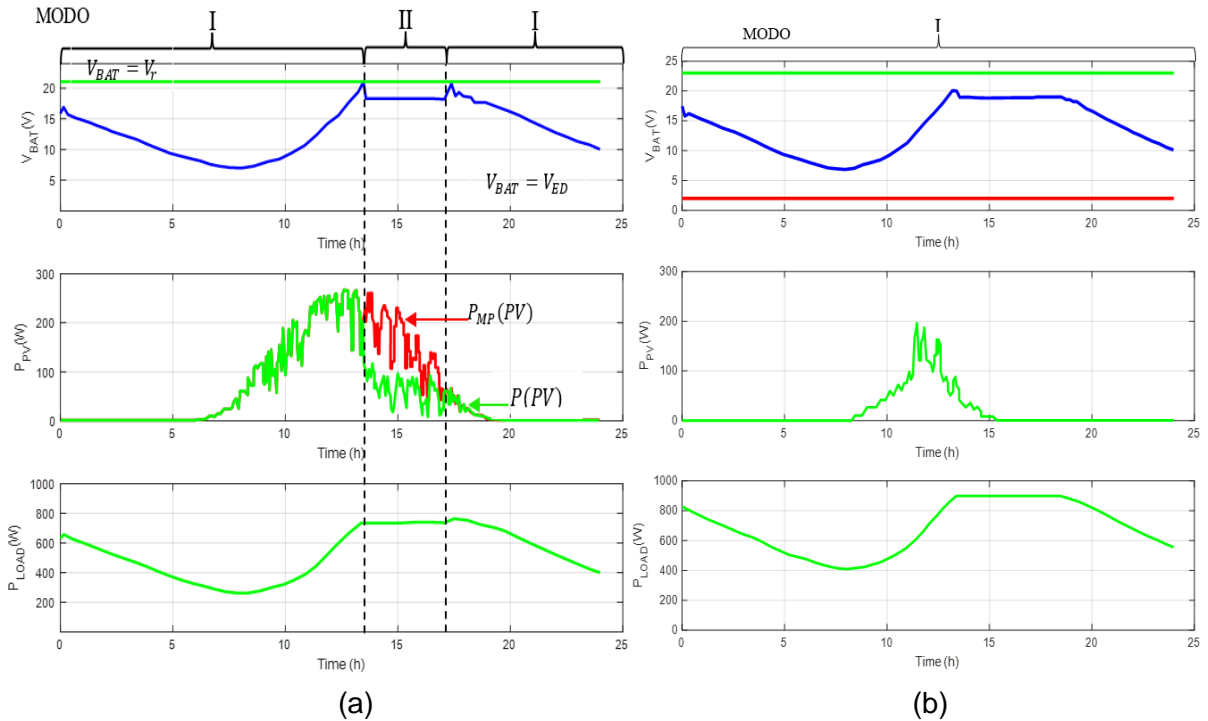


Figura. 20. Intercambio de energía del sistema eléctrico seleccionado.
Fuente:(Autores)

Como último punto de resultado de la simulación tenemos el comportamiento de perfil del SOC en que se muestra como la potencia entregada por el SE es aproximadamente la misma en todo el sistema por lo tanto la configuración cumple con los modelos de la sección 1.1.2.5. la validación del comportamiento se aprecia en la **Figura 21**.

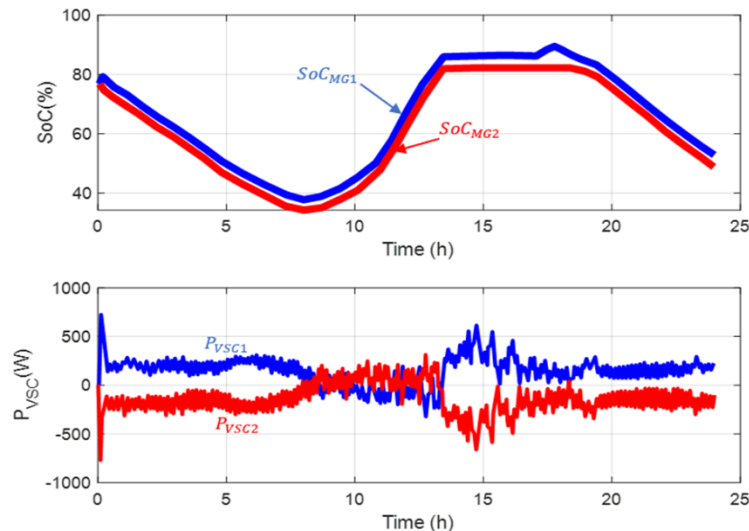


Figura. 21. Perfil de operación de SOC del sistema eléctrico seleccionado.
Fuente:(Autores)

2.2.11. Modelado matemático

El sistema eléctrico del bote seleccionado en esta investigación consta de un sistema solar fotovoltaico, una batería y la automatización del control de giro del bote.

2.2.11.1. Ecuaciones generales consideradas.

Mediante un análisis se aborda ecuaciones en las que explican el movimiento para las embarcaciones que se ha inclinado a utilizar el proyecto de VAMAR y muchos más, en lo cual se basa en una explicación concisa con las diferentes representaciones de estos sistemas para la utilización muy sencillas se utilizar e identificar la nomenclatura.

Para representación del punto de vista del barco en un plano, se requiere el sistema inercial que está vinculado a la tierra. Por lo que, el desplazamiento del barco se define en un sistema ligado a las coordenadas del propio barco. El desplazamiento se compone de seis grados de libertad, tres de los cuales se refieren al traslado (marcha, movimiento lateral y arfada) en relación al sistema del barco con coordenadas, y a los siguiente tres se refieren a la translación de giro (oscilación, cabeceo y guiñada) del sistema del barco referente al sistema de la tierra en las coordenadas.

La **Figura 22** muestra estos diferentes movimientos y cómo se relacionan los sistemas de coordenadas. En resumen, el sistema de referencia inercial proporciona la base para ubicar la posición del barco en un mapa, mientras que el sistema de coordenadas del barco describe el movimiento del barco en relación a sí mismo. Este conocimiento es esencial para el seguimiento y control de la navegación de un barco, así como para la planificación de rutas y la seguridad marítima. La comprensión de los sistemas de referencia y coordenadas permite una representación precisa y eficiente de la posición y el movimiento del barco en relación al entorno.

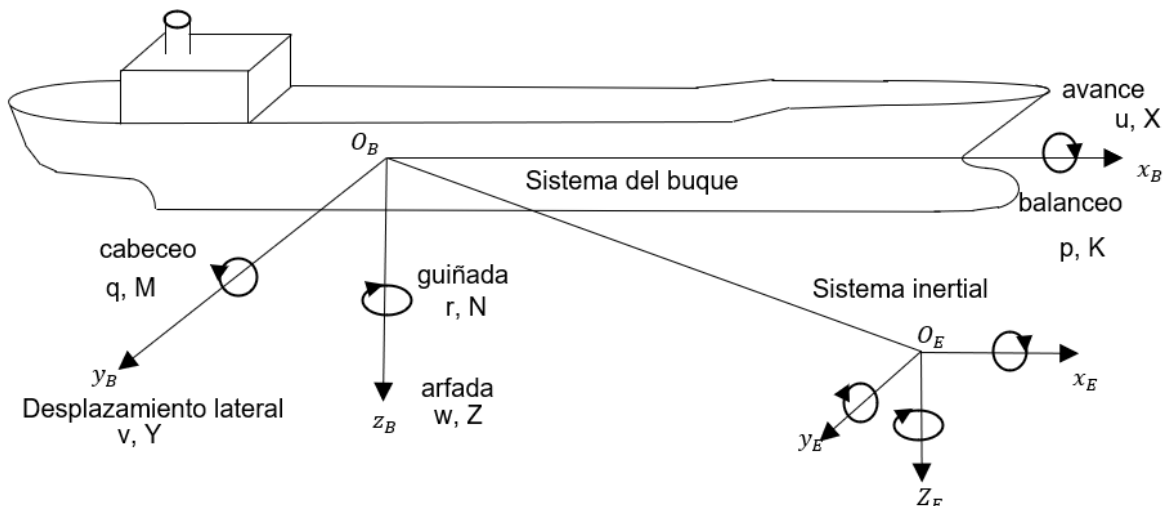


Figura. 22. Sistema global y local (inercial, S_i ; ligado al barco, S_r).

Fuente:(Autores)

Además, las velocidades tanto lineales como angulares que vienen a ser el avance y giro están definidas en afinidad al sistema local de coordenadas del barco, por lo que en medio de la representación de las fuerzas y momentos que ejerce encima del barco, la localización y dirección en el plano se utiliza el sistema global.

2.2.11.2. Representación del modelo.

El barco en realidad tiene una dinámica para la comparación de un sólido indeformable con tres acciones de traslado y 3 movimientos de giro, con lo que se tiene 6 niveles de autonomía. Por lo tanto, el modelo anterior como el modelo en caso de estudio se considera 3 niveles de autonomía por lo mismo el desplazamiento es entre un plano horizontal. Para la descripción del movimiento de rotación y los cambio en la dirección, se introduce términos no lineales inevitablemente, por lo que para barcos de transporte de cargas se consideran el movimiento de equilibrio, esto significa que al menos tienes cuatro niveles de autonomía, para el modelo no lineal se especifica en la diferentes fuerzas y momentos el cual causa el desplazamiento encima del agua que alcanzan a linealizarse como un valor cercano al equilibrio.

A esta consideración anteriormente, el esquema básico es representado en la **Figura 23** se considera como el sistema físico que se representa el barco, al momento esta no es considerada las perturbaciones igual que el aire o el oleaje, hacia el modelo de 3 niveles de autonomía.

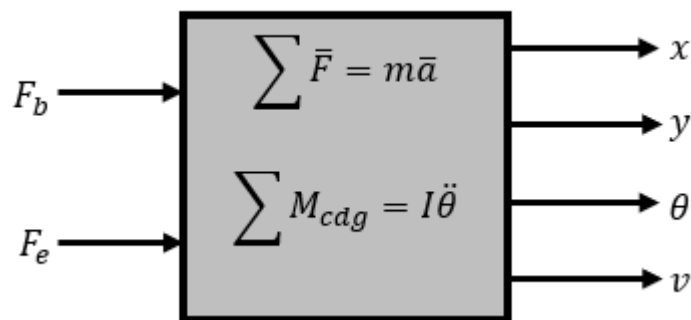


Figura. 23. Modelo de barco con las entradas y salidas del sistema físico.
Fuente:(Autores)

Anteriormente es mencionado que el esquema de 3 niveles de autonomía es la simplificación de 6 grados de libertad, por lo que no se tiene en cuenta de los ángulos de cabeceo balanceo, por lo mismo el componente vertical de posicionamiento o empuje, ya que se establece que está en buenas condiciones el barco. En cambio, en el área del mar y la altura se hace relación con el desplazamiento en plano XY. Se dice que las condiciones de posición son insignificantes, el cambio en el ángulo anterior es insignificante en comparación con el giro automático del barco.

Por lo que se esquematiza las fuerzas y momentos que están actuando encima del barco se ha representado en la **Figura 24**:

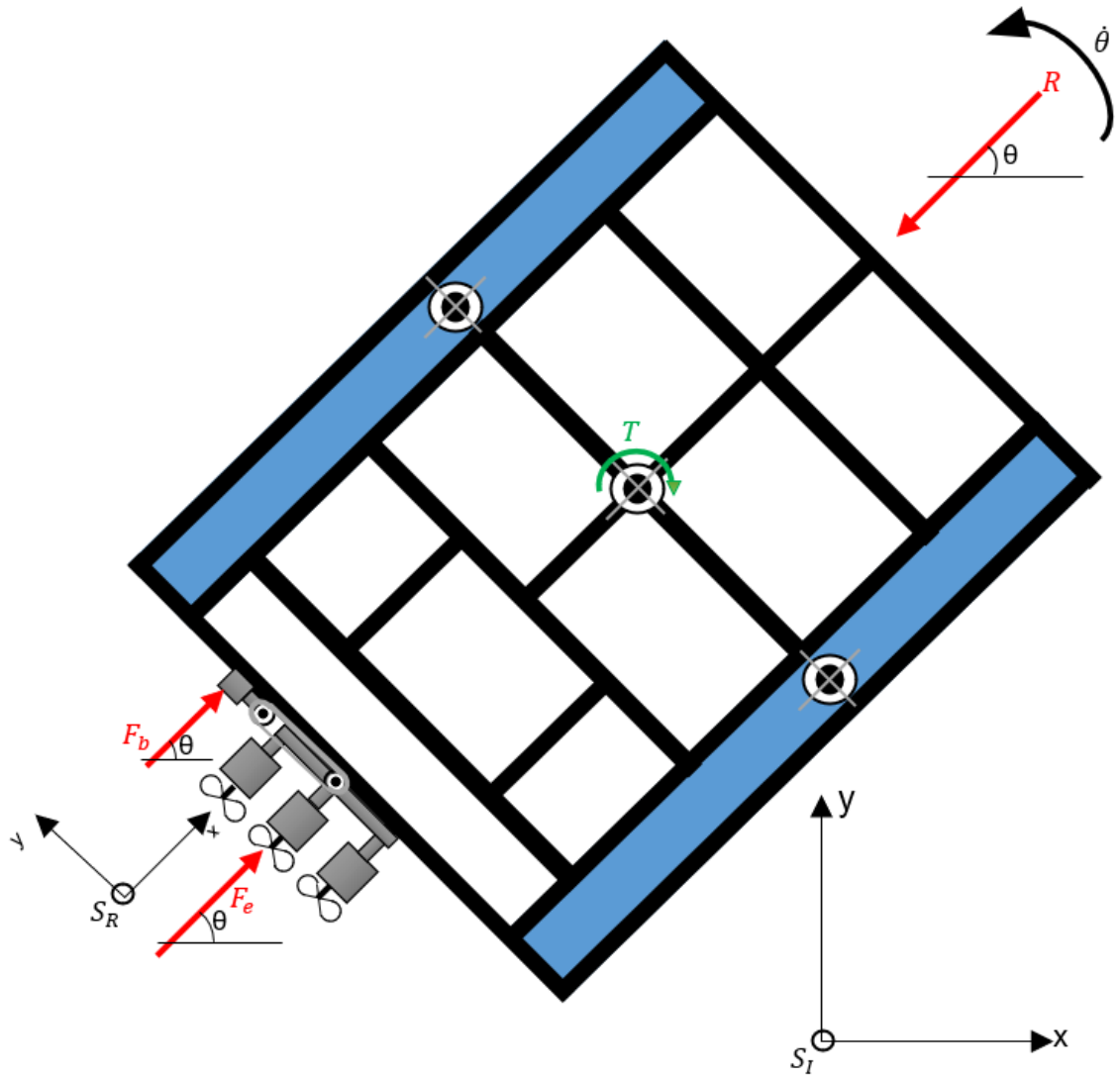


Figura. 24. Presentación de las fuerzas y momentos que actúan sobre el casco.
Fuente:(Autores)

Analíticamente las ecuaciones (1), (2), (3), se representan en forma matricial al inicio del modelo dinámico, se tiene lo siguiente:

$$(F_e + F_b)\cos\theta - \alpha\dot{x}_{cdg} = M\ddot{x}_{cdg} \quad (1)$$

$$(F_e + F_b)\cos\theta - \alpha\dot{y}_{cdg} = M\ddot{y}_{cdg} \quad (2)$$

$$(F_e + F_b)a - B\dot{\theta} = I\ddot{\theta} \quad (3)$$

Aunque está dibujado todo el contorno del barco, cabe recordar que para nuestro modelo consideramos el centro de gravedad del barco (c.d.g) como el lugar donde se aplican todas las fuerzas y momentos, así como parámetros como geometría. Actualmente, no reciben un tratamiento adecuado.

Estas ecuaciones de fuerza aplicada muestran que la diferencia entre la fuerza ejercida por el motor y la resistencia del agua produce el movimiento uniformemente acelerado de la embarcación en el plano XY. De manera similar, al girar en el agua, la desigualdad en medio de los momentos producidos por el motor y la resistencia producida por el movimiento del casco provoca un cambio de dirección o velocidad de rotación en el plano XY.

En lugar de utilizar las revoluciones del motor en relación con el sistema local de las coordenadas se muestra en las ecuaciones cinemáticas, el sistema de control en realidad obtiene el voltaje aplicado a cada motor, que se convierte en revoluciones del aspa del motor, el cual transmite al casco como impulso, que a su vez provoca el cambio de posición del cuerpo expresado por la ecuación anterior. La conexión en medio del voltaje y la rapidez del aspa, y la relación entre esa velocidad y el empuje, se puede considerar lineal, para que la correlación que nos interesa es una afinidad lineal en medio del voltaje suministrado al aspa. Un motor y su propulsión a bordo.

2.2.11.3. Cálculo de parámetros.

En la definición de las ecuaciones de desplazamiento y trabajos a la cual está sometida el barco es esencial saber ciertos datos. Varios de estos se deducen por medio de cálculos no complicados y los demás se supone que son conocidos, percatándose que el modelo de barco sea el ideal en la utilización del proyecto. Ya sabemos que su longitud, ancho y dimensiones del casco son muy cercanas a los valores reales, sin embargo, existen diferentes datos el cual aún no se logran resolver, por ejemplo, el total de su masa, calado, su mayor velocidad, variables relativas con el motor, que está sujeto. Los parámetros de construcción que queremos evaluar son:

Totalidad de masa del barco:

Es la sumatoria de todas las propiedades que lo componen. Serán dos cuerpos, un armazón metálico el cual los conecta y cumple como sostén de baterías, de motores y la electrónica incorporada.

$$M = 6 * M_C + M_E + 2 * M_B + 3 * M_{mi} + M_{md} + M_{ei} \quad (4)$$

Las estimaciones iniciales, basadas en datos del fabricante y datos proporcionados del proyecto, indican que la masa total del barco es de aproximadamente 163.55 kg.

$$M = 6 * 9.50 + 19.11 + 2 * 14.50 + 3 * 11 + 1.94 + 21.50 = 163.55 \text{ kg}$$

En la tabla 4 se señala el peso aproximado de cada elemento:

Tabla 4. Peso de la embarcación por componentes.
Fuente:(Autores)

| COMPONENTES | PESO / UNIDAD | UNIDAD | PESO TOTAL |
|--|---------------|--------|------------|
| Casco (Tanques plásticos) | 9,50 kg | 6 | 57 kg |
| Estructura de unión y soporte (tubo cuadrado metálico) | 19,11 kg | 1 | 19,11 kg |
| Baterías | 14,50 kg | 2 | 31 kg |
| Motores de impulso | 11 kg | 3 | 33 kg |
| Motor de giro | 1,94 kg | 1 | 1,94 kg |
| Electrónica incorporada | 21,50 kg | 1 | 21,50 kg |

Fuerza propulsora máxima de los motores.

En cuanto los valores de velocidad en los que opera el proyecto son muy importantes, la conexión entre el voltaje de los terminales del motor y la rapidez de la hélice en el giro (rpm) puede considerarse lineal, al igual que la relación entre la velocidad de la hélice en el giro y en el motor la fuerza de impulso. Entonces podemos decir que en estado estacionario la relación entre voltaje y empuje del motor seguirá una relación lineal con la velocidad a la que nos movemos.

Otra cosa para recordar sobre el impulso de su conexión con el voltaje de suministro. Dado que este proyecto utilizará un motor y una batería de 12 V CC, tiene más sentido utilizar estos valores para ajustar el modelo. Para que el barco se mueva hacia adelante y hacia atrás, el motor debe ser accionado a través del puente H, lo que permitirá invertir la dirección de rotación del motor, provocando que un voltaje positivo cree un impulso favorable y el barco avance (adelante) y viceversa para crear un voltaje negativo con empuje negativo, el barco se mueve hacia atrás (en dirección opuesta).

Teniendo en cuenta estos factores, se supone que cada motor puede producir presiones F_e y $F_b \in [-250, 250]$ N, lo que, debido a las condiciones de escala anteriores, significa que las tensiones V_e y $V_b \in [-12, 12]$ V. los valores son sólo una limitación constructiva del sistema.

Localización y dirección en el plano.

Se supone que el plano a lo largo del cual viajará el barco no tiene límites, el rumbo está en el rango de ángulos de 0 a 2π de orientación y el origen está en un eje correspondiente al norte (eje X). Limitar el ángulo a una zona evita los problemas que pueden ocurrir al utilizar acciones angulares, porque en un instante determinado el barco puede almacenar muchos giros en una dirección e influir negativamente los datos adquiridos en las ecuaciones, provocando que reaccione mal el sistema. Las razones de estas consideraciones sobre el ángulo de orientación se explicarán con más detalle en las siguientes secciones.

$$x_{xdg}ey_{cdg} \in [-\infty, +\infty]m \quad ; \quad \theta \in [0,2\pi]rad \equiv [0,360]^\circ \quad (5)$$

Coeficiente de oposición al avance y a la rotación:

El coeficiente de resistencia α corresponde a la relación en medio de la oposición el cual ejerce el agua hacia el cuerpo y su rapidez (suponiendo inicialmente que el modelo es lineal). Esta resistencia se puede calcular estimando el coeficiente de resistencia y se expresa de la siguiente forma:

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad \rightarrow \quad D = C_D - \frac{1}{2}\rho v^2 A \quad (6)$$

Al considera que la superficie que es sometida a una resistencia corresponde a la parte sumergida del cuerpo proyectada sobre un plano perpendicular a la dirección, esta situación corresponde a la dirección de una lámina plana perpendicular a la corriente del agua y se suele asumir que el factor debe ser igual a 2.

Entendiendo que no hay resistencia al movimiento hacia adelante cuando el barco está parado, y suponiendo que una afinidad lineal en medio de las dos variables, logramos conseguir directamente el coeficiente α :

$$\alpha = \frac{D}{v} \quad (7)$$

Estos cálculos obtienen la resistencia hacia adelante en función de la velocidad y nos ayudan a comprender qué potencia máxima se debe aplicar al motor para hacer avanzar el proyecto a la velocidad máxima. Como esta velocidad es constante, podemos decir que el empuje producido por el motor será idéntico a la oposición que presenta el agua al casco. Teniendo en cuenta estos factores, podemos derivar expresiones que determinan la conexión en medio del voltaje y la fuerza que tiene cada motor para impulsar:

$$K_F = \frac{F_{max}}{V_{max}} \quad (8)$$

$$F_b = K_F * V_b \quad ; \quad F_e = K_F * V_e \quad (9)$$

El coeficiente de resistencia rotacional B se puede obtener experimentalmente suponiendo una relación lineal entre la velocidad de rotación y el momento opuesto. Dado que el barco no está actualmente disponible para experimentos, aceptaremos un valor que podemos asumir que es cómo responderá realmente el sistema. El valor será:

$$B = \frac{T}{\theta} = 300N.m.s \quad (10)$$

Suponiendo que el valor de B es correcto, podremos saber a través del sistema de control identificando la velocidad de giro del barco siempre que el momento es mayor. Para predecir la interpretación del desempeño del sistema de control, alcanzamos los límites del momento y velocidad angular como:

$$\text{Para } B = 300N.m.s \rightarrow \theta \approx 0.27 \text{ rad/s} \quad ; \quad T \approx 81 N.s \quad (11)$$

Momento de inercia del barco:

Para la obtención del momento de inercia I se basa en función del peso del barco y de sus condiciones y geometría de diseño. Partiendo de la consideración previa del cuerpo como dos prismas circulares de esquina con masas uniformemente distribuidas, conseguimos adquisición de una primera aproximación para el momento de inercia de este diseño:

$$I_{casco} = \frac{M/2}{12}(b^2 + c^2) \quad (12)$$

$$\text{Steiner: } I_{CM} = I_{casco} + (M/2) * d^2 \quad (13)$$

$$I_{TOTAL} = 2 * I_{CM} \quad (14)$$

2.2.11.4. Cinemática.

Se logra tener una aclaración muy definida del modelo cinemático normal del barco, dado que el ejemplo de barco se consigue reducir en algún otro modelo más simple. Puesto que este grado de exactitud está más allá del propósito de este artículo, en este nos centraremos sólo en el ejemplo de barco más sencillo impulsado por dos motores estacionarios que resultan en diferentes modos a fin de proporcionar maniobrabilidad al barco.

En este caso nos interesa el modelo diferencial, ya que el barco propuesto no tendrá timón, siendo la propulsión y el direccionamiento tarea del motor. Las ecuaciones cinemáticas intentarán obtener la velocidad relativa al SR en el eje conectado al barco, así como la velocidad de rotación (cambio de dirección).

En nuestro método se recomienda reducir el cálculo a un punto, c.d.g. de un barco en el cual hay una propulsión de los motores se activan fuerzas y momentos, considerando cada motor en un c.d.g. del mismo. Por lo tanto, algunas constantes del sistema deben obtenerse o corregirse experimentalmente, pero teóricamente es posible realizar cálculos fiables. El diseño del simulador ayudará con esto y su funcionamiento se mostrará más adelante.

Anteriormente se mencionó, que realmente estos sistemas poseen 6 niveles de autonomía, no obstante, se adopta el modelo muy sencillo, el cual nos permite figurar su

localización (x e y) y su directriz (o el ángulo, lo cual figura como θ) relativamente al sistema que está ligado a tierra referencialmente. A partir de un modelo en la superficie del agua, al inicio será apto un sistema de sólo 3 niveles de autonomía, donde los cambios en z (acción de las palas) serán insignificantes y la actividad debidos a la oleada y al aire deja que el barco dé giros en los ejes X e Y. Todo esto supone que se está trabajando en aguas tranquilas y que la relación en medio de la superficie empapada del casco y el agua es suave es una consideración principal.

El sistema SR está referido a la ubicación del c.d.g que se asumimos. Como se mencionó anteriormente, la posición del barco, es decir, en el eje conectado en el barco, en cambio el sistema inercial SI, el mismo, en el eje en tierra ubicado en cierto punto del mapa, la localización y directriz del barco se puede dar en el punto P donde el barco se ubica con relación a este sistema inercial. Pese a eso, la localización y dirección del barco se consigue manifestar de apariencia simplificada en forma vectorial como:

$$\xi_I = [x \quad y \quad \theta] \quad (15)$$

- X sea la coordenada en el sentido Norte-Sur.
- Y sea la coordenada en el sentido Este-Oeste.
- θ indica el punto en el plano de la orientación del barco.

Para relacionar los sistemas de coordenadas locales y globales se realizará por medio de la matriz rotacional ortogonal, por lo cual resulta beneficioso hacia el desplazamiento del barco y se hace menos dificultoso laborar con las ecuaciones de la dinámica. Mediante una matriz rotacional ortogonal se representa en la siguiente forma:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Entonces los sistemas de la velocidad del barco se relacionan de la siguiente manera:

$$\xi_R = R(\theta)\dot{\xi}_I \quad (17)$$

Dado un ejemplo, se considera un modelo de robot que esta impulsado mediante dos ruedas equidistantes del c.d.g en el sistema y en el radio r, que está explicando en la siguiente **figura 25:**

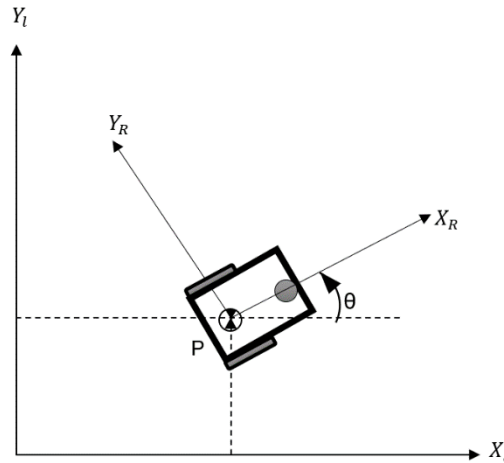


Figura. 25. Forma Diferencial del Robot impulsado por dos ruedas.
Fuente:(Autores)

Estableciendo la señal central P ubicado en medio de dos ruedas motrices y el intervalo l sobre cada rueda, conociendo las velocidades de rotación $\dot{\varphi}_i$ y $\dot{\varphi}_d$ de cada rueda, se debe crear un modelo cinemático del robot en cuanto al sistema relacionado de velocidad global SI. Conseguimos evaluar el desplazamiento del robot en el sistema global referido, basándonos en el entendimiento del desplazamiento del robot en el sistema referido en el robot (SR). Para esto, el planteamiento se define en evaluar primero la colaboración sobre las ruedas al desplazamiento en el sistema local ξ_R [2]. La velocidad de progreso en el sistema local se define como la unión de las velocidades producidas sobre las ruedas en el sistema:

$$\dot{x}_R = \frac{r}{2}(\dot{\varphi}_i + \dot{\varphi}_d) \quad (18)$$

Mientras que las ruedas giran a la misma velocidad con dirección opuesta, el robot gira solo sin cambiar su posición en el plano, como era de esperar. Por lo tanto, el movimiento vertical no contribuye a ninguna de las ruedas del robot con respecto a su eje, está siempre será cero. El componente restante será la velocidad de rotación, el cual logra la misma forma que hacia adelante:

$$\dot{\theta}_R = \frac{r}{2l}(\dot{\varphi}_i + \dot{\varphi}_d) \quad (19)$$

En cada rueda del robot surge una expresión de momento c.d.g para la distancia l. Posteriormente también se usará para derivar las ecuaciones diferenciales que determinan el movimiento del barco. Por tanto, la expresión para el proceder cinemático de los dos sistemas se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$\dot{\xi}_R = R(\theta)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{r}{2}(\dot{\varphi}_i + \dot{\varphi}_d) \\ \frac{r}{2l}(\dot{\varphi}_i + \dot{\varphi}_d) \end{bmatrix} \quad (20)$$

En la representación del modelo cinemático del barco (derecha y contrario), puede emplear un enfoque similar al utilizado por estos robots móviles con ruedas, pero en realidad estará tratando con la rapidez de los 2 motores en el mapa en el movimiento del barco. La expresión obtenida es:

$$\begin{bmatrix} v_{me} \\ v_{mb} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -a \\ 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (21)$$

En el cual se conseguimos que:

$$v_{me} = \dot{x} - a\dot{\theta} \quad (22)$$

Entonces mediante la cinemática derecha se plantea la siguiente forma:

$$\dot{x} = \frac{v_{me} + v_{mb}}{2} \quad (23)$$

Para expresar la velocidad del giro, el denominador es a que es el intervalo del c.d.g del barco y el nivel de fuerza aplicada, motivo que el punto de aplicación de fuerza es de los motores y el nivel en el que se localiza el c.d.g forma una línea recta pasando por las 3 marcas. Correspondiendo a la mitad del ancho del barco se encuentra dicha distancia (l el modelo del robot y a del barco) y su simetría es para los dos motores en este ejemplo.

Cabe señalar que utilizando solamente las demostraciones previas no es posible conseguir una fórmula el cual especifique la forma que se moverá el barco en el mapa, teniendo en cuenta la ubicación de los motores y la marcha de cada motor. Para construir un modelo completo es necesario añadir las expresiones de la dinámica del barco, que incluyen también las fuerzas y momentos que experimenta el barco.

2.2.11.5. Dinámica.

Desarrollar modelos matemáticos que puedan responder eficazmente a las altas perturbaciones son los retos que enfrenta esta investigación. También se necesita la explicación de modo práctico del comportamiento del barco en las condiciones especificadas. Dado que prácticamente ningún sistema responde solo al comportamiento lineal, es fundamental conocer las condiciones que provocarían que el modelo se volviera no lineal, que en nuestro caso serían la alteración de la dirección.

Recordando del apartado anterior, se utilizará la siguiente nomenclatura para definir la ecuación dinámica del barco,

$$\text{Posición}^7: \xi = (x, y, z, \theta, \psi, \phi)' \rightarrow \text{giro: } \theta \ ; \ \text{cabeceo: } \psi \ ; \ \text{balanceo: } \phi$$

$$\text{Velocidad: } \dot{\xi} = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{\theta}, \dot{\psi}, \dot{\phi})'$$

$$\text{Velocidad: } \ddot{\xi} = (\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}, \ddot{\theta}, \ddot{\psi}, \ddot{\phi})'$$

En cuanto los datos que se usaran corresponden a la ubicación en x e y, la dirección o sentido de giro θ .

Se explica también casos más generales para la ecuación del funcionamiento, mientras que el propósito de los cálculos que se requiere en ese nivel de complejidad nos es necesario llegar, por lo que se perdura la posibilidad de operar con 3 niveles de autonomía. Dándonos así una dinámica de la ecuación primordial para la descripción del movimiento del barco y se detalla la fórmula de la cuál es la siguiente:

$$M = F - R \quad (24)$$

En el cual:

- M es la matriz de masa se inercia.
- R es el generador que especifica las fuerzas y momentos del movimiento del barco, lo que se representa como el fluido ejercido sobre el barco por el movimiento del agua en muerto modelo.
- F es las principales fuerzas y momentos que aplica encima del barco, por la propulsión de los motores en nuestro caso.

Simplificando la dinámica de nuestro modelo de expresión matricial del barco se expresará de la siguiente forma:

$$M = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M\ddot{x} \\ M\ddot{y} \\ I\ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$R = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha\dot{x} \\ \alpha\dot{y} \\ B\dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$F = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_F(V_e + V_b) \\ K_F(V_e + V_b) \\ K_F(V_e - V_b) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta * K_F(V_e + V_b) \\ \sin\theta * K_F(V_e + V_b) \\ a * K_F(V_e - V_b) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta * (F_e + F_b) \\ \sin\theta * (F_e + F_b) \\ a * (F_e - F_b) \end{bmatrix} \quad (27)$$

2.2.11.6. Peso aparente

Según el principio de Arquímedes en la superficie del agua el bote flotara. Para esto se debe tener en cuenta las ecuaciones del peso, el volumen, el fluido desplazado $E = \rho gV$ y la propia carga del bote $W = Mg$. A veces, la cantidad de la magnitud de fluido desplazado se

utiliza uniendo con la rapidez de conducción anhelada para determinar cuánta potencia necesita el motor para alcanzar la velocidad que se requiere. Ahora necesitamos estimar el calado del barco y dado que aún no tenemos datos precisos sobre la flotabilidad, tomaremos el calado equivalente de manera uniforme a lo largo del casco para obtener un cálculo adecuado.

2.2.11.7. Propulsión

Las dos fuerzas de composición de la disección de avance es representada como la fuerza de propulsión, lo que realizará las maniobras deseadas y hará que el bote avance. El presente diseño muestra que la fuerza se aplicará a la altura propia que considera el c.d.g. con la mentalidad de reducir los cálculos.

2.2.11.8. Resistencia

Teóricamente, la resistividad ejercida del agua sobre el casco es directamente proporcional a la rapidez del barco, donde se debe tomar un coeficiente de resistencia para la capa que está en comunicación con el agua y por otra parte se considera también la variable velocidad que tiene como afín determinar la figura del casco una vez desprendido en el agua con relación a la superficie. La consideración que tenemos en el diseño es que la relación entre la resistencia del aire y la marcha se expresa con una variable, es decir, un enlace lineal. Con el objetivo de lograr principios más precisos, "se deben modelizar los cambios en la superficie mojada, teniendo en cuenta coeficientes que varían con el eje, y encontrar mejores fórmulas".

2.2.11.9. Posicionamiento

Al emplear distintos sistemas de coordenadas, dependiendo de puntos es posible utilizar referencias y al representar nuestro sistema al configurar el lugar pueden ser los siguientes:

- Sistemas locales: localiza el c.d.g del bote, mediante la configuración de sistema del eje x en la proa, eje y en babor y eje z hacia arriba sin influencias.
- Sistemas globales. Es un marco inercial relativo respectivo a una localización en el plano donde el eje X apunta al norte, el eje Y apunta al oeste y el eje Z apunta hacia arriba. Las direcciones son expresadas mediante ángulos alrededor de estos ejes, respectivamente, pendiente (ϕ), pendiente (ψ) y ángulo (θ), según la regla de la mano derecha (tomando positivo en el sentido de las agujas del reloj), que permite la coordinación a partir de la traslación del marco local al marco general como referencias.

- Sistemas UTM: Este es un sistema de coordenadas más estandarizado y también lo utiliza el sistema GPS. En este sistema, el eje X corresponde al Este, el eje Y corresponde al Norte y el eje Z corresponde a la altitud.

2.2.12. Elaboración y operatividad simple del sistema de control

Una vez conocido las variables y constantes procedemos a poner en consideración el cálculo pertinente al modelo matemático, con ello comenzamos por el modelo original del bote para después enfocarnos en el sistema de control que tendrá como objetivo el movimiento autónomo del objeto. En el sistema de control se va a empezar a describir un esquema básico el cual nos indica las señales a utilizar para controlar de forma secuencial el bote en función de modo que genere compromiso para la determinación del diseño deseado según el avance de este trabajo.

2.2.12.1. Modelo de respuesta de control del bote real

El modelo que rigiere al sistema de control del sistema original del bote esta representado en la **Figura. 26**, donde las entradas son las potencias de los motores y las salidas es la posición, orientación y velocidad, con ello las variables del modelado representan la dinámica que tendrá el mismo.

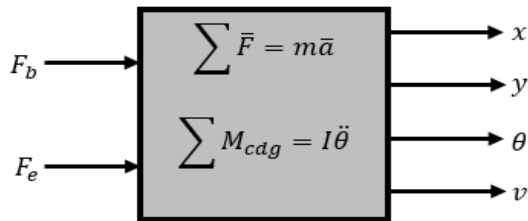


Figura. 26. Variables de entrada y salida de la representación real.
Fuente:(Autores)

Una vez entendido y comprendido el modelado matemático nos centramos en el diseño del esquema del control del barco propulsado por tres motores, mencionando que las ecuaciones propuestas responderán correctamente a la entrada generada:

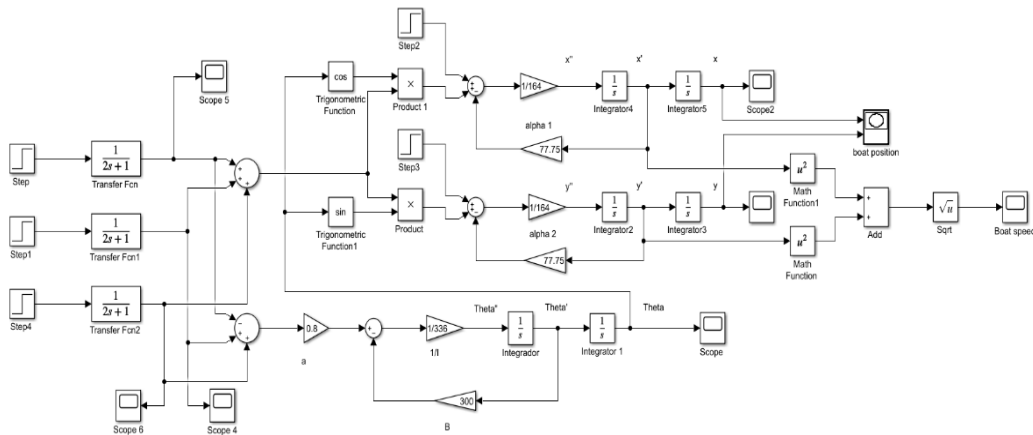


Figura. 27. Sistema físico del modelo propuesto en Simulink.
Fuente:(Autores)

En el diseño se puede observar que se tuvo en cuenta a los efectos externos como el viento, con lo que esencialmente el sistema explica claramente el comportamiento de diferentes cuerpos impulsado cuando se somete a fricción y perturbaciones. Al momento que se conoce la magnitud de fuerza impulsora se conocerá también su ubicación y dirección en cualquier momento.

El diagrama de bloques mostrado para nuestro caso en particular corresponde a las ecuaciones dadas al movimiento de una embarcación en el agua impulsado por tres motores equidistante al c.d.g, dando como resultado que la resistencia ejercida sobre la superficie acuática tiene a soportar dicha fuerza y no solo a ello sino también son resistentes a diferentes velocidades con respuesta de perturbación dando un aspecto positivo al momento de ponerse en marcha.

En el sistema existen consideraciones a tener presente una vez realizado los respectivos experimentos entre ellos se destaca el diseño de bote que viene considerado el tamaño del mismo y la densidad de agua, son algunas de las consideraciones que no están especificadas en el modelo de ecuaciones, que para ello se tiene una derivación de aproximidad a valores de los elementos tal y como fueron representados en las descripciones anteriores con fin de evitar un cambio de valores obtenidos durante las pruebas. Con ello se tiene como última instancia que el sistema del bote actúa por medio del guiado de una persona utilizando diferencial de corrientes respectivos a los motores con la finalidad de desarrollar un recorrido por la zona.

Por tanto, los resultados de la simulación se pueden evidenciar en el anexo 6.

CAPITULO 3

3. MARCO TEORICO

3.1. Sistema solar fotovoltaico

Las energías renovables son la primera opción para la generación eléctrica, este cambio se basa en la contaminación ambiental y lo primordial es los escasos de los recursos convencionales energéticos. Por esta razón es que los sistemas solares fotovoltaicos juegan una importante participación con la generación de energía eléctrica, a pesar que estos sistemas son variantes por los factores ambientales como afecta la temperatura y las insolaciones solares, todo esto afecta la generación máxima de potencias en estos sistemas.

Además, en la actualidad los paneles solares fotovoltaicos son fuente de energía muy esenciales que a través de la radiación solar se puede generar energía eléctrica, para estos sistemas los factores influyen mucho ya sea externos o internos. La mayor parte de la energía solar que recibe el panel fotovoltaico es convertida en energía eléctrica, mientras que el resto de energía solar que queda es absorbido por el panel solar por esta misma razón se ha utilizado sistemas de enfriamiento para evitar la elevación excesiva de la temperatura y mejorar su eficiencia de los paneles fotovoltaicos.

La eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos es indispensable ya que la eficiencia de este sistema es variable que oscilan entre 10% al 23% para la aplicación de esta tecnología que ha sobresalido a nivel mundial, se ha analizado que la energía generada por el sistema solar fotovoltaico, puede ser la opción más aceptable para cubrir la demandas generadas en el futuro, las tecnologías más consideradas para su aplicación están la energía fotovoltaica integrada en edificios y la energía fotovoltaica concentrada.

3.2. Tecnologías aplicables en los sistemas solares fotovoltaicos

3.2.1. Energía fotovoltaica integrada en edificios

Los sistemas solares fotovoltaicos con la tecnología que esta basa en la integración de edificios, hogares o edificios comerciales son una de las principales tecnologías que se han ido aplicando en el mundo para dar solución del suministro de energía ya que esta puede estar conectadas a la red, también estas tecnologías pueden ser utilizadas para comunidades remotas que no tienen acceso del suministro eléctrico de empresas eléctricas. En la actualidad ha tenido un crecimiento muy favorable ya que en todo el mundo se tiene una capacidad de 3500MW de instalaciones de los sistemas solares fotovoltaicos integrados en edificios como fuentes de energía renovables.

Varios países de continente europeo han comenzado a ir dejando poco a poco las tecnologías energéticas convencionales e implementando la energía renovable, por el caso de Europa el 40% representa el consumo de energía en el sector de construcción, por lo cual los sistemas solares fotovoltaicos integrados en edificios se ha ido desarrollando con éxito para la mejor generación de energía eléctrica, a esto unos de los países que ha implementado el sistema solar fotovoltaico integrado en edificios es Italia donde para la generación de energía que ha implementado en edificaciones históricas, por esto han analizado que a partir de la implementación de esta fuente renovable la generación de energía eléctrica aumentará satisfactoriamente con la implementación de estos sistemas.

3.2.2. La energía solar fotovoltaica conectada

Aplicando la tecnología de la energía solar fotovoltaica concentrada que mediante este sistema la concentración de la radiación solar a través de células solares, lo cual para mantener una buena concentración de radiación es necesario tener un sistema de seguimiento solar puesto que este sistema es esencial para la captación o concentración de la radiación solar que está enfocada en las células solares, además estos sistemas tienen un sistema de enfriamiento mediante agua para las pruebas de rendimiento de los módulos fotovoltaicos relacionando diferentes aspectos como es la temperatura, la potencia de salida y la eficiencia, puesto que la eficacia de este sistema ha ido aumentando y ha generado potencia eléctrica mucho mayor.

Además, en el sistema solar fotovoltaico la tecnología de energía solar fotovoltaica concentrada ha emergido en este campo satisfactoriamente al usar eficazmente la energía del sol, pues que las células solares fotovoltaicas han tenido una mayor atención debido a su mejor capacidad de concentración de energía solar, este sistema concentra la energía del sol en un punto reducido de las células solares que maximizan la mayor optimización para la conversión de energía solar en energía térmica. En estos sistemas la concentración máxima que se puede generar es de unos 39% teniendo en cuenta que esta debe tener una radiación adecuada, sin embargo, la eficiencia que se ha podido generar es de 15% - 28% de algunos de estos sistemas, dando a entender que estos sistemas solares fotovoltaicos de concentración están en fase de desarrollo teniendo en cuenta que para estos se consideran muchos factores que intervienen como es la irradiación normal directa, la alta temperatura de la célula, la suciedad, el diseño óptimo, la fiabilidad y la durabilidad estos son lo que hoy en día intervienen para tener una buena eficiencia eléctrica en estos sistemas.

3.3. Sistema solar fotovoltaico en un bote

La energía renovable hoy en día se ha complementado también con el transporte ya que la energía que más se ha utilizado para este medio es la fotovoltaica, se puede decir que es una energía que se ha convertido en tradicional para la generación de energía eléctrica. Por eso la energía fotovoltaica en el transporte ha sido muy poco mencionado para la utilización de generación de energía motriz, por esto se utiliza generador energía auxiliar para barco y vehículos. Varios vehículos pueden estar equipados con equipos que se estén alimentado con energía solar, la potencia y la utilidad en un vehículo solar son muy limitadas al contrario de los vehículos eléctricos que contengan cargas solares esto permite que la utilización de energía solar en transporte sea efectiva. Por esta misma razón se ha ido demostrando en automóviles, barcos y aviones funcionen con energía renovables especialmente con energía solar.

En las últimas décadas la energía solar se ha desarrollado muy rápidamente al contrario de las demás tecnologías, esta tecnología esencialmente las características técnicas, eficiencia de producción, precios y producción ha sido satisfactorias. En la aplicación del transporte está influyendo en la aeronáutica y la marítima por esta razón la tecnología fotovoltaica en aplicaciones energéticas ha ido avanzando para el progreso del futuro en el transporte.

Las tecnología ecológicas en los barcos con la aplicación de energía solar y con otras nuevas tecnologías de generación y propulsión eléctrica con ello se analiza con la propulsión eléctrica integrada, pues se requiere que se aplique el sistema solar fotovoltaico en los barcos, también se analiza los componentes que se requieren para este sistema añadidos en barcos o botes y analizar las características importantes de la red eléctrica que se utiliza en el barco que están basadas en los sistemas solares fotovoltaicos (Chen et al., 2019).

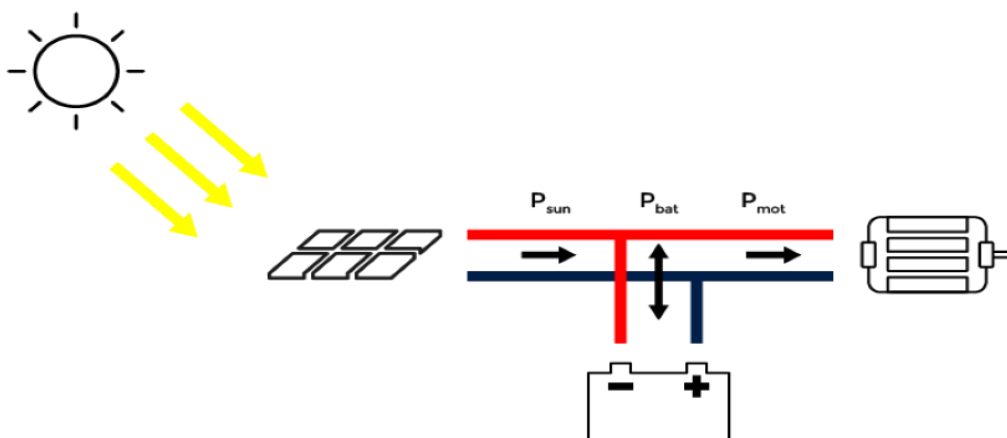


Figura. 28. Sistema solar fotovoltaico
Fuente:(Tecnología, 2023).

La utilización de la energía solar se ha aplicado como una tecnología de ecológica que se ha introducido con mayor interés en el factor del transporte especialmente en los barcos para estos se aplica un sistema híbrido donde se pueda abastecer el sistema eléctrico con un sistema solar conjuntamente con un sistema de almacenamiento de energía (Gaber et al., 2019). Además, para la aplicación de un barco solar se implementa la parte de microrredes, pero esto ha sido un desafío muy grande, pues que la energía solar tiene una incertidumbre muy grande que afecta a la carga y funcionamiento de las microrredes en barcos, por esta razón se ha analizado las gestiones de energía en barcos como es la probabilidad de generación, transformación y reducción (Hou et al., 2023).

Los botes o barcos que tienen los sistemas solares fotovoltaicos preliminarmente siguen procedimientos para la obtención del tamaño del bote o barco, por esta razón surgen la problemática de la estabilidad y velocidad de operación esto, se basa por la ocasión del centro de gravedad que tienen los paneles solares y el banco de baterías por lo que el rendimiento total del barco solar toma una gran acogida. Además, para los barcos solares se han analizado dos sistemas de los cuales el primer sistema está basado en la carga de las baterías mediante la obtención de la energía solar, el segundo sistemas es el análisis de la alimentación directa con energía solar a todos los sistemas eléctricos del bote que están en funcionamiento, al utilizar este sistema la energía solar es la fuente de energía principal y se puede optar a la optimización del tamaño de banco de baterías, basado en estos dos sistemas el diseño del barco eléctrico esta aplicado directamente para la sistema eléctrico para la recarga del sistema de banco de baterías, debido a esto no se obtendrá perdidas de energía al momento de la carga y recarga. Así los sistemas solares fotovoltaicos distribuidos contribuyen mucho en este tipo de aplicación.

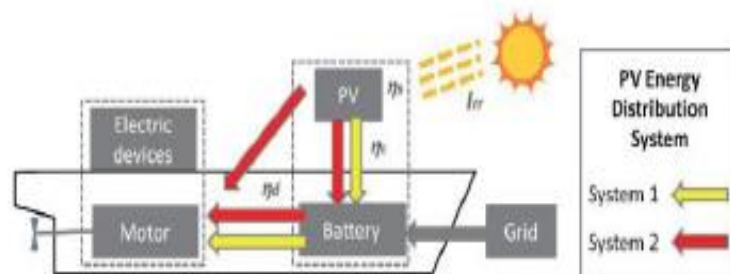


Figura. 29. Diseño de 2 sistemas para embarcaciones con energía solar.
Fuente:(Chao et al., 2018).

3.4. Motor de corriente continua

El motor de corriente continua se define como una máquina que tiene la capacidad de convertir la energía eléctrica en energía mecánica que genera campos magnéticos con la misma se aprovecha las fuerzas de atracción y repulsión de los polos que a si generan rotación. Por la misma razón es que el motor de corriente continua sin escobillas es una

máquina giratoria auto síncrona con un rotor de imanes permanentes y con posiciones conocidas del eje del rotor para la conmutación electrónica (Kusko & Peeran, 1988).

Además podemos decir que los motores de corriente continua se analizan varios tipos de motores CC como es el motor con rotor de imán permanente y estator bobinado esta clase de motor se refiere a que esta energizado con fuente de corriente continua mediante interruptor de transistor que controla un sensor de posición de eje, el motor con rotor PM y estator bobinado en cambio este clase de motor mediante un inversor la frecuencia y la tensión que salen son controlada individualmente de la posición de eje, el motor de rotor y estator bobinado este motor al no contar con escobillas se alimenta por el efecto de excitación de los devanados del rotor y se alimenta inversamente para el estator al que se puede ser auto conmutado por la máquina, el motor de inducción con bobinados de estator alimentado por inversores auto conmutados se alimentan por enlaces de CC de convertidores a este sistema se utiliza sensores de posición de eje para el control vectorial (Singh & Singh, 2009).

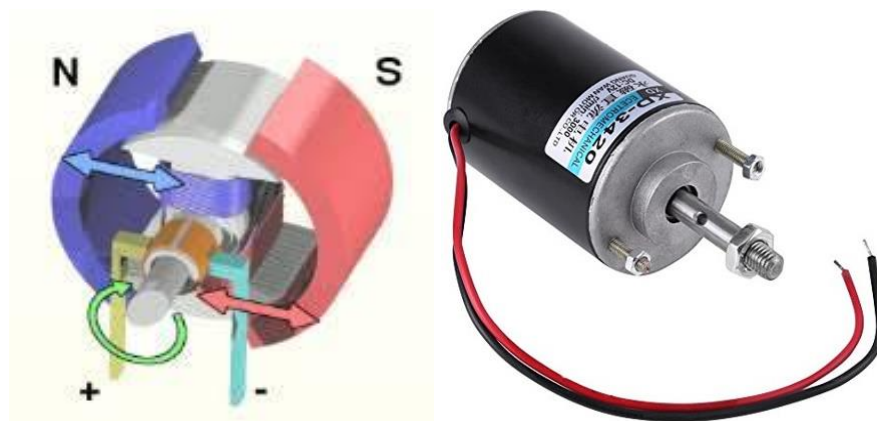


Figura. 30. Motor de imán permanente
Fuente:(García, 2014).

3.5. Sistema de control

3.5.1. Microcontroladores

Se define a un microcontrolador como un componente electrónico del tamaño de una tarjeta de crédito que contiene varios subcomponentes electrónicos que conforman un mini circuito electrónico, este circuito está definido por tener la característica de ser programable por medio de un lenguaje que sea compatible, bien así dependiendo de lo que se requiera se ensamblará un lenguaje programado con el respectivo código para que así el chip reciba las órdenes y puedan ser ejecutadas (Severance, 2013). Con esta pequeña definición podemos decir que para nuestra investigación utilizaremos el microcontrolador raspberry, pero la adaptación del modelo se definirá más adelante una vez analizado las características de cada uno, lo que se puede detallar es que utiliza un lenguaje de programación Python.

3.5.2. Raspberry Pi

La Raspberry Pi que en español significa Frambuesa Pi tuvo sus orígenes en el Reino Unido a inicios del año 2006 por Eben Upton quien trabajó para la Universidad de Cambridge y comenzó con la idea de crear una mini computadora a bajo costo, bien así con el pasar de los años a inicios del 2012 Eben logró fabricar la primera Raspberry en una placa en miniatura la misma que contiene un procesador de hardware y software en un mismo chip (Halfacree & Upton, 2012).

Con este desarrollo se puede lograr generar un sin número de actividades ya que contiene componentes electrónicos adicionales como puertos USB, Conectores Bluetooth, entre otros equipos electrónicos, todo esto se lleva a cabo con la necesidad que requiera el propietario y se da por medio de una programación en Python para luego ser cargada al centro de control Hardware (Vázquez-Bautista, 2022). Dicho esto, se presenta un listado de tipos de modelos raspberry que han ido evolucionando y mejorando con el pasar de los años.

3.5.3. Raspberry Pi 1

Como se puso evidenciar en párrafos anteriores se determinó que en el 2012 nace la primera raspberry a la misma que le ponen de nombre “raspberry pi 1”, al ser la primera en el mercado posee las siguientes características: un total de 26 salidas de puertos GPIO, salidas para video por medio de HDMI o también por Video RCA, una única entrada de puerto USB, Jack conector de 3.5 mm, entrada de alimentación por Micro USB; en cuanto a características de procesamiento y memoria dispone de las siguientes: procesador Broadcom BCM2835, Single Core hasta 700 MHz, con una memoria RAM de 256 Mb; para el encendido de la placa se requiere de un valor nominal de 4.5 hasta 5 voltios continuos y 2 ampers en corriente lo que se caracteriza de otras versiones, para ese entonces el valor en dólares costaba alrededor de \$ 44 y un valor en euros de 40 (Vázquez-Bautista, 2022).

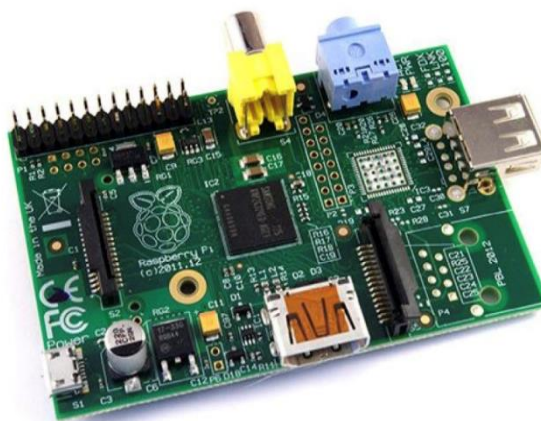


Figura. 31. Raspberry Pi modelo A
Fuente:(Halfacree & Upton, 2012).

3.5.4. Raspberry Pi 2

Este modelo a diferencia de la mencionada anteriormente es una versión duplicada en algunos aspectos que se detallan a continuación: por ejemplo posee doble puerto USB, un puerto de conector RJ45 para conexión a internet; en cuanto a su procesador es evidente que también fue mejorado siendo sustituido el Broadcom BCM2835 por BCM 2836, con una Single Core de 700 MHz hasta 900 MHz, con una nueva memoria RAM que los valores van entre los 512 MB hasta 1 GB logrando así pasar a ser de un solo núcleo a tener 4 núcleos (Vázquez-Bautista, 2022).



Figura. 32. Raspberry Pi 2.
Fuente:(«Raspberry Pi», 2023).

3.5.5. Raspberry Pi 3

En el año 2016 surge un nuevo modelo de raspberry manteniendo algunas de las características de los modelos anteriores y mejorando en otros aspectos de su procesador y adaptando un nuevo puerto de conectividad de mayor accesibilidad para la conexión a internet, con esta pequeña introducción a continuación se detalla algunos de los cambios que se obtuvieron con este nuevo modelo: en primera instancia esta la renovación de su procesador denominado Quad Core de 64 bits con un valor promedio de 900 MHz hasta un 1.4 GHz de RAM, por otra parte se destaca la implementación de conectividad WI-FI brindando una conexión inalámbrica más confiable y sin la necesidad de un conector red, en las versiones anteriores la conexión bluetooth era por medio de puertos que para su respectivo uso se debía realizar la programación requerida para activar el puerto requerido a diferencia de esta nueva versión que viene incorporada la red bluetooth (4.2) con su respectivo comando de activación (Vázquez-Bautista, 2022).



Figura. 33. Raspberry Pi 3.
Fuente:(Alx, 2018).

3.5.6. Raspberry Pi 4

Una de las últimas versiones que contienen este modelo de placa o chip es el mencionado raspberry pi 4 que fue fabricado en el año 2019, a diferencia de la raspberry pi 3 presenta mayores cambios radicales y como se ha venido observando principalmente está en el tipo de procesador que tienen en su interior, por tanto se presenta los cambios que tiene este nuevo y último modelo a la vez: como se mencionó principalmente está en el cambio de procesador por lo que este nuevo modelo presenta un procesador Broadcom que tiene una capacidad de RAM que puede oscilar entre los 2 GB hasta los 8 GB, otra característica que presenta es que el puerto HDMI se modificó de uno por dos para una mejor entrada para una microHDMI, este modelo contiene un aspecto que ninguna de los modelos anteriores presentaban y es que tiene la capacidad de manejar una pantalla LCD de 4K con una frecuencia de 60 Hz o a la vez dos pantallas 4K con frecuencias de 30 Hz cada uno (Vázquez-Bautista, 2022).



Figura. 34. Raspberry Pi 4.
Fuente:(Alx, 2018).

Actualmente en el mercado nacional existen otros modelos de Raspberry como por ejemplo tenemos la Raspberry Pi 400, Raspberry Pi Pico, Raspberry Pi Zero, entre otros modelos («Raspberry Pi», 2023), que por sus características y el modelado estructural de las mismas no son estudiadas con profundidad en este trabajo de investigación ya que se presentó algunas de las alternativas que podemos tomar como parte para el desarrollo del trabajo práctico que se describirá más adelante en los siguientes capítulos.

3.6. Lenguaje de programación Python

En el mundo de los diferentes softwares de programación nos encontramos con el conocido Python al que se define como un lenguaje programable sencillo y de alta eficiencia que es utilizado principalmente en el desarrollo de aplicaciones web, áreas que requiera de científica computacional, y el machine Learning. Python se caracteriza por ser un lenguaje de libre programación y de libre acceso en todos los sistemas operativos como Linux, Windows, Mac OS, y tiene la capacidad de aumentar la velocidad de procesamiento conforme se lleve el desarrollo de la programación (Vargas, 2023).

3.7. Teléfonos inteligentes y Sistemas operativos Android

Un teléfono inteligente es un dispositivo móvil o que también son conocidos como Smartphone o el más común celular que viene incorporado diferentes aplicaciones y que a la final funciona como una herramienta esencial para todas las personas de uso diario (Camarena & José, 2016). Se dice también que un dispositivo móvil se caracteriza por las diferentes funciones que se puede realizar como por ejemplo tenemos reproductores de audio y video, acceso a internet en cualquier localidad entre otros beneficios, pero lo más novedoso es que se puede descargar aplicaciones según lo requerido (Jung, 2014).

El sistema operativo Android es un software de código abierto que año tras año va mejorando de acuerdo a las necesidades de los usuarios, al estar ligado a los teléfonos móviles conjuntamente conforman una herramienta que se ve reflejado en una pantalla táctil los beneficios que podemos encontrar es que al estar integrado hardware que permiten acciones valiosas como sistemas de comunicación (bluetooth, wi-fi, punto de acceso a internet), otras acciones como la capacidad de tomar fotografías en tiempo real, juegos, entre otras actividades que nos permite este sistema operativo («Android OS», 2015).



*Figura. 35. Sistema operativo Android.
Fuente:(Hrmdz, 2016).*

3.8. Protocolo de comunicación bluetooth

3.8.1. Definición

Según la IEEE define a bluetooth como una herramienta que permite la comunicación entre dispositivos a una distancia aproximada, se produce gracias al intercambio de señales entre un emisor y un receptor (maestro-esclavo) que permiten transmitir información de voz y/o datos con el fin de recibir información y de dar información el uno al otro. (Acosta Ponce, 2006). El protocolo de comunicación bluetooth presenta beneficios muy importantes como por ejemplo tenemos que su valor en precio es relativamente económico, también se destaca por lo que su consumo de energía es mínimo lo que le hace ahorrar un porcentaje en cuanto al consumo, adicional a ello se menciona que la distancia en el que puede operar sin ningún inconveniente ronda los 10 metros y no necesita de ninguna licencia para entrar en operación

por lo que se puede utilizar en cualquier medio que se vea la necesidad de optar por este medio como en la actualidad están en los teléfonos móviles.(Gabriel Alejandro, 2018).

Nuestro trabajo de investigación consiste en controlar por medio de señal bluetooth y un Smartphone por lo que una vez teniendo el concepto claro y todas las ventajas que este presenta a continuación presentamos las alternativas y tipos de bluetooth que podemos escoger para el presente en el desarrollo práctico que se describirá en los capítulos posteriores.

3.8.2. Bluetooth HC-05

Es un componente electrónico integrado que tiene la capacidad de intercambiar datos y/o información por medio de algún puerto serial, el intercambio de datos se puede ejecutar ya sea que este dispositivo actúe como maestro o esclavo por lo que puede cumplir ese rol sin ningún inconveniente siendo esta la carta principal del modelo HC-05. Para la configuración del mismo basta con tan solo ingresar comandos que permitan activar el puerto de una manera fácil y sencilla. (Camarena & José, 2016).



Figura. 36. Modulo Bluetooth HC-05.
Fuente: (Módulo Bluetooth HC05, s. f.).

3.8.3. Bluetooth HC-06

De la misma manera que el HC-05 el HC-06 tiene la misma característica física de ser un componente electrónico integrado que permite el cambio de información y/o datos por un puerto serial, lo que le diferencia es que este dispositivo solo tiene la capacidad de actuar como receptor lo que le hace que la configuración sea de la sencilla en activarlo (Prieto Antón, 2016).



Figura. 37. Modulo Bluetooth HC-06.
Fuente: (Modulo Bluetooth HC06, s. f.).

3.9. Lenguaje de programación para app

El desarrollo de aplicaciones para los teléfonos móviles dependerá del modelo y marca del mismo, por ello en este trabajo de investigación nos centramos en los aplicativos móviles que operan con Android ya que actualmente podemos encontrar varios medios que nos permitan realizar el modelo y forma de nuestra aplicación sin tener que valernos de muchos permisos y de una manera fácil y sencilla a diferencia del modelo IOS que su aplicativo en la creación de una aplicación tiende a tener un cierto grado de dificultad, con esta pequeña introducción se presente un listado de medios que podemos encontrar para el desarrollo de la aplicaciones y que nos servirá para desarrollar la nuestra en una de ellas.

3.9.1. Android studio

Inicialmente se conoció con el nombre de Eclipse en el año 2008 por la compañía de Google que utilizaban capacidades de entorno de desarrollo integrado (IDE) debido al primer desarrollo de Android 1.0, para años posteriores entre 2009 y 2012 esta herramienta se convirtió en un pilar importante en el incremento de nuevas versiones y en el desarrollo del SDK que permite a Android tener acciones de descarga (Pekyürek et al., 2020). Finalmente en el año 2013 el nombre Eclipse se cambió por Android Studio debido a la unión de capacidad de entorno desarrollo integrado (IDE) y a las herramientas de desarrollo de Android (ADT), por lo que inicialmente estas dos sofisticaciones se tenían que instalar por separado viendo así de juntarlas en un solo archivo y con su respectivo nombre, Android Studio se basa en el IntelliJ de JetBrains que en términos de programación es un IDE de Java comercial por lo que brinda una versión comunitaria actualizable y no necesita ser pagada para su uso para la creación de aplicaciones (Hagos, 2018).

3.9.2. MIT App inventor

A diferencia de otras aplicaciones que requieren de líneas de programación, MIT App Inventor es un entorno de programación visual e intuitivo por medio de bloques constructivos facilitando la creación de aplicaciones la cual desde un niño puede empezar a tener sus primeras experiencias en el mundo de la programación en la creación de aplicaciones (CHARDONNEAU, s. f.).

La creación de apps por medio de la programación en bloques permite al programador tener una organización sofisticada de lo que quiere realizar, y adicional a eso por medio de este medio se dice que es una herramienta para el punto de acceso a la mayoría de las acciones que puede realizar un dispositivo móvil (Pokress & Veiga, 2013).

CAPITULO 4

4. DISEÑO DE LA APP PARA DISPOSITIVOS ANDROID

4.1. Metodología para el diseño

En el capítulo 1 estudiamos todo el proceso del sistema de control que presenta la parte eléctrica del bote, en este capítulo se presenta el desarrollo del sistema de control con el apoyo de herramientas como diagramas de bloques, de casos de uso, requerimientos y de secuencia. En estos diagramas se muestra de manera detallada las funciones y actividades que cumple cada parte del sistema para la automatización del bote y la interrelación entre los distintos componentes. La elaboración de los diagramas se efectuó en el software Visual Paradigm.

4.1.1. Descripción estructural del sistema

En la **Figura 38** se aprecia el diagrama de bloques del sistema, la cual muestra los principales componentes en las que se encuentra dividida el sistema. El primer componente del sistema es un APP móvil para dispositivos con sistema operativo Android para permitir al usuario el control del bote. El segundo componente es el sistema de comunicación que consta del cerebro del sistema, en este caso la Raspberry. El tercer componente es el circuito de acople para protección y activación de motores. A continuación, se detalla cómo fue diseñada cada componente del sistema.

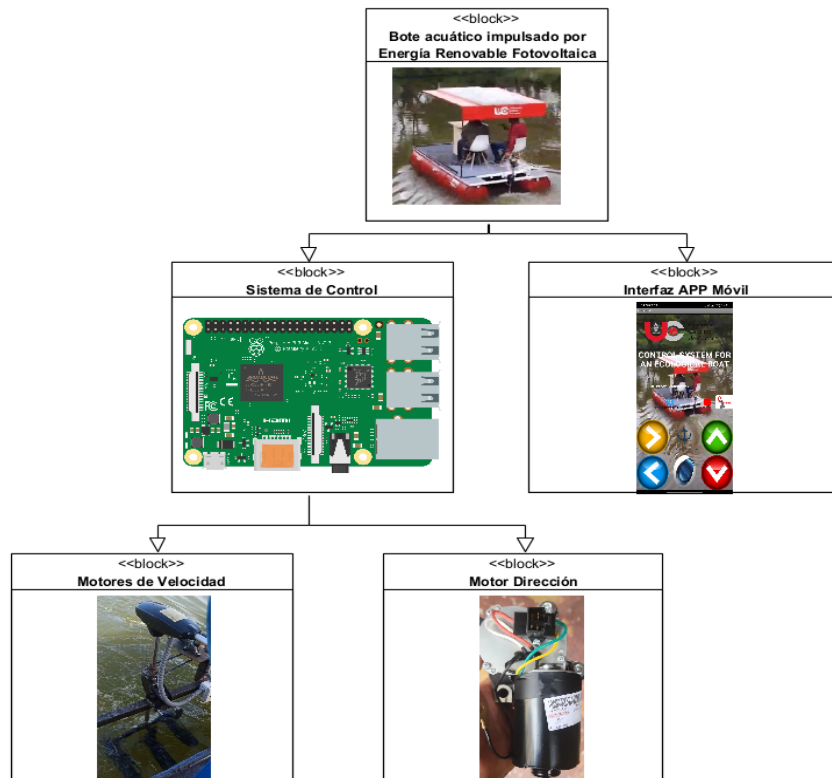


Figura. 38. Diagrama de bloques del sistema.

Fuente:(Autores)

4.1.2. Diagrama de Uso

Para especificar la conducta que tendrá el sistema y las interacciones que se pueden realizar se usó el diagrama de casos de uso.

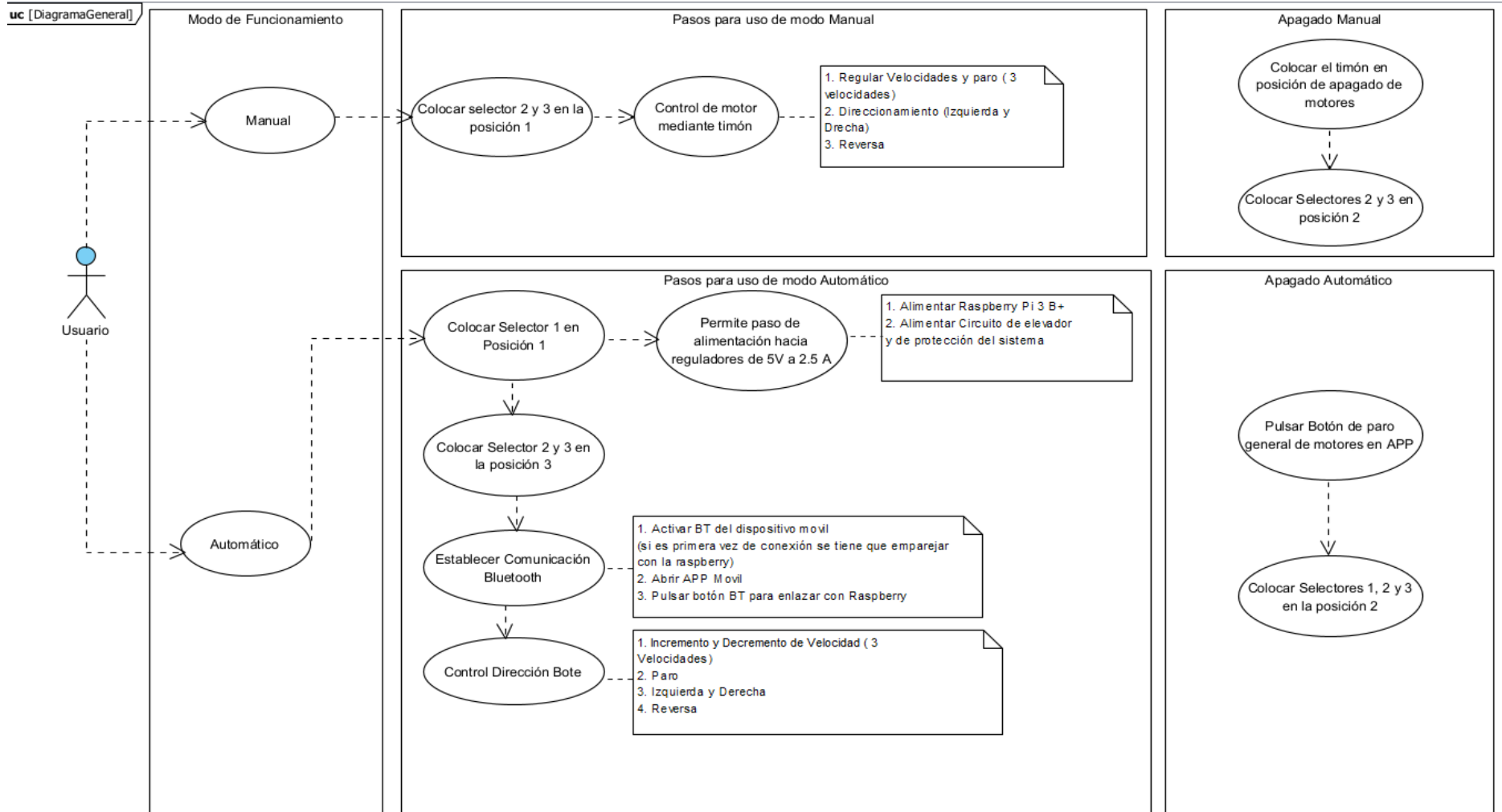


Figura. 39. Diagrama de uso del sistema.
Fuente:(Autores)

En la **Figura 39** se puede apreciar el diagrama del uso que tiene el sistema y las opciones específicas que permite. Primero se puede apreciar que el sistema es controlado por un usuario, el cual tiene dos opciones de control para el sistema que son modo Manual y Automático.

En el caso del modo manual, lo primero que se debe hacer es colocar un selector en la posición 1 la cual permite el control del bote mediante un timón que regula las velocidades y su dirección.

Por otro lado, si se selecciona el modo Automático se debe colocar el selector en la posición 3 de tal manera que permita ser comando por la Raspberry mediante comunicación bluetooth con un móvil con sistema operativo Android que envía comando para decidir su orientación y velocidad.

4.1.3. Requerimientos del sistema

El sistema debe tener un hardware que consta de un sistema de alimentación, protección y de actuadores. Por otra parte, el software del bote constara de un sistema de control. Adicionalmente, cabe destacar que el hardware se comunicará mediante Bluetooth con el software. Cada uno de estos sistemas se explicarán a continuación de manera más detallada.

4.2. Hardware

4.2.1. Requerimientos del sistema de alimentación

El sistema de alimentación será el encargado de entregar voltaje a todos los componentes tanto eléctricos como electrónicos que componen el bote. Cabe destacar que el sistema ya cuenta con un suministro mediante energía renovable fotovoltaica. Los componentes a los cuales se les debe suministrar alimentación son:

- Motores de velocidad
- Motor de dirección
- Raspberry
- Sistema de Protección

4.2.2. Requerimientos del sistema de protección

El sistema de protección debe tener un circuito que sea el encargado de impedir consumos altos de corriente o contra voltajes. Este circuito deberá ser implementado especialmente para evitar esos problemas a los sistemas electrónicos, específicamente a la Raspberry que es el cerebro del bote. Este al tener baja tolerancia de corrientes y voltajes es primordial aislarlas del alto consumo que generaran los motores.

4.2.3. Requerimiento del sistema de actuadores

Dentro del sistema de actuadores se tendrá un circuito que habilite el paso de voltaje para los motores de dirección como de velocidad. Este sistema tiene una funcionalidad adicional que consta en permitir que el bote se controlado en modo manual como automático.

4.3. Software

4.3.1. Requerimiento del sistema de control

Este sistema será el encargado de permitir al usuario poder tener control tanto de velocidad como de dirección del bote. El desarrollo y funcionamiento debe ser mediante una aplicación móvil que será ejecutada en el sistema operativo Android. Esta APP debe tener las siguientes funciones para controlar: la velocidad (aumentar y disminuir), dirección (derecha e izquierda), paro general, reversa, conexión.

4.3.2. Diseño de hardware

El diseño del hardware se puede apreciar en la **Figura 40**. En la que se puede evidenciar desde la alimentación, sistema control, protección y actuadores.

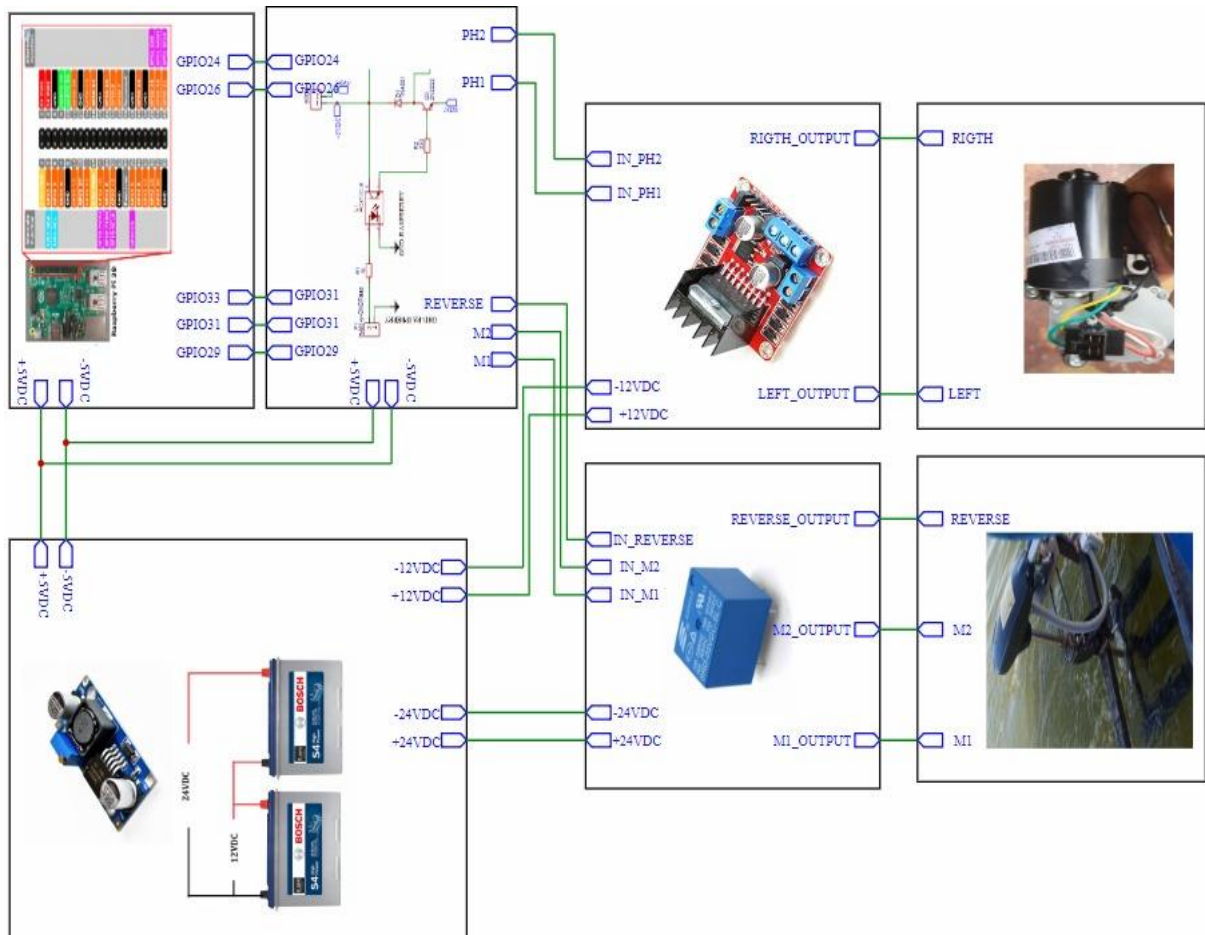


Figura. 40. Esquema de conexión del Hardware del bote.
Fuente:(Autores)

4.4. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación dependerá directamente de la energía renovable fotovoltaica la cual entregará voltaje a dos baterías de 12 VDC conectadas en serie con el objetivo de obtener en los bornes de salida 24 VDC. El motivo para usar 24 V es porque los motores de velocidad del bote manejan estos rangos de voltaje. **Figura 41.**

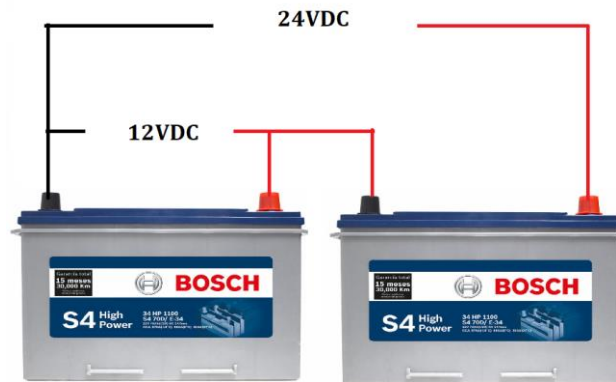


Figura. 41. Conexión de baterías para 12 y 24 VDC.
Fuente:(Autores)

Teniendo los 24 VDC se procedió a generar voltajes de alimentación para la Raspberry, sistema de protección y para el circuito encargado del motor de dirección.

Al ser sistemas de bajo consumo de corriente y voltaje se usó solamente 12 VDC. Tanto la Raspberry como el sistema de protección necesitan suministros de voltaje de 5VDC, como se observa en la **Figura 42.** En este caso para generar ese voltaje se usó un regulador de voltaje DC/DC Step Down LM2596 que consta de las siguientes características:

- Basada en el regulador LM2596 que permite regular la salida entre 1.5 a 35Vdc
- Voltaje de ingreso de 4.5 a 40V
- Corriente de salida máxima de 3A (Raspberry consume 2A)
- Placa PCB con dimensiones de 43x20x14 mm
- La frecuencia de switching de 150 KHz.



Figura. 42. Módulo LM2596.
Fuente:(Autores)

Este regulador cumple todas las necesidades del sistema y permite un correcto suministro de voltaje/ corriente para los componentes a los que se les conectara.

4.5. Sistema de protección

Para el sistema de protección se usó un circuito basado en un opto acoplador (PC 817) el cual permite aislar el sistema electrónico de bajo voltaje del sistema de voltaje más alto y con un mayor consumo de corriente.

El opto acoplador consiste en un diodo que al ser energizado emite una luz infrarroja que excita a un transistor de forma óptica. El principal objetivo de este componente es el aislamiento entre dos circuitos usados generalmente en sistemas embebidos para control de motores AC, sistemas de control y otras. Adicionalmente este transistor permite una suspensión de ruido al ser usados en circuitos de conmutación. Algunas de las características son:

- Encapsulado: PDIP-4
- 1 canal
- Corriente directa: 50 mA
- Corriente máxima 1 A
- Disipación de potencia: 70 mW
- VCE: 80 V
- VECO: 6V
- Temperatura de trabajo: desde -30 C hasta 100 C.

El PC817 se usó para aislar la Raspberry del sistema de alto voltaje, debido a que las salidas GPIO del microordenador generan 3.3 V y son bastante sensibles a voltajes mayores que pueden dañar el procesador y otros componentes del sistema. Por lo que se observa en la **Figura 43** el circuito de protección.

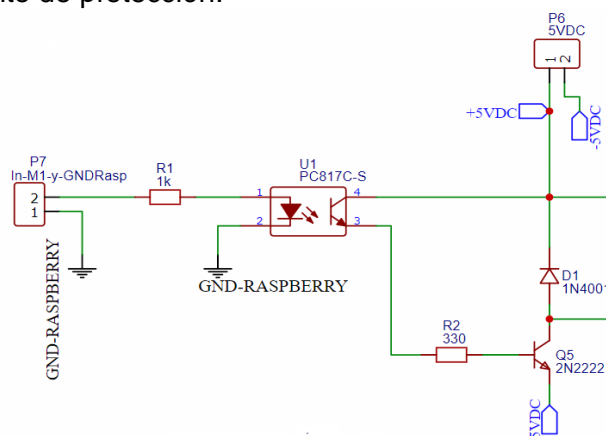


Figura. 43. Circuito de protección.
Fuente:(Autores)

En el esquema anteriormente visto se puede apreciar que a la salida tiene una resistencia, transistor y diodo que es donde se conecta el relé y son los pines de salida. Este pequeño circuito se usó para aumentar la corriente del sistema con el objetivo de activar los relés de paso de voltaje. Una última acotación del circuito es que se usó un diodo que sirve para evitar corrientes inversas de los relés.

4.6. Sistema de actuadores

Para energizar los diferentes motores del bote se realizó un circuito de actuación para cada salida debido a que el control de cada uno varía en cuanto a su actividad y voltaje. Por tal motivo se realizó tres circuitos de salida que son:

4.6.1. Circuito de actuador Motor 1

La actividad que va a desarrollar este motor es la velocidad baja. En este caso es necesario generar voltaje continuo en un solo sentido (+, -) para que el motor genere un impulso hacia el frente. El circuito usado basándose en la tarea que va a desarrollar es el mostrado en la **Figura 44**.

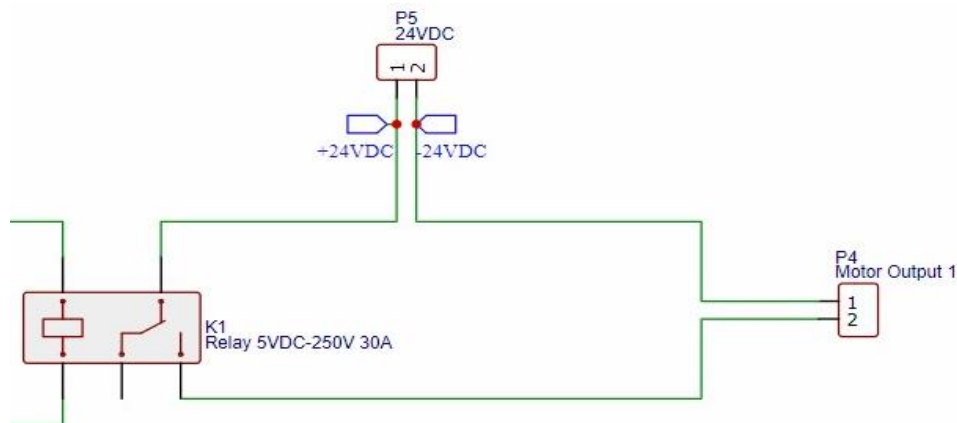


Figura. 44. Circuito actuador para motor 1.
Fuente:(Autores)

En la figura se muestra un relé de 5VDC para excitación de bobina y que maneja voltajes de paso de hasta 250 V a 30 A. Para excitar la bobina y saber cuándo se activa el motor 1 se usa un pin de salida de la Raspberry conectado al circuito de protección. Por otra parte, el voltaje a manejar es 24 VDC para el motor 1.

4.6.2. Circuito de actuador Motor 2 y 3

En este segundo caso, los motores serán usados tanto para impulsar el bote hacia adelante generando la velocidad media y también se encargará de la reversa. A diferencia del motor 1 que manejaba el voltaje en un solo sentido este tendrá que invertir la polaridad para rotar el eje tanto en sentido horario como anti horario. El circuito implementado se encuentra a continuación en la **Figura 45**.

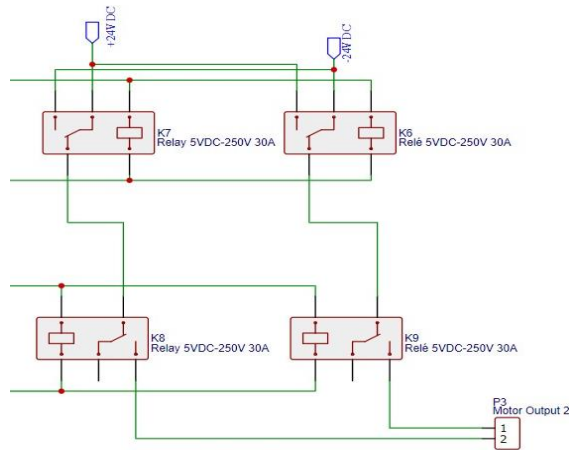


Figura. 45. Circuito actuador para motor 2 y 3.
Fuente:(Autores)

4.6.3. Circuito de actuador para motor de direccionamiento

Finalmente, para el motor que permitirá definir la dirección del sistema se usó un circuito diferente a los dos anteriores debido a que manejan un voltaje de 12 VDC y también se tendrá que generar voltaje en ambos sentidos, con el objetivo de direccionar al bote hacia la izquierda como para la derecha. Se usó el siguiente circuito que se observa en la **Figura 46**:

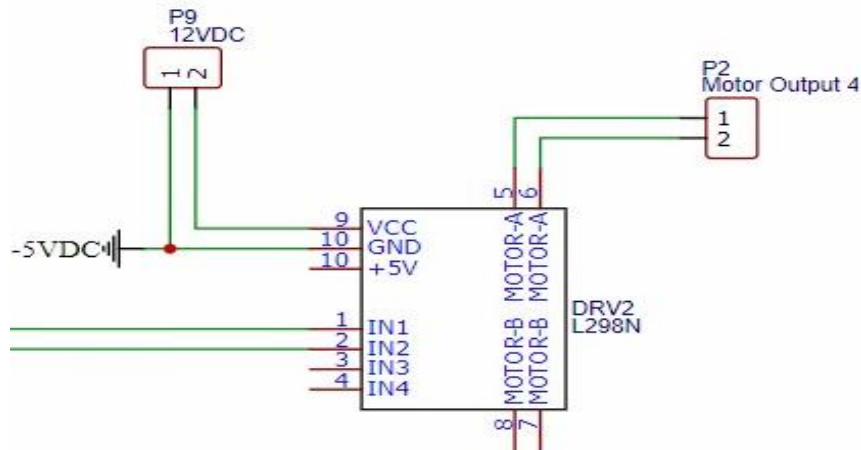


Figura. 46. Circuito actuador para motor 4.
Fuente:(Autores)

En este último caso se usó un módulo L298N que se aprecia en la **Figura 47** y que cuenta con las siguientes características:

- Capaz de soportar el control de giro de 2 motores
- Rango de voltaje de salida para el motor de 5 a 35 VDC
- Corriente máxima de salida de 2 A
- Corriente máxima pico de 3A
- Potencia máxima de 25W
- Voltaje lógico para activación 5VDC

- Rango de consumo de corriente lógica de 0 a 36 mA.

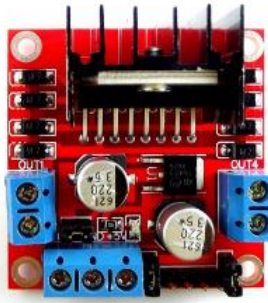


Figura. 47. Módulo L298N.
Fuente:(Autores)

De acuerdo con estas características ese modulo cuenta con la capacidad para manejar el motor de direccionamiento al cual se le denomino Motor 4. Los voltajes de entrada serán de 12 V y el voltaje lógico de 5V que será enviado por parte de la Raspberry pasando por el circuito de protección.

Teniendo todos estos circuitos y la razón para ser diferentes y usados según su actividad el esquema general para el hardware es el se aprecia en la **Figura 48** y **Figura 49**.

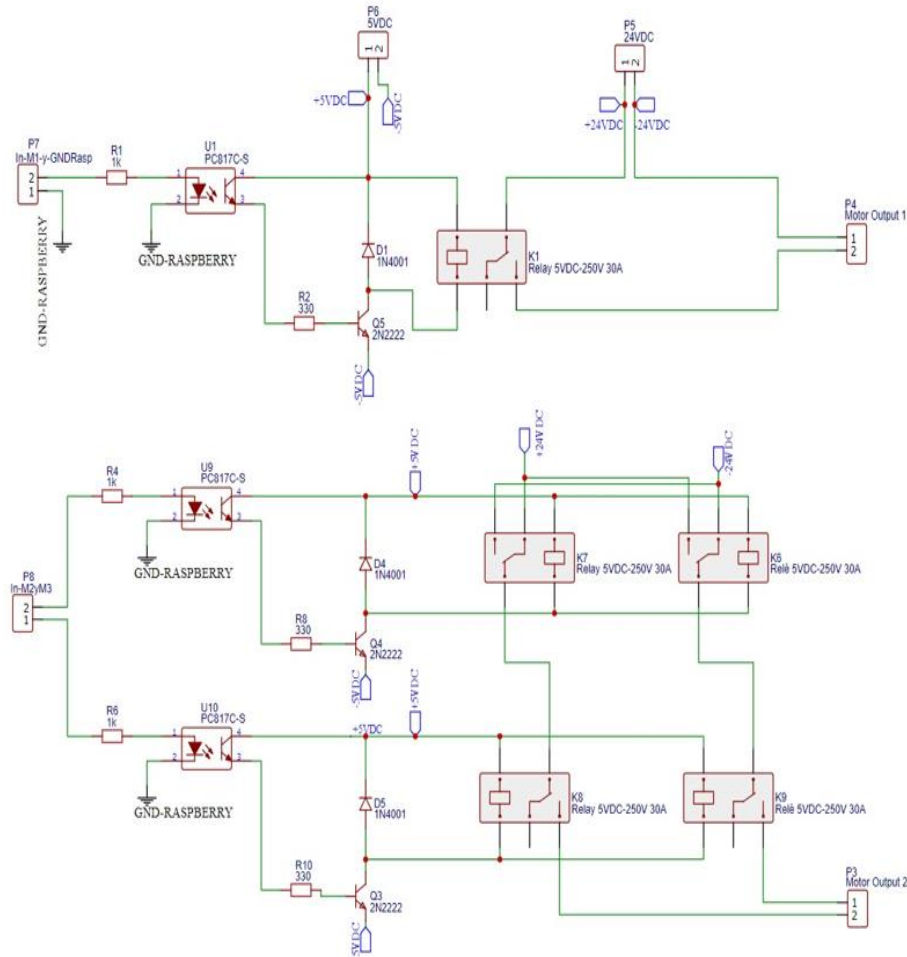


Figura. 48. Circuito de protección y actuador para motores 1,2 y 3.
Fuente:(Autores)

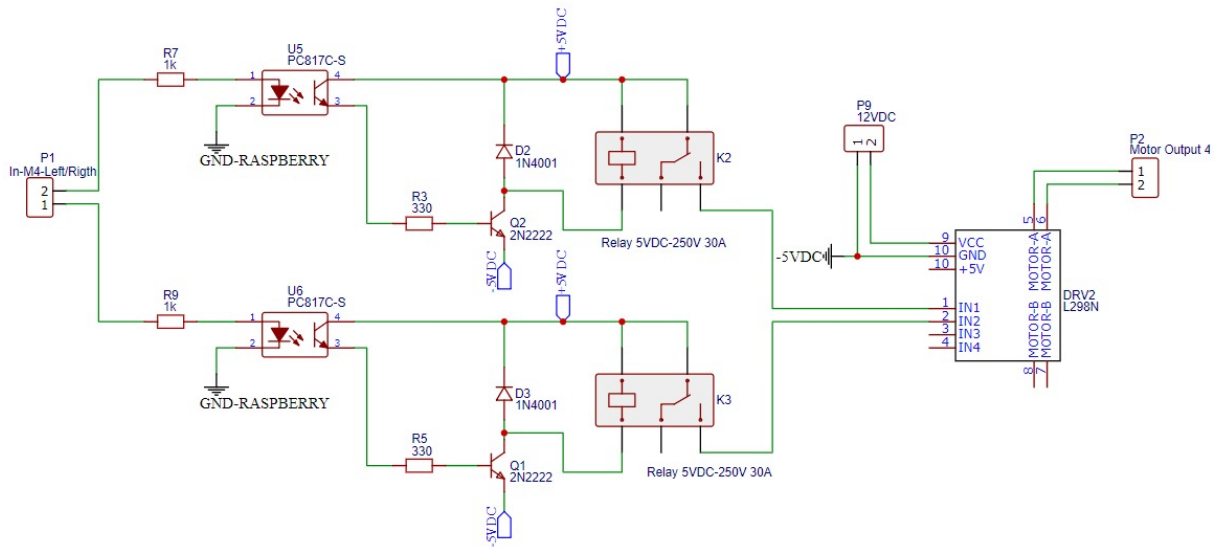


Figura. 49. Circuito de protección y actuador para motores 4 de direccionamiento.
Fuente:(Autores)

Adicionalmente, en el hardware se realizó un diseño de una placa que contiene los componentes usados juntos con entradas y salidas del sistema a la cual se puede observar en la **Figura 50**.

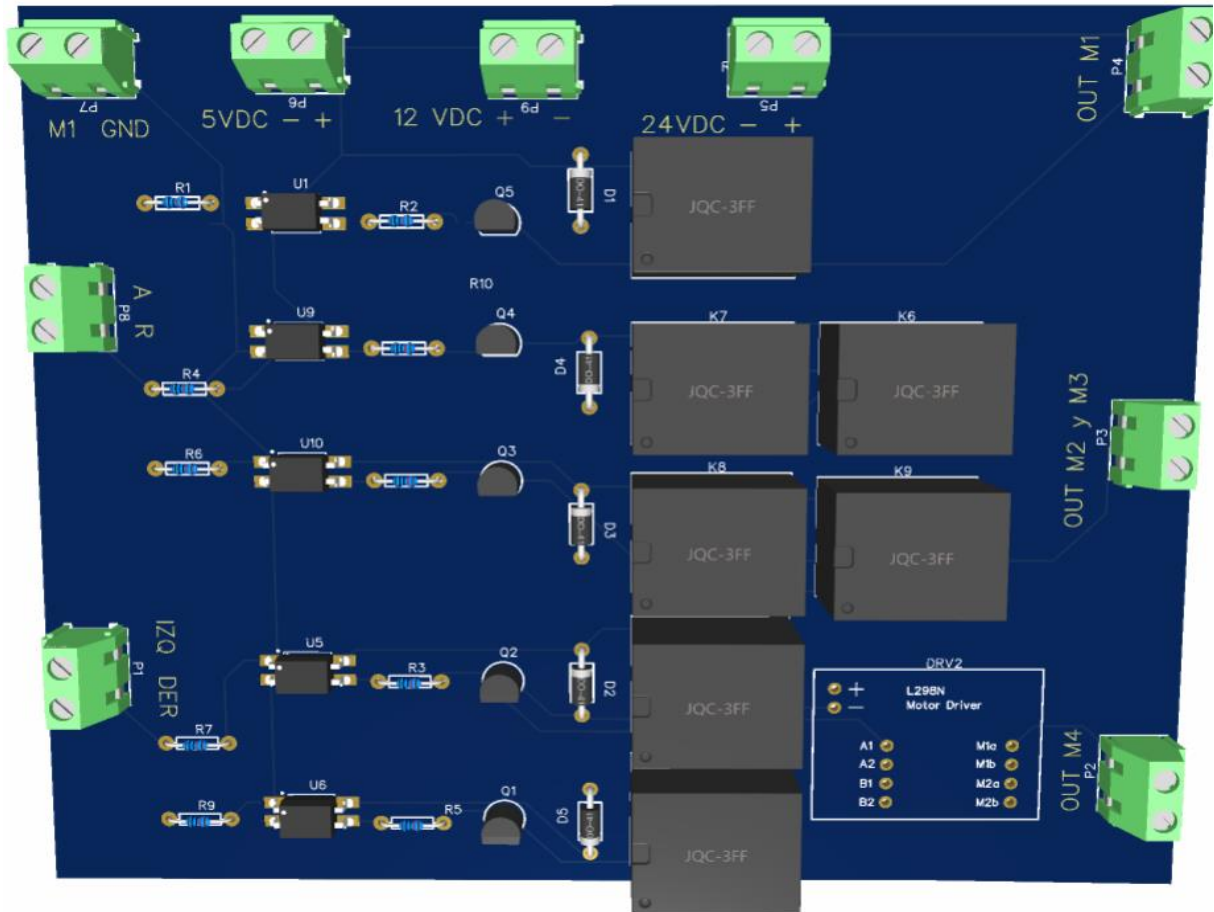


Figura. 50. Diseño placa de mando para control de motores.
Fuente:(Autores)

4.7. Diseño de software

4.7.1. Interfaz de usuario

En el desarrollo de una interfaz de usuario se usó el software APP INVENTOR. Este entorno de programación permite crear apps sencillas y con gran funcionalidad. La interfaz tendrá una gran variedad de funcionalidades que fueron establecidas en los requerimientos.

Para la creación de la interfaz dentro del entorno de programación en el navegador que crea un nuevo proyecto en este caso se le denominó "APP Bote". A continuación, se aprecia en la **Figura 51**.



Figura. 51. Creación de Proyecto.
Fuente:(Autores)

Luego de generar el proyecto se aprecia la interfaz base para empezar a programar y la barra de menú donde se puede agregar diferentes funciones. También este entorno posee una herramienta que permite editar y organizar cada una de las funcionalidades escogidas como se aprecian en la **Figura 52**, **Figura 53** y **Figura 54**.

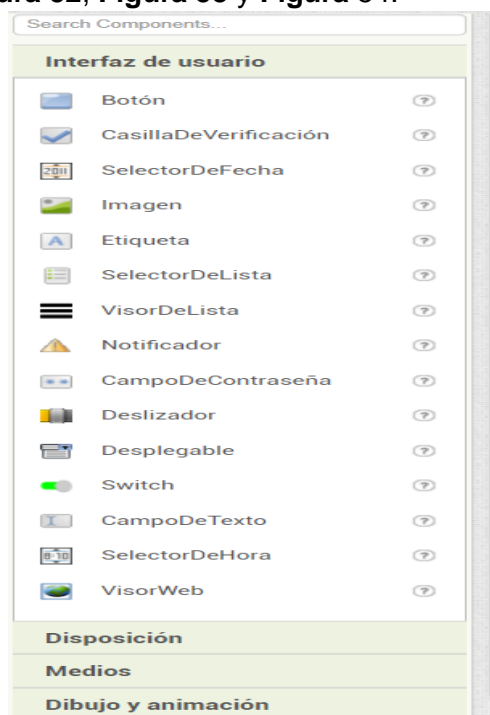


Figura. 52. Menú de funciones y diseño.
Fuente: (Autores)

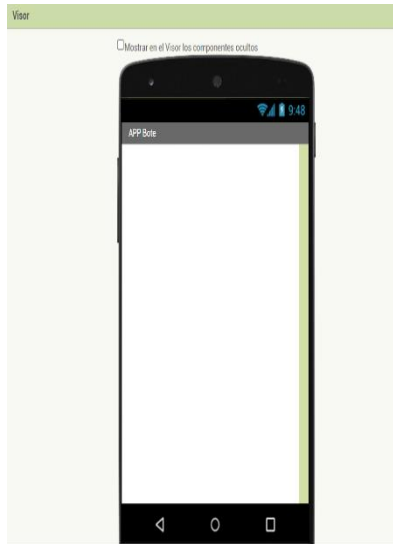


Figura. 53. Visor de interfaz base.
Fuente:(Autores)

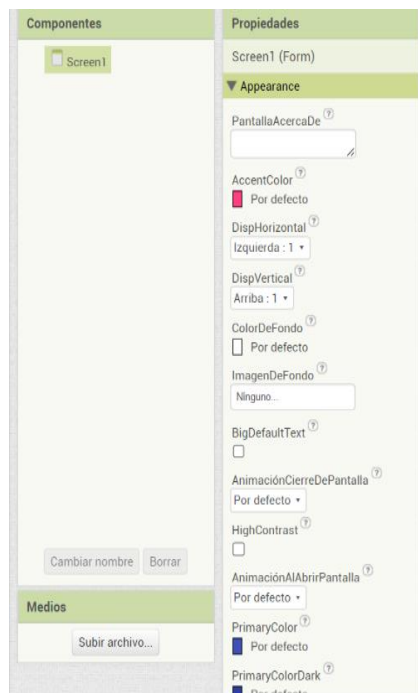


Figura. 54. Menú de edición de componentes y funcionalidades APP.
Fuente:(Autores)

Al tener la plantilla inicial se desarrolló el diseño visual de la pantalla añadiendo cada uno de los botones, menús, imágenes y organización de cada componente de la app. El diseño visual del App se organizó de la siguiente manera:

1. Conexión Bluetooth y Visualizador de Conexión
2. Direccionamiento (Izquierda y Derecha)
3. Regulador de Velocidad e indicar
4. Paro General
5. Reversa

Teniendo esta organización se implementó de manera visual y añadiendo el diseño estético, con imágenes, botones, fondo y títulos. El diseño final de la app se muestra en la **Figura 55**, en el que se aprecia una imagen con sus respectivos indicadores según la organización anteriormente definida.



Figura. 55. Diseño final interfaz de usuario APP móvil.
Fuente:(Autores)

Al tener la parte del diseño completa, como paso siguiente se realizó la programación de cada uno de los botones y funcionalidades que debe cumplir el sistema. Esto se programó en la interfaz de bloques. Se muestra este entorno en la **Figura 56**.

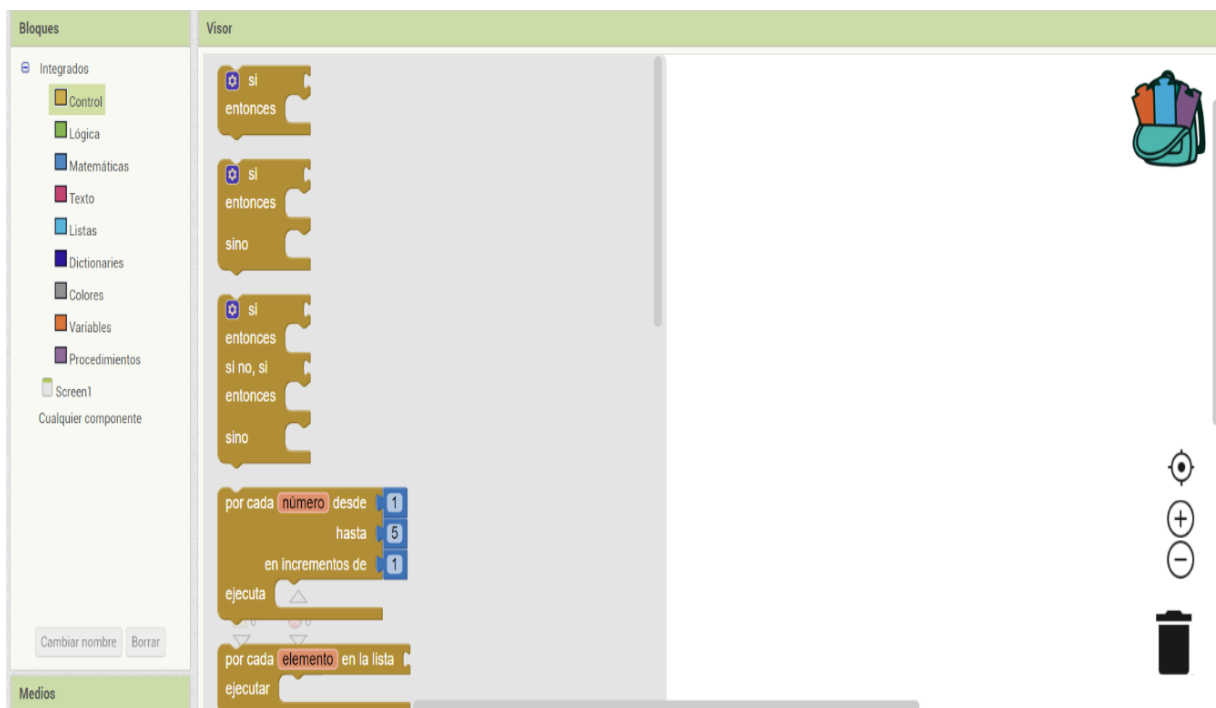


Figura. 56. Entorno de programación APP.
Fuente:(Autores)

La programación desarrollada es mediante bloques y de acuerdo con el botón o función que se desea realizar. En las **Figuras 57, 58,59 y 60** se muestra la programación realizada para cada botón y también para la comunicación Bluetooth.

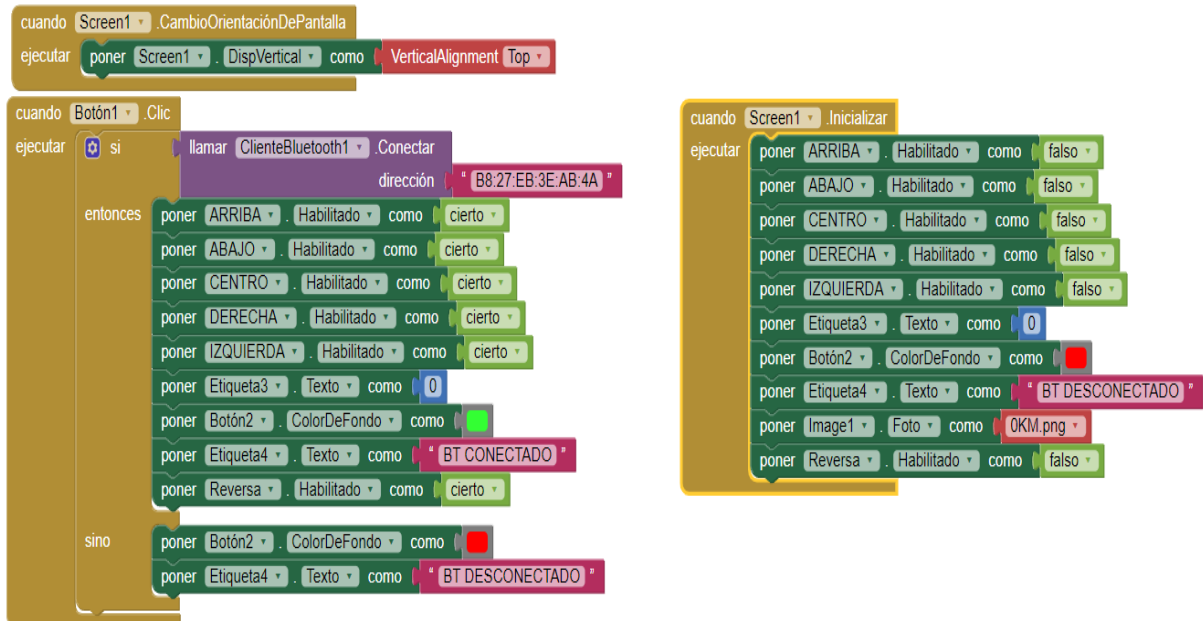


Figura. 57. Programación Orientación, Comunicación Bluetooth e inicialización de botones y etiquetas.
Fuente:(Autores)

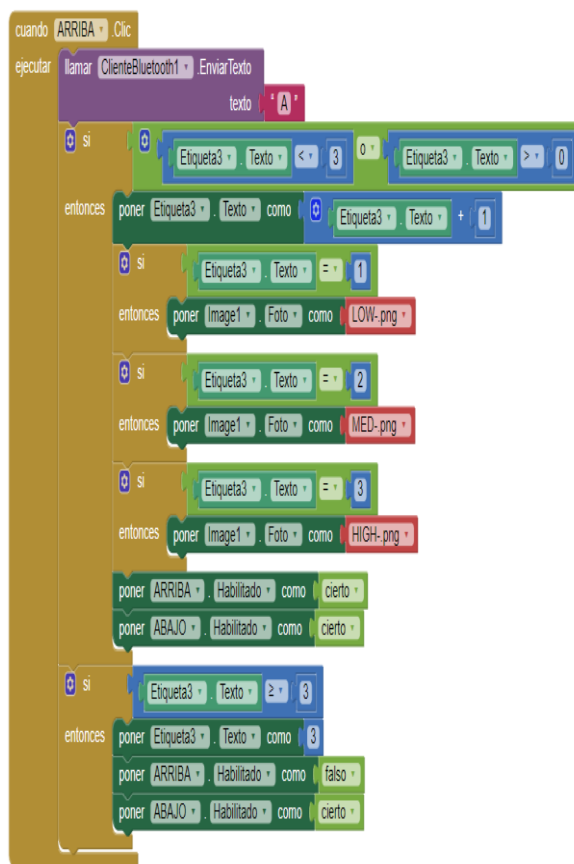


Figura. 58. Función al aplastar el botón arriba que indica el aumento de velocidad y varia las imágenes de velocímetro.
Fuente:(Autores)

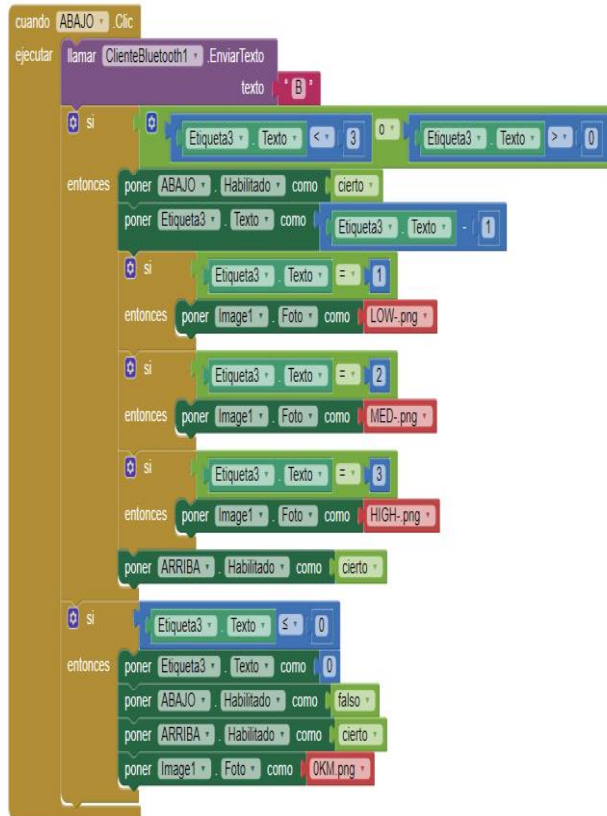


Figura. 59. Función al aplastar el botón abajo que indica el decremento de velocidad y varia las imágenes de velocímetro.
Fuente:(Autores)

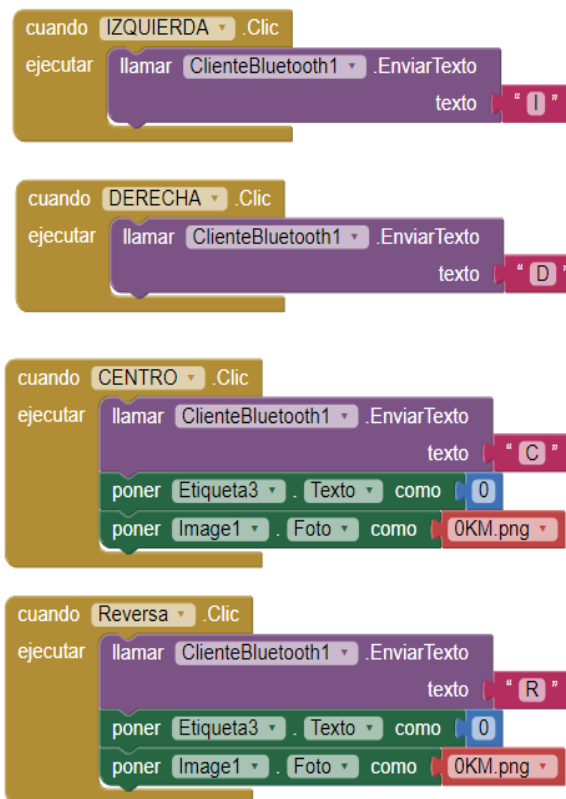


Figura. 60. Función de botones izquierda, derecha, centro y reversa.
Fuente:(Autores)

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, dentro de la comunicación bluetooth se envían un texto según sea el caso del botón pulsado. Los caracteres usados en cada una de las acciones son:

- Adelante “A”. – Funcionalidad de indicar que incremente la velocidad hacia adelante
- Abajo “B”. - Funcionalidad de indicar que decremente la velocidad hacia atrás
- Izquierda “I”. - Funcionalidad de indicar giro a la izquierda
- Derecha “D”. - Funcionalidad de indicar giro a la derecha
- Centro “C”. - Funcionalidad de indicar paro general de motores
- Reversa “R”. - Funcionalidad de indicar inversión de giro (reversa)

4.8. Configuración de raspberry

Teniendo el APP móvil para envió de comandos según sea lo decidido por el usuario se tiene que procesar esos datos mediante el dispositivo de procesamiento principal del sistema que es la Raspberry. Para empezar el sistema deberá se tendrá que instalar el sistema operativo. Este sistema para boot del sistema se encuentra en la página oficial de Raspberry y se denomina “Raspberry Pi Imager” mostrada en la **Figura 61**. Este programa permite reconocer el componente almacenador de datos para el sistema que en este caso se usó una “Micro SD de 32 GB” que posee la capacidad suficiente para almacenar el sistema operativo, configuraciones y programas a usar para su funcionamiento.



Figura. 61. Aplicación para boot de Raspberry.
Fuente:(Autores).

El sistema operativo instalado es el “boot” con un consumo de espacio de memoria de “GB” que incluye ya interfaces de programación, configuraciones y programas base para un correcto funcionamiento. Cabe destacar que hay que tomar en cuenta que la memoria usada deberá ser formateada antes de cargar el sistema operativo.

Con el sistema operativo listo se procede a colocar la microSD en la ranura de la Raspberry y alimentar la misma que se puede apreciar en la **Figura 62**:

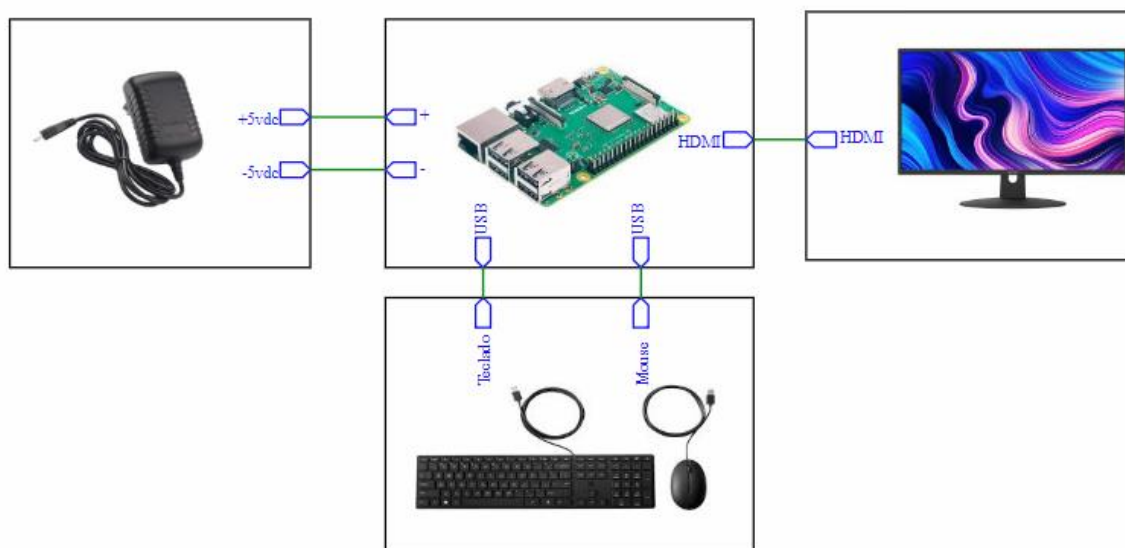


Figura. 62. Conexión Raspberry periféricos y alimentación.
Fuente:(Autores).

Teniendo el esquema anterior, se puede empezar la configuración de la Raspberry, donde se tiene que instalar librerías, descargar paquetes y activar configuraciones Bluetooth. También se deberá conectar a la red wifi que se tenga para poder seguir los siguientes pasos:

1. Abrir nuestra terminal y teclear uno por uno estos comandos
2. `sudo apt-get remove bluetooth bluez blueman.` - Para desinstalar algunos paquetes Bluetooth instalados por defecto y versiones anteriores a las actuales.
3. `sudo apt-get autoclean.` – Refrescar la memoria del sistema
4. `sudo apt-get update.` – Buscar actualizaciones del sistema e instalar
5. `sudo apt-get upgrade -y.` – Instalar las mejoras de todos los componentes que los tengan.
6. `sudo apt-get autoclean`
7. `sudo reboot.` – Reiniciar la Raspberry para actualizar los cambios realizados.
8. `sudo apt-get install Bluetooth bluez blueman.` – Instalar librería Bluetooth Bluez Blueman
9. `sudo apt-get install bluez bluez-firmware.` - Instalar el Firmware
10. `sudo systemctl daemon-reload.` – Refrescar Sistema
11. `sudo systemctl restart Bluetooth.` – Restablecer Bluetooth
12. `sudo reboot.` – Reiniciar para validar cambios
13. `sudo systemctl status bluetooth.` – Visualizar el estado de Funcionamiento de Bluetooth
14. `sudo apt-get install pi-Bluetooth.` – Instalar Librería Bluetooth end Python

15. sudo reboot. – Reinicio del sistema

En el caso de que al visualizar el estado del Bluetooth no este habilitado el canal 22 que es que se va a usar para comunicación se debe realizar los siguientes pasos:

1. Abrimos el terminal
2. Escribimos `sudo sdptool add --channel=22 SP`

Con la línea de comando anterior se activa el canal 22 de comunicación y la forma de validar la activación es mediante el siguiente comando en el terminal:

- `sudo sdptool browse local`

Con este comando se debería observar un resultado como el siguiente:

- Service Name: Serial Port
- Service Description: COM Port
- Service Provider: BlueZ
- Service RecHandle: 0x10003
- Service Class ID List:
- "Serial Port" (0x1101)
- Protocol Descriptor List:
- "L2CAP" (0x0100)
- "RFCOMM" (0x0003)
- Channel: 22 L
- Language Base Attr List:
- code_ISO639: 0x656e
- encoding: 0x6a
- base_offset: 0x100
- Profile Descriptor List:
- "Serial Port" (0x1101)
- Version: 0x0100

Con la configuración realizada se procede a realizar la programación de mediante Python donde se declara las acciones y salidas que se van a activar dependiendo del caso y acción que realice el usuario. La programación comentada y detallada se encuentra en el anexo 1.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis entre la velocidad de alcance

El alcance de velocidad de bote para el periodo de tiempo determinado de 10 min se analiza una vez realizado el recorrido que por su parte fue desarrollado en la ubicación determinada para la prueba de lo que se representa en la **Figura 63**:



Figura. 63. ubicación de bote en prueba.

Fuente: (Autores).

Al estar implantado 3 motores, que con la ayuda del mismo dispositivo móvil se pudo obtener estos resultados los mismo que se puede en la **Figura 64**, se tiene que en el punto muerto el bote se encuentra en una velocidad nula, a diferencia de la primera velocidad donde tenemos la activación del primer motor en la misma que se aprecia el alcance de velocidad de hasta 1.3 km/h, en la segunda velocidad tenemos la activación de dos motores se pudo apreciar que el alcance de velocidad es hasta 3.3 km/h y en la activación final tenemos la actuación de los 3 motores por que se aprecia que en esta se tiene un alcance de velocidad de 5 km/h.

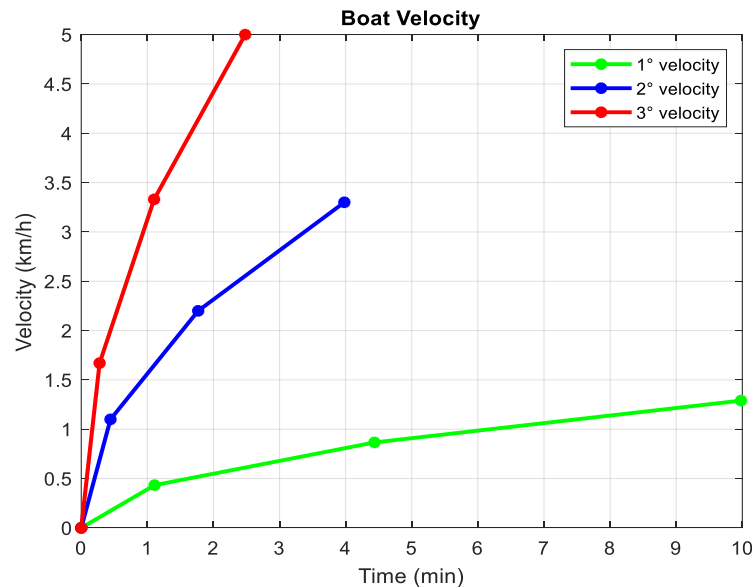


Figura. 64. Velocidad de alcance con respecto al tiempo.

Fuente: (Autores).

Corrientes de prueba (velocidad 5km x vs corriente y14.625A)

El bote se caracteriza por presentar un nivel de consumo de corriente en su desarrollo con respecto al movimiento del mismo que representa cambios de velocidades haciendo que este valor tiende a aumentar por cada marcha que efectuó las misma que sus picos de corrientes varían con respecto a sus velocidades la que se representa en la **Figura 65**.

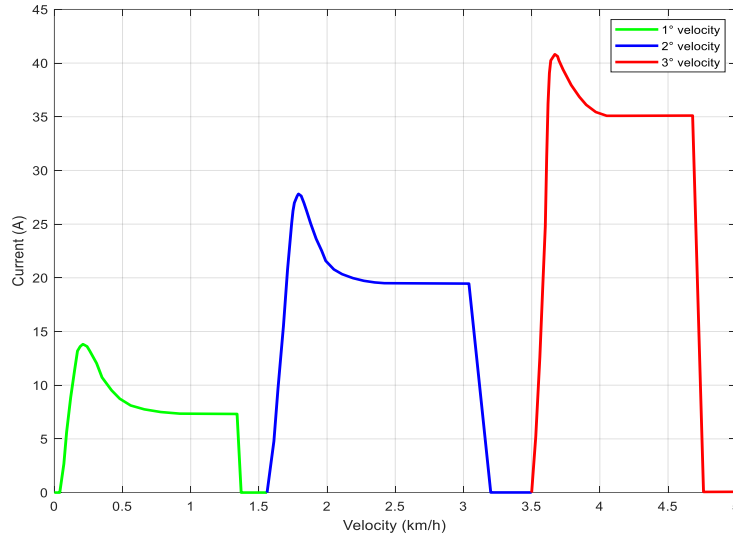


Figura. 65. Corrientes de prueba.
Fuente: (Autores).

Respuesta de direccionamiento de bote

El mecanismo implementado para garantizar un direccionamiento optimo se basó en un mecanismo tipo polea puesto que la adaptación de este sistema se aprovecha el eje de los motores, para estas se acoplo un motor adicional para el direccionamiento el mismo que entra en acción por medio de pulsos que son direccionados por el dispositivo móvil según el direccionamiento que se adquiera la cual representa en la **Figura 66**.

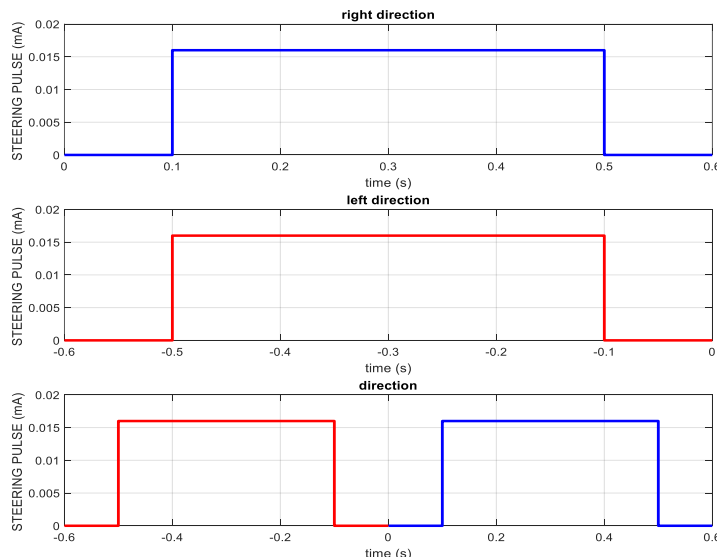


Figura. 66. Pulsos de direccionamiento.
Fuente: (Autores).

Alcance de prueba inalámbrica

-El comportamiento de la estructura que rige la conexión de prueba inalámbrica se ve reflejado en el alcance que tiene entre el dispositivo móvil y el bote, que se ve visualiza en la **Figura 67**. Como dato de entrada tenemos que el alcance utilizado para nuestra conexión bluetooth es de 10 metros, desde un punto fijo fuera del bote, pero dicho valor varia con la ubicación del bote ya puede excederse el límite de alcance de la señal bluetooth. Por lo que se recomienda un tripulante a bordo del bote que sea el encargado del control del mismo para evitar la desconexión.

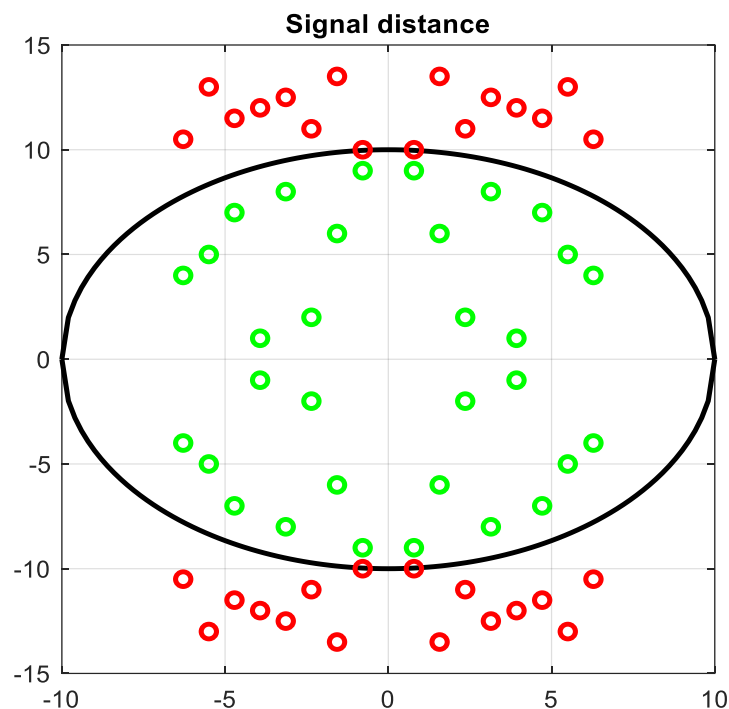


Figura. 67. Alcance de señal inalámbrica.
Fuente: (Autores).

En la figura anterior se muestra la distancia de alcance que tiene la señal inalámbrica la que se detalla lo siguiente:

- ○ Los puntos en color verde nos indica que la señal está dentro del alcance.
- ○ Los puntos en color rojo nos indica que la señal esta fuera del alcance.

Consumo de potencia por velocidades

Al contemplar un sistema con tres motores que funciona a la deriva de forma secuencial los niveles de potencia varían en el momento que se activan y dependiendo del tipo de secuencia que opten, estos valores tienen a aumentar o disminuir su capacidad por ejemplo si el bote se encuentra en la primera velocidad que es la activación de un solo motor este valor oscila 340 a 348 w a diferencia de la segunda velocidad la que activa dos motores este

oscila entre 686 a 696 w y viceversa en sentido contrario. Por lo cual el consumo de potencias por velocidades se muestra en la **Figura 68**.

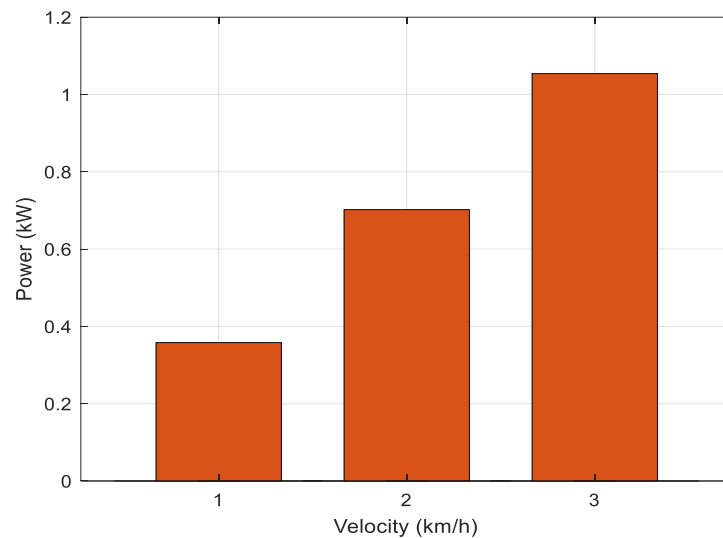


Figura. 68. Consumo de potencia por velocidades.
Fuente: (Autores).

Análisis entre el perfil de potencia con respecto al tiempo en horas

En nuestro caso el perfil de carga se basa en el recorrido que efectúa mediante un tiempo determinado, se muestra en la **Figura 69** la potencia promedio por una hora de funcionamiento. En esta figura muestra la potencia eléctrica a bordo, así como la carga total que puede abastecer, tal como que la potencia de los motores 1, 2 y 3 que son de 0.351, 0.702 y 1.053 kW, respectivamente, por lo que estos valores son nulos cuando el bote está anclado, en el inicio y el final de cada recorrido la energía es mucho más elevada de lo habitual por la simple razón de la separación y anclaje del bote. Se recalca que se aplica solo a la carga instalada el bote.

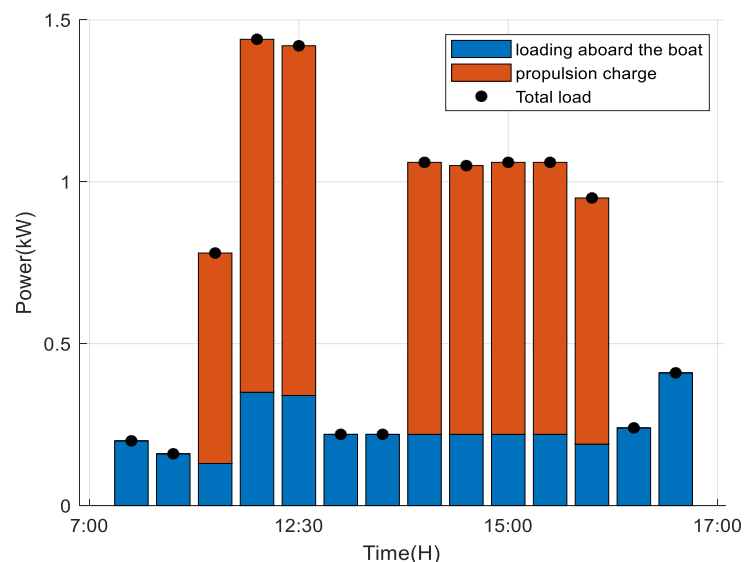


Figura. 69. Perfil de potencia.
Fuente: (Autores).

Estado de carga de las baterías (SOC).

La curva de capacidad de la batería y el SOC de la batería se muestran en la **Figura 70**. Este gráfico muestra la energía transferida desde el panel solar fotovoltaico y el controlador de carga para cargar la batería y la energía transferida desde la batería a la carga por hora. Según esta cifra, la batería también está funcionando dentro de un rango aceptable, con su SOC entre los límites superior e inferior.

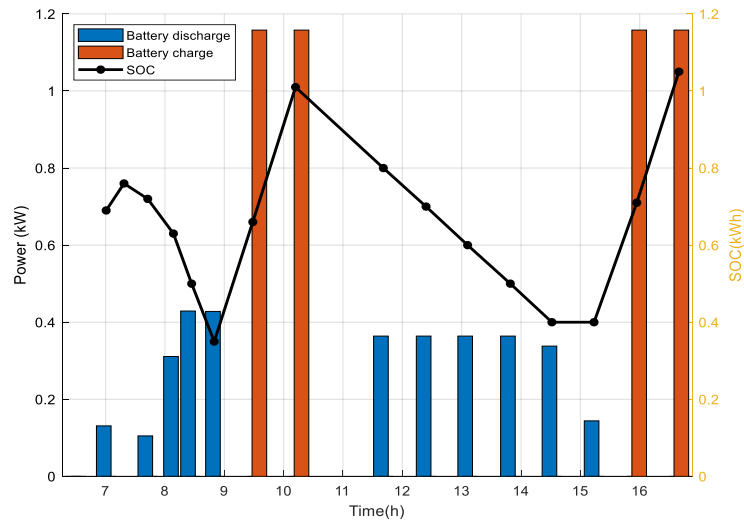


Figura. 70. Estado de carga de las baterías (SOC).

Fuente: (Autor)

CONCLUSIONES

Partiendo con el análisis mecánico y eléctrico que presentaba el bote solar en sus inicios se realiza un estudio en el que tenga la finalidad de poder implementar el sistema deseado conforme al alcance que tiene este trabajo de investigación con la finalidad de obtener los mismos resultados, pero en este caso se trataría de una modificación a un sistema más ideal en cuanto al manejo de velocidades y direccionamiento lo amerita.

Como primera observación una vez inicializado con el proceso de cambios se obtuvieron inconvenientes en la verificación del funcionamiento de los motores por la falta de componentes asociados al sistema, por lo que partiendo con ese aspecto el primer paso fue construir por completo el sistema eléctrico con un dimensionamiento de baterías de acuerdo a lo escrito en el trabajo de autor correspondiente.

Según el avance preestablecido se verifica el sistema base del bote llegando a concluir que existe un cambio del mismo en este caso el reemplazo de un modelo construido a base de material madera por un sistema base metálico careciendo de la misma forma y dimensionamiento con la finalidad primordial de implementar el sistema de direccionamiento acoplando al sistema de motores para no dañar el modelo original así damos uso a los componentes ya adquiridos teniendo un ahorro en la parte económica.

Para que no exista un desconforme de la tripulación una vez a bordo se consideró determinar el tiempo de descarga de las baterías divididas por secciones conforme en la marcha de velocidad que deseen viajar determinado en minutos por lo que obtuvimos como resultado que las baterías al momento que estén en la primera velocidad o reversa en la que actúa un solo motor el tiempo de descarga es de 3h30m, en la segunda velocidad en la que actúa dos motores se da en un tiempo de 1h30m, y por último en la que actúa los tres motores se da en un tiempo de 1h, por lo que con estos resultados y con los resultados de velocidad que este alcanzó tenemos valores favorables ya que la tripulación podrán disfrutar del medio en un ambiente acogedor, agradable, renovable y sobre todo de fácil manipulación.

El desarrollo de aplicaciones en el software en línea App Inventor nos permite tener una programación fácil y confiable ya que permite diseñar el modelo que deseamos, en este caso se desarrolló un modelo tipo Joystick ya al no ser tan complejo se optó por este medio para el control del despliegue, direccionamiento y frenado del bote.

Las placas microcontroladoras asociadas a una aplicación móvil permiten tener grandes ventajas en la parte de control de objetos ya que algunos modelos y marcas tienen la ventaja de manejar niveles altos de corriente permitiendo que un sistema sea confiable siempre y cuando exista una programación acorde a la necesidad planteada, por ello se vio en la necesidad de

optar por una placa controladora Raspberry pi3 ya que cumple con todo lo mencionado y adicional a ello tiene la ventaja de seguir adjuntando otros componentes para el mejoramiento de todo el sistema.

Para evitar posibles interferencias en el control del bote cuando una persona lo esté manipulando y surja el inconveniente de que terceros se quieran conectar al mismo, no lo podrá realizar ya que por motivos de seguridad y el análisis de casos que se puedan presentar como el mencionado se consideró que los que deseen vincularse para tener acceso al control se deberá tener una pantalla que a la vez por medio de un cable HDMI conectado a la placa Raspberry accesa a los permisos de vinculación con cualquier dispositivo móvil que tenga instalado la aplicación, “para tener presente es como enviar un archivo de un dispositivo a otro por medio de bluetooth por lo que el receptor debe aceptar o no el archivo siendo as que cumple el mismo funcionamiento”.

En el diseño e implementación del bote ecológico se desarrolló un controlador PID (proporcional, integral y derivativo) debido a que se consideró que para actuar en los principales componentes del sistema que son los motores de velocidad como de direccionamiento ofrece varias ventajas en términos de estabilidad y precisión al momento de la navegación. Algunas de las razones es que el controlador proporcional permite el ajuste de la velocidad con la que el sistema va respondiendo en función del error presente entre la posición deseada y la posición en la que este el bote, con el objetivo de ajustar y eliminar ese error. Otra ventaja, por parte del componente Integral es que elimina el error estático acumulado, esto quiere decir que se garantizara que si existe una desviación bastante pequeña el controlador buscara corregir el curso en cuanto a la dirección y finalmente en la componente derivativa el controlador evitara que el sistema presente oscilaciones excesivas, en referencia a cambios de abruptos de velocidad o dirección, teniendo una respuesta más estable y suave.

RECOMENDACIONES

Se sugiere a trabajos futuros la implementación de cámaras o sensores con el fin de entrenar espacialmente con Inteligencia artificial o Deep learning para que el bote pueda movilizarse de manera autónoma, es decir de una forma en la que el bote cumpla un recorrido sin la necesidad de manipulación alguna y no tenga inconvenientes de posibles colisiones, esto se considera ya que está intervenido con microcontrolador Raspberry pi3 lo que facilitaría el estudio en la parte programativa.

Al tratarse de un sistema renovable y se ha comprobado que se puede acoplar un sistema de control moderno se ve en la necesidad de adoptar un mecanismo autónomo adicional, en este caso un sistema híbrido al tratarse de un componente que funciona sobre la superficie acuática lo que le permite obtener energía adicional como ventaja de obtención a pesar de ya poseerlo.

Verificar que exista un sistema de comunicación inalámbrica adecuada entre dispositivo móvil y la placa microcontroladora, también considerar los rangos de alcance de señal que se tiene para evitar tener posibles desconexiones en el momento de la operación evitando un desconforme en el uso del bote una vez en prueba y en operación.

Para validar el punto anterior se sugiere desarrollar con anterioridad un modelo de simulación acorde a los elementos a utilizar para obtener un resultado favorable al momento de ser colocados en alguna parte del bote.

La parte financiera cumple un rol muy importante en la adquisición de elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos, esto se debe a que si no se investiga lugares en los que nos permita tener el mayor ahorro posible tenemos la certeza de que podemos llegar a gastar más de lo previsto por lo que se sugiera empezar primeramente por este punto del financiamiento.

Se recomienda dar un paso de avance más tecnológico usando una pantalla táctil de mando a distancia la cual permite seleccionar la opción de mando manual o automático, realizar un trazado de ruta de manera táctil apoyándose en sensores de proximidad de tal manera que el bote sea capaz de ser autónomo además de evadir los bordes u objetos que se presenten y sea capaz de tomar la ruta seleccionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Ponce, M. C. (2006). Estudio del estándar IEEE 802.15.4 ZIGBEE para comunicaciones inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y su comparación en el estándar IEEE 802.15.1 BLUETOOTH [bachelorThesis, QUITO/EPN/ 2006]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/55>
- Alx. (2018, noviembre 18). frambuesa-pi: Nueva Raspberry Pi 3 A+. frambuesa-pi. <https://frambuesa-pi.blogspot.com/2018/11/nueva-raspberry-pi-3-a.html>
- Android OS: A Review. (2015). TEM Journal, 4(1), 116-120.
- Apraez Cando, J. A., & Armijos Yalama, C. P. (2020). Modelado y simulación para el abastecimiento de energía eléctrica mediante sistemas solares a monumentos. Caso de estudio Punta Hacienda, Quingeo. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10694>
- Bernal Bernal, L. E. (2021). Diseño del sistema fotovoltaico para la iluminación ornamental de la iglesia de Turi—Cuenca. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10749>
- Camarena, B., & José, F. (2016). Diseño y control de un cuadricóptero controlado por bluetooth via Android App [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/75899>
- Chao, R.-M., Lin, H.-K., & Wu, C.-H. (2018). Solar-powered boat design using standalone distributed PV system. 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI), 31-34. <https://doi.org/10.1109/ICASI.2018.8394259>
- CHARDONNEAU, R. (s. f.). App Inventor 2. 13.
- Chen, L., Wang, J., & Xu, C. (2019). The Application of Solar Photovoltaic Power Generation System in Ships. Journal of Coastal Research, 94(SI), 525-529. <https://doi.org/10.2112/SI94-104.1>

- Cristea, O. (2013). Testing of PV module efficiency in naval conditions. 2013 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING (ATEE), 1-4. <https://doi.org/10.1109/ATEE.2013.6563534>
- Delgado Quituisaca, E. E. (2021). Uso de energía solar fotovoltaica para la alimentación de un negocio móvil para la venta de jugos (Mobile-juice). Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10754>
- Freire, T., Sousa, D. M., & Branco, P. J. C. (2010). Aspects of modeling an electric boat propulsion system. 2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON), 812-817. <https://doi.org/10.1109/SIBIRCON.2010.5555086>
- Gaber, M., El-banna, S. H., Eldabah, M., & Hamad, M. S. (2019). Model and Control of Naval Ship Power System by The Concept of All-Electric Ships Based on Renewable Energy. 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 1235-1240. <https://doi.org/10.1109/MEPCON47431.2019.9007914>
- Gabriel Alejandro, B. L. (2018). Controlador inteligente y configurable de un motor de corriente continua para la asistencia en el pedaleo de bicicletas. [bachelorThesis, Quito]. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1577>
- Garcia, G. M. (2014, febrero 24). Motores con imanes permanentes. Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos100/motores-iman-permanentes/motores-iman-permanentes>
- Hagos, T. (2018). Android Studio. En T. Hagos (Ed.), Learn Android Studio 3: Efficient Android App Development (pp. 5-17). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3156-2_2
- Halfacree, G., & Upton, E. (2012). Raspberry Pi User Guide. John Wiley & Sons.
- Hegde, S. (2023, marzo 31). Interested in a Subscription for Your Organization? Innovate. <https://innovate.ieee.org/interested-in-a-subscription-for-your-organization/>
- Hou, H., Gan, M., Wu, X., Xie, K., Fan, Z., Xie, C., Shi, Y., & Huang, L. (2023). Real-time energy management of low-carbon ship microgrid based on data-driven stochastic

- model predictive control. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 1-10.
<https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.08950>
- Hrndz, V. (2016, mayo 5). Clase N°5-Sistemas operativos para dispositivos móviles.
<https://v1afi777.wordpress.com/2016/05/05/clase-n5-sistemas-operativos-para-dispositivos-moviles/>
- Icaza, D., Morales, D. X., Morocho, C., Diaz, J., Pando, J., & Correa, J. (2018). Autonomous Energy for Undertakings that Require Mobility or are Beyond the Reach of the Public Electricity Network. 2018 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA), 1-5. <https://doi.org/10.1109/TDC-LA.2018.8511800>
- Icaza-Alvarez, D., Jurado, F., & Tostado-Véliz, M. (2023). Long-term planning for the integration of electric mobility with 100% renewable energy generation under various degrees of decentralization: Case study Cuenca, Ecuador. *Energy Reports*, 9, 4816-4829. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.118>
- Jain, D., Chakraborty, P., & Chakraverty, S. (2018). Smartphone Apps for Teaching Engineering Courses: Experience and Scope. *Journal of Educational Technology Systems*, 47(1), 4-16. <https://doi.org/10.1177/0047239518785166>
- Jung, Y. (2014). What a smartphone is to me: Understanding user values in using smartphones. *Information Systems Journal*, 24(4), 299-321.
<https://doi.org/10.1111/isj.12031>
- Kun, X., Xinyue, X., & Nan, W. (2013). Design of vehicle control system based on bluetooth low energy smartphone platform. 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 1498-1501. <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2013.6754414>
- Kurniawan, A. (2016). A Review of Solar-Powered Boat Development. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 27(1). <https://doi.org/10.12962/j20882033.v27i1.761>
- Kusko, A., & Peeran, S. M. (1988). Definition of the brushless DC motor. Conference Record of the 1988 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 20-22 vol.1.
<https://doi.org/10.1109/IAS.1988.25036>

- Lee, K.-J., Shin, D., Yoo, D.-W., Choi, H.-K., & Kim, H.-J. (2013). Hybrid photovoltaic/diesel green ship operating in standalone and grid-connected mode – Experimental investigation. *Energy*, 49, 475-483. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.004>
- Lojano-Riera, B. P., Flores-Vázquez, C., Cobos-Torres, J.-C., Vallejo-Ramírez, D., & Icaza, D. (2023). Electromobility with Photovoltaic Generation in an Andean City. *Energies*, 16(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/en16155625>
- Mahmud, K., Morsalin, S., & Imran Khan, Md. (s. f.). Design and Fabrication of an Automated Solar Boat. 2014, Vol.64 (2014), pp.31-42, 12. <http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2014.64.04>
- Megat Khairuddin, M. A. F., & Lukhman Nur Hakim, L. N. H. (2015). Smart arduino boat by using bluetooth module / Megat Ahmad Faiz Megat Khairuddin & Lukhman Nur Hakim Ahmad Ridzuan [Student Project]. <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/57889/>
- Módulo Bluetooth HC05. (s. f.). Naylamp Mechatronics - Perú. Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>
- Módulo Bluetooth HC06. (s. f.). Naylamp Mechatronics - Perú. Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/24-modulo-bluetooth-hc06.html>
- Mohammed, N., Callegaro, L., Ciobotaru, M., & Guerrero, J. M. (2023). Accurate power sharing for islanded DC microgrids considering mismatched feeder resistances. *Applied Energy*, 340, 121060. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121060>
- Pekyürek, M. F., Sağlam, Z., & Ustun, A. B. (2020). MIT App Inventor ve Android Studio Kullanılarak Tasarlanmış Mobil Uygulamanın Performans Karşılaştırması. *Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dergisi*, 2(2), 161-181.
- Pokress, S. C., & Veiga, J. J. D. (2013). MIT App Inventor: Enabling Personal Mobile Computing (arXiv:1310.2830). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1310.2830>

- Prieto Antón, É. (2016). Diseño de la app y el control de una cámara video con Arduino [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València].
<https://riunet.upv.es/handle/10251/76000>
- Qué son los coches solares y cómo funcionan—Tecnolucion. (2023, marzo 24). Tecnolución.
<https://tecnolucion.com/que-son-los-coches-solares-y-como-funcionan/>
- Raspberry Pi. (2023). En Wikipedia, la enciclopedia libre.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=149430536
- Reabroy, R., Tiaple, Y., Pongduang, S., Nantawong, T., & lamraksa, P. (2015). The Possibility of Using Electrical Motor for Boat Propulsion System. *Energy Procedia*, 79, 1008-1014.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.601>
- Rivera Solorio, C., García Cuéllar, A. J., & Flores, A. (2013). Design and construction of a boat powered by solar energy with the aid of computational tools. *The International Journal of Engineering Education*, 29(2), 380-387.
- Sanap, R. J., Mahapure, V. S., Wattamwar, R. G., Pawar, T. V., Deulkar, A. M., & Pardeshi, D. B. (2023). Development of Solar Pool Cleaner Boat using Microcontroller. 2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), 1692-1698. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA57980.2023.10220884>
- Severance, C. (2013). Eben Upton: Raspberry Pi. *Computer*, 46(10), 14-16.
<https://doi.org/10.1109/MC.2013.349>
- Singh, B., & Singh, S. (2009). State-of-art on permanent magnet brushless DC motor drives. *Journal of Power Electronics*, 9(1), Article 1.
- Soleymani, M., Yoosofi, A., & Kandi-D, M. (2015). Sizing and energy management of a medium hybrid electric boat. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(4), 739-751.
<https://doi.org/10.1007/s00773-015-0327-0>
- Sousa, G. C. D., Simonetti, D. S. L., & Norena, E. E. C. (2000). Efficiency optimization of a solar boat induction motor drive. Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Fifth IAS Annual Meeting and World Conference on

- Industrial Applications of Electrical Energy (Cat. No.00CH37129), 3, 1424-1430 vol.3.
<https://doi.org/10.1109/IAS.2000.882071>
- Spagnolo, G. S., Papalillo, D., Martocchia, A., & Makary, G. (2012). Solar-Electric Boat. *Journal of Transportation Technologies*, 2(2), 144-149. <https://doi.org/10.4236/jtts.2012.22015>
- Suhaimi, M. A. S., & Rahman, H. A. (2021). Waste Controller Boat by Bluetooth Applications. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 2(2), 637-641.
- Sumba Zumba, E. H. (2022). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para electrolinera en espacios turísticos de uso público – Caso aguas termales de Guapán. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12145>
- Tamunodukobipi, D., Samson, N., & Sidum, A. (2018). Design Analysis of a Lightweight Solar Powered System for Recreational Marine Craft. *World Journal of Engineering and Technology*, 6(2), 441-456. <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.62027>
- Urgilés Bermeo, E. X. (2019). Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico para la capilla de la comunidad Macas alto de la parroquia Quingeo del cantón Cuenca. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8250>
- Vargas, D. (2023, febrero 7). Java vs Python: ¿Cuál debes aprender? Tutoriales Hostinger. <https://www.hostinger.es/tutoriales/java-vs-python>
- Vázquez-Bautista, O. (2022). Raspberry Pi. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3*, 9(18), 36-40.
- Xu, T., Zhao, Y., Deng, H., Guo, S., Li, D., & Lin, F. (2023). Integrated optimal control of distributed in-wheel motor drive electric vehicle in consideration of the stability and economy. *Energy*, 282, 128990. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128990>
- Zamudio Beltrán, Z., López Gutiérrez, D., Molina Pérez, R., Morales Palma, D. E., & Osorio Oliveros. (s. f.). La importancia y aplicaciones de los microcontroladores en la Electrónica – Ingeniería. Recuperado 19 de septiembre de 2023, de <https://ingenieria.lasalle.mx/la-importancia-y-aplicaciones-de-los-microcontroladores-en-la-electronica/>

ANEXOS

Anexo 1: Código de Python.

```
import RPi.GPIO as GPIO
#Importando la Librería para las salidas de
propósito general

import bluetooth #Importando la
librería de Bluetooth que se va a usar.

import time #Importando la librería
para delay

VMot1=29 #Declaración de pin 29
como salida para-Motor 1 hacia adelante

AMot2=31 #Declaración de pin 31
como salida para-Motor 2 y 3 hacia
adelante

RMot2=33 #Declaración de pin 33
como salida para Motor 2 y 3 hacia Atrás

PH1=26 #Declaración de pin 26 como
salida para Motor de direccionamiento Izq

PH2=24 #Declaración de pin 24 como
salida para Motor de direccionamiento Der

GPIO.setwarnings(False)
#Desactivar las advertencias

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
#Indicando la manera en la que se
identifican los pines

#Declarando Salidas

GPIO.setup(VMot1, GPIO.OUT)

GPIO.setup(VMot2, GPIO.OUT)

#GPIO.setup(VMot3, GPIO.OUT)

GPIO.setup(PH1, GPIO.OUT)

GPIO.setup(PH2, GPIO.OUT)

#GPIO.setup(en, GPIO.OUT)

#Declarando estado de Salidas al
inicializar

GPIO.output(VMot1, False)

GPIO.output(VMot2, False)

GPIO.output(PH1, False)

GPIO.output(PH2, False)

# Generación de Socket y puerto de
comunicación para Bluetooth

server_sock=bluetooth.BluetoothSoc
ket (bluetooth.RFCOMM)

port=22

server_sock.bind(("",port))

server_sock.listen(1)

client_sock,address=server_sock.
Accept ()

print ("Conexión hecha con:",address)

#Contador de referencia

cont=0

#Bucle Principal

while True:
```

```

    dato=client_sock.recv(1024)
#Lectura de dato recibido y guardado en la
variable dato.

    print ("recibido: %s" %dato)
#Visualización de dato obtenido de la
comunicación BT

    #If que verifica la lectura si el dato
es A (Adelante)

    if(dato==b'A'):

        cont=cont+1 #Incremento
de contador para saber la velocidad en la
que se encuentra

        #Contador en 0 No activa
ninguna Salida (Velocidad 0)

        if(cont==0):

            GPIO.output(VMot1,
False)

            GPIO.output(VMot2,
False)

            GPIO.output(RMot2,
False)

        #Contador en 1 activa salida
M1 (Velocidad 1)

        if(cont==1):

            GPIO.output(VMot1,
True)

            GPIO.output(VMot2,
False)

            GPIO.output(RMot2,
False)

        #Contador en 2 activa salida
M2 y M3 (Velocidad 2)

        if(cont==2):

            GPIO.output(VMot1,
False)

            GPIO.output(VMot2,
True)

            GPIO.output(RMot2,
False)

        #Contador en 3 activa salida
M1, M2 y M3 (Velocidad 3)

        if(cont==3):

            GPIO.output(VMot1,
True)

            GPIO.output(VMot2,
True)

            GPIO.output(RMot2,
False)

        #Condición si me llegan más
datos A (Adelante) solo mantenga max 3
que es Velocidad 3

        if(cont>3):

            cont=3

            #time. sleep (1)

        #Decremento de Velocidad
mediante variable B, con la misma lógica
que de velocidad mediante contador de ref.

```

```

elif(dato==b'B'):
    cont=cont-1
    if(cont==0):
        GPIO.output(VMot1,
False)
        GPIO.output(VMot2,
False)
        GPIO.output(RMot2,
False)
        if(cont==1):
            GPIO.output(VMot1,
True)
            GPIO.output(VMot2,
False)
            GPIO.output(RMot2,
False)
            if(cont==2):
                GPIO.output(VMot1,
False)
                GPIO.output(VMot2,
True)
                GPIO.output(RMot2,
False)
                if(cont==3):
                    #GPIO.output(VMot1, True)
                    #GPIO.output(VMot2, True)
                    #GPIO.output(VMot3, True)
                    print ("recibido: %s"
%cont)
                    if(cont<=0):
                        cont=0
                        #time. sleep (1)
                        # Comparación si dato es C (Paro
general)
                        #Apagado todos los motores y Re
inicialización de Contador de referencia.
                        elif(dato==b'C'):
                            GPIO.output(VMot1, False)
                            GPIO.output(VMot2, False)
                            cont=0
                            #Activacion para salida para giro Izq
                            elif(dato==b'I'):
                                GPIO.output(PH1, True)
                                GPIO.output(PH2, False)
                                time. sleep (0.5)
                                GPIO.output(PH1, False)
                                GPIO.output(PH2, False)
                                #Activacion para salida para giro
Der
                            elif(dato==b'D'):
                                GPIO.output(PH1, False)

```

```

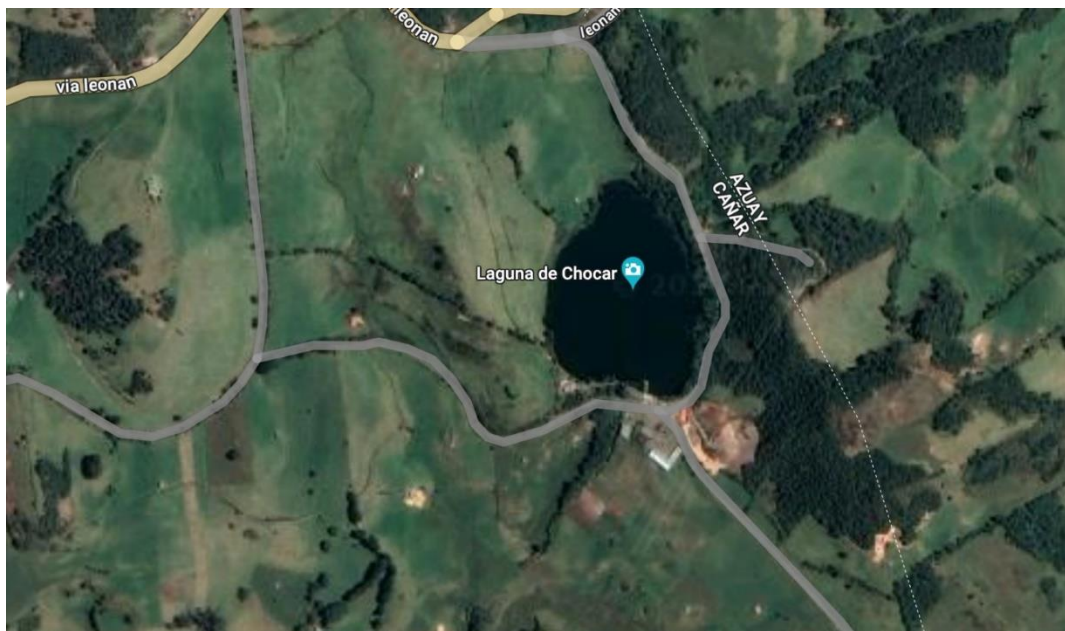
GPIO.output(PH2, True)
time. sleep (0.5)
GPIO.output(PH1, False)
GPIO.output(PH2, False)
#Compracion de carácter para
Reversa M2 Y M3
elif(dato==b'R'):
    cont=0
    #Apagado Motores para
inversión de giro
GPIO.output(VMot1, False)
GPIO.output(VMot2, False)
GPIO.output(RMot2, False)
time. sleep (1) #tiempo para
inversión de giro
#Inversion de giro para
reversa
GPIO.output(VMot1, False)
GPIO.output(RMot2, True)
time. sleep (0.5)
GPIO.output(VMot2, True)
if(dato=="q"):
    print("Final") #Condición
para finalización de programa
break
client_sock. close ()
server_sock. close () #Finalización de
Comunicación BT

```

Anexo 2: Prueba de funcionamiento del sistema de bote.

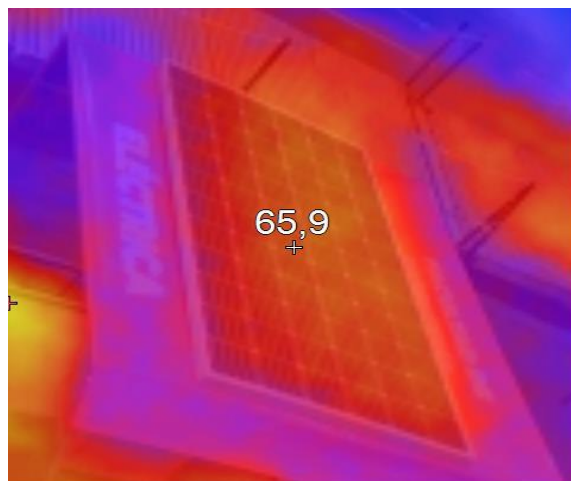


Anexo 3: Ubicación de prueba de funcionamiento “laguna de chocar – Azogues – Ecuador”.

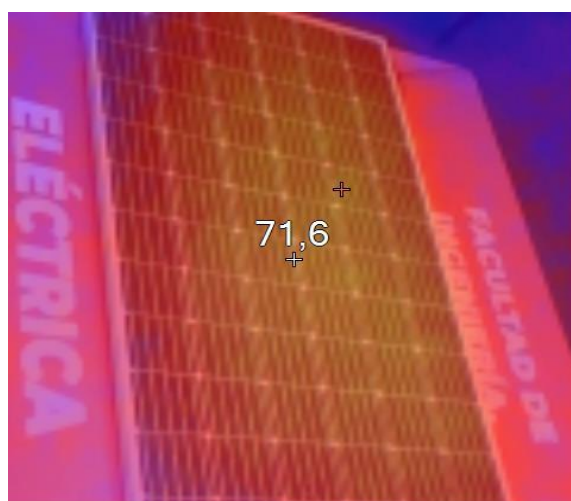
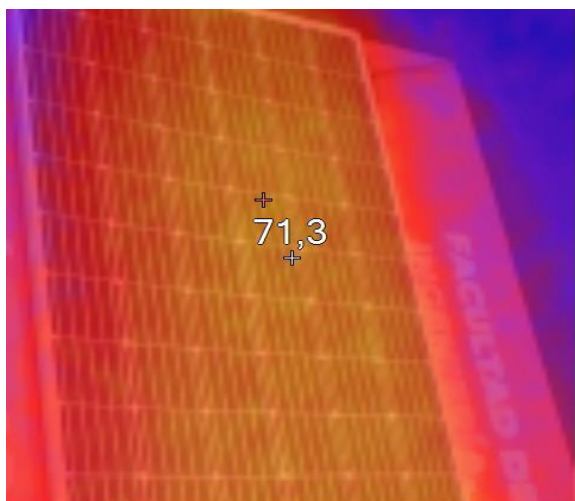


Anexo 4: Tomas termográficas del panel solar del bote, exhibición de puntos centrales y alta temperatura en diferentes horas del día.

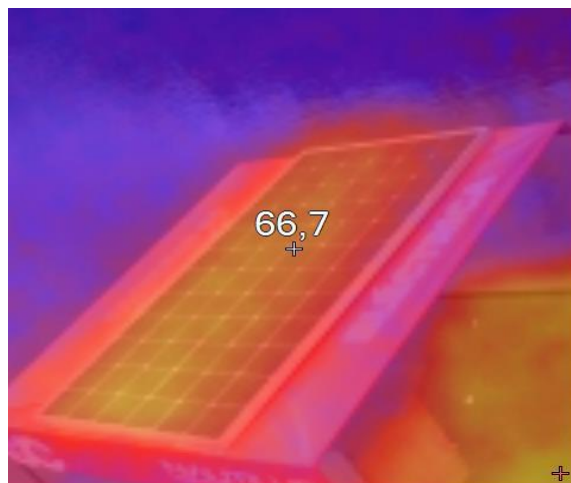
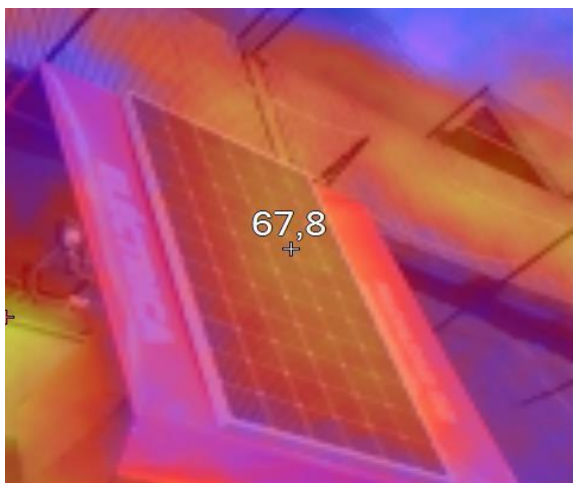
En las primeras se muestra las termográficas en el horario de 10 de la mañana y sus grados están especificados en Fahrenheit convirtiendo a centígrados está a unos 18°C.



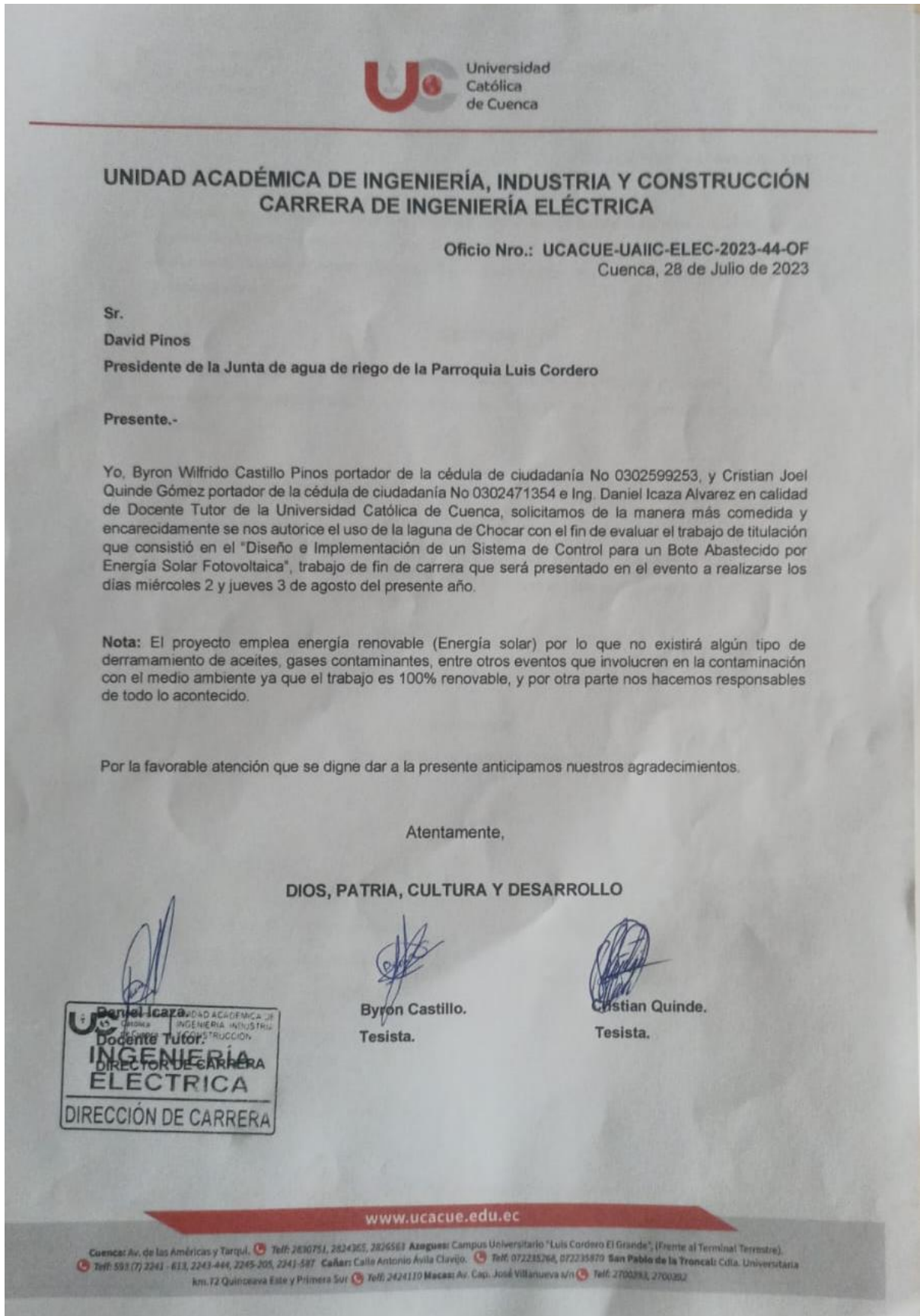
En las siguientes se muestra las termográficas en el horario de 12 de la mañana y sus grados están especificados en Fahrenheit convirtiendo a centígrados está a unos 21°C.



Por último, se muestra las termográficas en el horario de 4 de la tarde y sus grados están especificados en Fahrenheit convirtiendo a centígrados está a unos 19°C

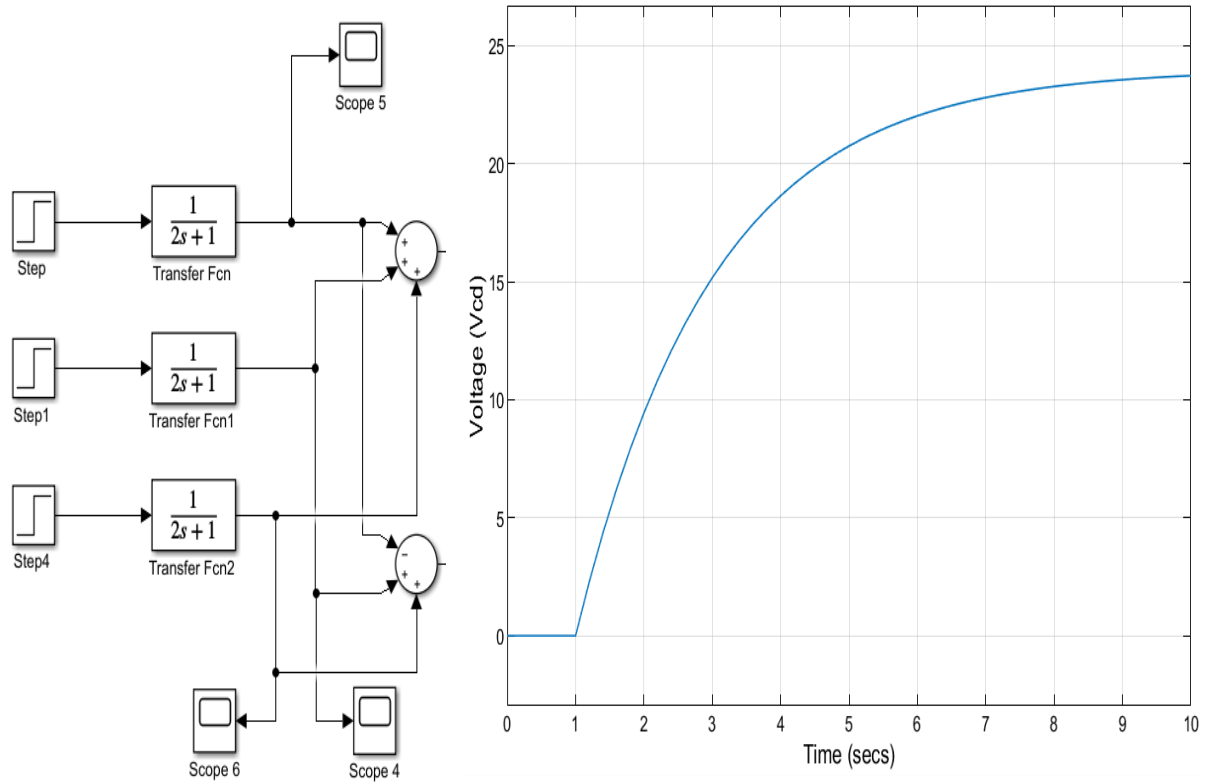


Anexo 5: Archivo fotográfico de autorización del uso de laguna de chocar Azogues – San Marcos.

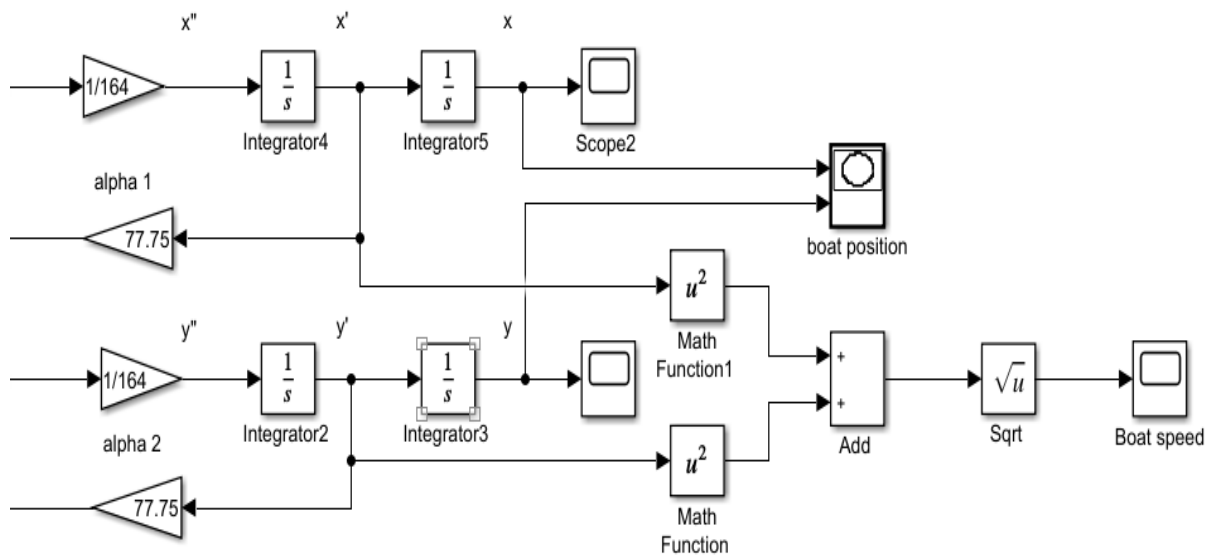


Anexo 6: Gráficas del Sistema de modelado propuesto realizado en Simulink.

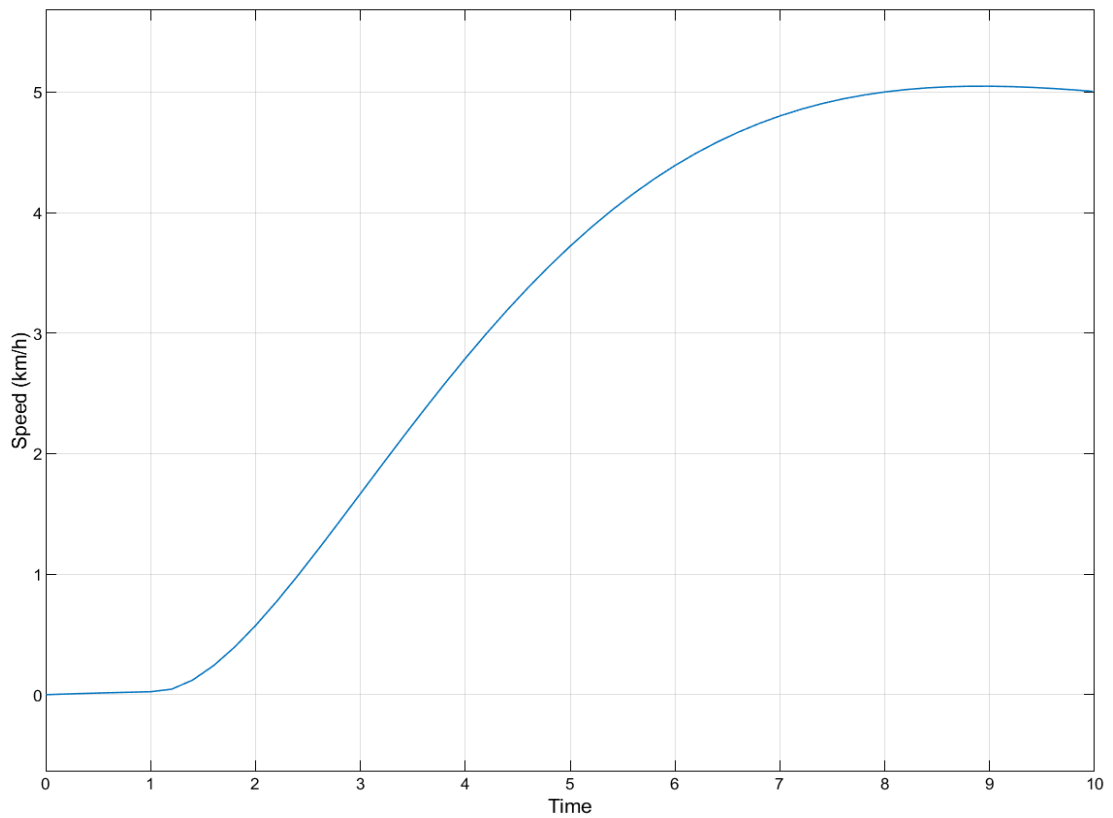
a. Subsistema de motores en estado cero con alimentación de 24Vcd.



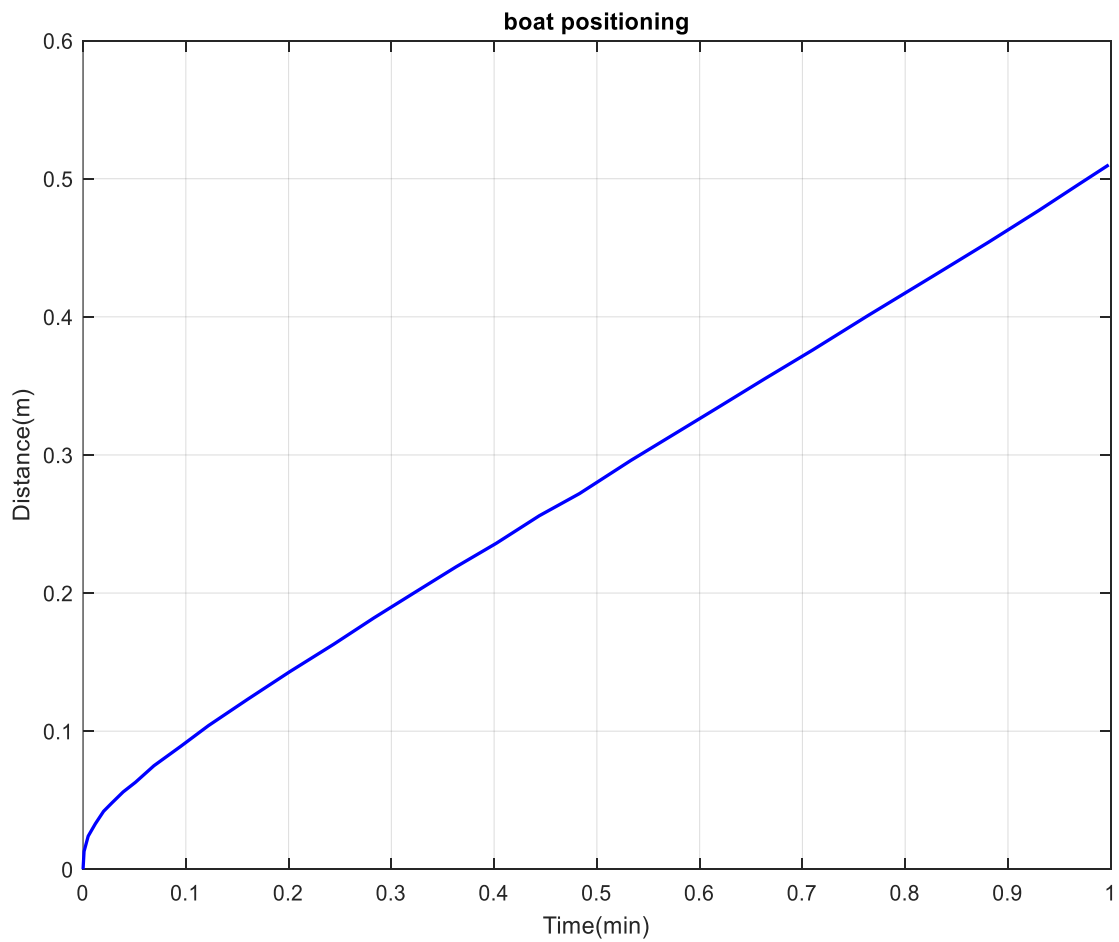
b. Subsistema de variación de velocidades dependiendo de los encendidos de motores de forma secuencial.



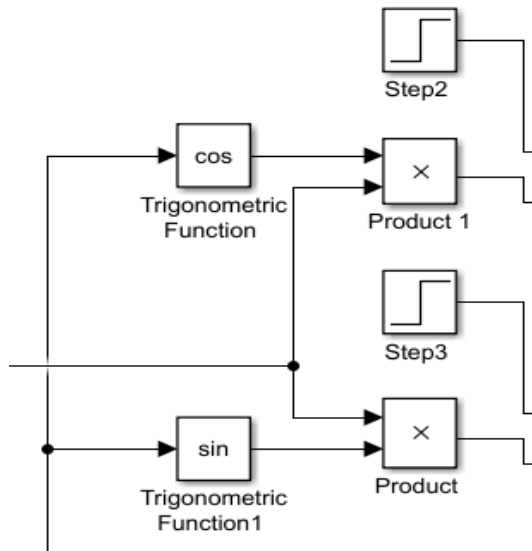
c. Grafica de la velocidad del bote.



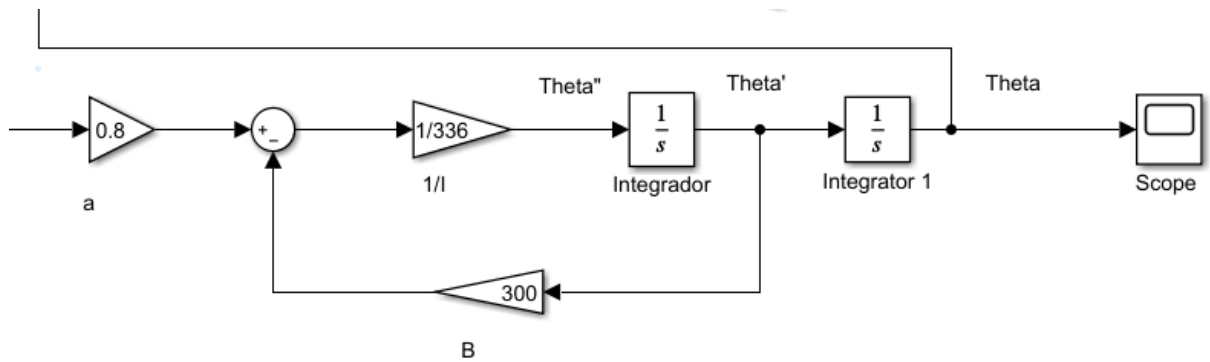
d. Grafica del posicionamiento del bote.



e. Subsistema de posicionamiento de bote mediante el recorrido.



f. Sub sistema del comportamiento del casco en navegación.



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Byron Wilfrido Castillo Pinos** y **Cristian Joel Quinde Gómez** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º **0302599253** y **0302471354**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN BOTE ABASTISIDO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de enero de 2024

F:

Byron Wilfrido Castillo Pinos

0302599253

F:

Cristian Joel Quinde Gómez.

0302471354