



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Telepresencia 5G. Sistema de control remoto y navegación
inmersiva de vehículos

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación

AUTOR/A: Castilla García, Alejandro

Tutor/a: Cardona Marcet, Narciso

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Resumen

Este proyecto abarca el diseño de un sistema de control y navegación inmersiva para vehículos en el entorno marítimo-portuario, siguiendo una filosofía de diseño flexible y robusto, tomando como núcleo un sistema de comunicaciones que pudiese ser migrado a cualquier tipología de vehículo. En primer lugar, se sientan las bases teóricas de cada uno de los componentes necesarios en un sistema de transporte inteligente, y se realiza un estudio de las diferentes opciones posibles para un diseño óptimo. Centrándose en todo momento en la integración entre las redes de comunicaciones móviles 5G y los sistemas de transporte inteligente, acentuando la importancia de la combinación de los diferentes sistemas.

Además, en este documento se describen todos los sistemas necesarios para la implementación de la aplicación final, así como el proceso de diseño, error y aprendizaje de los diferentes prototipos propuestos. Finalmente, se describe el montaje del prototipo definitivo, así como diferentes análisis de la eficiencia y funcionamiento del caso de uso final.

Abstract

This project covers the design of a remote control and immersive navigation system for vehicles in the port-maritime environment, following a flexible and robust design philosophy, taking as its core a communications system that could be migrated to any type of vehicle simply. In the first place, the theoretical bases of each one of the necessary components in an intelligent transport system are laid down, and a study of the different possible options for an optimal design is carried out. Focusing at all times on the integration between 5G mobile communications networks and intelligent transport systems, emphasizing the importance of combining the different systems.

In addition, in this document, all the necessary systems for the implementation of the final application are written, as well as the design, error, and learning process of the different proposed prototypes. Finally, the assembly of the final prototype is described as well as different analyzes of the efficiency and performance of the end-use

Índice general

I Memoria

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Estado del arte	5
3.1. Sistemas de comunicaciones móviles 5G	5
3.2. Comunicaciones aplicadas al control de vehículos	6
3.3. Comunicaciones en el sector marítimo	7
4. Metodología de trabajo	9
4.1. Gestión, planificación y fases del proyecto	9
5. Estudio teórico de los sistemas	11
5.1. Sistema de control	11
5.1.1. Señales PWM	11
5.1.2. Motores eléctricos	12
5.1.3. Control de velocidad electrónico	14
5.1.4. Ordenador de control: Raspberry Pi	15
5.1.5. Potenciómetros	16
5.1.6. Servomotores	16
5.1.7. Relés e interruptores electrónicos	17
5.2. Sistema multimedia	18
5.2.1. Cámaras	18
5.2.2. Codificación y procesado de vídeo	19
5.3. Sistema de comunicaciones	20
5.3.1. Comunicaciones móviles y 5G	21
5.3.2. CPE	23
5.3.3. Control por radiofrecuencia	23
5.4. Sistema de alimentación y seguridad	24
5.4.1. Baterías	24
5.4.2. BMS	26
5.4.3. Conversores	27
5.4.4. Fusibles	28
5.4.5. Interruptor magneto-térmico	29
5.4.6. Cableado	29

6. Diseño e implementación	31
6.1. Prototipo N.º 1: Sigma	31
6.1.1. Sistema de control	31
6.1.2. Sistema de comunicaciones	34
6.1.3. Sistema de alimentación y seguridad	35
6.1.4. Sistema multimedia	36
6.1.5. Problemas del prototipo N.º 1	37
6.2. Prototipo N.º 2: Cartagena	38
6.2.1. Sistema de alimentación y seguridad	38
6.2.2. Sistema de control	39
6.2.3. Problemas del prototipo N.º 2	40
6.3. Prototipo N.º3: Valencia	40
6.3.1. Sistema de alimentación y seguridad	41
6.3.2. Sistema de control	44
6.3.3. Sistema de comunicaciones	49
6.3.4. Sistema de multimedia	52
6.3.5. Fase de montaje y distribución espacial de la electrónica	53
7. Presupuesto	55
8. Conclusiones y propuesta de trabajo futuro	57
Bibliografía	59

Índice de figuras

4.1. Diagrama de planificación del proyecto	10
5.1. Representación de una señal PWM en el tiempo	11
5.2. Vista interna del motor trifásico	12
5.3. Conexiones internas del motor trifásico	13
5.4. Señales internas del motor trifásico	13
5.5. Circuito de coordinación del motor trifásico	14
5.6. Circuitería interna de un ESC	14
5.7. Señal generada por un ESC	15
5.8. Raspberry Pi 4	15
5.9. Esquema interno de un potenciómetro	16
5.10. Tecnología de un potenciómetro rotatorio	16
5.11. Esquema interno de un servomotor	17
5.12. Señales PWM en un servo	17
5.13. Tabla comparativa entre la FR1 y FR2	21
5.14. Proceso de adaptación de 4G a 5G	22
5.15. Arquitectura 5G	22
5.16. Configuración del port forwarding	23
5.17. Procesos químicos en la carga y descarga de una batería de plomo ácido	25
5.18. Esquema interno de una batería de plomo ácido	25
5.19. Tipos de balanceo de celdas	27
5.20. Circuito interno de un convertor reductor	28
5.21. Circuito interno convertor de un elevador	28
5.22. Circuito interno de un interruptor diferencial	29
6.1. Esquema del sistema mecánico del prototipo N.º 1	32
6.2. Imagen de un final de carrera industrial	33
6.3. Imagen del proceso de montaje del prototipo N.º1	33
6.4. Esquema de control del prototipo N.º1	34
6.5. Esquema conceptual de comunicaciones del prototipo N.º 1	35
6.6. Esquema del diseño del prototipo N.º 1	36
6.7. Modelo de la cámara 360º	36
6.8. Diagrama del sistema multimedia de ZTE	37
6.9. Esquema del diseño del prototipo N.º2	38
6.10. Diagrama UML de la programación de la Raspberry del prototipo N.º2	39
6.11. Imagen del prototipo N.º 3 en uso	41
6.12. Dispositivos a alimentar y elección de convertidores	42
6.13. Derating curve del convertor DPX20-48WS05	42

6.14. Diagrama de alimentación del prototipo N°3	43
6.15. Matriz de conexiones	43
6.16. Diseño 3D de la pieza de acoplo servo/potenciómetro	44
6.17. Diagrama de comunicaciones del prototipo N.º 3	45
6.18. Diagrama del software del módulo de comunicaciones	46
6.19. Diagrama del software del módulo de GUI	47
6.20. Diagrama del software del controlador de velocidad	47
6.21. Diagrama del software del control en transmisión	48
6.22. Diagrama del software del control en recepción	49
6.23. Diagrama de comunicaciones internas	50
6.24. Diagrama de comunicaciones internas en recepción	51
6.25. Diagrama de comunicaciones externas	51
6.26. Mapa de cobertura y distribución del puerto	52
6.27. Borrador de la guía de montaje del prototipo N.º 3	54
7.1. Presupuesto de personal	55
7.2. Presupuesto de materiales	56
8.1. Demostración en el Mobile World Congress de 2022	57
8.2. Imagen del barco en uso en el puerto de Valencia	58

Parte I

Memoria

Capítulo 1

Introducción

Hoy en día las comunicaciones se encuentran en todas las áreas ingenieriles, pues son vitales para muchos de los sistemas que conforman las industrias. Concretamente, un sector que está creciendo aceleradamente en este sentido es el de los Sistemas de Transporte Inteligente (STI). Esta es un área muy extensa que trata de abarcar un gran marco que implica a muchos tipos de sistemas, desde el sistema de pago de peajes, hasta los sistemas de conducción asistida avanzada. Todos estos sistemas están definidos según el marco europeo como algunos de los trabajos del proyecto KAREN (Keystone Architecture Required for European Networks).

Este tipo de sistemas está compuesto por 3 agentes diferenciados: infraestructura, vehículos y personas, nuestra aplicación estaría situada dentro del área de vehículos y sirve como base para el desarrollo del grupo número 5 del proyecto KAREN; sistemas de conducción asistida avanzada. Ya son altamente conocidas las aplicaciones para el remote driving en coches, y son diferentes las empresas que empiezan a implementar estos sistemas en sus proyectos, pues el futuro parece conducir a un ecosistema en el cual todo esté interconectado, y cada vez sea menos necesaria la localización de los operarios y trabajadores. Es en este ámbito donde, a nivel industrial, esta aplicación es sumamente interesante, pues permitiría a cualquier usuario poder conducir remotamente diferentes tipos de vehículos sin la necesidad de estar presencialmente en el.

Sin embargo, no es tan conocida la implementación de estos sistemas para aplicaciones marítimas. El sector náutico en la actualidad es un área que sigue usando sistemas ‘obsoletos’ pues, aunque tecnológicamente no son tan avanzados, tienen un nivel de robustez ante fallos mayor, y en este sector los errores tienden a ser catastróficos, razón por la cual las empresas generalmente no se ha atrevido a implementar este tipo de aplicaciones. Sumado a esto, el futuro de las comunicaciones industriales y personales parece derivar todo hacia un mismo destino, las comunicaciones móviles inalámbricas, en concreto, la gran mayoría de STI que necesitan dotarse de comunicaciones siguen una clara tendencia a nutrirse de las redes 5G.

Por tanto, puesto que gran parte del desarrollo está puesto en las comunicaciones en el sector terrestre, da la impresión de que no pueden beneficiarse los sistemas no terrestres, como el aéreo y el marítimo, aunque también existen aplicaciones muy interesantes para estos tipos de vehículos, principalmente en las fases de despegue/aterrizaje en el caso de medios aéreos y en las entradas y salidas de puertos en el caso de los medios marítimos. Además, en el sector marítimo una de las operaciones más complicadas es el atraque de grandes buques, que requieren de un practicaaje, remolcaje y amarre, tareas que se realizan a diario, pero de forma manual.

Por otro lado, existen muchas más tareas que se podrían beneficiar del desarrollo de la conducción remota, como la vigilancia de los espacios, el control de movimientos y accesos, la exploración de zonas remotas o perjudiciales para el cuerpo humano o para rescates y labores humanitarias. Por ello, este tipo de aplicaciones y casos de uso son esenciales para mostrar lo que la tecnología es capaz de ofrecer a los diferentes organismos como autoridades portuarias y otros tipos de agentes.

Capítulo 2

Objetivos

El objetivo de este proyecto es el diseño e implementación de un sistema de control remoto y navegación inmersiva flexible, con la finalidad de ser una muestra de un caso de uso de la integración entre la tecnología 5G y los sistemas de transporte inteligentes. De hecho, el proyecto nació como uno de los pilotos 5G contratados por Orange para el Mobile World Congress de 2020 con el fin de mostrar algunas de las aplicaciones del 5G en la industria. Se especificarán las bases teóricas de todos los componentes de los diferentes sistemas, que componen el prototipo de una embarcación no tripulada teleoperada mediante una red 5G, además, se proporciona el procedimiento de montaje e implementación de forma detallada, junto con el análisis de las problemáticas surgidas a lo largo del proyecto y sus propuestas de mejora.

Para ello, es necesario diseñar cada uno de los sistemas necesarios para funcionar en conjunto, con la filosofía de crear un prototipo con un núcleo de comunicaciones flexible, de forma que pudiera ser migrado a cualquier tipo de transporte. Aunque en este proyecto solo se estudia para el caso de un sistema de navegación marítimo en puerto por la limitación en extensión. No obstante, ya se ha proyectado su extrapolación a vehículos terrestres.

Capítulo 3

Estado del arte

3.1. Sistemas de comunicaciones móviles 5G

Los sistemas de comunicaciones 5G han sufrido un gran cambio de paradigma, además del desarrollo tecnológico, las principales diferencias de estos sistemas con sus anteriores versiones se han realizado en la segmentación y la posibilidad del desarrollo de las redes privadas. Concretamente, en España ya se están empezando a observar pasos por parte de la administración en este sector como la reserva del espectro para estas aplicaciones, actualmente están reservados 20 MHz en la banda n40 de 2370-2380 MHz, además, ya se ha mencionado por parte de la dirección general de telecomunicaciones la posible reserva en la banda de 3,8 GHz a 4,2 GHz y de 26 GHz a 30 GHz en milimétricas. Además, en 2020 3GPP logró implementar en la Release 16, la posibilidad de trabajar en frecuencias de espectro no licenciado para la 5G New Radio entre los 5 y 6 GHz.

Tradicionalmente, la industria ha necesitado la creación de sistemas de comunicaciones aislados, ya sea por motivos de privacidad o por inaccesibilidad, típicamente, para estas aplicaciones se ha hecho uso de la tecnología wifi, sin embargo, esto requiere de la instalación de una gran cantidad de puntos de acceso, entre otras desventajas, como por ejemplo la exposición de las credenciales a las redes públicas, poca trazabilidad de los procesos y una menor protección ante fallos de la red pública. Existen diferentes modalidades de implementación de las redes privadas, estas son:

- **Red privada aislada (standalone)** : en esta modalidad se despliegan todas las funciones y equipos de la tecnología dentro de la zona del propietario de forma privada, la red puede estar conectada a la red pública mediante un sistema de suscripción dual SIM o simplemente puede ser una red completamente privada y aislada.
- **Red privada de acceso radio compartida con un operador de red pública** : se trata de la compartición de la parte radio por parte de la red privada y la red pública, sin embargo, el resto de funciones continúan segregadas. De esta forma, todos los datos que circulen en la red interna permanecerán dentro la red privada. Esta modalidad está especificada por el 3GPP como ‘RAN sharing’.
- **Red privada de acceso radio y plano de control compartidos** : esta modalidad está definida por el 3GPP como ‘network slicing’ es similar a la anterior, con la diferencia de que en esta el plano de control se ejecuta en la red pública. De manera que solo existe una única

infraestructura compartida, en la cual se diferencia una red frente a la otra con el identificador de ‘slice’, similar al uso de APN para 4G, pero con la mejora de que un usuario puede acceder a una red o a la otra con una única SIM

- **Red privada proporcionada por el operador público** : esta opción no se consideraría estrictamente una red privada, ya que todo el proceso de instalación y mantenimiento se lleva a cabo por medio de un operador de red pública, él puede adecuar la red para un funcionamiento más adecuado para la aplicación para la cual se contrata. Realmente se trataría de una contratación del operador de red para la instalación y el mantenimiento de un servicio dedicado.

3.2. Comunicaciones aplicadas al control de vehículos

Los sistemas de transporte inteligente, son un sector del cual se lleva teorizando desde tiempos pasados. De hecho, la primera versión del proyecto KAREN se publicó en el año 2000, aunque empezó a desarrollarse en el 1998, este proyecto nació con el objetivo de sentar las bases de los STI a nivel europeo, y con el propósito de hacer estudios e informes que analicen y guíen los próximos pasos a dar en estos sistemas. A raíz de este proyecto y gracias a la financiación que aportaron surgió la arquitectura FRAME en el año 2000. Esta arquitectura proveyó unas bases sistemáticas para facilitar la implementación e integración asegurando la inter-operabilidad en Europa. Sin embargo, esta nueva arquitectura requería de cierto apoyo técnico hacia los usuarios para su utilización, es por ello que se crearon diferentes proyectos para proveer y mantener foros y herramientas que guiaran al sector. Finalmente, acabo derivando, debido a la necesidad del sector de la implementación de sistemas más cooperativos, en la última fase del proyecto, E-FRAME, con el objetivo de actualizar la arquitectura, apoyándose en la cooperación de los sistemas como parte de la implementación de los STI en Europa.

Un punto crítico en el desarrollo de los STI es la seguridad, puesto que son sistemas que podrían convivir en entornos urbanos e implicar vidas humanas, es sumamente importante la estandarización y la certificación de los dispositivos que se empleen. Deben ser sistemas altamente robustos, y con la capacidad de evitar fallos que pudieran ser fatales o al menos tratar de reducir los daños hacia los usuarios y a la infraestructura. Por ello, la implementación de este tipo de aplicaciones, puede ser ciertamente compleja, ya que tienen que ser sistemas extremadamente testados. Además, una de las claves para el éxito de los STI es la inter-operabilidad e inter-conectividad con otros tipos de sistemas, por ello es necesaria la estandarización y la unificación de los protocolos y dispositivos que se usen. En este ámbito, los principales organismos encargados de dictar estas normas son la ETSI y la CEN.

Hoy en día, ya vemos algunos sistemas de conducción remota implementados en algunas aplicaciones como apoyo a otros sistemas, pero no de forma íntegra. Es más común ver las comunicaciones aplicadas a sistemas de información al usuario o telemetría, o en sistemas públicos para la monitorización de sistemas más amplios. Por otro lado, gracias al avance de las comunicaciones móviles, concretamente con el desarrollo de la tecnología 5G, se ha creado un nuevo paradigma basado en las redes privadas para las industrias, y es esta combinación la que dota de un gran potencial a la conducción remota implementada mediante este tipo de redes. Ya que ofrecen muy buenas prestaciones en el ámbito de latencia, ancho de banda y cobertura, parámetros básicos y necesarios para una experiencia del usuario satisfactoria.

En la situación de la industria actual, la cual se busca automatizar y optimizar los procesos, una de las claves a nivel logístico, es el movimiento de materiales y el uso de robots que realicen las tareas repetitivas para aumentar su productividad y eficiencia. En este sentido, los STI tienen mucho que aportar, ya que solventan muchos de los problemas que ralentizan los procesos, abaratando así los costes logísticos y de producción.

3.3. Comunicaciones en el sector marítimo

Es bien conocido que los grandes buques y barcos, pasan grandes cantidades de tiempo en alta mar, donde no hay infraestructuras de comunicaciones ni forma de crear radioenlaces con tierra durante gran parte del trayecto. Sin embargo, eso no los excluye del uso de estos sistemas, pues también tiene la necesidad de comunicarse con diferentes elementos, así, se observan 4 tipos de comunicaciones:

- **Comunicaciones interiores:** en referencia a las comunicaciones para que se lleven a cabo las órdenes y tareas a bordo.
- **Comunicaciones entre barcos:** principalmente usadas evitar colisiones e informar de su posición.
- **Comunicaciones generales:** referidas al tráfico a nivel operativo, principalmente, cuando el barco se encuentra cerca de la costa para comunicarse con tierra o con los puertos.
- **Comunicaciones especiales:** para señales de socorro o emergencia referidas generalmente a situaciones de peligro.

Por tanto, esto nos lleva a pensar que las comunicaciones móviles no tienen aplicaciones para este tipo de medios, sin embargo, gran parte de la complejidad logística de los grandes buques se encuentra en las labores de puerto, donde sí que es posible desplegar las redes de comunicaciones móviles. Así pues, son de mucha utilidad en la parte de comunicaciones generales barco-puerto. Ya que en los puertos sigue habiendo una gran cantidad de tareas que se realizan de forma manual, como labores de amarre, practicaje, remolcaje, etc, en este sentido es donde los STI tienen mucho que aportar, ya que en muchos de los casos, no es necesario el uso de vehículos tripulados para la realización de algunas tareas, y es por ello que estos sistemas podrían mejorar su eficiencia con ayuda de la navegación remota. Ya que un mismo patrón podría controlar varios barcos sin necesidad de estar en el lugar.

Por otro lado, los grandes puertos ocupan grandes superficies, que se dividen según el tipo de embarcación que se amarre en los muelles, a su vez, la parte de los puertos correspondiente a los grandes buques se dividen en terminales que a menudo son controladas por distintas entidades, pero supervisadas por una única autoridad portuaria. Y debido a que la seguridad y el control de accesos en los puertos es vital, esta puede llegar a ser una tarea ardua para las autoridades, sobre todo en épocas de temporales y fuertes vientos. Y es aquí donde parecen encajar las características de la conducción remota, ya que suplen exactamente las necesidades que requieren los puertos, pues para controlar y asegurar la seguridad de los barcos, es necesario moverse por los diferentes diques del puerto. Por consiguiente, se podría mejorar la eficiencia y la efectividad, desplegando una flota de barcos teleoperados remotamente que junto con la telemetría embarcada, podría proporcionar mucha más información sobre la situación de los barcos amarrados o en los accesos.

Capítulo 4

Metodología de trabajo

En este apartado se marcarán los pasos y pautas necesarias para un desarrollo del proyecto óptimo, y se describe como se llevará a cabo la gestión y la planificación durante el desarrollo completo del proyecto.

4.1. Gestión, planificación y fases del proyecto

En primer lugar, se establecen las fases a seguir y el orden de las tareas que se han de llevar a cabo para el correcto desarrollo del proyecto. El esquema se muestra en 4.1, el cual consta de 5 fases diferenciadas. En la fase inicial se plantea el objetivo y se hace una lluvia de ideas para, posteriormente, elegir la idea que más se adecue, una vez elegida, la siguiente fase es la de diseño, en la cual se plantea el diseño teórico tanto hardware como software del prototipo. El siguiente paso es la búsqueda de proveedores en el mercado que nos proporcionen los materiales requeridos, en paralelo a esto, se empieza la programación del dispositivo, para que una vez que hayan llegado los materiales se pueda pasar a la implementación del hardware, llegando así a la primera aproximación del prototipo. Una vez se ha probado el sistema en el laboratorio, el siguiente paso será la implementación del prototipo en el barco. A continuación, en paralelo, se procede con la comprobación en seco del sistema completo, mientras, se prepara el barco para su botadura en el puerto, esto consiste en revisar la cubierta y el casco asegurando que no tenga fugas que pudiese mojar la electrónica. Cuando estas dos tareas han sido completadas de forma satisfactoria, solo queda el último paso, proceder a la botadura del barco en el agua y probar su funcionamiento, evaluando así, si es necesaria alguna mejora o arreglo que pueda mejorar la experiencia de usuario y la seguridad del barco.

Project Planification

Alex Castilla | March 9, 2022

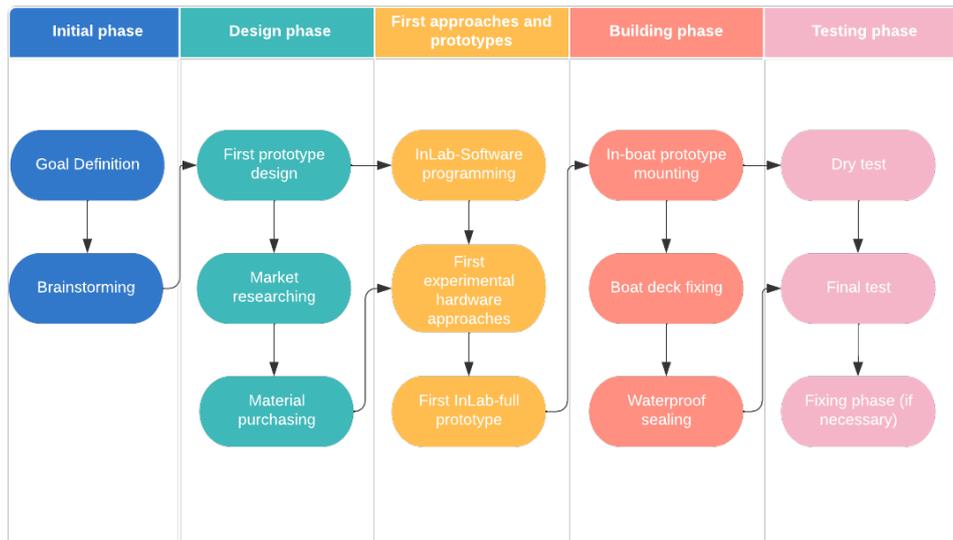


Figura 4.1: Diagrama de planificación del proyecto

Capítulo 5

Estudio teórico de los sistemas

En este capítulo se realiza un análisis y estudio de todos los componentes esenciales para llevar a cabo el diseño y montaje del proyecto, en el cual se describe con detalle todas las partes de los diferentes sistemas de forma profunda para adquirir el conocimiento necesario para realizar un diseño óptimo.

5.1. Sistema de control

El sistema de control es el encargado de la parte mecánica y de las comunicaciones internas en el barco, por tanto, abarca la mayoría de componentes electrónicos esenciales para el funcionamiento del prototipo.

5.1.1. Señales PWM

Las señales PWM (Pulse Width Modulation) o de modulación en ancho de pulso son señales muy recurrentes en ingeniería para el control de dispositivos analógicos como los diferentes tipos de motores. La utilidad de estas señales es que es una forma sencilla de controlar una entrada analógica con una salida digital, aunque no se puede crear una señal analógica de forma digital exactamente, en la práctica se puede afirmar que aplicando pulsos de esta señal es posible simular una señal analógica aceptable.

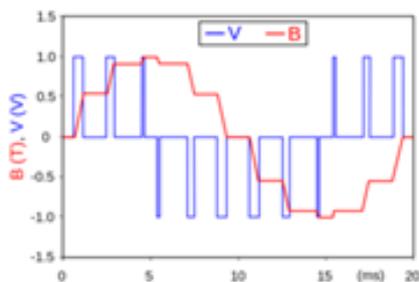


Figura 5.1: Representación de una señal PWM en el tiempo

Una señal PWM puede estar únicamente en 2 estados: ON y OFF, sin embargo, en este tipo de señales es posible controlar el ancho de estos pulsos. Por ello, es necesario definir diferentes parámetros que permitan describir como es la señal que se está diseñando, estos son:

Frecuencia: este parámetro es inversamente proporcional al periodo de un pulso, es decir, hace referencia a cuantas veces por minuto varía la señal PWM, por lo de este parámetro se infieren 2 ecuaciones esenciales.

$$F[Hz] = \frac{1}{T[s]} \quad (5.1)$$

$$T[s] = T_{on} + T_{off} \quad (5.2)$$

Duty Cycle: el duty cycle o ciclo de trabajo describe cuanto tiempo está la señal en ON durante el tiempo que dura un pulso, suele expresarse en porcentaje, por ejemplo, es correcto afirmar que un duty cycle del 50% significa que la señal ha estado en ON medio pulso y la otra mitad ha estado en OFF. Es posible calcular este porcentaje aplicando la siguiente ecuación:

$$DC[\%] = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \cdot 100 \quad (5.3)$$

Usualmente, en la programación se deben indicar ambos valores para enviar la señal, el DC puede indicarse mediante la ecuación anterior, y generalmente tiene un valor entre 500 y 2500.

5.1.2. Motores eléctricos

El núcleo y el componente más importante para la mecánica del barco es el motor eléctrico trifásico. Su funcionamiento se basa en la teoría del electromagnetismo, el motor está compuesto por dos elementos principales, el rotor y estátor. El rotor está conformado por un imán con dos polos como se muestra en la imagen 5.2, mientras que el estátor consiste en una serie de bobinas enrolladas alrededor del estátor. De forma que, al aplicar una corriente en las bobinas de forma secuencial, se crea un campo electromagnético que atrae las bobinas del estátor a los imanes del rotor, creando así un movimiento permanente mientras se aplique la corriente, además, cuanto más fuerte sea esta corriente, mayor será la intensidad del campo electromagnético y, por tanto, más rápido girará.

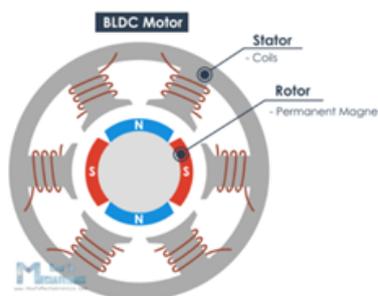


Figura 5.2: Vista interna del motor trifásico

Sin embargo, se puede incrementar la fuerza del motor modificando un poco las bobinas, el primer paso será enrollar las bobinas que estén enfrentadas entre sí para generar los polos contrarios en los polos del rotor, de forma que la fuerza se duplica. Al hacer esto con todas las bobinas, cuando una bobina repele al imán, la otra lo atrae, por consiguiente, se mejora la eficiencia del sistema. Teóricamente, al hacer estas conexiones realmente se tienen son 3 bobinas, ya que las bobinas enfrentadas, al estar conectadas, se comportan como una sola.

Para definir la forma de alimentar el motor, en primera instancia se definen las 3 bobinas conectadas con las letras A, B y C como se muestra en la figura 5.3.

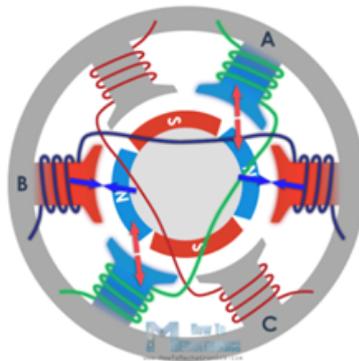


Figura 5.3: Conexiones internas del motor trifásico

Con esta definición, para crear el movimiento a partir de la corriente, debemos aplicar diferentes tensiones en las bobinas. En cada intervalo de tiempo, la forma de distribuir la corriente será: a la bobina A se le aplica una corriente positiva mientras que en la bobina B se aplica una corriente negativa, de esta forma, una de las bobinas atrae al imán mientras que la otra lo repele, finalmente la bobina C deberá estar desconectada, este proceso se repetirá de forma continua y será el que generará un movimiento más eficiente.

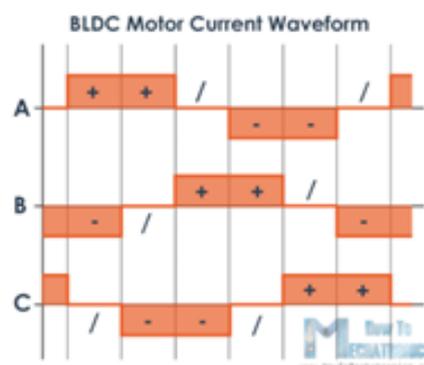


Figura 5.4: Señales internas del motor trifásico

Para generar las corrientes y tensiones necesarias para alimentar el motor, es típico usar un circuito como el siguiente:

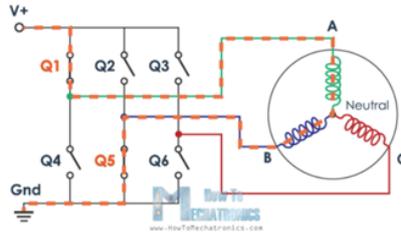


Figura 5.5: Circuito de coordinación del motor trifásico

Típicamente, se usan transistores MOSFETS para alimentar el motor, de forma que activando dos de los transistores de forma correcta se podría generar la señal necesaria. Y de esta forma, para dar una vuelta completa al motor bastaría con 6 intervalos de tiempo

5.1.3. Control de velocidad electrónico

Otro de los componentes más importantes para el funcionamiento de un motor eléctrico trifásico es el control de velocidad (ESC) o variador, este es el encargado de mandar la señal trifásica de control a los motores y abastecerlos con la batería del sistema en algunos casos.

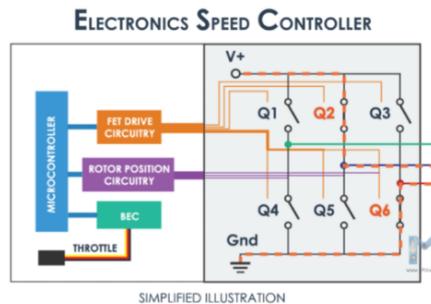


Figura 5.6: Circuitería interna de un ESC

A su vez, está compuesto por diferentes componentes. El primero de ellos es el FET drive circuit, el cual está conformado por una serie de transistores MOSFET que permiten o no el paso de corriente en las diferentes fases. Otro de los grandes problemas a la hora de alimentar el motor es que es necesario saber la posición de los imanes para poder elegir correctamente los transistores que deben estar activados, de esto se encarga el rotor position circuit, su tecnología puede variar en función de si el sistema está sensorizado o no. Los sensorizados se basan en la detección de la posición mediante el efecto Hall, sin embargo, estos son menos comunes porque tienen peor eficiencia que los no sensorizados. En la contrapartida, los no sensorizados se basan en la detección de las corrientes del cable neutro, mientras que los otros dos cables alimentan al motor, de esta forma midiendo la corriente en el tercer cable, la cual se genera por el campo magnético que genera la rotación de los imanes, es posible averiguar cuanto ha girado el rotor y, por tanto, su posición. Por otro lado, el microcontrolador integrado es el encargado de gestionar y operar sobre el FET drive circuit, enviando las señales necesarias para seleccionar adecuadamente la fase en función de la información de la posición del rotor. Finalmente, el BEC (Battery Eliminator Circuit) no es

totalmente necesario, aunque este se encarga de reducir el voltaje proporcionado por la batería a modo de protección del ESC.

Sin embargo, en este caso el motor debe poder funcionar a diferentes velocidades, por consiguiente, es necesario que exista alguna forma de variar la potencia de giro de los imanes. Para lograr esta variabilidad de potencia, el método que emplea el ESC es la limitación del tiempo que están cerrados los MOSFET, de forma que si se quiere reducir la velocidad, el primer transistor se cerrará un intervalo de tiempo, mientras que el otro solo dejará pasar la corriente medio intervalo, de esta forma, al eliminar el paso de corriente antes de que pase el intervalo completo se reduce la fuerza con la que se atraen y repelen los imanes.

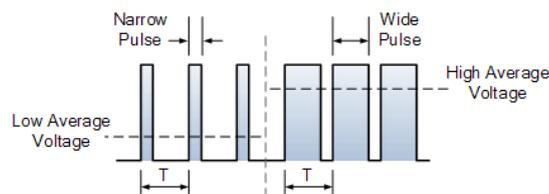


Figura 5.7: Señal generada por un ESC

5.1.4. Ordenador de control: Raspberry Pi

Para gestionar todas las señales y llevar a cabo todo el control, es necesario embarcar un dispositivo capaz de procesar todas las comunicaciones y que controle toda la electrónica digital, la encargada de este trabajo es la Raspberry Pi, se trata de un ordenador en pequeña escala programable y capaz de realizar cálculos complejos. Esta usa un sistema operativo basado en Linux llamado Raspbian, en el cual es posible escribir scripts que procesen toda la información para poder comunicar los diferentes dispositivos del sistema de control. Adicionalmente, y esta es la razón del verdadero interés de la Raspberry Pi para esta aplicación, tiene una serie de puertos GPIO por los cuales se pueden gestionar señales PWM en el mismo dispositivo. Existen muchos modelos de Raspberrys y también otros dispositivos de IoT similares como los arduinos o procesadores de vídeo más especializados como las Nvidia Jetson Nano.



Figura 5.8: Raspberry Pi 4

5.1.5. Potenciómetros

Un potenciómetro es un dispositivo capaz de brindar un valor resistivo variable, como se muestra en la 5.9 el esquema interno de un potenciómetro está formado por 2 resistencias en serie, de forma que una resistencia compensa a la otra brindando una resistencia fija entre los terminales 1-3 y variable entre 1-2 y 1-3. Existen muchos tipos de potenciómetros y diferentes tipos de tecnologías en función de los requisitos mecánicos o de precisión, en este caso particular, los más usados y los que incorporan los motores fuera-borda de los barcos son los de tipo analógico y rotatorio.

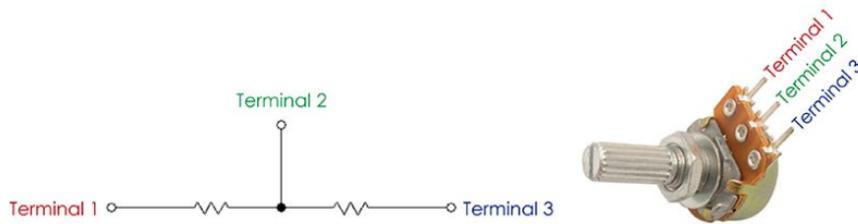


Figura 5.9: Esquema interno de un potenciómetro

Su funcionamiento se basa en un terminal deslizante (cursor) que hace contacto con un material resistivo conectado a los terminales 1 y 3, estando el cursor en el terminal 2. De forma que al girar el eje la cantidad de material resistivo entre el cursor y el terminal es mayor, lo que genera una resistencia proporcionalmente más elevada. En el otro terminal ocurre lo contrario, y por ende cuanto más cerca este el cursor menos resistencia proporcionará.

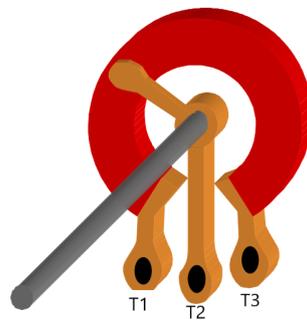


Figura 5.10: Tecnología de un potenciómetro rotatorio

5.1.6. Servomotores

Un servomotor es un dispositivo electromagnético que es capaz de generar un par de fuerza a partir de una tensión y corriente, a diferencia de otros motores, el servomotor es capaz de rotar el eje cierta cantidad de grados y mantenerse fijo en esa posición, controlando así el movimiento de forma precisa.

Los servomotores están compuestos por diferentes componentes, entre ellos, un motor de continua similar a los estudiados anteriormente, el cual se encarga de generar la fuerza necesaria para crear el movimiento. A su vez este motor está conectado a un eje y a un potenciómetro mediante una

serie de engranajes, de esta forma el potenciómetro, que actúa como un divisor de voltaje, al girar con el motor retroalimenta el circuito de control. Este circuito es el encargado de transformar la señal PWM para poder mover el motor, además, procesa la señal que le llega del potenciómetro, de forma que es capaz de saber la posición del motor, y junto con la propia señal PWM puede mover el motor hasta la posición indicada por el usuario.

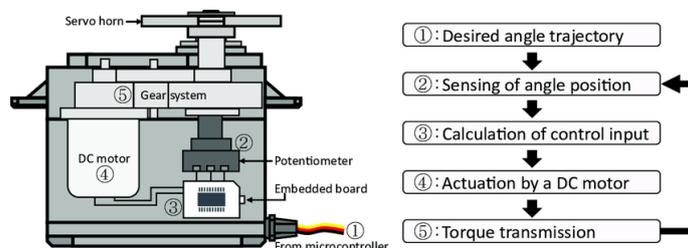


Figura 5.11: Esquema interno de un servomotor

Respecto a la señal de control, como ya se ha mencionado anteriormente, se emplea una señal PWM. En función del duty cycle de la señal el servo se dirigirá a una ubicación en concreto, típicamente la señal PWM usa un rango de 1 a 2 ms que se corresponde con 0° y 180° , respectivamente, como se muestra en 5.12. Cabe añadir que para el montaje de un servo en un sistema, es necesario entregarle un voltaje de alimentación además de la propia señal PWM. La entrada suele estar compuesta por 3 cables, uno rojo, donde se entrega el voltaje, uno negro, el cual se conecta a la tierra y otro blanco, para la señal PWM.

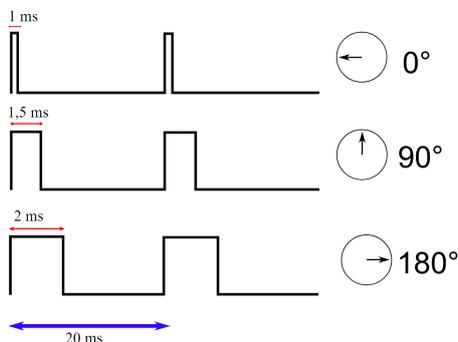


Figura 5.12: Señales PWM en un servo

5.1.7. Relés e interruptores electrónicos

Un relé es un aparato eléctrico que funciona como un interruptor, con la diferencia de que este se acciona al aplicar un voltaje a una bobina.

El funcionamiento interno de un relé está basado en el efecto inductivo de las bobinas, es decir, el fenómeno que se produce al aplicarle cierta tensión en sus bornes, crea un campo electromagnético que atrae o repele un contacto metálico. Aprovechando este fenómeno es posible crear un circuito que derive la entrada a una salida o a otra, comúnmente se conocen como borne normalmente cerrado, al que deja pasar la corriente cuando no se aplica tensión a la bobina, y borne normalmente abierto al caso contrario, aunque existen bobinas con más bornes.

Por otro lado, un interruptor electrónico es un circuito eléctrico basado en el funcionamiento de un relé, este también realiza la función de un interruptor; sin embargo, en lugar de aplicar una tensión directa, se activa mediante una señal PWM, que usualmente se usan en los receptores de RC.

5.2. Sistema multimedia

El sistema multimedia es el encargado de captar y proporcionar la imagen al sistema, de forma que el usuario pueda experimentar una experiencia inmersiva de forma satisfactoria, siendo su objetivo maximizar los diferentes parámetros para mejorar la calidad del vídeo.

5.2.1. Cámaras

Una cámara de vídeo moderna es un sistema tan complejo que es un área de estudio completa en sí misma, por ello, en este texto se simplificará su estudio a los parámetros y tipos de cámaras más importantes en esta aplicación.

Existen diferentes tipos de cámaras en función del tipo de aplicación, la primera distinción, aunque hoy en día suelen ser híbridas, es entre las cámaras de vídeo y las cámaras de fotos, no obstante, generalmente tienen las 2 funciones. Es importante con respecto a la calidad y funcionalidad elegir la cámara correcta, ya que cada tipo de cámara se diseña con un objetivo.

Algunos de los parámetros más relevantes para este tipo de aplicaciones son:

Distancia focal: En aplicaciones en las que hay mucho movimiento en la imagen, es crucial que la cámara que se use tenga un enfoque automático rápido. Para ello existen diferentes técnicas de enfoque, como por ejemplo el enfoque de detección por fase, la cual se basa en la comparación de dos señales tomadas por una lente, que toma la imagen y mediante el uso de una máscara separa 2 puntos distantes (puntos de enfoque), de manera que cada uno es tomado por un sensor, este captará una cantidad concreta de fotones en función de la frecuencia. A partir de estos datos se puede obtener el desfase de ambas señales y es posible compararlas de forma que, si son iguales en forma y posición, podemos decir que ambos objetos están en el mismo plano y se dice que están en fase. De lo contrario, si al comparar estas señales son diferentes, significa que están desfasadas. Además, gracias a esta técnica, por medio del análisis de las señales y haciendo trigonometría es posible calcular la distancia de ambos objetos, de forma que se podría enfocar automáticamente de forma mecánica reajustando los espejos.

Por otro lado, también hay cámaras que analizan las señales digitalmente, y, mediante técnicas de prueba y error, intentan maximizar el contraste en la zona que se quiere enfocar. Este sistema puede ser más lento, pero también más preciso, hoy en día, con la mejora en la potencia de los procesadores, estos algoritmos han mejorado considerablemente, llegando incluso mediante técnicas de aprendizaje automático a poder reconocer objetos, caras, paisajes, etc. También existen sistemas híbridos que combinan ambas técnicas.

Profundidad de campo: Otra característica fundamental es la profundidad de campo, la cual se define como: la distancia máxima que hay desde el punto de enfoque hacia delante y atrás, que se considera lo suficientemente nítida, esto último engloba cierta subjetividad, puesto que depende de la agudeza visual de cada persona. En el caso de las cámaras deportivas se busca la máxima profundidad de campo, pues proporciona una mayor inmersión y una sensación más realista.

Este fenómeno está relacionado directamente con la apertura del diafragma, este componente es una rejilla situada delante de la lente que se abre y se cierra en el momento de hacer el vídeo o la foto. De forma que se puede configurar tanto el radio de apertura como el tiempo que está abierto el diafragma, así, es posible controlar la cantidad y la dirección de los fotones que capta el sensor. Generalmente, a mayor tiempo y radio de apertura, mayor es la cantidad de fotones que son captados por el sensor, y, por tanto, mayor será la profundidad de campo, sin embargo, también estarán más presentes los efectos de difracción de la luz, derivando en una nitidez menor.

Resolución y frames por segundo (fps): La resolución y los fps son los términos más importantes, generalmente a la hora de elegir una cámara, ya que están relacionados directamente con la calidad de la imagen. La resolución hace referencia al número de píxeles horizontal y verticalmente, normalmente las resoluciones están estandarizadas para que se puedan reproducir en cualquier pantalla sin necesidad de reescalar o en caso de tener que hacerlo que no se pierda la relación horizontal/vertical. Por consiguiente, a mayor resolución, mayor será la cantidad de información que se puede representar a cambio del aumento de bits de la imagen.

Por otro lado, en el caso del vídeo, también son importantes los frames por segundo, como su nombre indica, hace referencia a la cantidad de imágenes por segundo que es capaz de captar la cámara, cuanto mayor sea, mejor será la sensación de fluidez, ya que una baja tasa de frames dificulta la reacción rápida ante los sucesos.

También es importante destacar aquí, que la capacidad de la cámara no es el único parámetro importante, sino que también es hay que representar la imagen en el monitor adecuado, tanto en resolución como en frames por segundo, en el caso de los monitores a los frames por segundo se les llama tasa de refresco y se mide en Hz, aunque el concepto es similar.

Field of View (FOV): El FOV hace referencia al ángulo máximo que puede captar el sistema horizontalmente, aquí se pueden diferenciar las cámaras convencionales de las cámaras 360° y otros tipos de cámaras deportivas.

Al aumentar el FOV, se consigue una mayor inmersión hasta cierto punto, además, a mayor FOV mayor es la cantidad de píxeles a procesar y otro problema que aparece si se aumenta demasiado es que se produce el efecto de 'ojo de pez', pues aunque aumente el FOV se representa en una pantalla de resolución fija por lo que se genera una distorsión indeseada que puede arruinar la inmersión o incluso puede llegar a causar mareos. Una posible solución a este problema podría ser usar una pantalla ancha o usar varias pantallas de resolución estándar situadas en los laterales, de forma que se aumente la resolución horizontal conservando la vertical.

En el caso de las cámaras de 360° es diferente, puesto que están diseñadas para ser usadas ya sea con un scroll lateral o con unas gafas de realidad virtual.

5.2.2. Codificación y procesado de vídeo

En aplicaciones de transmisión de baja latencia, uno de los cuellos de botella es la transmisión multimedia, puesto que son datos mucho más pesados y, por tanto, su transmisión es más lenta. Además, el objetivo máximo de latencia debe estar por debajo de los 100 ms, puesto que a partir de ese delay entre el control y la imagen es cuando la sensación se vuelve tediosa e incómoda para el ser humano. Es por ello que es en la imagen donde debe hacerse mayor inca pie en la optimización de los algoritmos de transmisión. Debido a todo lo anterior, existe la codificación y procesado de vídeo, que gracias a las diferentes técnicas que se han desarrollado, son posibles este tipo de

aplicaciones.

Inicialmente, se puede diferenciar 2 tipos de compresión, con o sin pérdidas, es decir, no eliminando ningún dato de la imagen o eliminando datos de forma selectiva. Generalmente, se usan ambas técnicas y debido a los avances en la investigación de la compresión de vídeo se puede lograr eliminar datos sin que suponga una gran pérdida de calidad desde el punto de vista subjetivo humano.

Por otro lado, existen dos categorías de transmisión, la espacial y la temporal. Se le llama compresión espacial a las técnicas que trabajan únicamente dentro de un mismo fotograma, también se le conoce como compresión intrafotograma. Mientras que la compresión temporal son el conjunto de técnicas que usan fotogramas adyacentes para comprimir un vídeo, también se le conoce como compresión interfotograma.

Son miles los formatos de codificación de vídeo existentes hoy en día, pues los avances que se han hecho desde que se ideó el primer codificador digital de vídeo han sido múltiples y se han abordado desde muchos puntos de vista. Sin embargo, el formato más usado hoy en día es h.264 o Advanced Video Coding (AVC), el cual usa varias técnicas de las comentadas anteriormente, como el uso de codificación entrópica adaptativa, técnicas de predicción intraframe e interframe, etc.

Cabe destacar, que hoy en día, ya existe una versión mejorada de h.264, h.265 o High Efficiency Video Coding (HVEC). Esta incluye muchas mejoras respecto a h.264. Este formato surge de las exigencias a causa del incremento en el consumo de vídeo y la calidad requerida de las imágenes que se emplean hoy en día, ya que empiezan a consumirse contenidos en resoluciones 4K y 8K. Por ello, h.265, permite codificar calidades de hasta 8K 30 fps, mientras que h.264 solo permitía hasta 4K 60 fps. También reduce el peso de los archivos a la mitad con una calidad mucho mejor, en este nuevo estándar, además, se emplea una técnica conocida como Coding Tree Units (CTU) la cual permite mejorar las técnicas de codificación temporal, ya que permite dividir los grupos de píxeles de los fotogramas adyacentes en bloques de hasta 64x64. Se han visto mejorados también los algoritmos de segmentación, pudiendo obtener correlaciones no solo con los fotogramas adyacentes, sino con otros que contengan también información útil, y por último también se han mejorado los sistemas de seguimiento de imagen, es decir, aprovechando la correlación entre píxeles debido a que los planos tienen cierto movimiento se ha podido emplear para reducir la información necesaria a comprimir.

5.3. Sistema de comunicaciones

El sistema de comunicaciones es el encargado de realizar los intercambios de información entre los dispositivos de forma inalámbrica, en este sistema, no están incluidas las comunicaciones intradispositivo, comunicaciones locales ni las cableadas, ya estas se tratan dentro del estudio de dichos dispositivos. Existen 2 canales de comunicación diferenciados en función de la tecnología usada, en primer lugar están las comunicaciones móviles (4G y 5G) y, por otro lado, las comunicaciones por radiofrecuencia. Cabe decir que las comunicaciones móviles, obviamente, también usan las señales de radiofrecuencia en la capa de acceso radio, pero para esta aplicación las definiremos con esta nomenclatura.

5.3.1. Comunicaciones móviles y 5G

El cambio de paradigma en el sector de la industria 4.0 está claramente enfocado a la automatización de los procesos, esto requiere una interconectividad para la cual las comunicaciones móviles anteriores a 3G y 4G no estaban preparadas, pues se diseñaron para un propósito totalmente diferente. Debido a este cambio, surge la necesidad global en la industria de un canal de comunicaciones de baja latencia y alta capacidad, capaz de amoldarse al ecosistema actual basado en la filosofía que sigue el IoT, proporcionar conectividad a una gran cantidad de dispositivos y poder amoldarse a todo tipo de aplicaciones.

Por ello surge la tecnología 5G, una nueva generación capaz de adaptarse a una gama más amplia de casos de uso. El primer rasgo de mejora que vemos en este sentido es la extensión en el rango de frecuencias, puesto que para dispositivos de bajo consumo es más favorable usar frecuencias más bajas por su menor atenuación y gasto energético, mientras que para aplicaciones que requieren un mayor ancho de banda y capacidad se reserva también un rango de frecuencias alto como se observa en la tabla 5.13, estos 2 rangos se definen como: FR1 y FR2, si bien es cierto que la banda alta sigue en desarrollo, ya que es un rango de frecuencias con el que es más complejo trabajar por las limitaciones tecnológicas.

	FR1 – Frequency Range 1	FR2 – Frequency Range 2
Spec	5G NR NSA and SA	5G NR NSA
Frequency	410 MHz ~ 7125 MHz e.g. 3.4 – 3.7 GHz, 4.4 – 4.9 GHz	24.520 GHz ~ 52.600 GHz e.g. 39 GHz (3 GHz of spectrum), 28 GHz (800 MHz)
Bandwidth (cc)	Up to 100 MHz	Up to 400 MHz
Maximum CCs	8	8
DL MIMO	8x8	2x2
Numerology (subcarrier spacing)	$2^n \cdot 15$ kHz $n = \{0, 1, 2\}$ 15 kHz (n=0, 1x LTE), 30 kHz (n=1, 2x LTE)	$2^n \cdot 15$ kHz $n = \{2, 3, 4\}$; 60 kHz (n=2, 4x LTE) 120 kHz (n=3, 8x LTE), 240 kHz (n=4, 16x LTE)
Waveform	DL: CP-OFDM / UL: CP-OFDM or DFT-s-OFDM	DL: CP-OFDM / UL: CP-OFDM or DFT-s-OFDM
Subcarriers	3276	3276
Subframe length	1ms	1ms
Slot length (t)	Max @60 kHz SCS: 250µs	Max @240 kHz SCS: 62.5 µs

Figura 5.13: Tabla comparativa entre la FR1 y FR2

Sin embargo, una de las desventajas de las comunicaciones móviles son los costes de despliegue, ya que requieren de un estudio de dimensionamiento y un complejo proceso de implementación. Por ello, 5G concibió su despliegue por etapas, en la cuales se aprovecha la infraestructura de la red 4G para más adelante pasar a un modelo híbrido llamado 5G NSA (Non Standalone), en el cual existe un acceso al medio dual por el cual se realiza la conexión vía radio a la antena 5G y esta aprovecha la red 4G para gestionar el flujo de datos. De esta forma, podrían aprovecharse en una fase temprana las ventajas del 5G apoyándose en el despliegue ya realizado, y así, de forma progresiva migrar las redes 4G a 5G, este sistema es conocido como 5G SA(Standalone).

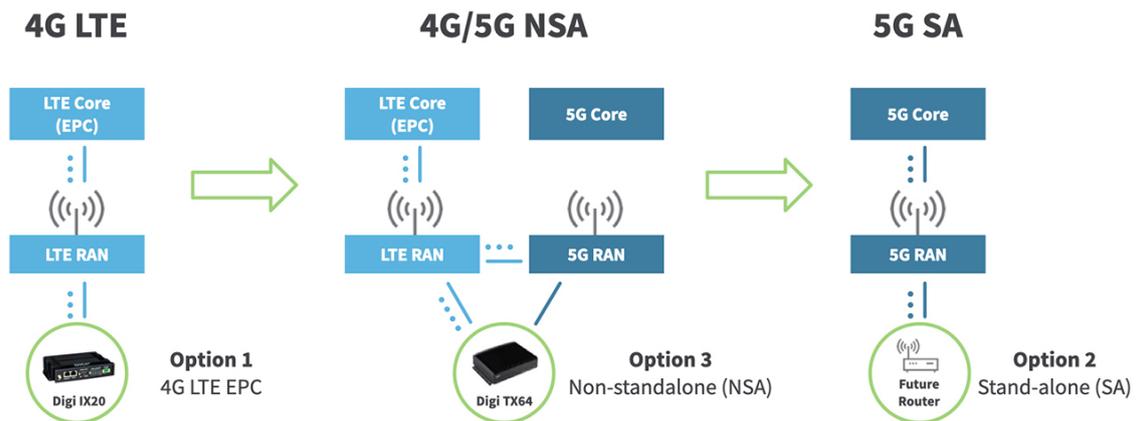


Figura 5.14: Proceso de adaptación de 4G a 5G

La arquitectura de las redes 5G siguen el esquema de la figura 5.15, el dispositivo más próximo al usuario es el UE o user equipment, estos dispositivos son los encargados de conectarse a través de radiofrecuencia con la estación de 5G. Por otro lado, el AMF gestiona la conexión del usuario a través de los diferentes agentes de la red, entre ellos el AUSF, que gestiona la autenticación, el SMF, que controla las sesiones y otros agentes que controlan el uso de la red y proporcionan reportes de consumo a las empresas propietarias para poder facturar los cargos. Finalmente, es el UPF el que proporciona el transporte IP de los datos hacia las redes externas.

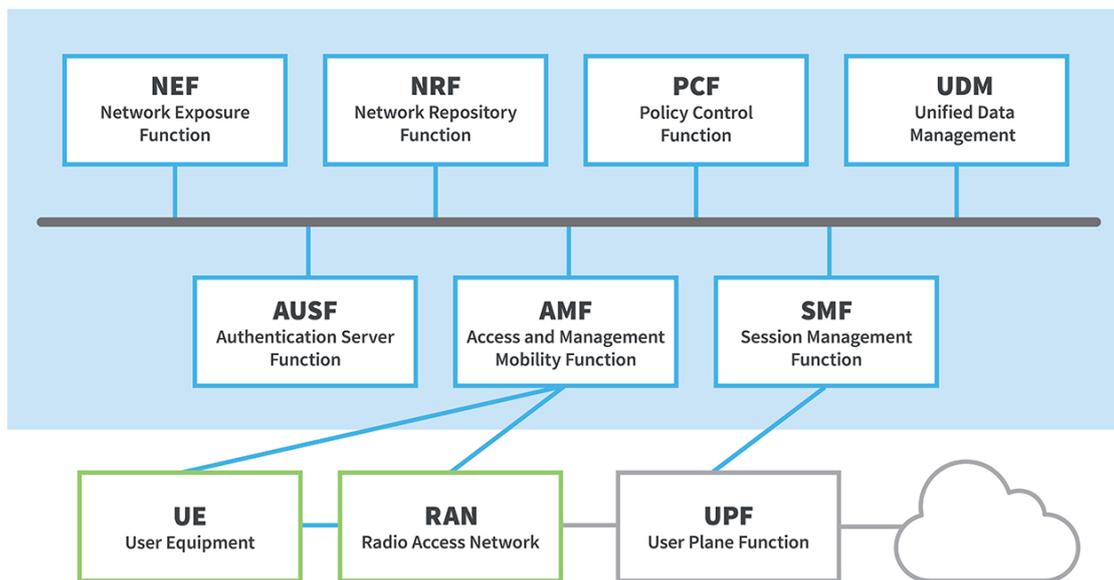


Figura 5.15: Arquitectura 5G

Otra de las ventajas de 5G frente a 4G es la segmentación de los nodos, lo cual brinda al sistema de una gran flexibilidad, ya que esto facilita la conexión entre dispositivos cercanos. Además, los componentes de los sistemas 5G están fragmentados de forma que cada dispositivo se especializa en cada tarea de forma independiente, lo cual también permite una personalización de la red, por

otro lado, gracias a la softwarización de los sistemas resulta más sencillo producirlos en masa de forma más barata, esto dota al operador de una capacidad de optimización de los sistemas para casos de uso específicos, que puedan necesitar requerimientos diferentes a los de la red comercial.

5.3.2. CPE

Un CPE (Customer service provider) es un dispositivo dentro del user equipment que se encarga de encaminar y transmitir la información. En el caso de esta aplicación se correspondería con lo que vulgarmente se conoce como el 'router', que en el fondo no es más que un dispositivo de acceso al medio que proporciona al usuario un punto de acceso a la red. La ventaja del uso de estos dispositivos es que son altamente configurables. En este caso una de las utilidades más importantes es la opción del port forwarding o redirección de puertos, este es un procedimiento por el cual el CPE permite redirigir flujos directamente por los puertos. Para su configuración, es necesario entrar en la página de configuración del CPE y al seleccionar la opción de port forwarding aparecerá una página similar a la de la imagen 5.16, en esta sección se debe configurar la IP del dispositivo al cual se quiere redirigir el flujo, así como los puertos y el protocolo de comunicación, cabe mencionar que es recomendable fijar la IP de los dispositivos para evitar tener que configurar el CPE cada vez. Otra opción es activar el DMZ o zona desmilitarizada, esta opción abre todos los puertos exponiendo el dispositivo completamente, con la ventaja de que no necesita configuración. Esto, sin embargo, perjudica al CPE en términos de seguridad, ya que podría usarse como potencial vía de acceso a los dispositivos conectados.

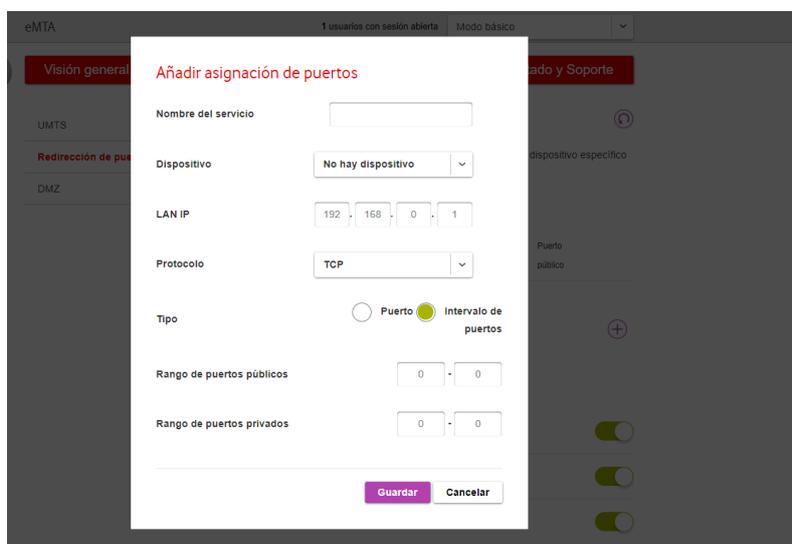


Figura 5.16: Configuración del port forwarding

5.3.3. Control por radiofrecuencia

Son comúnmente conocidas las emisoras o mandos de radiocontrol, estos dispositivos se encuentran en todas partes y la clave de su éxito es su sencillez y la robustez, pues no depende de mecanismos complejos de gestión ni autenticación. Hoy en día es común ver estos dispositivos para el control de vehículos de radiocontrol o a nivel industrial para el control de maquinaria. La

limitación de las emisoras suele estar en el número de canales, ya que generalmente cada gatillo de control viaja por un canal diferente, usualmente suelen tener de 3 a 6 canales en función del tipo de emisora y su aplicación.

El modo de transmisión de estos dispositivos suele emplear modulación AM, FM o a 2,4 GHz y normalmente usan métodos de codificación como PCM o PPM, la ventaja del canal de 2,4 GHz es que no suele recibir muchas interferencias y es por ello que es el modo mayormente utilizado. Además, las emisoras modernas han mejorado mucho su tecnología para evitar todo tipo de interferencias, gracias al desarrollo de las versiones DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa), el cual es un procedimiento que se basa en la mezcla de la señal de forma ordenada con ruido y se va transmitiendo en un orden de frecuencias, de forma que solo los receptores que recibieron ese código pueden decodificar los datos. Por otro lado, hay emisoras que implementan FHSS, esta versión se basa en el principio de frequency hopping, es decir, la señal va saltando entre una secuencia de frecuencias que solo el receptor conoce, de forma que solo él podrá seguir la señal en esa sucesión de frecuencias.

5.4. Sistema de alimentación y seguridad

El sistema de alimentación y seguridad es el encargado de proporcionar la potencia suficiente a todos los componentes electrónicos de los demás sistemas. Por tanto, su función es repartir los voltajes y corrientes adecuados a cada aparato del barco a partir de una única batería. Por otro lado, este sistema también incluye los dispositivos de seguridad y protección eléctrica.

5.4.1. Baterías

Son muchos los tipos de tecnologías que se usan hoy en día para las baterías, sin embargo, cada tipo tiene una serie de características diferenciadas. Las 2 tecnologías más usadas son las baterías de litio y las baterías de plomo ácido. Cada una proporciona una serie de ventajas y desventajas, las baterías de litio, en general, son más eficientes, fáciles de manipular y tienen una mayor vida útil. Por otro lado, las baterías de plomo ácido son mucho más baratas, no necesitan circuitos de protección (BMS) y proporcionan una mayor corriente generalmente.

El funcionamiento de las baterías de plomo ácido se basa en una reacción química que se produce al oxidar plomo en el ánodo, que al estar sumergido en ácido sulfúrico produce sulfato de plomo, este a su vez libera electrones que son absorbidos por el óxido de plomo en el cátodo, lo que genera un flujo de corriente que alimenta el circuito conectado a los bornes. Para la carga de la batería sucede lo contrario, con un cargador externo se aplica una tensión en el sentido contrario, extrayendo así los electrones del sulfato de ácido, de forma que, junto al H₂O, se crea plomo de nuevo y a la vez se carga de electrones provenientes del otro borne creando óxido de plomo. Cabe recalcar que durante el proceso de reducción en la carga se liberan gases como el oxígeno, es por ello que se recomienda cargar la batería en un lugar bien ventilado. En la figura 5.17 se observa un esquema de las reacciones que ocurren internamente en una batería.

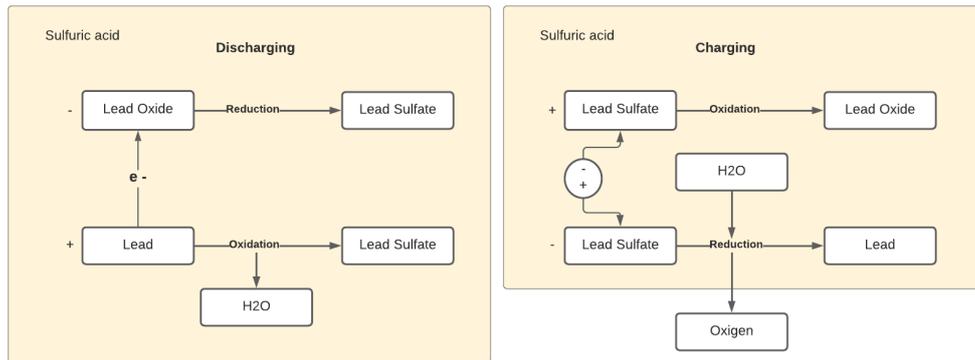


Figura 5.17: Procesos químicos en la carga y descarga de una batería de plomo ácido

Dentro de las baterías de plomo ácido, existen diferentes tipos en función del tipo de electrolito, estos pueden ser líquidos, de gel o absorbidos. En el caso del barco, es inevitable que sea zarandeado por el oleaje, lo que significa que estará en constante movimiento, esto es peligroso para una batería de electrolitos líquidos, ya que podría provocar un incendio si se generase una rotura interna. Por ello es más prudente usar baterías de electrolito gelificado, gracias a esto, además, la vida de a batería será mayor debido a que una desventaja de las baterías de plomo ácido líquido es que el sulfato de plomo acaba formando cristales, con lo cual se pierde la reversibilidad y deriva en un acortamiento de la vida de la batería, el proceso de gelificación en la fabricación se consigue mediante una reacción química, hay diferentes métodos de producción como [30].

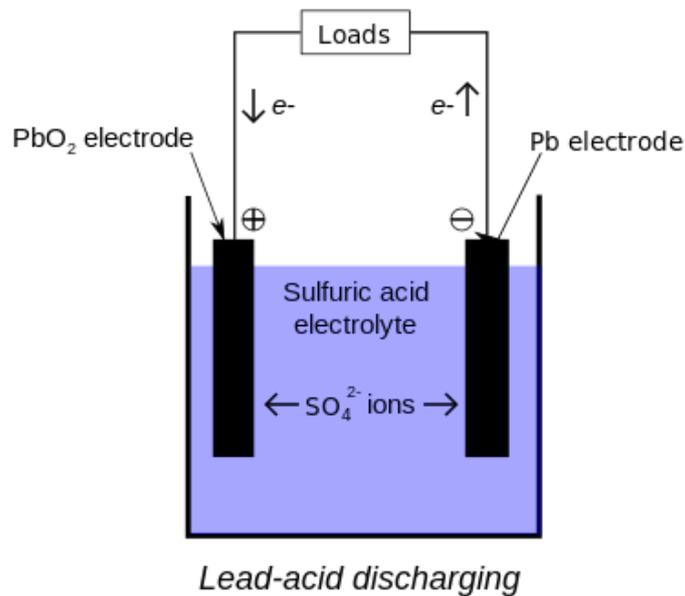


Figura 5.18: Esquema interno de una batería de plomo ácido

Sin embargo, las baterías más comunes son las baterías de litio-ion, estas aprovechan las propiedades físicas del litio, pues es uno de los materiales con más tendencia a regalar su electrón más externo. Estas baterías están compuestas por un ánodo, donde se sitúa la sustancia que tiende a

regalar electrones, y el cátodo, el cual tiende a aceptar los electrones, de forma que la corriente fluirá de ánodo a cátodo. Ambos están separados por el electrolito, su función es no permitir el flujo de electrones directamente por el material, ya que este deberá fluir por el conductor externo o carga situada, pero a la vez debe permitir el flujo de iones entre el ánodo y el cátodo, puesto que esta reacción de intercambio de iones será la que produzca la liberación de electrones. Para la carga bastará con introducir una corriente de cátodo a ánodo que revierta las cargas y obligue al cátodo a liberar los iones de vuelta.

Por otro lado, a la hora de elegir una batería, además, es necesario conocer 3 parámetros de suma importancia, estos son:

Capacidad: Se mide en miliamperios por hora (mAh) e indica cuantos miliamperios podría entregar a la carga durante 1 hora, por ejemplo, una batería de 6000 mAh podría ofrecer 6000 mA durante 1 hora o 3000 mAh durante media hora.

Voltaje: Indica los voltios que ofrece la batería en sus bornes, este también puede variar en función de la capacidad cargada, es decir, si la batería está descargada entregará menos voltaje de lo indicado por el fabricante. Este parámetro no tiene ninguna relación con la duración, pues, solo hace referencia a la potencia instantánea que puede entregar al dispositivo, por lo que a mayor voltaje mayor será el empuje que tenga el barco, cuidando siempre que la tensión nunca sea mayor que la necesaria. Tampoco es bueno usar menos voltaje del recomendado por el fabricante porque podría estropear los dispositivos, aunque siempre es mejor que usar un voltaje mayor.

Coefficiente de descarga: Este es un parámetro crucial, puesto que hace referencia directamente a la autonomía, el coeficiente o capacidad de descarga es la cantidad de amperios que se pueden obtener de la batería en un instante, por ejemplo, si tenemos una batería de 1000 mAh con un coeficiente de descarga de 25C, significa que es posible obtener $1000\text{mAh} \cdot 25\text{C} = 25\text{ A}$ en un instante de tiempo. Por consiguiente, cuanto mayor es el coeficiente de descarga, menos durará la batería, aunque mayor será la potencia que entregue a la carga, sin embargo, un coeficiente de descarga más bajo significará que la batería durará más pero ofreciendo un empuje menor.

5.4.2. BMS

Los sistemas de gestión de baterías o BMS son los encargados de hacer de intermediario entre la carga o la fuente y la batería, de forma que pueden realizar diversas tareas como la medición, gestión, evaluación y comunicación de las propiedades de la misma, de esta forma se puede tener un control del estado de la batería así como incrementar su vida útil.

Una de las funciones clave que realizan los BMS es la supervisión de las celdas, es decir, se encarga de mantenerlas todas al mismo nivel de voltaje y calcula sin dañar la batería cuanta corriente puede ser cargada y descargada, esto se conoce como el balanceo de celdas. Y puede clasificarse en 2 tipos: activo o pasivo, este último es el más común por su menor complejidad, ya que simplemente descarga las celdas con mayor voltaje hasta nivelarlas. A diferencia del activo que redistribuye la corriente por las celdas, aunque este es más eficiente, su complejidad es hasta 10 veces mayor, por tanto, no merece la pena para sistemas simples.

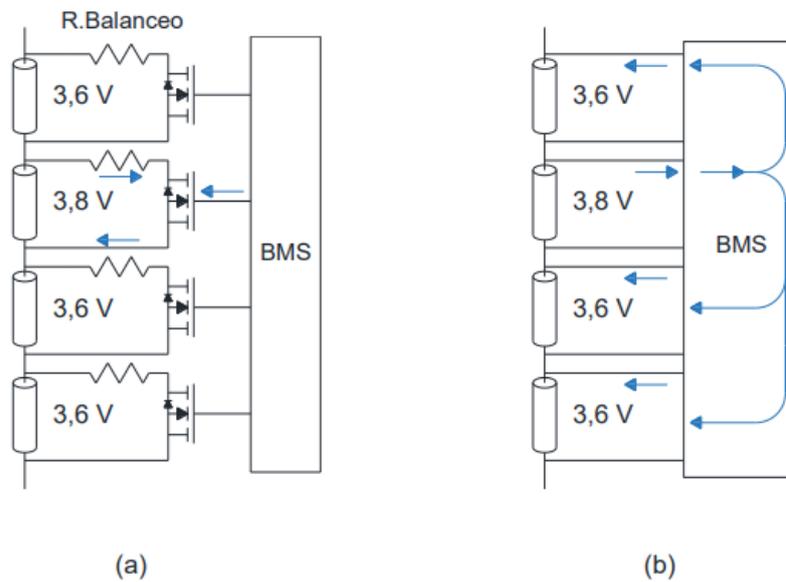


Figura 5.19: Tipos de balanceo de celdas

5.4.3. Conversores

La utilidad de los conversores es simple, como indica su nombre se usan para convertir voltajes, sin embargo, la construcción y estudio de estos es un área compleja dentro de la electrónica. Existen 2 grandes clases de conversores, los lineales y los conmutados, aunque estos últimos son los más comunes, pues son más eficientes.

Para simplificar, se pueden distinguir diferentes tipos de conversores en función del tipo de tensión que maneja, alterna o continua, de forma que pueden ser: AC/AC, DC/DC, AC/DC o DC/AC. En esta aplicación siempre se trabajará en continua, por consiguiente, se ahondará en los DC/DC. Dentro de esta categoría podemos diferenciarlos entre reductores (Buck), elevadores (Boost) o reductores-elevadores (Buck-Boost), esto dependerá de la relación entre la tensión entrada/salida.

Para lograr la regulación de voltaje en este tipo de conversores se usa un circuito como el de la figura 5.20, para el caso del reductor, el funcionamiento es el siguiente: la tensión de salida se mide en la resistencia R2 y se compara con una tensión de referencia, de forma que dentro del amplificador A1, se crea la señal diferencia de estas dos. Esta señal a su vez, se introduce en el comparador A2, siendo la otra entrada una señal de diente de sierra, el resultado es una señal PWM, de forma que la salida del de A2 solo se activará cuando ambas señales tengan el mismo valor de tensión, finalmente, la señal a la salida de A2 será la que controle el interruptor S, con esta configuración cuando la tensión en R2 es más alta de lo normal, la señal de error se incrementará al igual que el tiempo que tarda la señal de diente de sierra en alcanzar la otra entrada, de forma que el periodo en el que el interruptor S está cerrado es menor y por consiguiente, circulará menos corriente contrarrestando así la subida inicial. Por otro lado, se coloca un diodo generalmente para eliminar picos de tensión indeseados en la bobina.

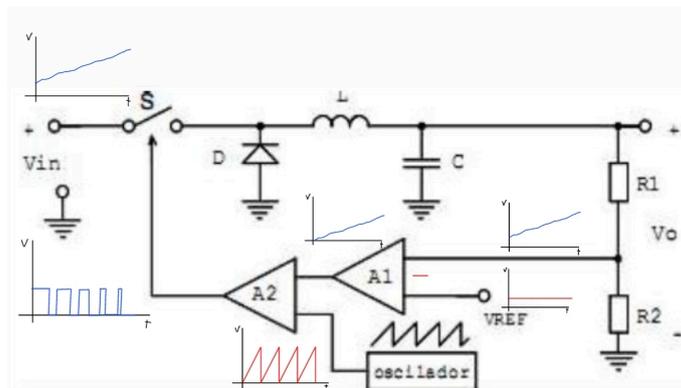


Figura 5.20: Circuito interno de un convertor reductor

Sucede un fenómeno similar para el caso de los convertidores elevadores 5.21, en este caso la bobina L será la encargada de suministrar la tensión necesaria extra, cuando el interruptor está cerrado, el diodo D no conduce y se carga únicamente la bobina, cuando se abre el interruptor, el diodo deja pasar la corriente y la fuente alimenta directamente la carga, y a su vez la bobina cargada aporta la tensión restante.

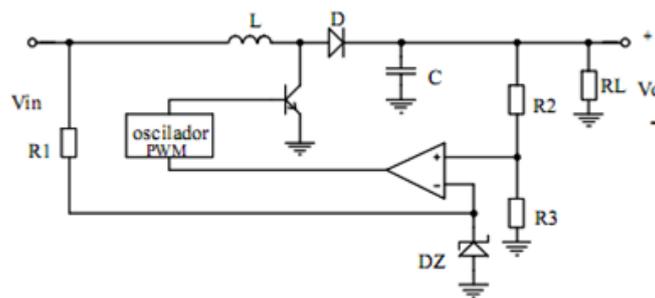


Figura 5.21: Circuito interno convertor de un elevador

5.4.4. Fusibles

Los fusibles son una parte esencial en todos los circuitos electrónicos, pues son los encargados de protegerlos ante los picos de corriente que la fuente pueda producir. Pueden clasificarse en muchos tipos, en función del tipo de circuito que protegerá y la tecnología de fabricación. Sin embargo, para esta aplicación se estudiarán los más importantes por su uso en la industria de la electrónica de baja potencia.

El funcionamiento de los fusibles está basado en la Ley de Joule 5.4, la cual dictamina que existe una relación entre el calor y la corriente, es decir, el paso de una corriente I por una resistencia R durante un instante de tiempo t produce un incremento de la temperatura Q . Empleando este conocimiento, la idea es crear un ‘eslabón débil’ en el circuito, para ello se emplea una resistencia fabricada con un material cuyo punto de fusión sea proporcional a la corriente de pico máxima que pueda soportar el circuito a proteger. De forma que, cuando esa corriente máxima pase por el fusible, este se fundirá y cortará el suministro de corriente, protegiendo de esta forma el circuito.

$$Q = I^2 * R * t \quad (5.4)$$

5.4.5. Interruptor magneto-térmico

Otro de los sistemas para la protección eléctrica son los interruptores magneto-térmicos. Su cometido es similar, proteger al circuito ante picos de corriente indeseados, pero en este caso, también actúa como un interruptor con el que se puede cortar la corriente manualmente. La diferencia entre este y un interruptor diferencial, es que, este se centra en la protección térmica de los cables y de los componentes de los circuitos.

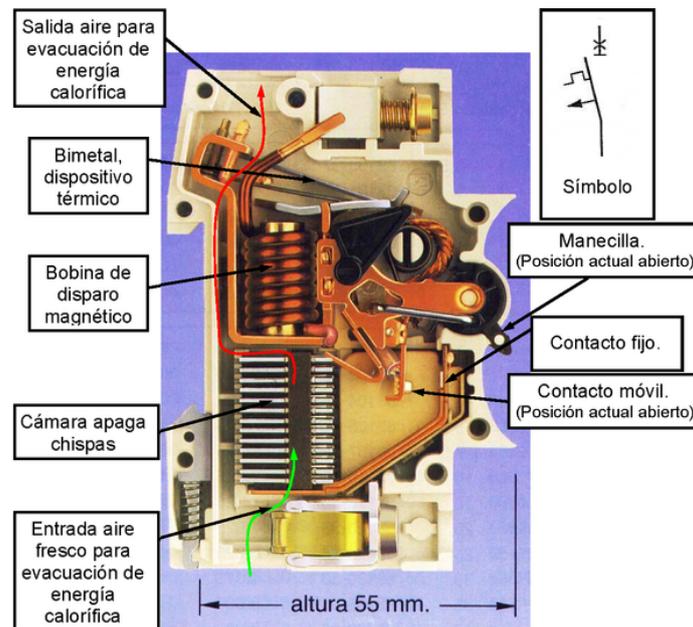


Figura 5.22: Circuito interno de un interruptor diferencial

Su funcionamiento está basado en dos fenómenos físicos, la dilatación térmica y las Leyes de Maxwell. La protección térmica la ejerce un componente llamado bimetal, el cual se dilata o se contrae en función de la temperatura creada por la corriente como se estudió en 5.4, esta dilatación del metal acciona el interruptor para quedarse en abierto cuando detecte un pico de temperatura no deseado. Por otro lado, la protección eléctrica está controlada por una bobina, la cual, según dictaminan las leyes de Maxwell, a partir de un campo eléctrico se induce un campo magnético que crea una fuerza de atracción con el núcleo en el interior de la bobina, el cual acciona el interruptor para cortar el flujo de corriente.

5.4.6. Cableado

Finalmente, uno de los componentes más simples y a la vez más esenciales son los cables. Puede parecer trivial la elección de un cable porque, generalmente, la mayoría de los circuitos trabajan con corrientes muy pequeñas. Sin embargo, para circuitos de alta potencia, como motores o controladores de velocidad, es necesario calcular cuál debe ser el grosor y la capacidad máxima

del cable, puesto que por efecto Joule, si el cable tiene poco grosor, al pasar una corriente muy alta, este se quemará y podría provocar un incendio. Para la elección del cable, lo más prudente es seguir la normativa de la UNE. La cual, en función de las características del cable, nos recomienda un grosor mínimo en su tabla. En este caso, los cables a usar serán unipolares y de cobre con recubrimiento de PVC.

Capítulo 6

Diseño e implementación

A lo largo del desarrollo del proyecto se han concebido diferentes ideas de diseño y prototipado, debido a los fallos en las diferentes versiones, y con la limitación del tiempo por la proximidad de la fecha de entrega era imposible tener en nuestras manos todos los componentes necesarios, es por ello, que en muchos casos se tomaron decisiones arriesgadas y se idearon diseños más complejos. A continuación se explican los diseños de los diferentes prototipos que pasaron de la fase de diseño a la de montaje.

6.1. Prototipo N.º 1: Sigma

El primer prototipo fue construido en torno a los materiales disponibles, es por ello, que fue el prototipo con menos éxito, de hecho, no llegó a funcionar. Para esta primera versión, se partió de un casco de una embarcación tipo láser con un motor, dentro de la misma ya estaba implementada parte de la electrónica de un proyecto anterior, es por ello que se tomó como base para el nuevo sistema.

6.1.1. Sistema de control

El sistema de control, que es el encargado de la parte mecánica del barco, lo componen varios componentes esenciales. Este prototipo tan solo hace uso de un motor fuera-borda para la propulsión, sin embargo, también hace uso de otro motor de continua que se encarga de la dirección, que en este caso se controla de forma mecánica girando el motor fuera-borda. El motor de giro está mecánicamente unido a una pieza metálica en forma de T, que a su vez está conectada al motor fuera-borda, el cual se sujeta en un eje, por tanto, al mover el motor de giro este girará el motor fuera-borda cambiando así la dirección de propulsión. Es importante observar que un giro de izquierda a derecha en el motor de propulsión girará el barco hacia la izquierda, esto no es muy intuitivo para el usuario, por lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de la programación.

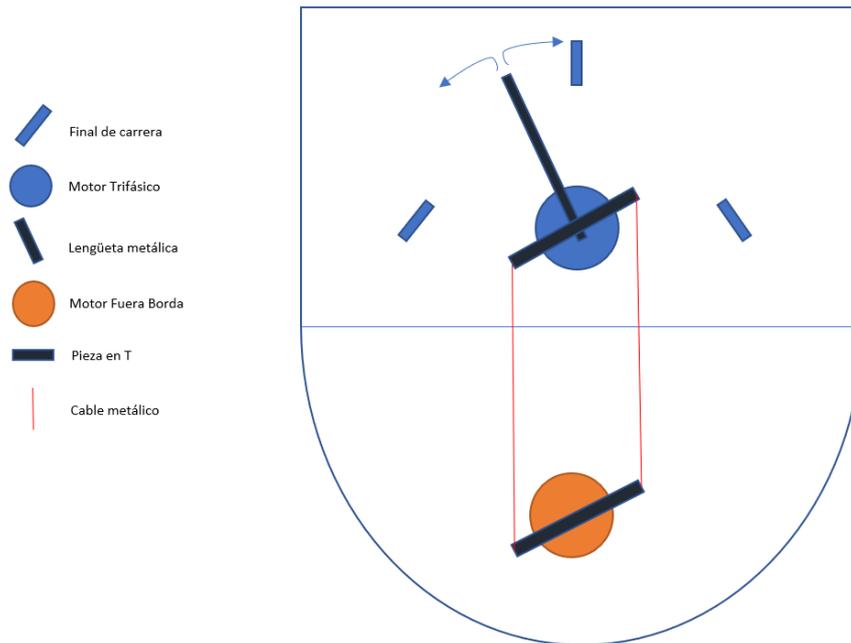


Figura 6.1: Esquema del sistema mecánico del prototipo N.º 1

Para el motor de giro, lo más intuitivo sería usar un servo que mueva el motor fuera-borda, sin embargo, debido a la potencia y torque que genera el motor del barco en movimiento, un servo sería demasiado costoso económicamente, ya que necesitaría mucha potencia. Por consiguiente, es más interesante implementar un sistema con un motor de continua, y que este motor se comporte como un servo, la idea de diseño fue integrar 3 finales de carrera y conectar mecánicamente este motor a una lengüeta metálica, de esta forma la lengüeta sería nuestra referencia de posición. Los finales de carrera son interruptores industriales que se activan mecánicamente cuando la lengüeta pasa por encima de ellos, presionado así su accionador y permitiendo el paso de corriente entre sus bornes. De esta forma, con estos elementos ya es posible transformar el motor de continua para que se comporte como un servomotor.

El primer procedimiento necesario es la calibración, para conocer la posición inicial del motor, se emplea un procedimiento muy usado en la programación industrial, primero se moverá el motor hacia la izquierda hasta detectar el final de carrera del extremo izquierdo, una vez llegue a este punto, ya es conocida su posición, por tanto, se moverá hasta la posición central, para ello, se girará a la derecha hasta que se active el final de carrera central. De esta forma, el motor ya estaría calibrado y se podría mover a la izquierda y a la derecha para cambiar la dirección de giro conociendo su posición exacta, siempre teniendo como límite de giro los finales de carrera de los extremos, ya que en caso de que no parase en ese punto, el motor daría vueltas indefinidamente y rompería los cables metálicos que unen la pieza en T al motor fuera-borda.



Figura 6.2: Imagen de un final de carrera industrial

Para el control del motor de continua se emplea un ESC manejado por un arduino, el arduino de control, este componente solo se encarga de mandar instrucciones al ESC. Para el motor de propulsión se emplea el potenciómetro an, que, en función de su posición, aumenta o disminuye la velocidad de giro. Por tanto, para poder controlar la velocidad del motor de forma electrónica solo es necesario buscar la forma de mover este potenciómetro a través de la Raspberry, la idea implementada consistió en el control de un servo unido mecánicamente al potenciómetro mediante una pieza que se imprimió en 3D. De esta forma, al girar el servo, también girará el potenciómetro, lo que aumenta o disminuye la velocidad.



Figura 6.3: Imagen del proceso de montaje del protipo N°1

Por otro lado, el ordenador de control a bordo es la Raspberry. En ella está contenido el cerebro del sistema, era capaz de procesar las señales de recepción y controlar la mecánica del barco. Uno de los problemas de seguridad a resolver en el barco es que, debe haber un sistema alternativo robusto para tomar el control manual del barco desde el puerto, para evitar que se descontrolase o un mal uso del usuario. Para ello, la idea es emplear un control duplicado mediante RF directa, de forma que, si se detecta un peligro, se pueda tomar el control del barco, es decir, en vez de funcionar

por 5G, pasar a un modo de control local con un mando de RF. Es por ello que se usa un mando de radiocontrol junto con un receptor RF integrado en el barco, sin embargo, surge la cuestión de cómo procesar esa señal recibida por RF para controlar los motores. Puesto que la Raspberry no es capaz de procesar con buena resolución señales PWM, es necesario introducir un segundo arduino en recepción, que procese la señal del receptor RF y se la mande por serial a la Raspberry. Una vez conseguidas, todas las señales en el ordenador de abordo, este tendrá que actuar como switch para pasar el control de un modo a otro.

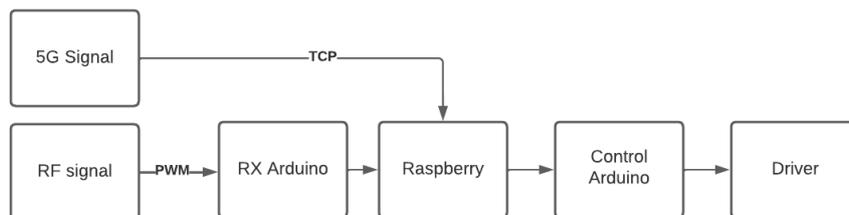


Figura 6.4: Esquema de control del prototipo N.º1

6.1.2. Sistema de comunicaciones

La parte del diseño de la red 5G fue llevado a cabo por la empresa ZTE para el primer prototipo, de forma que solo se diseñó el software necesario para hacer uso de la red. La infraestructura empleada para las comunicaciones multimedia se compartía con la de control pero usando otro puerto. Al ser una red instalada precisamente para esta aplicación, se creó de forma privada y dedicada a esta aplicación, de forma que desde el punto de vista de los dispositivos la conexión se hacía entre dispositivos conectados al mismo router virtualmente, aunque realmente la red tenía más componentes entre ellos. Por ello, en cuanto al software la configuración necesaria se simplificaba a la asignación de las IP y los puertos y la configuración del port forwarding, esta opción le indica al router a qué puertos debe redirigir la información que le llegue al puerto indicado. De este modo, el camino que recorre la señal va del ordenador de control de transmisión a través de un CPE por un puerto elegido, este se encarga de redireccionar la señal hacia el receptor mediante el port forwarding, cuando llega a la antena receptora, se conecta al CPE a bordo, el cual hace un port forwarding de nuevo hacia la Raspberry. En este caso la comunicación hacía uso de la tecnología 5G NSA (Non Standalone).

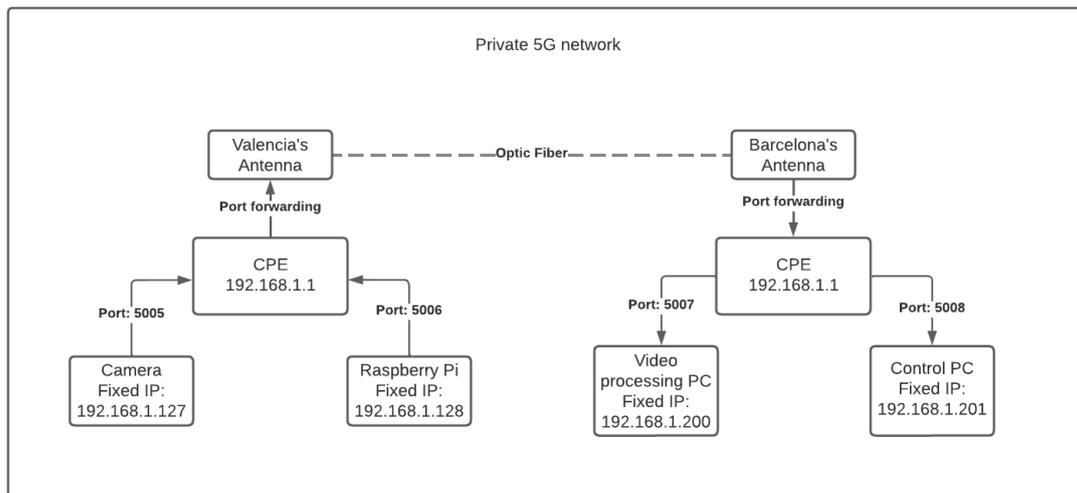


Figura 6.5: Esquema conceptual de comunicaciones del prototipo N.º 1

6.1.3. Sistema de alimentación y seguridad

En el primer prototipo el sistema de alimentación está conformado por una batería de litio pesada que incluye enchufes de luz alterna, por lo cual, todos los elementos se pueden alimentar de ella mediante una salida de 220 voltios y 50 Hz de corriente alterna, gracias a esta batería muchos de los componentes se pueden enchufar directamente a ella sin necesidad de usar convertidores. Las desventajas de esta, en primer lugar, es el peso, ya que al ser una batería de tanta capacidad y con tanta electrónica, podía llegar a pesar hasta 50 kilos, siendo el componente más pesado del barco. Otra de las desventajas es que no tiene salida de alimentación para el motor, ni para el driver, ya que estos funcionan a 12 V en continua, debido a la falta de convertidores se implementan 2 baterías de coche de 12 V en paralelo y estas alimentan tanto el motor fuera-borda como el motor de giro. La seguridad eléctrica de este prototipo era muy pobre por la falta de tiempo y de materiales, tan solo contaba con un fusible y un interruptor, esto se mejora en el prototipo 3.

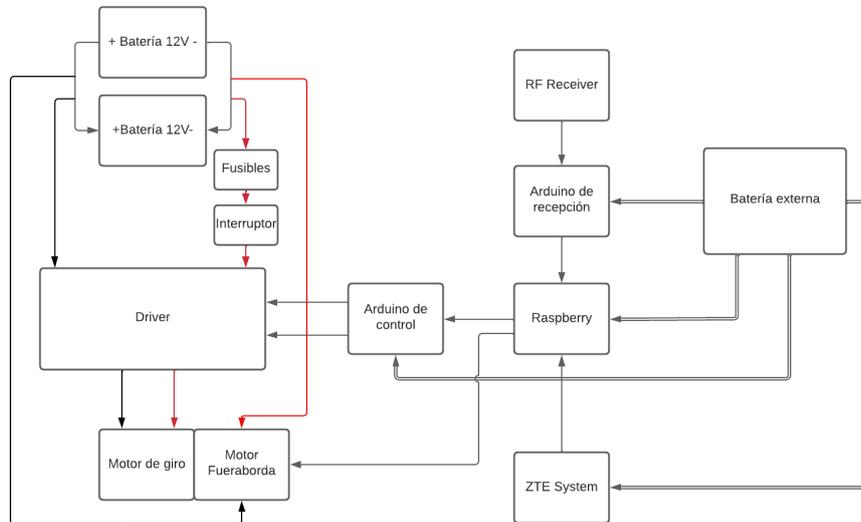


Figura 6.6: Esquema del diseño del prototipo N.º 1

6.1.4. Sistema multimedia

El sistema multimedia de este prototipo fue proporcionado y diseñado por la empresa ZTE, por lo cual también hubo que amoldarse para suplir sus necesidades a bordo. El sistema, a grandes rasgos, estaba basado en una plataforma que a través de una cámara de 360° como la de la imagen 6.7 (compuesta por 4 cámaras 2k situadas en ángulos de 90°) que se conectaba a un ordenador a bordo, este procesaba y codificaba toda esta información (equivalente a una imagen 8k) y a través de su propio CPE era transmitida a la antena 5G, también colocada por ellos y operada por Orange.



Figura 6.7: Modelo de la cámara 360°

Toda esta información viajaba por una línea directa de fibra óptica hasta Barcelona, donde esta

información era recibida y reproducida por otro ordenador que decodificaba la imagen para enviársela a unas gafas de realidad virtual, donde se mostraba la imagen final en tiempo real.

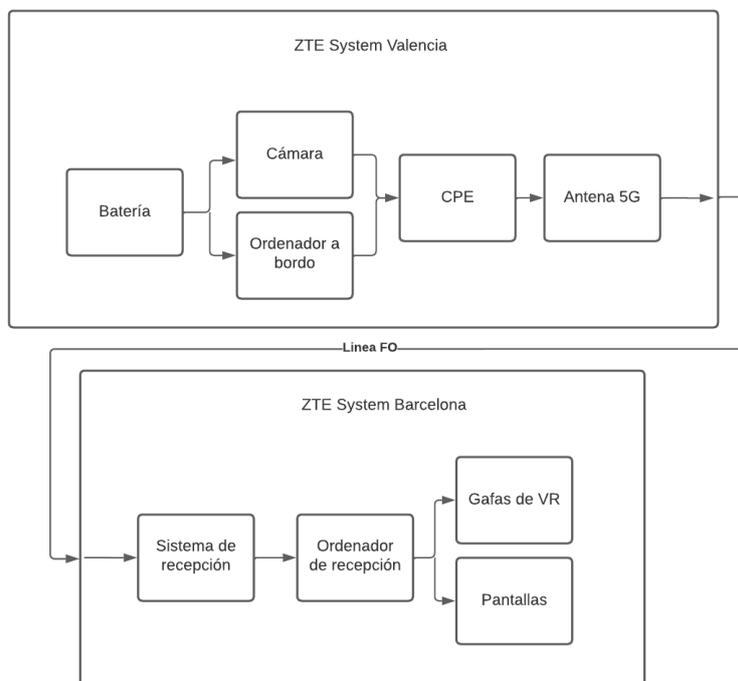


Figura 6.8: Diagrama del sistema multimedia de ZTE

6.1.5. Problemas del prototipo N.º 1

En la primera prueba en el agua, se detectaron diferentes tipos de problemas, principalmente referidos a la parte mecánica del barco, la programación del sistema de control que accionaba el giro del motor era errónea y no era capaz de detectar correctamente los finales de carrera, y uno de los puntos críticos del prototipo era precisamente esto, lo que derivó en un giro descontrolado del motor de continua que destruiría los cables metálicos que lo conectaban con el motor fuera-borda. Es por ello que rápidamente se desechó el diseño del prototipo, lo que implicó un cambio circunstancial en la filosofía de diseño del sistema de propulsión, ya que no era viable a corto plazo el arreglo de este sistema, pues, era más complejo de lo que inicialmente aparentaba.

Tras una lluvia de ideas sobre como plantear el nuevo prototipo, se optó por usar un método totalmente diferente basado en el funcionamiento de los catamaranes, un tipo de barco con 2 motores situados en distintos ejes. El sistema tomó como base un modelo diseñado previamente por la Universidad de Cartagena, la cual nos cedió su prototipo electrónico junto con algunos materiales, el cual hubo que modificar para adaptarlo a nuestra aplicación.

6.2. Prototipo N.º 2: Cartagena

El prototipo número 2 basa su funcionamiento en la idea de no usar un único motor que gire mecánicamente, sino, hacer uso de 2 motores, de forma que jugando con la potencia entregada a cada uno de estos de forma separada se consiga propulsar el barco y le permita girar. Respecto al prototipo anterior, el único cambio se realiza en la parte mecánico/eléctrica y de control del barco, ya que, los demás sistemas, funcionaban lo suficientemente bien hasta el momento. Por ende solo se describirán los cambios en esos sistemas.

6.2.1. Sistema de alimentación y seguridad

El primer cambio en el prototipo, fue a nivel eléctrico, los nuevos motores trabajan a 24 V, sin embargo, estos no se conectan directamente a las baterías, sino que se alimentan directamente con un driver, que a su vez es el que controla la velocidad de estos. En este prototipo se prescinde del sistema servo/potenciómetro para el control de la velocidad del barco, por tanto, la Raspberry solo reenvía la información recibida al arduino de control, que a su vez controla el driver que administra la corriente a los motores.

Generalmente, el potenciómetro de los motores fuera-borda controla precisamente la corriente que le administra la batería al motor, pero en este caso es el driver el que modifica esta corriente y, por consiguiente, actúa como variador. Esto ofrece ciertas mejoras, entre ellas una mayor protección eléctrica a los motores, ya que no están conectados directamente a la batería, por otro lado, requiere una programación segura en el driver para que no entregue más potencia de la debida. Puesto que los motores son los componentes más caros, es preferible que se quemé el driver a los motores.

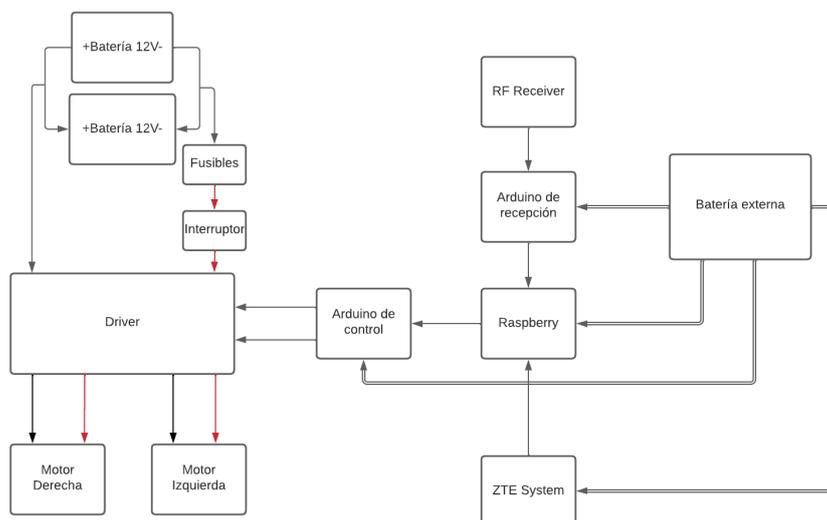


Figura 6.9: Esquema del diseño del prototipo N°2

6.2.2. Sistema de control

En cuanto al sistema de control, la casuística es totalmente diferente, pues la Raspberry no controla directamente los motores, sino que lo hace el arduino en función de los datos que esta le ordena. Es un sistema master/slave, en el cual la Raspberry actúa como master y el arduino como slave. El funcionamiento de la comunicación entre ambos dispositivos se basa en un protocolo serial, para el control de los motores, la Raspberry en función del modo de control (RF o 5G) debe mandar 2 enteros en el rango de 1 a 1020, siendo 1 marcha atrás, 508 parado y 1020 marcha adelante. En el modo de control RF, solo existen 3 valores para cada motor, los mencionados anteriormente. Sin embargo, para el modo 5G sí que puede tomar cualquier valor entero entre 1 y 1020, lo que permite un control más suave para el usuario.

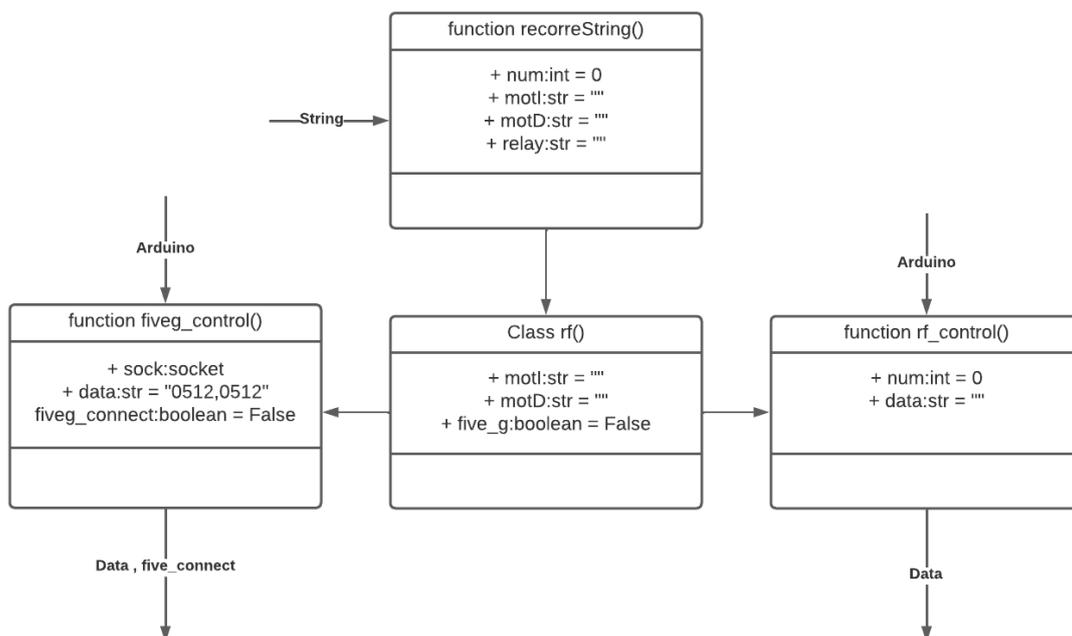


Figura 6.10: Diagrama UML de la programación de la Raspberry del prototipo N°2

El programa embebido en la Raspberry tiene un diagrama como en el de la figura 6.10, el cual tiene una clase `rf`, que contiene 3 variables: velocidad del motor derecho e izquierdo y un flag que indica si está activo el modo 5G o RF. Además, contaba con 3 métodos, uno para cada modo de control y otro para decodificar los datos recibidos tanto de la transmisora RF como del control 5G. Los datos de la emisora desde el punto de vista de la Raspberry se reciben a través del arduino, esto se debe a que la Raspberry no puede leer correctamente las señales PWM, por lo que debe leerlas a través del arduino, el cual procesa las señales y se las traduce y envía por serial a la Raspberry. La trama que le envía consta de una string con el siguiente formato `'[][][][],[][][][]'` donde `[][][][]` equivale a un entero de 1 a 1020, aparte se enviaba el flag que indica el modo de control. Para decodificarlo, la raspberry usa el método `recorreString`, el cual recorre la string y devuelve un objeto de la clase `rf` con los valores decodificados y estos a su vez se mandan al arduino de control. Por otro lado, la conexión con el control 5G se gestiona mediante un protocolo TCP por el puerto ethernet de la Raspberry que se conecta con el CPE mediante un cable tipo RJ-45. El sistema de

control transmisor 5G, envía un diccionario codificado en UTF-8 con 2 valores: vel right y vel left, los cuales contienen los valores de las velocidades. De la misma forma, la función fivegcontrol devuelve un objeto de la clase rf.

6.2.3. Problemas del prototipo N.º 2

El prototipo número 2 llegó a ser un prototipo funcional y fue el que realmente se mostró como caso de uso de 5G en el Mobile World Congress por la empresa Orange España junto con ZTE, diseñado por el iTEAM. A pesar de que fue un éxito, el sistema sufrió muchos errores que se solucionaron de forma provisional. Entre ellos, los cables que se eligieron no tenían el suficiente grosor de cobre para soportar los 40 amperios que requería el driver, esto causó un incendio dentro del barco por el sobrecalentamiento de los cables. Por otro lado, el sistema del flag que hacía el switch entre el modo 5G y RF, no funcionaba como medida de seguridad si se perdía la conexión con el barco, ya que debido al propio diseño del código de la Raspberry si la conexión 5G se caía, el código se colgaba y el barco continuaba a la última velocidad que recibió, además no permitía tomar el control con la transmisora RF. Y por último, debido a la escasez de materiales y a la falta de tiempo, los dispositivos de seguridad eléctrica como los fusibles y diferenciales no estaban correctamente dimensionados, de forma que era usual que saltaran o se fundieran los dispositivos debido a picos de corriente bruscos.

6.3. Prototipo N.º3: Valencia

Tras el 2.º prototipo, surgió una nueva oportunidad de botar el barco. Con los conocimientos adquiridos de los anteriores prototipos, se propone un diseño totalmente diferente, que combina las virtudes de los anteriores prototipos y soluciona los problemas. Además, en este se prescinde del uso de sistemas de empresas externas en lo referente a las comunicaciones y al multimedia, y se corresponde con el sistema que está actualmente en uso.



Figura 6.11: Imagen del prototipo N.º 3 en uso

6.3.1. Sistema de alimentación y seguridad

La primera mejora respecto al diseño anterior en lo referente a la alimentación eléctrica es la unificación de las baterías, en lugar de tener una batería de litio y 2 de plomo ácido, se diseña el sistema para alimentar a todos los dispositivos con baterías de plomo ácido gelificado, las cuales son más seguras y pesan menos que el conjunto de baterías previo. Además, se colocan en serie para proporcionar 24 V, de forma que puedan alimentar directamente los motores. La contra de esta decisión de diseño es que se debe diseñar un sistema de convertidores para poder entregar la potencia adecuada a cada dispositivo que se necesite conectar. Por ello, para seleccionar el convertidor adecuado se deben tener en cuenta diferentes parámetros, entre ellos, el voltaje, que debe coincidir con el voltaje del dispositivo a alimentar, y la corriente que es capaz de entregar el convertidor, que en este caso debe ser como mínimo, la máxima que el dispositivo pueda necesitar.

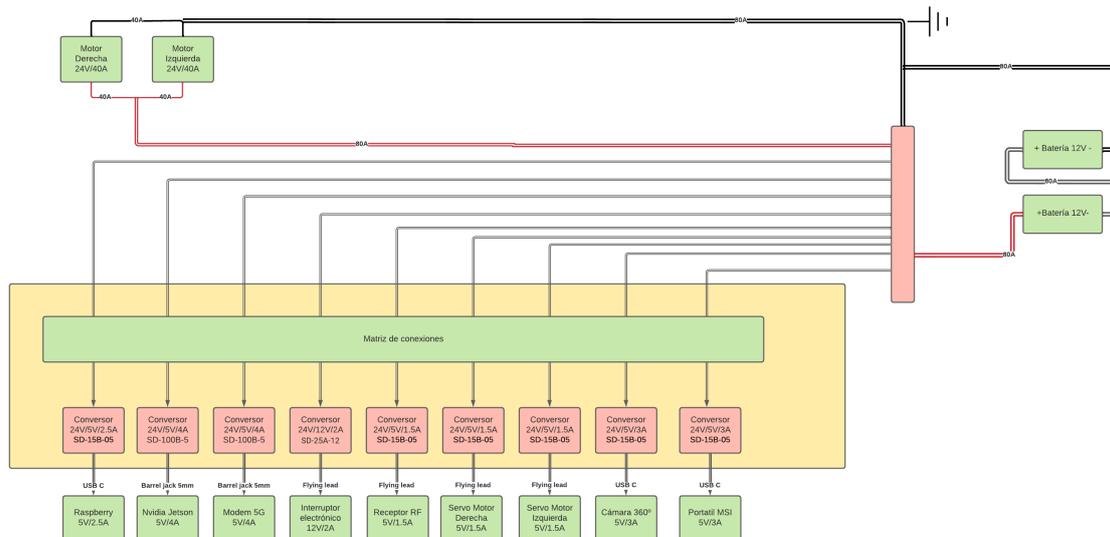


Figura 6.12: Dispositivos a alimentar y elección de convertidores

Sin embargo, debido a que la electrónica estará cubierta y poco ventilada durante su uso, se debe tener en cuenta que la temperatura se puede llegar a elevar bastante, por lo que es otro parámetro de diseño a la hora de elegir los convertidores, ya que la potencia entregada de estos puede variar en función de su temperatura como se muestra en la figura 6.13, donde se observa que a partir de cierta temperatura la potencia entregada disminuye, por esto es imprescindible trabajar fuera de ese rango de valores de temperatura, o elegir convertidores de mayor potencia que suplan las necesidades incluso dentro de ese rango.

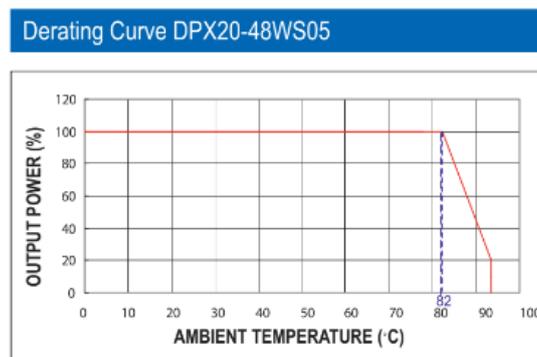


Figura 6.13: Derating curve del convertidor DPX20-48WS05

Por otro lado, en el ámbito de la seguridad eléctrica, este prototipo contiene varios sistemas redundantes de protección. Principalmente, los dispositivos más vulnerables, y, por tanto, a los que proteger, son los motores, pues son los que podrían sufrir picos de corriente perjudiciales. Por ello se implementan 4 dispositivos de protección eléctrica: fusibles, magneto-térmicos, amperímetros de carril y setas de seguridad. Se coloca un fusible y un magneto-térmico a la entrada de los 2 motores de 80A, además a la entrada de cada motor se sitúa otro magneto-térmico y otro fusible de 40A en cada una. Además, para facilitar la detección de problemas eléctricos se colocan 3 am-

perímetros después de los dispositivos de protección que permitirán controlar cuando se producen anomalías durante las pruebas. Y por último, las setas de seguridad, estas son interruptores de tipo pulsador que cortan el flujo de corriente al accionarlos y están situadas en estribor y babor, de forma que si se llegase a producir una pérdida del control del barco, se pudiesen accionar desde cualquier costado y parar los motores.

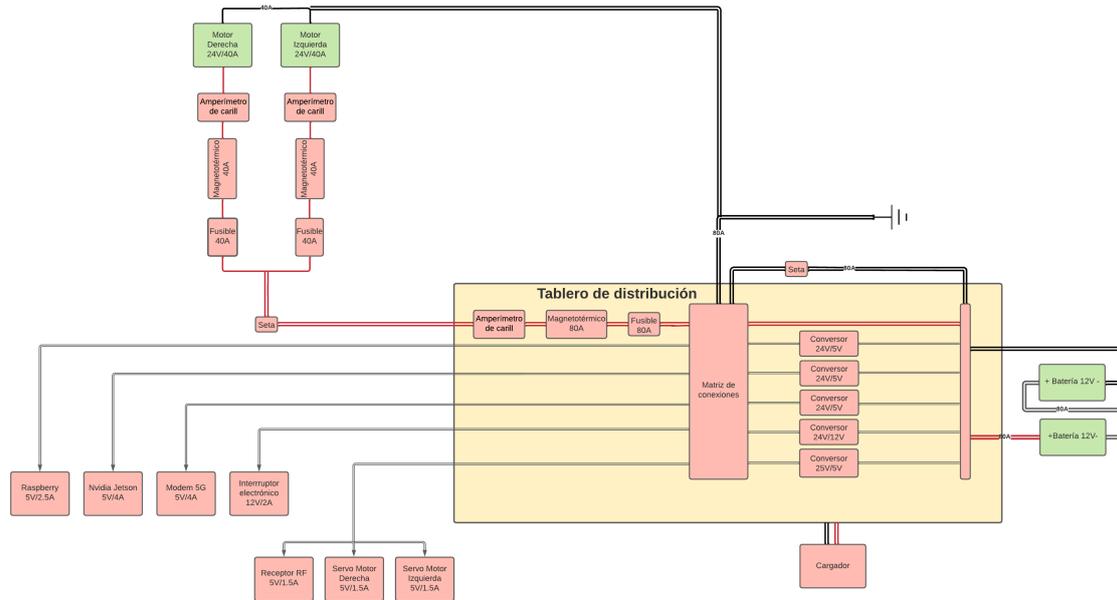


Figura 6.14: Diagrama de alimentación del prototipo N°3

Respecto al cableado, se emplea un cable de cobre rígido de 40A, de forma que, si se colocan 2 cables en paralelo, podrían soportar hasta 80A, que se corresponde con el máximo amperaje que pueden requerir los motores. Por otro lado, para los dispositivos electrónicos se emplea un cable AWG flexible de 0,5 mm. Debido al incremento de dispositivos a alimentar, también aumenta la complejidad del cableado, por lo que implementa una matriz de conexiones como la de la figura 6.15, la cual permite conectar 4 cables a unos carriles conectados, a su vez, a 4 filas de 10 carriles de salida, de esta forma se simplifica la distribución del cableado. Esta matriz permite conectar todos los convertidores a las baterías sin necesidad de soldar.



Figura 6.15: Matriz de conexiones

6.3.2. Sistema de control

Para el sistema de propulsión se emplea una combinación de los prototipos anteriores, se conserva el sistema de 2 propulsores, pero esta vez controlados mediante potenciómetros, de esta forma se alimentan con una potencia constante y se varía la velocidad mediante la resistencia variable. Para ello, se imprimen 2 piezas en una impresora 3D, como la de la imagen 6.16, que acoplan los potenciómetros a los servos que posteriormente serán controlados por la Raspberry.

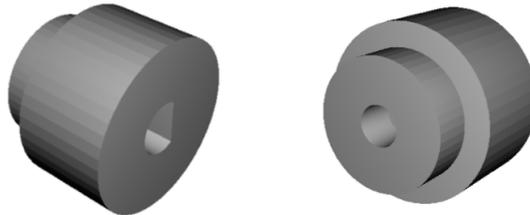


Figura 6.16: Diseño 3D de la pieza de acoplo servo/potenciómetro

La otra gran diferencia es el sistema encargado de hacer el switch entre el modo 5G y RF, debido a que es un sistema crítico, es necesario que sea lo más robusto posible, por ello se decide implementar de forma analógica. Se emplea un relé, de manera que mediante un interruptor electrónico se acciona para cambiar de un modo a otro, como se muestra en la figura 6.17, además se implementan 2 indicadores visuales para dar un reporte instantáneo al usuario de qué modo está activo.

De esta manera, se consiguió simplificar la electrónica de control, ya que se prescindía de los arduinos de recepción y de control, puesto que no se procesaba la señal RF sino, que se inyectaba a los servos directamente. Por otro lado, se redujo la complejidad del software en la recepción, de modo que la Raspberry no tenía que realizar operaciones tan complejas, lo cual, hace que sea un sistema más robusto. Y puesto que la señal que activaba el switch ya no pasaba por ningún software, dio como resultado un sistema completamente robusto y seguro.

Sin embargo, al emplear una filosofía de diseño basada en la simplificación de las operaciones y la reducción de la complejidad del sistema en recepción, surge la necesidad de aumentar y mejorar el sistema en transmisión, para suplir las necesidades del receptor y realizar todos los cálculos necesarios en el transmisor. Por ello, se emplea una programación más ordenada y orientada a objetos. El control del barco se constituye por un volante USB comercial para simuladores y un acelerador de tipo palanca USB, además se implementa una interfaz gráfica. Puesto todos los sistemas deben estar comunicados entre sí, estos tienen que funcionar en tiempo real en paralelo, este tipo de programación es conocida como multihilo, es decir, se programa indicándole al planificador que 2 o más tareas deben ejecutarse en paralelo. Internamente, el sistema operativo no distingue diferentes tareas, sino que el planificador irá alternando las tareas en el tiempo para que se ejecuten a la vez. Se decide el uso de esta programación por simplicidad y mejora de la eficiencia, pues deben ejecutarse varios programas a la vez y comunicarse entre ellos de forma simultánea.

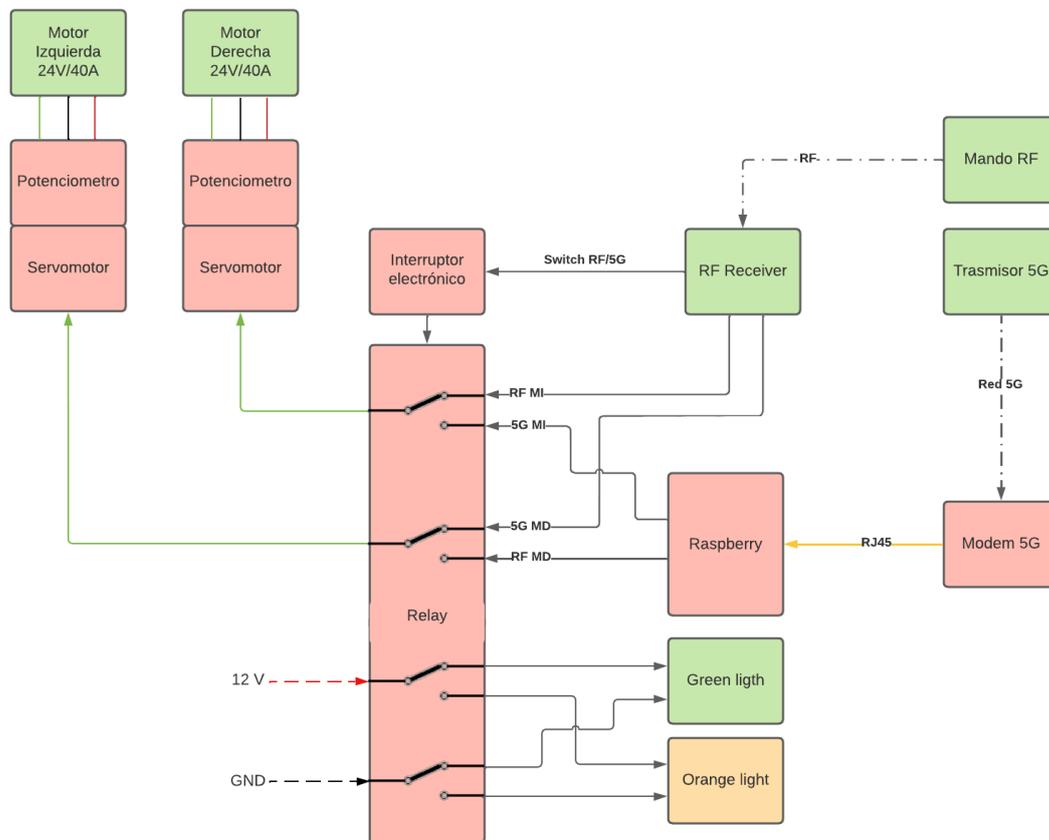


Figura 6.17: Diagrama de comunicaciones del prototipo N.º 3

Para su implementación se programan desde cero diferentes librerías que aportan la robustez en transmisión requerida, estos módulos son:

Módulo de comunicaciones: El módulo de comunicaciones es el encargado de gestionar todas las operaciones relacionadas con la conexión de los dispositivos, tales como la creación de sockets, control de buffers, y codificación y decodificación de los datos. El diagrama que se muestra en la figura 6.18 explica la arquitectura de la librería, en primer lugar existe una clase general o interfaz de programación que contiene la información básica de cualquier protocolo de comunicaciones tanto para transmisión como para recepción: IP, puerto, buffer, decodificador y una función extra para poder indicar la configuración de la comunicación a partir de un txt. De esta interfaz se heredan 2 clases, la del servidor que además implementa la creación del socket de comunicaciones y una función que permite el envío de datos. Y también se hereda otra clase de recepción, la cual, debe poder crear y cerrar sockets, además contiene una función para recibir y decodificar los datos.

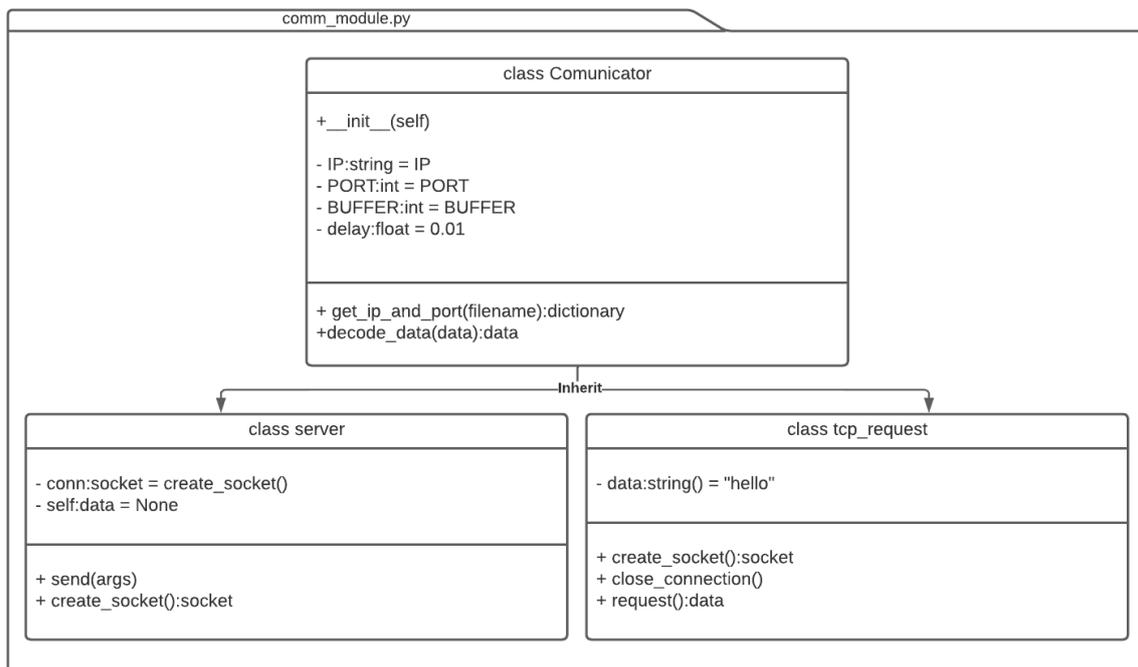


Figura 6.18: Diagrama del software del módulo de comunicaciones

Módulo de GUI: La interfaz gráfica o GUI, tiene como objetivo ayudar al usuario a conocer algunos parámetros básicos sobre el control del barco. En la figura 6.19 se muestra su diagrama de programación, está constituido por una interfaz de programación con los parámetros básicos para implementar una GUI mediante la librería de Python 'pysimpleGUI', de esta se hereda una interfaz gráfica para el barco que añade un receptor del módulo de comunicaciones, para obtener la información del barco y otras funciones básicas para la gestión de la GUI, así como las variables necesarias para almacenar la información y mostrarla.

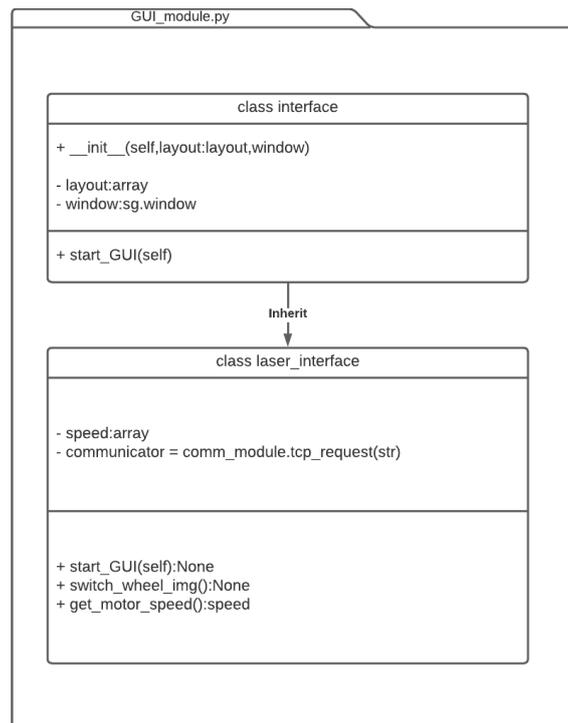


Figura 6.19: Diagrama del software del módulo de GUI

Módulo del controlador del acelerador: Para controlar la velocidad del barco se emplea un acelerador de tipo palanca similar a los que se usan en los simuladores de aviones. Puesto que es necesario obtener la información del dispositivo por otro puerto USB diferente al del timón, y debe comunicarse de forma sincronizada con el timón y el receptor, se implementa una clase específica dedicada a esta tarea. Esta actúa como servidor y manda la información a la clase principal que se comporta como un cliente. Por tanto, es una clase sencilla que contiene un objeto del tipo servidor e implementa 3 métodos, un método de envío, otro para obtener los datos del dispositivo físico y el último que ayuda a tratar matemáticamente los datos para adaptarlos a la señal que se debe enviar.

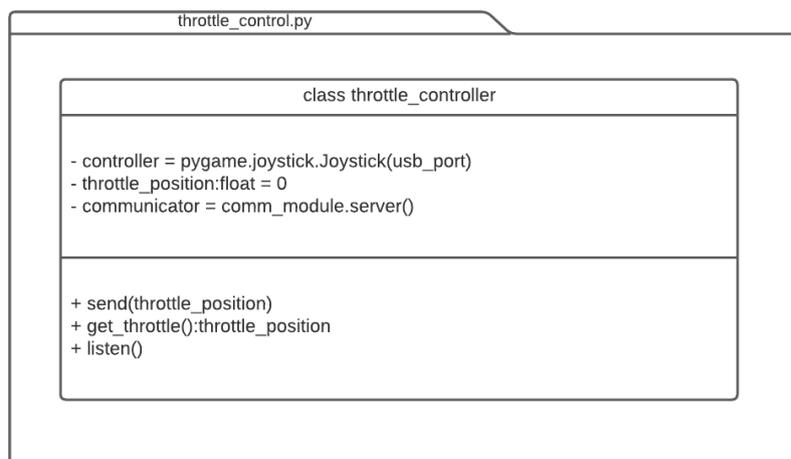


Figura 6.20: Diagrama del software del controlador de velocidad

Módulo de control principal en transmisión: El módulo principal es el encargado de gestionar todas las comunicaciones internas y externas, además es el que obtiene los datos del timón mediante serial USB, este actúa como servidor al cual se conecta el transmisor y la GUI para obtener la información de los parámetros del barco. A su vez, este servidor se comporta de forma dual como cliente para obtener los datos de la palanca, por ello, esta clase cuenta con diferentes métodos para el envío de las señales y la codificación y decodificación de estas, por otro lado, procesa las señales para transformarlas al formato PWM con el que el receptor, la Raspberry, puede controlar directamente los servos sin tener que hacer ninguna operación extra.

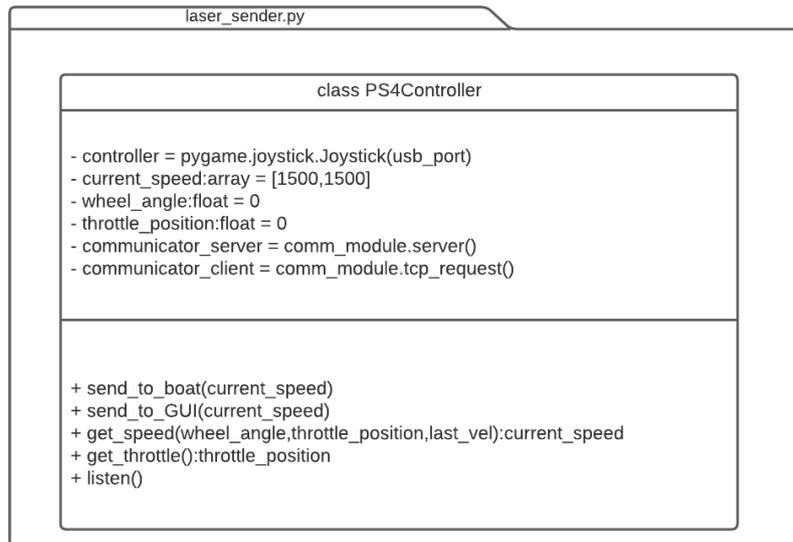


Figura 6.21: Diagrama del software del control en transmisión

Módulo de control en recepción: En la recepción, como se comenta anteriormente, el objetivo es la simplicidad y la eficiencia. Por ello, el software ejecutado en la Raspberry está diseñado con este propósito, el programa que se ejecuta en este dispositivo consiste en un receptor TCP que inyecta la señal PWM directamente, después de decodificar, a los pines donde se conectan los servos. Cabe mencionar, que para evitar acelerones o frenadas muy bruscas al conectar y desconectar el receptor, también se implementan métodos para inicializar el software de la Raspberry.

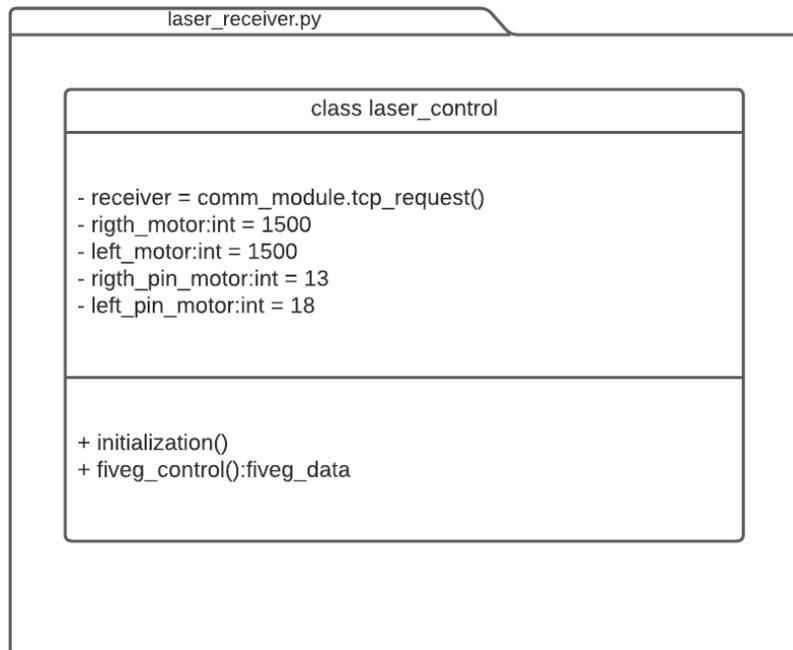


Figura 6.22: Diagrama del software del control en recepción

6.3.3. Sistema de comunicaciones

Se pueden diferenciar entre 2 tipos de comunicaciones, las comunicaciones internas y las externas:

Comunicaciones cableadas internas: Son las comunicaciones referentes al intercambio de información entre dispositivos en un mismo emplazamiento. Debido a la cantidad de dispositivos situados tanto en el transmisor como en el receptor, es necesario diseñar una arquitectura de comunicaciones entre los diferentes componentes. Respecto a los sistemas de comunicaciones internas, siguen la arquitectura de la figura 6.23, el programa principal recibe información del acelerador mediante la IP de local host, 127.0.0.1 por el puerto 5005, y este a su vez envía toda información por otro puerto hacia la interfaz gráfica. Ambos controladores, tanto el acelerador como el timón, se conectan por serial USB con el ordenador de control.

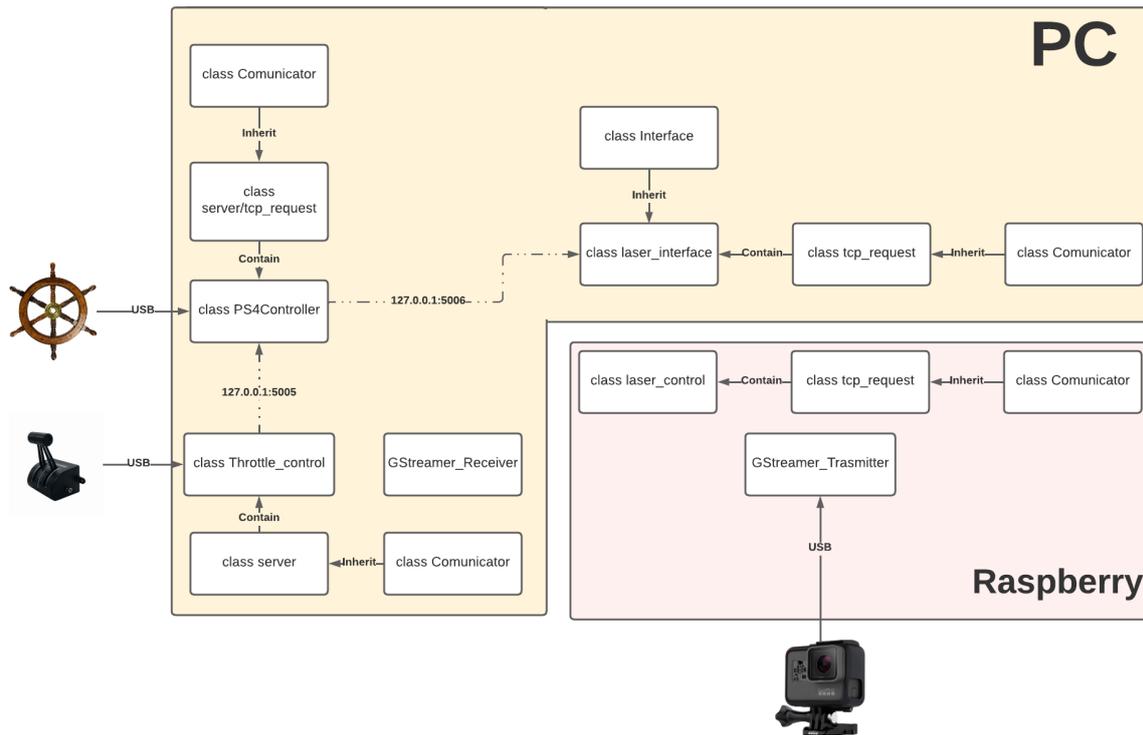


Figura 6.23: Diagrama de comunicaciones internas

Por el lado del receptor, el diseño resulta más sencillo, pues la mayoría de las conexiones no requieren ningún software extra, ya que son conexiones por pines. Tan solo es necesario clarificar los pines a los cuales se debe conectar cada dispositivo como se muestra en la figura 6.24. Y también es de suma importancia interconectar las tierras de todos los dispositivos para evitar ruidos e interferencia por no tener una masa común. En el receptor de RF el canal 2 y 3 corresponden con las palancas de aceleración del mando RF, correspondientes a cada uno de los servomotores que controlan los potenciómetros de los motores, por otro lado, el canal 5 se reserva para el flag que hace el switch entre los modos de control, por lo que se conecta al interruptor electrónico, que a su vez se conecta al pin de activación del relé. En paralelo, la Raspberry usa los pines 13 y 18 para controlar dichos servos, estos pines están específicamente diseñados para la gestión de señales PWM.

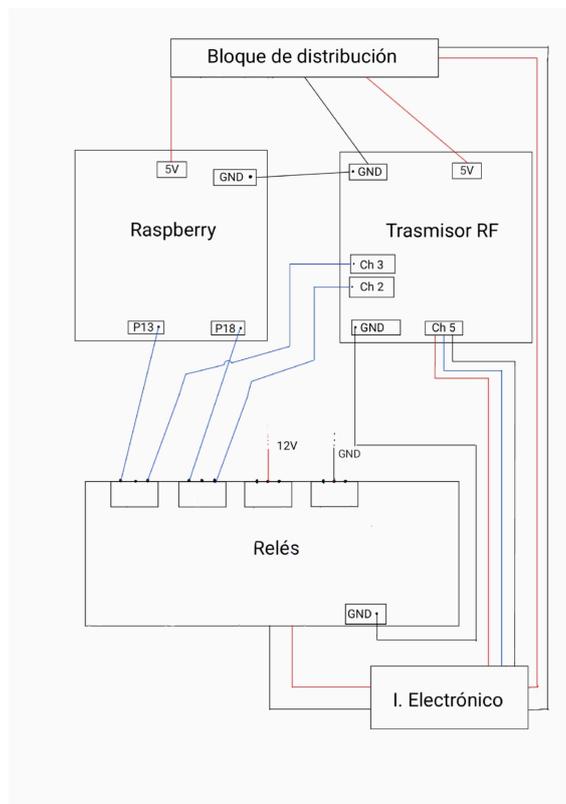


Figura 6.24: Diagrama de comunicaciones internas en recepción

Comunicaciones inalámbricas externas: Respecto a las comunicaciones inalámbricas externas, hay 2 tramas a intercambiar, la de control y la de vídeo. Cada una debe ser configurada para ser enviada o recibida al CPE por puertos diferentes, estos también requieren de configuración, pues, hay activar el port forwarding para reenviar los paquetes recibidos o enviados.

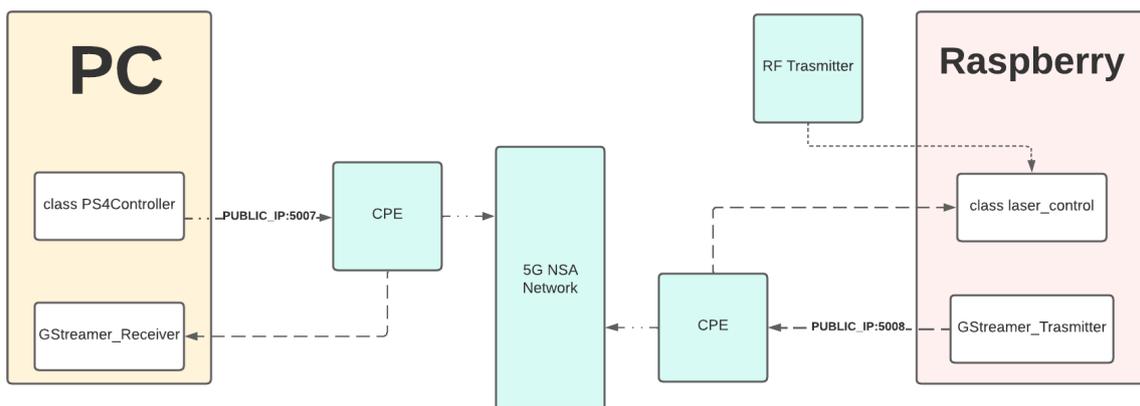


Figura 6.25: Diagrama de comunicaciones externas

De los CPE la señal viaja de forma inalámbrica hasta la estación base, por ello, el barco debe estar en una zona de visión directa para soportar la carga de datos producida principalmente por el vídeo. Además, el agua produce muchas reflexiones que perjudican a la señal. Por otro lado, a la

vez que el usuario maneja del barco de forma remota, por cuestiones de seguridad, es necesaria la designación, una persona encargada en la zona de control que se muestra en el mapa de la imagen 6.26, con el mando de RF para corregir o guiar al usuario en caso de prever un conflicto con otro barco. Por ello, la zona de navegación debe ser específicamente elegida para poder tener cobertura tanto de la zona de control como de la estación base.

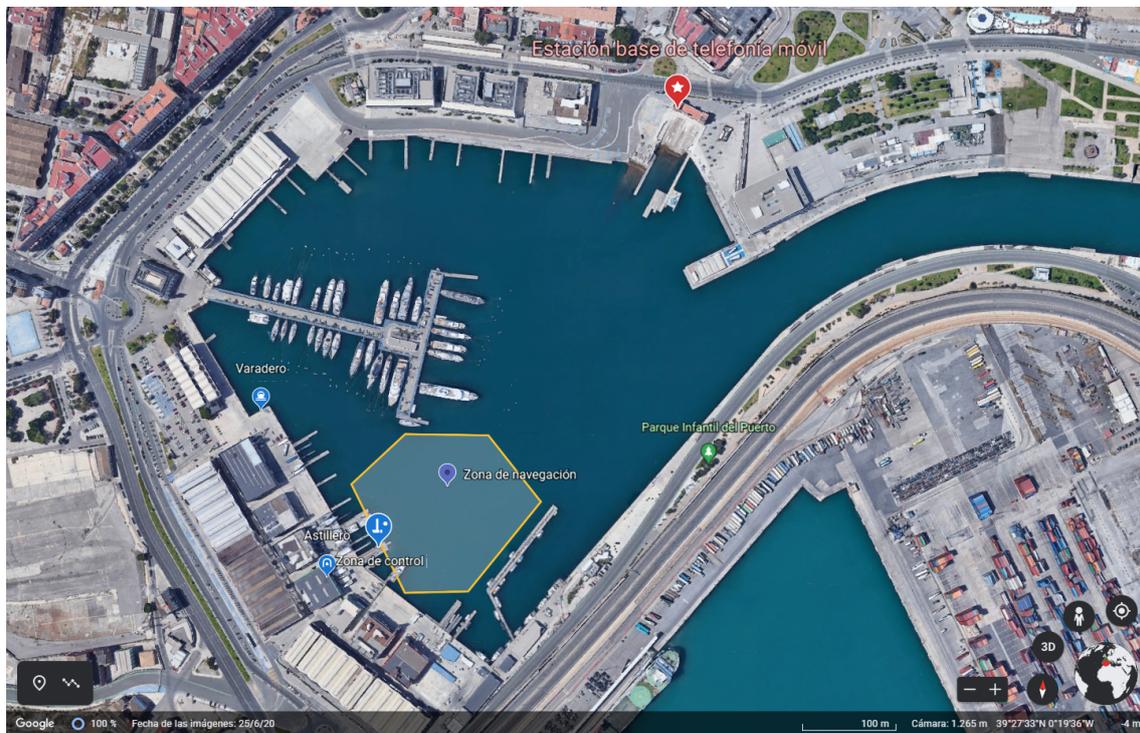


Figura 6.26: Mapa de cobertura y distribución del puerto

6.3.4. Sistema de multimedia

La transmisión de vídeo se diseña desde 0, ya que el sistema multimedia de los prototipos anteriores estaba proporcionado por otra empresa. Debido a que la red que se usó en este caso era una red 5G NSA comercial, y que las antenas del CPE no tenían la suficiente potencia, no era posible conseguir la misma calidad de vídeo del prototipo anterior. Por ello se consideran diferentes opciones de cámaras, entre ellas están: una cámara de 360.º que transmite una imagen a 2K, la cual se descarta porque en un entorno portuario y marítimo, es necesario que los dispositivos sean resistentes al agua, la sal y el sol, las otras 2 opciones que se valoran son una cámara web tradicional de poca calidad o una Go Pro, que es una cámara deportiva y resistente capaz de transmitir en tiempo real hasta 2K30fps, aunque se sacrificaba la experiencia de 360.º, se eligió esta opción, ya que proporcionaba una experiencia lo suficientemente satisfactoria, aunque también se valoró la implementación de una experiencia 360.º empleando varias cámaras.

Para la transmisión de vídeo, el primer componente necesario es un procesador lo suficientemente potente como para codificar y enviar de forma robusta los datos. Debido a que la Raspberry no está diseñada para soportar una Go Pro, las otras dos opciones fueron emplear una Nvidia Jetson Nano, un kit de desarrollo especializado en sistemas de vídeo e inteligencia artificial, que también

se descartó porque no era compatible con la Go Pro, a sí que finalmente se usó un ordenador portátil convencional. El software utilizado para la transmisión fue Gstreamer, un entorno de desarrollo de vídeo que permite implementar diferentes utilidades para la realización de un streaming de vídeo. A partir de un comando del estilo:

```
gst-launch-1.0 udpsrc port=5008 ! application/x-rtp,media=video,clock-rate=90000,encoding-name=H265,payload=26 !! autovideosink ...
```

En el transmisor, podía configurarse el puerto de envío, el formato de vídeo, tipo de codificación y diferentes opciones para optimizar el flujo de vídeo, de la misma forma en el receptor también se ejecutaba un comando similar que con la misma configuración lograba establecer la conexión de forma sencilla.

6.3.5. Fase de montaje y distribución espacial de la electrónica

Una de las fases más críticas es el montaje, pues es donde se observan los defectos que pudiera tener el diseño, además en este caso, también fue complejo distribuir la electrónica para tener una implementación ordenada y segura. Por ello, antes del montaje se planificó un borrador inicial de la distribución que se debía seguir como se observa en la figura 6.27. Cabe destacar que debido a las condiciones extremas del mar, es conveniente proteger la electrónica del entorno. Por ello todo está montado dentro del barco y a la vez protegido en cajas estancas selladas, de forma que si llegase a entrar agua en el barco, la electrónica no se dañaría. Además, para un mayor orden, todos los cables de alimentación derivaban a los tubos corrugados situados a los extremos de babor y estribor. Respecto a los dispositivos de seguridad eléctrica como los fusibles y magneto-térmicos, estos se situaron en un cuadro eléctrico diseñado para encajar dichos dispositivos, además, al sobrar espacio en el cuadro cupieron todos los convertidores.

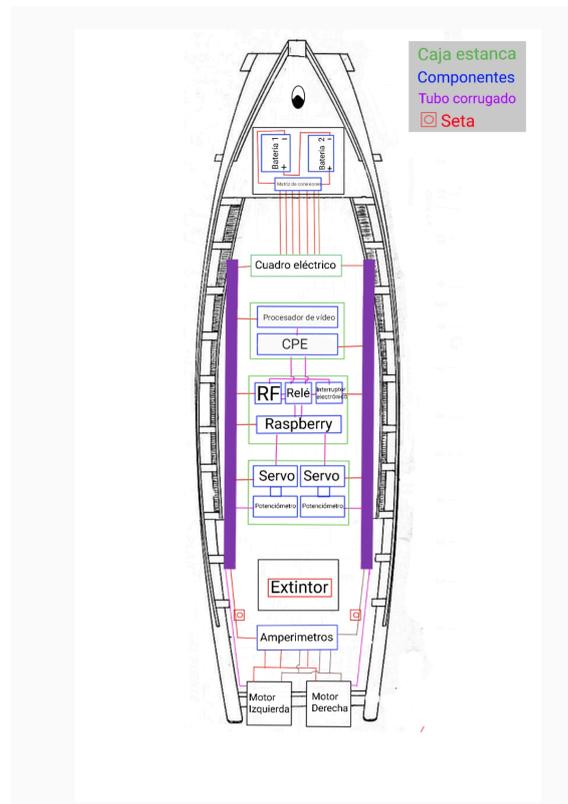


Figura 6.27: Borrador de la guía de montaje del prototipo N.º 3

Capítulo 7

Presupuesto

En este capítulo se detallará el presupuesto aproximado únicamente para el proceso de diseño, prototipado y construcción del 3.er prototipo, pues es la versión más robusta. En este no se incluyen gastos de envío, alquiler de equipos ni espacios de trabajo y almacenamiento. Sí se tienen en cuenta materiales para el montaje y de repuesto, personal y herramientas.

En el último prototipo trabajaron 3 ingenieros del iTEAM a jornada completa durante los 3 meses que duró el proyecto, tanto en la parte de diseño como en la parte de implementación. También se podrían asumir en este apartado los gastos en personal externo que ayudó en el proceso, a si como los gastos del departamento de gestión y dirección del iTEAM.

	Ingenieros	Coste/hora	Total de horas	Coste final
Coste de personal	3	25	528	39600

Figura 7.1: Presupuesto de personal

Y por último, en la tabla 7.2 se detallan algunos de los materiales usados, así como, su precio, la cantidad y los proveedores. El coste total sería la suma de la cantidad solicitada más los repuestos de cada objeto por su precio más el coste de personal, por lo que el proyecto tuvo un presupuesto estimado de, 53252.84 €.

Componente	Montaje	Repuesto	Uds a comprar	Precio € (Ud)	Proveedor
Interruptor baja potencia	2	0	2	2,93	Cespedes
Magnetotermico 40A	2	2	4	137	Distron
Fusibles 40A	6	2	8	0,5	Cespedes
Raspberry	1	2	3	94,2	Cespedes
Servo	2	2	4	8,23	Cespedes
Potenciometro	2	1	3	34,88	Rs
Caja estanca	3	1	4	21,96	Rs
Setas	2	0	2	150,04	acc.barco
Cuadro electrico	1	0	1	65	Distron
Amperímetro	2	2	4	29,29	Rs
Extintor	1	0	1	19,12	acc.barco
Magnetotermico 80A	1	0	1	327,76	Distron
Fusibles + portafusible 80A	1	1	2	137	Distron
Interruptor electronico	2	0	2	11,5	Rs
Relé	2	0	2	16,54	Robotshop
Bloque de distribución	1	0	1	118,71	Rs
Tarjeta SD	1	1	2	12,03	Rs
Cable HDMI	1	1	2	5,61	Rs
Cable USB	2	1	3	7,74	Rs
Bridas	1	1	2	3,9	Rs
Cable corrugado	1	1	2	26,1	Rs
Cable Conector MxM	1	0	1	3,39	Rs
Cable Conector MxH	1	0	1	3,39	Rs
Cable Conector HxH	1	0	1	3,39	Rs
Luz indicadora Naranja	1	0	1	62,25	Rs
Luz indicadora Verde	1	0	1	38,33	Rs
Maletin de herramientas	1	0	1	30,06	Cespedes
Estaño	1	1	2	7,87	Cespedes
Relé	1	1	2	22,43	Cespedes
Alimentador electronico	5	1	6	19,6	Cespedes
Pistola de silicona	1	0	1	7,6	Cespedes
Convertor 24/5 10.8A 54W	8	6	14	32,6	Distron
Convertor 24/12 2,5A 30W	2	1	3	27	Distron
Baterías de gel	2	0	2	192,85	Ricardo Vela
Cargador Baterías de gel	1	0	1	251,3	Ricardo Vela
Cable negro	1	0	1	22,4	Rs
Cable Rojo	1	0	1	22,4	Rs
Web cam Logitech	1	1	2	89,02	Rs
Cuadro electrico	1	0	1	102,21	Rs
USBC-RJ45	2	0	2	101,08	Rs
USBC-USB3.0	1	0	1	76,5	Rs
USBC-USB3.0	1	0	1	76,5	Rs
Alargador USB	1	0	1	9,35	Rs
Casco del barco	1	0	1	6000	Cedido
Motores	2	2	4	600	acc.barco
Go Pro	1	0	1	600	GoPro

Figura 7.2: Presupuesto de materiales

Capítulo 8

Conclusiones y propuesta de trabajo futuro

En este trabajo se ha conseguido desarrollar un prototipo de una embarcación no tripulada teleoperada mediante un sistema complejo que combina los STI con las redes de comunicaciones 5G, y, por tanto, se ha logrado demostrar uno de los casos de uso reales de navegación remota que implementa una combinación de estas tecnologías.



Figura 8.1: Demostración en el Mobile World Congress de 2022

Por otro lado, es claramente observable el crecimiento de los STI en la industria, por lo cual este tipo de aplicaciones tendrán un gran impacto dentro del ámbito tanto industrial como social. Por consiguiente, es sumamente importante la creación y financiación de proyectos que combinen la tecnología 5G con los STI, de modo que la exposición de estos casos de uso promuevan una modernización de los sectores. Y es que existen una gran cantidad de aplicaciones relacionadas con

el control remoto inmersivo de vehículos que pueden brindar a la industria, y en general, una gran cantidad de casos de uso que mejoren el bienestar y la eficiencia de los procesos, así como para aplicaciones simplemente lúdicas.



Figura 8.2: Imagen del barco en uso en el puerto de Valencia

Como propuesta de trabajo futuro podría implementarse un sistema de conducción inteligente automática o semiautomática con ayuda al usuario, además, mediante la implementación de sensores tipo radar, lidar y cámaras de profundidad, sería posible realizar mapeados en tiempo real de los objetos colindantes con el barco, proveyéndolo de una gran cantidad de información útil para el control de puertos.

Por otro lado, dado que el sistema se diseñó con la filosofía de poder ser migrado y reutilizable en cualquier otro tipo de vehículo, se ha logrado implementar en un sistema de tele-presencia en un coche de radiocontrol, el cual también podría ser un caso de uso interesante en la industria para el transporte de mercancías en fábricas y un amplio espectro de aplicaciones. Con lo cual este proyecto sirve como referencia para la implementación de un sistema de tele-presencia y navegación inmersiva en cualquier tipo de transporte, y es una muestra de las posibilidades de la integración de las tecnologías de comunicaciones móviles, como el 5G, en sistemas de transporte inteligente.

Bibliografía

- [1] *¿Qué es la arquitectura de red 5G?* es. URL: <https://es.digi.com/blog/post/5g-network-architecture> (visitado 21-11-2022).
- [2] *¿Qué es y para qué sirve el sistema de gestión de baterías BMS?* es. Sep. de 2021. URL: <https://www.cambioenergetico.com/blog/sistema-gestion-bateria-bms/> (visitado 16-08-2022).
- [3] *A practical understanding of lead acid batteries.* URL: <https://louwrentius.com/a-practical-understanding-of-lead-acid-batteries.html> (visitado 14-03-2022).
- [4] *Acerca de la compresión y codificación de vídeo y de audio.* es-ES. URL: <https://helpx.adobe.com/content/help/es/es/media-encoder/using/video-audio-encoding-compression.html> (visitado 21-09-2022).
- [5] admin. *Ley de Joule, ¿Qué es? Explicación y formula* □ □. es. Abr. de 2020. URL: <https://electronicabasica.site/ley-de-joule/> (visitado 31-08-2022).
- [6] Administrador. *¿Qué es la Ley de Joule? Fórmula de la Ley de Joule.* en-US. Oct. de 2019. URL: <https://unicrom.com/ley-de-joule/> (visitado 31-08-2022).
- [7] Administrador. *Potenciómetro, Reóstato (Resistencia / resistor variable).* en-US. Ago. de 2019. URL: <https://unicrom.com/potenciometro-reostato-resistencia-resistor-variable/> (visitado 23-03-2022).
- [8] *Así funcionan las baterías de litio.* es. Feb. de 2020. URL: <https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/> (visitado 06-08-2022).
- [9] Battle Born Batteries. *What Is A BMS (Battery Management System)?* en-US. Abr. de 2021. URL: <https://battlebornbatteries.com/battery-management-system/> (visitado 06-08-2022).
- [10] Ricardo González Blanco y Dr Enrique González Pino. «INCIDENCIA DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA SEGURIDAD DE LOS BUQUES». es. En: (), pág. 139.
- [11] *Cámara fotográfica.* es. Page Version ID: 145304408. Ago. de 2022. URL: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_fotogr%C3%A1fica&oldid=145304408 (visitado 20-09-2022).
- [12] *Características técnicas de las cámaras digitales.* URL: <https://quecamarareflex.com/caracteristicas-tecnicas-de-las-camaras-digitales/#sistema-de-enfoque> (visitado 20-09-2022).
- [13] Jose Carlos Urrea Celdrán. «TRABAJO FIN DE GRADO». es. En: (), pág. 92.

- [14] *Cómo funciona el enfoque por detección de fase (PDAF)*. URL: <https://quecamarareflex.com/como-funciona-el-enfoque-por-deteccion-de-fase-pdaf/> (visitado 20-09-2022).
- [15] *Cómo funcionan las baterías de plomo ácido*. es. Dic. de 2020. URL: <https://solarplak.es/energia/como-funcionan-las-baterias-de-plomo-acido/> (visitado 14-03-2022).
- [16] *Convertidor DC a DC*. es. Page Version ID: 137256720. Jul. de 2021. URL: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Convertidor_DC_a_DC&oldid=137256720 (visitado 16-08-2022).
- [17] *Convertidores DC/DC - EcuRed*. es. URL: https://www.ecured.cu/Convertidores_DC/DC (visitado 16-08-2022).
- [18] *Customer Premises Equipment*. es. Page Version ID: 147117851. Nov. de 2022. URL: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Customer_Premises_Equipment&oldid=147117851 (visitado 21-11-2022).
- [19] Sabine Dahmen-Lhuissier. *ETSI- ITS*. en-gb. URL: <https://www.etsi.org/committee/its> (visitado 09-11-2022).
- [20] Mariano Fernández Ferrer y col. «IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL CONTROL Y SEGUIMIENTO REMOTO DE UN BARCO AUTÓNOMO». es. En: (), pág. 62.
- [21] Lic Jaime Hamel Fonseca. «CELDAS, PILAS Y BATERÍAS DE ION- LITIO UNA ALTERNATIVA PARA....???» es. En: (), pág. 8.
- [22] Antony García González. *¿Qué es y cómo funciona un potenciómetro?* es-ES. Ene. de 2016. URL: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-potenciometro/> (visitado 23-03-2022).
- [23] Antony García González. *¿Qué es y cómo funciona un servomotor?* es-ES. Dic. de 2016. URL: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/> (visitado 23-03-2022).
- [24] Antony García González. *Potenciómetro digital: El circuito integrado X9C103P*. es-ES. Mayo de 2013. URL: <http://panamahitek.com/potenciometro-digital-el-circuito-integrado-x9c103p/> (visitado 23-03-2022).
- [25] Escobar Hernández y Miguel Ángel. «TRABAJO FIN DE GRADO». es. En: (), pág. 82.
- [26] Jessica Herron. *How Do Trolling Motors Work? Know How the Motor Powers Your Boat!* auto. Mar. de 2021. URL: <https://kayakfisherly.com/how-trolling-motors-work/> (visitado 15-03-2022).
- [27] *HEVC o H.265, el formato de compresión de vídeo - H.264 vs H.265*. es. URL: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-hevc/> (visitado 23-09-2022).
- [28] *ITS Standards – Intelligent Transport Systems*. URL: <https://www.itsstandards.eu/> (visitado 09-11-2022).
- [29] Jinbeum Jang y col. «Sensor-Based Auto-Focusing System Using Multi-Scale Feature Extraction and Phase Correlation Matching». en. En: *Sensors* 15.3 (mar. de 2015), págs. 5747-5762. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s150305747. URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/3/5747> (visitado 20-09-2022).

- [30] *Patente de Estados Unidos: 4687718*. URL: https://patft1-uspto-gov.translate.google.com/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=/net/html/PTO/srchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=4687718.PN.&OS=PN/4687718&RS=PN/4687718&_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=wapp (visitado 14-03-2022).
- [31] José Luis R. *INTERRUPTOR DIFERENCIAL | Que es, para que sirve y como funciona*. es. Dic. de 2017. URL: <https://como-funciona.co/un-interruptor-diferencial-disyuntor/> (visitado 31-08-2022).
- [32] José Luis R. *INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO | Que es y como funciona*. es. Dic. de 2017. URL: <https://como-funciona.co/un-interruptor-termomagnetico/> (visitado 05-09-2022).
- [33] *Relationship with the ITS Action Plan and ITS Directive | FRAME ARCHITECTURE*. en-US. URL: <https://frame-online.eu/frame-architecture/detailed-information/relationship-with-the-its-action-plan-and-its-directive> (visitado 09-11-2022).
- [34] Derrick Riley. *How to Choose a Trolling Motor? a Quick Way to Free Your Hands!* en-us. Mar. de 2021. URL: <https://kayakfisherly.com/choosing-trolling-motors/> (visitado 15-03-2022).
- [35] *Servomotores: composición y funcionamiento*. URL: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm#PWM (visitado 23-03-2022).
- [36] Editorial Universitat Politècnica de València. «Universitat Politècnica de València». es. En: *Ingeniería del agua* 18.1 (sep. de 2014), pág. ix. ISSN: 1886-4996, 1134-2196. DOI: 10.4995/ia.2014.3293. URL: <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293> (visitado 16-08-2022).
- [37] *Vehículos Interconectados: Estado del arte de la Implementación - PDF Free Download*. URL: <https://docplayer.es/177439142-Vehiculos-interconectados-estado-del-arte-de-la-implementacion.html> (visitado 09-11-2022).
- [38] Carlos Yañez. *Qué es la programación multihilo y qué ventajas tiene*. es. Feb. de 2018. URL: <https://www.ceac.es/blog/que-es-la-programacion-multihilo-y-que-ventajas-tiene> (visitado 20-11-2022).