

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL ENCENDIDO/APAGADO  
Y MEDICIÓN DE CORRIENTE DE CONSUMO DEL FARO PUNTA ÁNGELES DE VALPARAÍSO**

Trabajo de Titulación para optar al Título de  
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E  
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Héctor Alex Fuentes Garcés

Profesor Guía:

Mag. Loreto Marín Carcey

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** DISEÑO SISTEMA, CONTROL, MONITOREO, SENSOR, ESP32.

El presente trabajo de título presenta el diseño de un sistema de monitoreo y control del encendido/apagado y medición de la corriente de consumo del Faro Punta Ángeles de Valparaíso, el cual pertenece a la Dirección de Seguridad y Operaciones Marítimas de la Armada de Chile. Para el diseño de este sistema se trabajará con la implementación de un prototipo, con el fin de cumplir con los requerimientos de este proyecto.

A su vez, se analizarán los resultados obtenidos mientras se detalla cada paso realizado para la obtención del control requerido.

## ÍNDICE

|                                                 |          |
|-------------------------------------------------|----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                       | <b>1</b> |
| <b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES .....</b> | <b>2</b> |
| 1        ANTECEDENTES GENERALES .....           | 3        |
| 1.1     IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.....       | 3        |
| 1.1.1   Ubicación geográfica .....              | 4        |
| 1.1.2   Misión y visión .....                   | 5        |
| 1.1.3   Normativas vigentes .....               | 5        |
| 1.2     CONCEPTOS GENERALES SOBRE FAROS .....   | 6        |
| 1.2.1   Tipos de señales.....                   | 6        |
| 1.2.2   Prioridad de funcionamiento .....       | 7        |
| 1.2.3   Faro.....                               | 7        |
| 1.2.4   Fanal .....                             | 7        |
| 1.3     FARO PUNTA ÁNGELES.....                 | 8        |
| 1.3.1   Características principales .....       | 9        |
| 1.3.2   Partes principales y conexionado .....  | 9        |
| 1.4     PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....        | 10       |
| 1.4.1   Definición del problema .....           | 10       |
| 1.4.2   Importancia de resolverlo .....         | 12       |
| 1.4.3   Involucrados.....                       | 12       |
| 1.5     SOLUCIÓN DEL PROBLEMA .....             | 13       |
| 1.5.1   Requerimientos .....                    | 14       |
| 1.5.2   Alternativas de solución .....          | 15       |
| 1.5.2.1   Alternativa 1 .....                   | 15       |
| 1.5.2.2   Alternativa 2 .....                   | 16       |
| 1.5.2.3   Alternativa 3 .....                   | 16       |

|                                                   |                                                                |           |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.5.3                                             | Evaluación de alternativas .....                               | 16        |
| 1.5.4                                             | Selección de alternativas .....                                | 17        |
| 1.6                                               | VALOR AGREGADO.....                                            | 18        |
| 1.7                                               | OBJETIVOS.....                                                 | 19        |
| 1.7.1                                             | Objetivo general .....                                         | 19        |
| 1.7.2                                             | Objetivos específicos .....                                    | 20        |
| <b>CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....</b> |                                                                | <b>21</b> |
| 2                                                 | DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....                                | 22        |
| 2.1                                               | SOLUCIÓN DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA.....                       | 22        |
| 2.2                                               | MODELOS CONCEPTUALES DE DISEÑO .....                           | 23        |
| 2.2.1                                             | Esquema en bloques.....                                        | 23        |
| 2.2.2                                             | Tabla de estados .....                                         | 24        |
| 2.2.3                                             | Diagramas de flujo .....                                       | 25        |
| 2.2.3.1                                           | Control del Faro .....                                         | 25        |
| 2.2.3.2                                           | Adquisición de datos .....                                     | 27        |
| 2.2.3.3                                           | Actualización de datos .....                                   | 28        |
| 2.3                                               | DISEÑO DEL PROTOTIPO .....                                     | 29        |
| 2.3.1                                             | Hardware.....                                                  | 30        |
| 2.3.1.1                                           | Microcontrolador ESP32 devkit V1 30 pines USB-C/microUSB ..... | 31        |
| 2.3.1.2                                           | Fuente de alimentación modelo APB-2000 12 VDC/105 AH .....     | 33        |
| 2.3.1.3                                           | Relé 12 VDC de 2 canales .....                                 | 35        |
| 2.3.1.4                                           | Sensor de corriente HTP50SP.....                               | 37        |
| 2.3.1.5                                           | Regulador de voltaje LM2596S .....                             | 40        |
| 2.3.1.6                                           | Módulo de almacenamiento microSD de Catalex .....              | 42        |
| 2.3.1.7                                           | Display LCD 12x2 I2C .....                                     | 44        |
| 2.3.1.8                                           | Baliza led MBL-150 y lámpara 12VDC/1A.....                     | 45        |
| 2.3.2                                             | Software .....                                                 | 47        |
| 2.4                                               | IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO .....                              | 47        |

|                                               |                                                           |           |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.1                                         | Hardware montado.....                                     | 48        |
| 2.4.2                                         | Modo de transmisión Wi-Fi.....                            | 49        |
| 2.4.3                                         | Interfaz web .....                                        | 51        |
| 2.4.3.1                                       | Estado actual.....                                        | 53        |
| 2.4.3.2                                       | Control manual .....                                      | 54        |
| 2.4.3.3                                       | Configuración automática .....                            | 54        |
| 2.4.3.4                                       | Visualización de datos.....                               | 56        |
| 2.4.3.5                                       | Descarga de datos.....                                    | 57        |
| 2.4.4                                         | Funciones adicionales .....                               | 58        |
| 2.4.4.1                                       | Páginas web embebidas en HTML.....                        | 58        |
| 2.4.4.2                                       | Beneficios de integración.....                            | 61        |
| 2.4.5                                         | Usuarios .....                                            | 61        |
| 2.4.5.1                                       | Operador de guardia.....                                  | 61        |
| 2.4.5.2                                       | Usuario marítimo .....                                    | 61        |
| 2.5                                           | ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS O DISPOSITIVOS PARA UTILIZAR..... | 62        |
| 2.6                                           | PROGRAMACIÓN Y CONEXIÓN.....                              | 63        |
| 2.6.1                                         | Programación.....                                         | 63        |
| 2.6.2                                         | Conexión de los componentes implementados .....           | 63        |
| <b>CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b> |                                                           | <b>66</b> |
| 3                                             | EVALUACIÓN ECONÓMICA .....                                | 67        |
| 3.1                                           | FUENTES DE FINANCIAMIENTO.....                            | 67        |
| 3.2                                           | MONEDA DE REFERENCIA .....                                | 68        |
| 3.3                                           | ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO.....                    | 68        |
| 3.3.1                                         | Costos de mano de obra .....                              | 69        |
| 3.3.1.1                                       | Equipo de trabajo.....                                    | 69        |
| 3.3.1.2                                       | Carta gantt .....                                         | 70        |
| 3.3.2                                         | Costos de materiales.....                                 | 72        |
| 3.3.3                                         | Costos de herramientas, equipos y otros.....              | 73        |

|                          |                                                                    |           |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.4                    | Costos de diseño, capacitaciones, contingencias e imprevistos..... | 73        |
| 3.3.5                    | Costo total del proyecto.....                                      | 75        |
| 3.4                      | ANÁLISIS ECONÓMICO .....                                           | 76        |
| 3.4.1                    | Justificación del gasto .....                                      | 76        |
| 3.4.1.1                  | Evaluación costo – impacto.....                                    | 77        |
| 3.4.2                    | Comparación de alternativas .....                                  | 78        |
| 3.4.3                    | Indicadores financieros .....                                      | 78        |
| 3.5                      | BENEFICIOS DEL PROYECTO .....                                      | 78        |
| 3.6                      | MANTENIMIENTO DEL SISTEMA .....                                    | 79        |
| 3.7                      | VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS.....                                      | 80        |
| 3.8                      | SEGURIDAD Y ACCESO.....                                            | 81        |
| 3.8.1                    | Medidas implementadas.....                                         | 81        |
| 3.8.2                    | Medidas propuestas.....                                            | 81        |
| 3.9                      | CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS.....                                       | 82        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b> |                                                                    | <b>83</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b> |                                                                    | <b>84</b> |

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1 Organigrama DIRECTEMAR.....                                  | 3  |
| Figura 1-2. Vista superior de la ubicación DIRSOMAR. ....               | 4  |
| Figura 1-3. Faro Punta Ángeles, de Valparaíso. ....                     | 8  |
| Figura 1-4. Diagrama de conexionado de las partes principales.....      | 10 |
| Figura 1-5. Diagrama Ishikawa.....                                      | 11 |
| Figura 2-1 Diagrama en bloques del proceso. ....                        | 24 |
| Figura 2-2 Diagrama de flujo del control del Faro. ....                 | 26 |
| Figura 2-3 Diagrama de flujo de la adquisición de datos. ....           | 27 |
| Figura 2-4 Diagrama de flujo de la actualización de datos. ....         | 28 |
| Figura 2-5 Diagrama en bloques de diseño del prototipo.....             | 29 |
| Figura 2-6 Placa de desarrollo ESP-WROOM-32. ....                       | 31 |
| Figura 2-7 Batería APB-2000 12VDC/105AH Automatic Power. ....           | 33 |
| Figura 2-8 Relé 12V de 2 canales. ....                                  | 36 |
| Figura 2-9 Sensor de corriente HTP50SP. ....                            | 38 |
| Figura 2-10 Diagrama de conexión del sensor.....                        | 39 |
| Figura 2-11 Mediciones de corriente.....                                | 40 |
| Figura 2-12 Regulador de voltaje LM2596S. ....                          | 41 |
| Figura 2-13 Módulo microSD Catalex. ....                                | 42 |
| Figura 2-14 Tarjeta microSD HIKSEMI de 16GB. ....                       | 43 |
| Figura 2-15 Display LCD 12x2 I2C-azul. ....                             | 44 |
| Figura 2-16 Fanal Led modelo MBL-150. ....                              | 46 |
| Figura 2-17 Lámpara incandescente 12VDC/1A. ....                        | 46 |
| Figura 2-18 Implementación de prototipo_01.....                         | 48 |
| Figura 2-19 Implementación de prototipo_02.....                         | 49 |
| Figura 2-20 CMD PC cliente y ping con ESP32. ....                       | 50 |
| Figura 2-21 Inicio de sesión sistema control Faro.....                  | 51 |
| Figura 2-22 Servidor web control del Faro (Parte superior página). .... | 52 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2-23 Servidor web control del Faro (Parte inferior página). .... | 52 |
| Figura 2-24 Estado actual. ....                                         | 53 |
| Figura 2-25 Control manual. ....                                        | 54 |
| Figura 2-26 Configuración automática. ....                              | 55 |
| Figura 2-27 Gráfico de corriente [A]. ....                              | 56 |
| Figura 2-28 Descargar medición de corriente. ....                       | 57 |
| Figura 2-29 Archico CSV de mediciones filtradas. ....                   | 58 |
| Figura 2-30 Servidor web datos meteorológicos. ....                     | 59 |
| Figura 2-31 Servidor web ubicación geográfica. ....                     | 60 |
| Figura 2-32 Servidor NTP (Fecha/Hora). ....                             | 60 |
| Figura 2-33 Conexión de dispositivos a MCU ESP32. ....                  | 65 |
| Figura 3-1 Gráfico de costos totales del proyecto. ....                 | 76 |

### **ÍNDICE DE TABLAS**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1 Requerimientos. ....                                           | 14 |
| Tabla 1.2 Requerimientos (Continuación Tabla 1.1). ....                  | 15 |
| Tabla 1.3 Puntuación. ....                                               | 17 |
| Tabla 1.4 Evaluación de las alternativas. ....                           | 17 |
| Tabla 2.1 Estados. ....                                                  | 25 |
| Tabla 2.2 Hardware. ....                                                 | 30 |
| Tabla 2.3 Software. ....                                                 | 47 |
| Tabla 2.4 Análisis de equipos o dispositivos. ....                       | 62 |
| Tabla 2.5 Conexión de dispositivos a MCU ESP32. ....                     | 64 |
| Tabla 3.1 Cálculo del costo diario de los trabajadores. ....             | 70 |
| Tabla 3.2 Carta gantt proyecto de modernización Faro Punta Ángeles. .... | 71 |
| Tabla 3.3 Costo total de mano de obra. ....                              | 71 |
| Tabla 3.4 Costos de materiales. ....                                     | 72 |
| Tabla 3.5 Costos de herramientas, equipos y otros. ....                  | 73 |

Tabla 3.6 Costos de diseño, capacitaciones y contingencias. .... 74

Tabla 3.7 Costo total del proyecto..... 75

Tabla 3.8 Costo de implementación proyecto. .... 77

## **SIGLAS Y SIMBOLOGÍA**

### **A. SIGLAS:**

|       |                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------|
| MCU   | : Microcontrolador.                                          |
| PLC   | : Controlador Lógico Programable.                            |
| ESP   | : Espressif Systems.                                         |
| Wi-Fi | : Wireless Fidelity o fidelidad inalámbrica.                 |
| TCP   | : Transmission Control Protocol.                             |
| IP    | : Internet Protocol.                                         |
| IoT   | : Internet de las Cosas.                                     |
| NTP   | : Network Time Protocol.                                     |
| HTTP  | : Protocolo de transferencia de hipertexto.                  |
| HTTPS | : Protocolo de transferencia de hipertexto seguro.           |
| HTML  | : HyperText Markup Language.                                 |
| HMI   | : Interfaz Hombre – Máquina.                                 |
| CPU   | : Unidad Central de Procesamiento.                           |
| LCD   | : Liquid-Crystal display.                                    |
| UART  | : Universal Asynchronous Receiver/Transmitter.               |
| SPI   | : Interfaz Periférica en Serie.                              |
| I2S   | : Protocolo de Comunicación Serial Sincrónica.               |
| I2C   | : Protocolo de Comunicación Sincrónico - Circuito Integrado. |
| GPIO  | : General-Purpose Input/Output.                              |
| ADC   | : Convertidor Analógico a Digital.                           |
| SAR   | : Successive Approximation Register.                         |
| PCB   | : Printed Circuit Board.                                     |
| SRAM  | : Memoria Estática de Acceso Aleatorio.                      |
| ROM   | : Read Only Memory.                                          |
| DMIPS | : Dhrystone Millones de Instrucciones por Segundo.           |

|            |                                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| RTC        | : Real-Time Clock.                                                                  |
| QSPI       | : Quad Serial Peripheral Interface.                                                 |
| WPA        | : Wi-Fi Protected Access.                                                           |
| WPA2       | : Wi-Fi Protected Access 2.                                                         |
| WAPI       | : WLAN Authentication and Privacy Infrastructure.                                   |
| IALA       | : International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities |
| DIRECTEMAR | : Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante.                   |
| DIRSOMAR   | : Dirección de Seguridad y Operaciones Marítimas.                                   |
| SSM        | : Servicio de Señalización Marítima.                                                |
| API        | : Application Programming Interface.                                                |
| CA         | : Corriente Alterna.                                                                |
| CC         | : Corriente Continua.                                                               |
| VDC        | : Voltaje Continuo.                                                                 |
| VAC        | : Voltaje Alterno.                                                                  |
| Vcc        | : Voltaje de corriente continua (Voltaje Positivo).                                 |
| Gnd        | : Tierra.                                                                           |
| CMD        | : Command Prompt (Símbolo del sistema).                                             |
| CSV        | : Valores Separados por Comas.                                                      |
| FORA       | : Fondo Rotativo de Abastecimiento.                                                 |
| INE        | : Instituto Nacional de Estadísticas.                                               |
| IPC        | : Índice de Precios al Consumidor.                                                  |
| HH         | : Horas Hombre.                                                                     |

## **B. SIMBOLOGÍA:**

|   |              |
|---|--------------|
| V | : Volt.      |
| I | : Corriente. |
| A | : Ampere.    |

|      |                                               |
|------|-----------------------------------------------|
| mA   | : Mili Amperios.                              |
| W    | : Watt.                                       |
| °    | : Grado.                                      |
| °C   | : Grado Celsius.                              |
| Hz   | : Hertz.                                      |
| h    | : Hora.                                       |
| s    | : Segundos.                                   |
| ms   | : Milisegundo.                                |
| Mbps | : Megabits por segundo.                       |
| S    | : Sur.                                        |
| O    | : Oeste.                                      |
| m    | : Metro.                                      |
| mm   | : Milímetros.                                 |
| K    | : Kilo.                                       |
| M    | : Mega.                                       |
| G    | : Giga.                                       |
| Bit  | : Dígito Binario.                             |
| Byte | : Unidad de información compuesta por 8 bits. |
| AH   | : Amperio Hora.                               |
| MN   | : Millas Náuticas.                            |
| g    | : Gramo.                                      |
| Kg   | : Kilogramos.                                 |
| Lb   | : Libra.                                      |
| L    | : Length.                                     |
| W    | : Width.                                      |
| H    | : Height.                                     |
| UF   | : Unidad de Fomento.                          |
| CLP  | : Peso chileno.                               |

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los principales objetivos de la industria es la mejora continua de sus procesos, además de garantizar que los equipos y sistemas operen de manera eficiente, mediante el monitoreo, control y regulación de diversas variables físicas como temperatura, flujo, corriente eléctrica, entre otros que han sido el principal enfoque para lograr estas mejoras mediante la utilización de diversos métodos y estrategias de control.

La Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA, por sus siglas en inglés), tiene el propósito de garantizar la seguridad y eficiencia de la navegación, promoviendo la armonización internacional de las ayudas a la navegación marítima. Esta asociación internacional dicta las normas de recomendación que rigen actualmente los Faros del mundo y de Chile.

Referente a lo anterior, en todos los puertos del mundo, existe una señal luminosa que está encendida por las noches y que avisa a los navegantes su llegada a destino, que corresponde a la presencia de los faros. En el caso del puerto de Valparaíso, no es la excepción, y su figura data del tercer decenio del siglo XIX. Frente a los acantilados y al mirador de Playa Ancha, emerge una imponente y majestuosa construcción de color rojo con blanco que sobresale por sobre las otras edificaciones del sector, es el Faro Punta Ángeles, considerado como el primer faro del país, luz centenaria que ha brindado la bienvenida y la esperanza a los navegantes que recalán al puerto.

El Faro Punta Ángeles, ubicado en las instalaciones de la DIRSOMAR, dependientes de la DIRECTEMAR de la Armada de Chile, funciona con una lámpara de xenón modificado alimentada por voltaje continuo y emitiendo un destello a través de lentes del tipo Fresnel para así tener un alcance luminoso cercano a las 32 millas náuticas.

El encendido y apagado del Faro es de forma manual, en donde personal de servicio debe recurrir al tablero principal para efectuarlo, por lo que se debe evaluar las posibles alternativas de solución a estas problemáticas dentro de las que sobresalen por su escalabilidad e innovación al automatizar el actual modo manual a automático.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

## 1 ANTECEDENTES GENERALES

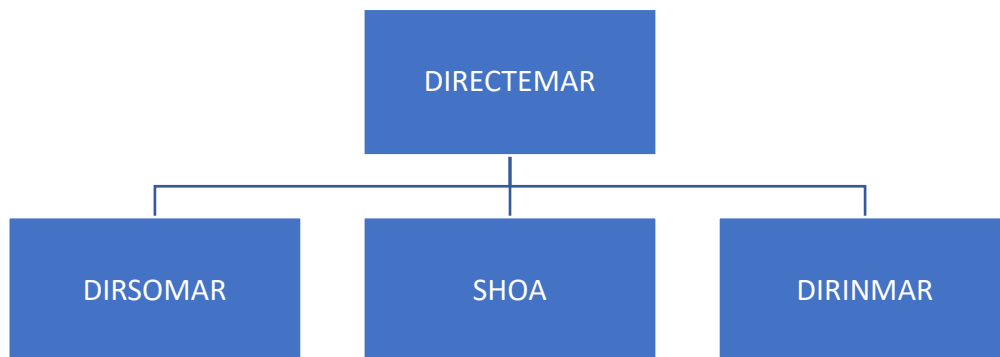
Este capítulo presenta la problemática a resolver, el método mediante el cual se da solución y se definen los objetivos a cumplir.

Este proyecto de diseño es una mejora al sistema manual ya existente en el Faro Punta Ángeles de la DIRSOMAR, perteneciente a la DIRECTEMAR de la Armada de Chile.

### 1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

La Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante “DIRECTEMAR”, organismo dependiente de la Armada de Chile, se encuentra ubicado en Errázuriz 537, Valparaíso, Región de Valparaíso. La figura 1-1 muestra el organigrama DIRECTEMAR y sus órganos dependientes.

- a) Dirección de Seguridad y Operaciones Marítimas “DIRSOMAR”.
- b) Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada “SHOA”.
- c) Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático “DIRINMAR”.



Fuente: Elaboración propia, <https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/organigrama.html>

Figura 1-1 Organigrama DIRECTEMAR.

### 1.1.1 Ubicación geográfica

El Complejo de Direcciones Técnicas Marítimas de DIRSOMAR se encuentra ubicada en la subida al cementerio #300, Sector Playa Ancha, Valparaíso. Lugar en donde está instalado el Faro Punta Ángeles y Museo George Slight de la Armada de Chile. A modo de visualización, la figura 1-2 muestra a grandes rasgos el perímetro del Complejo de las Direcciones Técnicas Marítimas, lugar en donde se ubica el Faro Punta Ángeles.



Fuente: Captura de pantalla de Google Maps.

Figura 1-2. Vista superior de la ubicación DIRSOMAR.

### 1.1.2 Misión y visión

DIRSOMAR y dentro de sus órganos internos abocado a las funciones del sistema de ayudas a la navegación, se encuentra el Servicio de Señalización Marítima “SSM”, el cual tiene la misión de administrar y desarrollar el sistema de ayudas a la navegación marítima en el territorio nacional, acorde con la normativa nacional e internacional suscrita por el Estado de Chile, asegurando la confiabilidad y la eficiencia de la red de Señalización Marítima que permita la navegación segura y expedita de las naves por las rutas nacionales habilitadas, con el propósito de contribuir a la seguridad marítima, la protección del medio ambiente marino y el desarrollo de los intereses marítimos de la nación.

### 1.1.3 Normativas vigentes

A continuación, se describen las 2 normas más importantes que rigen la señalización marítima actual en Chile.

#### a) Recomendaciones IALA

La IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities), o Asociación Internacional de Señalización Marítima, emite diversas recomendaciones y normas relacionadas con las ayudas a la navegación marítima. La recomendación específica que se refiere a las ayudas a la navegación es la Recomendación IALA E-200.

#### b) Lista de Faros de la Costa de Chile, PUB. SHOA N°3007

Esta publicación proporciona al navegante toda la información relativa a faros, balizas y boyas luminosas, enfilaciones de ruta y puerto (aproximación y fondeo), plataformas petroleras fijas y boyas ciegas, además de las señales de niebla y radio ayudas instaladas en los diferentes faros y balizas.

## 1.2 CONCEPTOS GENERALES SOBRE FAROS

A continuación, se describen conceptos básicos sobre Faros, con el objetivo de comprender la problemática existente en el Faro Punta ángeles.

### 1.2.1 Tipos de señales

- a) Señales laterales: Utilizadas con un sentido convencional de balizamiento, aplicadas generalmente para canales bien definidos. Estas señales marcan los costados de babor y de estribor de la ruta a seguir. Donde el canal se bifurca, puede utilizarse una señal lateral modificada para indicar la ruta preferida.
- b) Señales laterales modificadas: Utilizadas con un sentido convencional de balizamiento que permiten mostrar el punto donde se bifurca un canal, ya sea artificial o natural, indicando cuál es el canal preferido para la navegación.
- c) Señales cardinales: Indican que, en el área, las aguas más profundas se encuentran hacia el lado que indica la denominación de la señal.
- d) Señal de peligro aislado: Se coloca sobre un peligro de área reducida rodeada de aguas navegables.
- e) Señal de aguas seguras: Está rodeada por todas partes de aguas navegables, pero no marca un peligro. Puede utilizarse, por ejemplo, como marca de medio canal o como señal de recalada.
- f) Señal especial: Se le emplea para indicar un área especial o una configuración determinada, cuya naturaleza puede surgir consultando una carta u otro documento náutico. No está destinada primordialmente para ayudar.
- g) Señales costeras: Su objetivo principal es marcar un punto de referencia para el control de la posición del buque, no es indicar un peligro a la navegación.
- h) Señal de nuevos peligros: Indican peligros descubiertos recientemente, aún no registrados en documentos náuticos.

### 1.2.2 Prioridad de funcionamiento

- a) Prioridad A: Señal que nunca puede estar fuera de servicio, ya que afecta seriamente a la seguridad de la navegación.
- b) Prioridad B: Señal que puede estar fuera de servicio, pero su reencendido debe ser abordado a la brevedad.
- c) Prioridad C: Señal que puede estar fuera de servicio, cuyo tiempo de normalización no debe superar los 90 días, con excepción del balizamiento ubicado en el territorio antártico.
- d) Prioridad D: Funcionamiento a requerimiento.

### 1.2.3 Faro

Es una estructura visible ubicada en tierra, cercana a la costa o dentro del agua, que actúa como marca en el día y proporciona un haz de luz en la noche, con un alcance superior o igual a 10 millas náuticas.

En Chile, se emplea este término cuando esta señal es de importancia geográfica o bien considerada por su estructura de relevancia histórica y denominada como monumento nacional, o cuando tenga una o más personas residiendo en ella para su cuidado y operación.

### 1.2.4 Fanal

Es un dispositivo de ayudas a la navegación del tipo luminoso, que va sobre la estructura de un faro o baliza y se utiliza para guiar a los barcos en la navegación marítima.

El objetivo principal de los fanales es proporcionar señales visuales para ayudar a los barcos a evitar peligros, como arrecifes o costas, y a navegar de manera segura en rutas marítimas. Este tipo de dispositivos es una parte crucial de los sistemas de ayudas a la navegación.

### 1.3 FARO PUNTA ÁNGELES

El primer Faro construido en la República de Chile, inaugurado mediante el Decreto Supremo N°109 De fecha 09 de noviembre de 1837. Firmado por el presidente Sr. José Joaquín Prieto Vial, se aprueba su instalación en el sector de Punta Ángeles, siendo instaurada esta fecha como día de la especialidad de Faros dentro de la Armada de Chile. La figura 1-3 muestra el Faro Punta Ángeles.



Fuente: Fotografía propia, del Faro Punta Ángeles, de Valparaíso.

Figura 1-3. Faro Punta Ángeles, de Valparaíso.

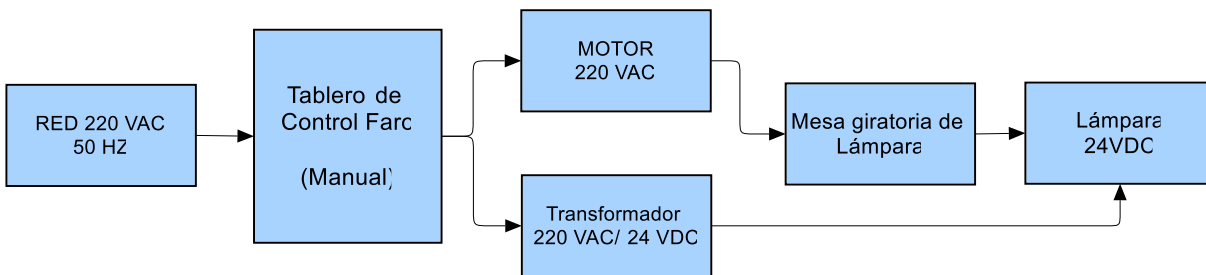
### 1.3.1 Características principales

- a) N° de orden Nacional : 169.
- b) N° de orden Internacional : G-1874.
- c) Tipo de señal : Costera.
- d) Nombre señal : PUNTA ÁNGELES.
- e) Prioridad de funcionamiento: Prioridad A.
- f) Altura torre : 18 m.
- g) Altura nivel del mar : 60 m.
- h) Alcance luminoso : 32 MN.
- i) Color de luz : Blanca.
- j) Ritmo de luz : D.B. 10 s / Luz 0,2 s – Eclipse 9,8 s.
- k) Coordenadas : 33° 01'4" S / 71° 38' 8" O.
- l) Lámpara : Eléctrica de xenón C.F. De 200 W, 24 VDC y 8 A.
- m) Estructura : Torre de fierro blanca con franja horizontal roja.  
Señal costera.

### 1.3.2 Partes principales y conexionado

La figura 1-4 muestra las partes principales que componen el sistema luminoso del Faro Punta Ángeles y su conexionado desde el tablero principal conectado a la red 220 VAC.

- a) Tablero de control (Manual).
- b) Motor.
- c) Transformador.
- d) Mesa giratoria.
- e) Lámpara.



Fuente: Elaboración propia, de las partes principales del Faro Punta Ángeles.

Figura 1-4. Diagrama de conexionado de las partes principales.

## 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

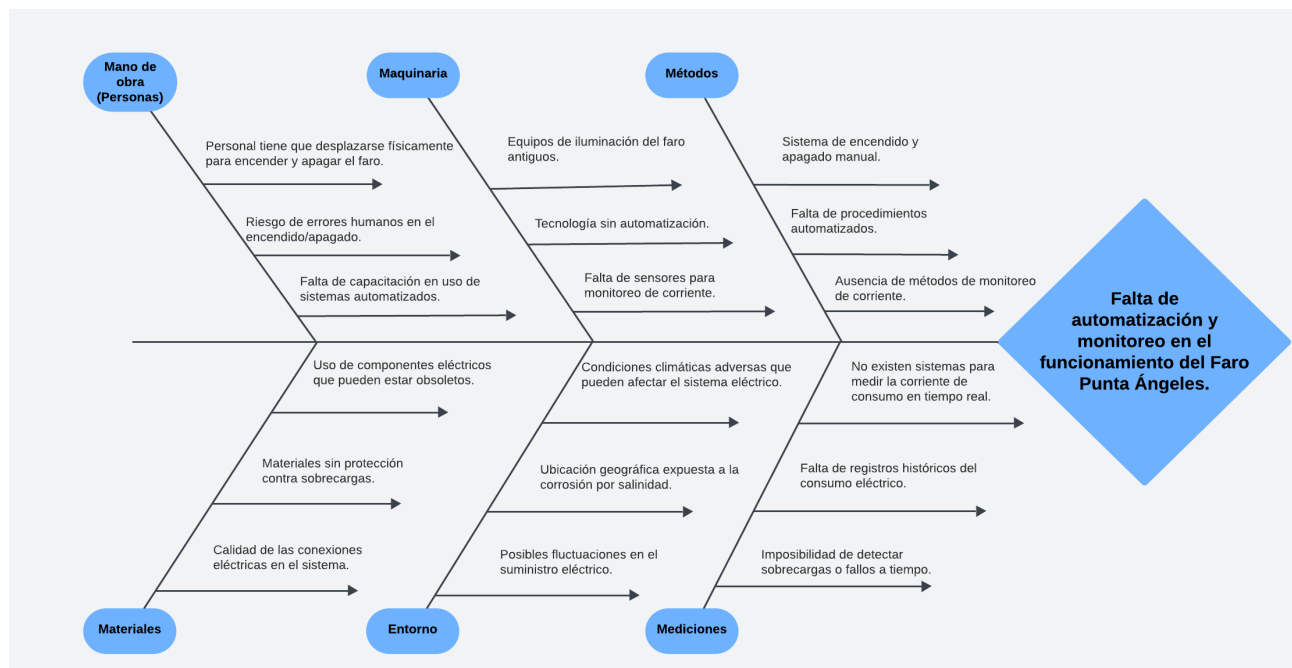
El Faro Punta Ángeles de Valparaíso, primer faro construido en Chile y reconocido como inmueble de conservación histórica por el Ministerio de Bienes Nacionales, opera actualmente con un sistema de encendido y apagado manual, lo que implica que el personal debe desplazarse físicamente para controlar su funcionamiento. Además, no existe un método eficaz para medir y monitorear en tiempo real la corriente de consumo del faro. Esta falta de automatización y monitoreo puede conducir a ineficiencias operativas, riesgos de falla no detectada y mayor desgaste del equipo debido a posibles sobrecargas eléctricas.

### 1.4.1 Definición del problema

Uno de los problemas más comunes que enfrenta el personal de servicio de guardia 24 horas en las instalaciones de la DIRSOMAR es la gestión manual del encendido y apagado del faro. Cada día, los encargados deben acudir físicamente al tablero principal para encender el faro al atardecer (ocaso) y apagarlo al amanecer (orto). Este proceso manual resulta tedioso y repetitivo, afectando el bienestar del personal de guardia.

Lo anterior, es muy necesario ya que mejoraría en gran manera el bienestar del personal de guardia, la iluminación continua y monitoreada para la seguridad de los buques que navegan en las cercanías y la innovación de una de las ayudas a la navegación más importante de Chile y del territorio nacional.

A continuación, se ve representado el Diagrama Ishikawa en la figura 1-5, en donde se podrán ver los problemas identificados y basados en el método de las 6M's orientado a la mejora continua.



Fuente: Elaboración propia en lucid.app: [https://lucid.app/lucidspark/84391770-029a-4393-816b-](https://lucid.app/lucidspark/84391770-029a-4393-816b-4bb0f09d1451/edit?beaconFlowId=6F4CC2D848B62492&invitationId=inv_baa9b6c6-1b10-42fd-95f6-d9c9d5dfde23&page=0_0#)

[4bb0f09d1451/edit?beaconFlowId=6F4CC2D848B62492&invitationId=inv\\_baa9b6c6-1b10-42fd-95f6-d9c9d5dfde23&page=0\\_0#](https://lucid.app/lucidspark/84391770-029a-4393-816b-4bb0f09d1451/edit?beaconFlowId=6F4CC2D848B62492&invitationId=inv_baa9b6c6-1b10-42fd-95f6-d9c9d5dfde23&page=0_0#)

Figura 1-5. Diagrama Ishikawa.

#### 1.4.2 Importancia de resolverlo

Este sistema de automatización no solo mejoraría la eficiencia operativa, sino que también aportaría una solución escalable e innovadora, al estar alineada con las tendencias actuales de automatización y monitoreo a distancia, aprovechando tecnologías de conectividad como el Wi-Fi.

La solución tendrá un impacto significativo en la operación diaria del Faro Punta Ángeles, así como en el mantenimiento y control preventivo de su infraestructura eléctrica, contribuyendo a una gestión más segura y eficiente de uno de los puntos de navegación más importantes del país.

La automatización del sistema de control del Faro Punta Ángeles ofrecería múltiples ventajas, que son de suma importancia resolver esta problemática:

- a) Mejora en el bienestar del personal: Eliminar la necesidad de encendido/apagado manual, facilita las labores del equipo de guardia, permitiéndoles enfocarse en otras actividades más importantes.
- b) Mayor seguridad marítima: Al garantizar una iluminación continua y monitoreada del faro, se refuerza la seguridad de los buques que navegan en las cercanías, evitando fallos humanos en la operación del faro.
- c) Innovación tecnológica: La implementación de un sistema automatizado supone una modernización de uno de los sistemas de ayuda a la navegación más importantes de Chile, contribuyendo a la eficiencia y fiabilidad de esta infraestructura crítica.

#### 1.4.3 Involucrados

A continuación, se mencionan los principales entes y personas que se ven diariamente involucrados en la problemática planteada y en la importancia del desarrollo e innovación en la automatización del Faro Punta Ángeles de Valparaíso.

- a) Autoridades marítimas o reguladoras: DIRECTEMAR y DIRSOMAR, son las autoridades que regulan la seguridad marítima y las ayudas a la navegación en Chile. Entidades que están altamente involucradas en la aprobación de la solución tecnológica bajo las normativas vigentes.
- b) SSM: Servicio encargado de la gestión y mantenimiento del faro y otras ayudas a la navegación, siendo la responsable de la implementación de cualquier solución automatizada y del bienestar del personal.
- c) Buques que navegan en las cercanías: Todas las embarcaciones menores y mayores que navegan en las cercanías del faro dependen de su operatividad para así mantener la seguridad y navegación segura.
- d) Personal de servicio de 24 horas (personal de guardia): Es aquella persona encargada de encender el faro al atardecer y apagarlo al amanecer, de manera manual, además de verificar constantemente su funcionamiento de forma visual.
- e) Personal encargado del mantenimiento: Son aquellas personas responsables de la operatividad del faro y gestionan periódicamente su mantenimiento.

## 1.5 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La solución del problema planteado anteriormente se debe abordar en varias etapas para garantizar que el diseño y la implementación del prototipo del proyecto sean efectivos.

Primero es importante conocer los requerimientos mínimos y necesarios para así justificar la necesidad del diseño e implementación del proyecto. Además, se deben definir las 3 alternativas de solución, evaluación de alternativas y finalmente la alternativa seleccionada, la que se utilizará para el diseño de este trabajo de título.

### 1.5.1 Requerimientos

Basándose en la problemática identificada, se proponen y definen los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto. Las tablas 1.1 y 1.2 “Requerimientos.”, define los requerimientos necesarios para el desarrollo del diseño e implementación.

Tabla 1.1 Requerimientos.

| N° | Requerimiento                                 | Detalle                                                                                                                                                                     | Criterio de Aceptación                                                                                                                                                                                        |
|----|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Control automatizado del encendido y apagado. | Diseño de un control automatizado del encendido y apagado del faro mediante el uso de un microcontrolador ESP.                                                              | El sistema debe encender y apagar el faro automáticamente basándose en una programación predefinida de un microcontrolador.                                                                                   |
| 2  | Monitoreo remoto.                             | Monitoreo en tiempo real de la corriente de consumo durante el funcionamiento del faro, lo que permitirá una mejor gestión energética y la detección temprana de problemas. | El sistema debe mostrar las mediciones en tiempo real a través de una interfaz gráfica accesible remotamente (computadora o dispositivo móvil), dentro del radio de las instalaciones del Faro.               |
| 3  | Medición de corriente de consumo.             | Medición tiempo real de la corriente de consumo durante el funcionamiento del faro, a través de un sensor de corriente comercial.                                           | El sistema debe ser capaz de medir la corriente de consumo del faro con una precisión de al menos $\pm 0,7$ A.<br><br>Es necesario medir la corriente, para detectar fallas y mantener un control preventivo. |

Fuente: Elaboración propia, sobre los requerimientos del proyecto.

Tabla 1.2 Requerimientos (Continuación Tabla 1.1).

| N° | Requerimiento                | Detalle                                                                                                                                                                    | Criterio de Aceptación                                                                                                                                                                                             |
|----|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4  | Comunicación remota.         | Implementación de una plataforma web o una aplicación móvil para que el personal de servicio pueda supervisar el estado del faro, utilizando una red Wi-Fi.                | La plataforma web o la aplicación móvil debe ser accesible desde cualquier dispositivo conectado a la red Wi-Fi del faro, sin necesidad de software adicional más allá de un navegador web o la propia aplicación. |
| 5  | Implementación de prototipo. | Implementación del diseño en un prototipo, en el cual se usará un microcontrolador ESP32, con el objetivo de demostrar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto. | El prototipo debe implementar de manera completa el control automatizado del encendido y apagado del faro, así como el monitoreo de la corriente de consumo, utilizando un microcontrolador ESP32.                 |

Fuente: Elaboración propia, sobre los requerimientos del proyecto.

### 1.5.2 Alternativas de solución

A continuación, se describen las 3 alternativas de solución a la problemática, para así definir la mejor solución y seleccionar una alternativa para el desarrollo del proyecto.

#### 1.5.2.1 Alternativa 1

Mantener el sistema de encendido y apagado del Faro Punta Ángeles, de forma manual, tal como está actualmente.

#### 1.5.2.2 Alternativa 2

Diseño de un Sistema de Monitoreo y Control del encendido y apagado del Faro Punta Ángeles de Valparaíso, utilizando un PLC, pantalla HMI y Sensor de Corriente.

Este proyecto se concentrará en la integración de un PLC, pantalla HMI y un sensor de corriente eléctrica para monitorear el estado de la lámpara, el consumo eléctrico del sistema de iluminación del faro y el control automático del encendido y apagado a través de la pantalla HMI. Todo el sistema será diseñado para operar de manera local, sin necesidad de conectividad externa. El diseño e implementación de este sistema local de monitoreo, permitirá:

- a) Controlar el encendido y apagado del faro de manera automática en función de los criterios del operador a través de una pantalla HMI.
- b) Monitorear el estado de la lámpara en términos de corriente consumida, a través de una pantalla HMI.

#### 1.5.2.3 Alternativa 3

Diseño de un sistema de monitoreo y control del encendido/apagado y medición de corriente de consumo del Faro Punta Ángeles de Valparaíso, utilizando un microcontrolador ESP32 y sensor de corriente comercial.

Este proyecto se concentrará en la integración de un microcontrolador con un sensor de corriente eléctrica para monitorear el estado de la lámpara, el consumo eléctrico del sistema de iluminación del faro y el control automático del encendido y apagado. Todo el sistema será diseñado para operar de manera remota dentro del radio de las instalaciones del Faro, a través de una página web desde el celular.

#### 1.5.3 Evaluación de alternativas

Dado el análisis de las posibles alternativas de solución reportadas en el punto anterior, se escoge la que es más factible de desarrollar dadas las limitaciones de recursos y tiempos

asignados. La tabla 1.3 “Puntuación”, define la puntuación asignada en la escala de 1 a 5 que es dada a cada alternativa dependiendo el criterio a evaluar.

Tabla 1.3 Puntuación.

| Tabla de Puntuación de Alternativas de Solución |            |           |       |        |
|-------------------------------------------------|------------|-----------|-------|--------|
| Muy deficiente                                  | Deficiente | Aceptable | Bueno | Óptimo |
| 1                                               | 2          | 3         | 4     | 5      |

Fuente: Elaboración propia, sobre la puntuación asignada.

#### 1.5.4 Selección de alternativas

A continuación, se evalúan las 3 alternativas de solución a la problemática, definiendo así la de mejor puntuación para el desarrollo del proyecto.

La tabla 1.4 “Evaluación de las alternativas”, corresponde a la evaluación de las 3 alternativas, con el fin de obtener el resultado de la alternativa seleccionada.

Tabla 1.4 Evaluación de las alternativas.

| Característica/Alternativa | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Innovación                 | 1             | 5             | 5             |
| Beneficio                  | 1             | 3             | 5             |
| Factibilidad               | 1             | 5             | 5             |
| Recursos                   | 1             | 3             | 5             |
| Tiempos asignados          | 1             | 3             | 5             |
| Puntuación total           | 5             | 19            | 25            |

Fuente: Elaboración propia, sobre la evaluación de las alternativas.

La alternativa seleccionada para proyecto es la alternativa 3, la cual obtuvo la puntuación máxima de 25 puntos, validando todos los criterios solicitados.

Esta alternativa se desarrollará basado en una problemática a resolver en la innovación y automatización del encendido/apagado y monitoreo remoto del Faro Punta Ángeles, mediante la medición de la corriente de consumo durante su funcionamiento, se programará el código del sistema de encendido/apagado a distancia y, además, el monitoreo la medición de la corriente eléctrica de consumo a través de un sensor de corriente comercial. La medición de la corriente es importante, ya que permite verificar el funcionamiento del faro, detectar fallas eléctricas y mantener un control preventivo del sistema.

## **1.6 VALOR AGREGADO**

El valor agregado de este proyecto radica en la combinación de varias innovaciones tecnológicas y la optimización de procesos que actualmente no están automatizados en el Faro Punta Ángeles. Aquí algunos puntos que hacen a este proyecto diferente:

- a) Automatización remota del encendido y apagado: Actualmente, muchos faros dependen de mecanismos manuales o temporizadores sencillos para encenderse y apagarse. La implementación de un sistema automatizado y controlado a distancia reduce la intervención humana, lo que puede ser particularmente valioso en zonas remotas como los faros, mejorando la eficiencia operativa.
- b) Monitoreo en tiempo real: A través del sensor de corriente se podrá obtener información en tiempo real sobre el consumo eléctrico del faro. Esto permite un seguimiento continuo de su funcionamiento, facilitando la detección temprana de anomalías o fallos, lo que reduce los tiempos de inactividad y los costos de mantenimiento.
- c) Optimización del consumo energético: Al tener control sobre el sistema de encendido y apagado y al monitorear el consumo eléctrico, se puede optimizar el uso de energía, lo que no solo reduce costos, sino que también puede contribuir a la sostenibilidad

energética, si se combina con otras soluciones, como la integración de energías renovables.

- d) Escalabilidad y adaptabilidad: Este sistema se podría implementar en otros faros u otras instalaciones similares, ofreciendo una solución replicable en diversas situaciones donde se necesite un control automatizado de sistemas eléctricos remotos.
- e) Innovación en la infraestructura de faros: Este tipo de tecnología no es común en la gestión de faros, lo que convierte al proyecto en un pionero en la modernización de esta infraestructura. Además, abre la puerta para futuras mejoras o integraciones tecnológicas, como la implementación de sistemas de inteligencia artificial para el análisis predictivo del consumo y posibles fallos.

En resumen, este proyecto se distingue por mejorar la eficiencia, el control y el monitoreo de una infraestructura crítica como es un faro, combinando automatización, monitoreo remoto y optimización energética.

## **1.7 OBJETIVOS**

Para el correcto desarrollo del proyecto, se definirán objetivos generales y específicos.

### **1.7.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de control de encendido/apagado y monitoreo de la corriente de consumo de forma automática y en tiempo real mediante el uso de un microcontrolador ESP32.

### 1.7.2 Objetivos específicos

- a. Describir el funcionamiento de diseño del sistema de control y monitoreo.
- b. Implementar un prototipo para simular el diseño del proyecto.
- c. Establecer comunicación entre el microcontrolador y una página web para controlar el encendido y apagado automático y el monitoreo remoto.
- d. Graficar medición de la corriente de consumo y almacenar datos para registro de históricos.
- e. Realizar una evaluación económica del proyecto.

## **CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

## **2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

Este capítulo presenta el diseño e implementación del sistema de monitoreo y control del Faro Punta Ángeles de Valparaíso, orientado a resolver las problemáticas identificadas mediante una solución técnica basada en hardware y software. El sistema busca automatizar las operaciones manuales y garantizar un monitoreo eficiente del consumo de corriente.

Se detallan los modelos conceptuales, el diseño del prototipo y la selección de los componentes electrónicos y herramientas digitales utilizados para asegurar la viabilidad del proyecto y el cumplimiento de sus objetivos.

### **2.1 SOLUCIÓN DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA**

El problema identificado radica en el control manual del encendido y apagado del Faro Punta Ángeles y la falta de monitoreo en tiempo real de su consumo eléctrico, lo que genera riesgos operativos y carencia de datos históricos para análisis.

Para abordar esta situación, se diseñó un sistema que permite el control remoto, tanto manual como automático, el monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico mediante un sensor de corriente, la automatización segura de las operaciones y el almacenamiento de datos históricos en una memoria SD para análisis posterior.

La solución se implementará a través de un prototipo funcional que utiliza una placa ESP32, un sensor de corriente HTP50, un relé optoacoplado y un módulo de almacenamiento SD, configurado de manera modular para garantizar su escalabilidad y mantenimiento.

## 2.2 MODELOS CONCEPTUALES DE DISEÑO

Los modelos conceptuales de diseño representan una guía clara y estructurada del flujo de datos, procesos y componentes del sistema. Se presentan diagramas que facilitan la comprensión de la solución y cómo cada elemento contribuye al objetivo general.

### 2.2.1 Esquema en bloques

El sistema se compone de bloques funcionales que representan las entradas, procesos y salidas necesarias para cumplir con los requerimientos. Los bloques principales incluyen:

a) Entradas:

- Sensor de corriente: Encargado de medir la corriente de consumo del faro durante su funcionamiento nocturno.
- API de OpenWeatherMap: Obtiene información meteorológica de la ubicación del Faro.

b) Procesos:

- Control mediante ESP32: Procesa datos, gestiona el relé, adquisición de datos del sensor de corriente y la generación de la interfaz web.

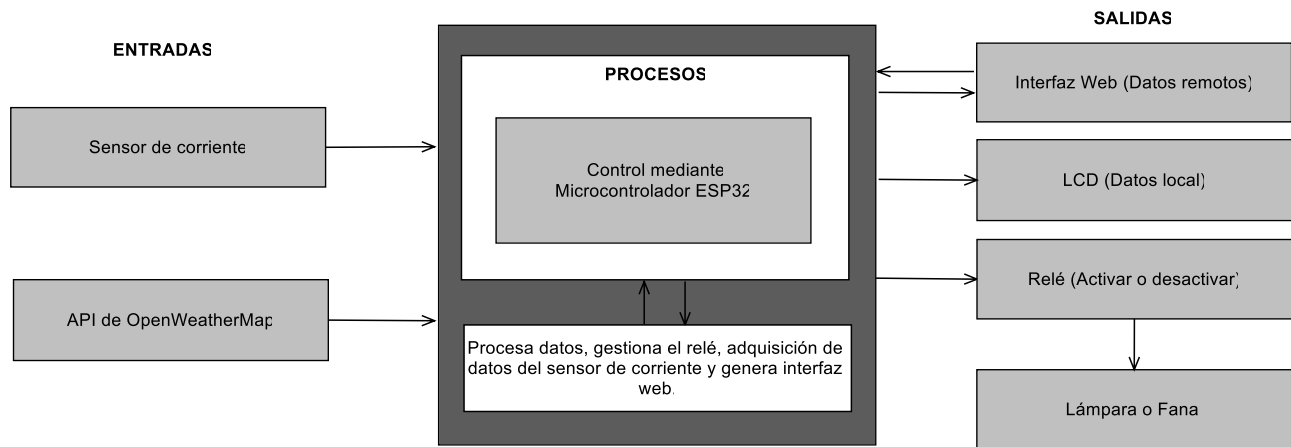
c) Salidas:

- Relé: Activa o desactiva el faro según los comandos.

- Interfaz web: Proporciona una visualización remota del estado del sistema, datos de consumo, clima, posición geográfica, fecha y hora. Además, permite a los operadores el control del encendido/apagado del sistema.
- LCD: Proporciona una visualización local de las mediciones y el estado del sistema.

Este esquema de bloques representa de forma lógica el flujo de señales y procesos dentro del sistema, asegurando que se cumplan los objetivos operativos.

A continuación, se ve representado un diagrama en bloques en la figura 2-1 “Diagrama en bloques del proceso”.



Fuente: Elaboración propia en ClickChart de NCH Software, del Diagrama en Bloques del proceso.

Figura 2-1 Diagrama en bloques del proceso.

### 2.2.2 Tabla de estados

La tabla de estados describe el comportamiento del sistema en función de las entradas, condiciones y acciones. En ella se identifican los estados posibles, garantizando una respuesta adecuada del sistema ante diferentes escenarios operativos.

La tabla 2.1, muestra el comportamiento del sistema.

Tabla 2.1 Estados.

| Estado actual    | Entrada               | Condición actual                        | Acción                          | Estado siguiente       |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Faro apagado     | Comando web /ENCENDER | Relé desactivado                        | Activar relé                    | Faro encendido         |
| Faro encendido   | Comando web /APAGAR   | Relé activado                           | Desactivar relé                 | Faro apagado           |
| Cualquier estado | Configuración horaria | Sensor activado y medición de Corriente | Encender o apagar el Faro       | Estado correspondiente |
| Cualquier estado | Sensor corriente      | Sensor activo                           | Registrar lectura en memoria SD | Estado actual          |

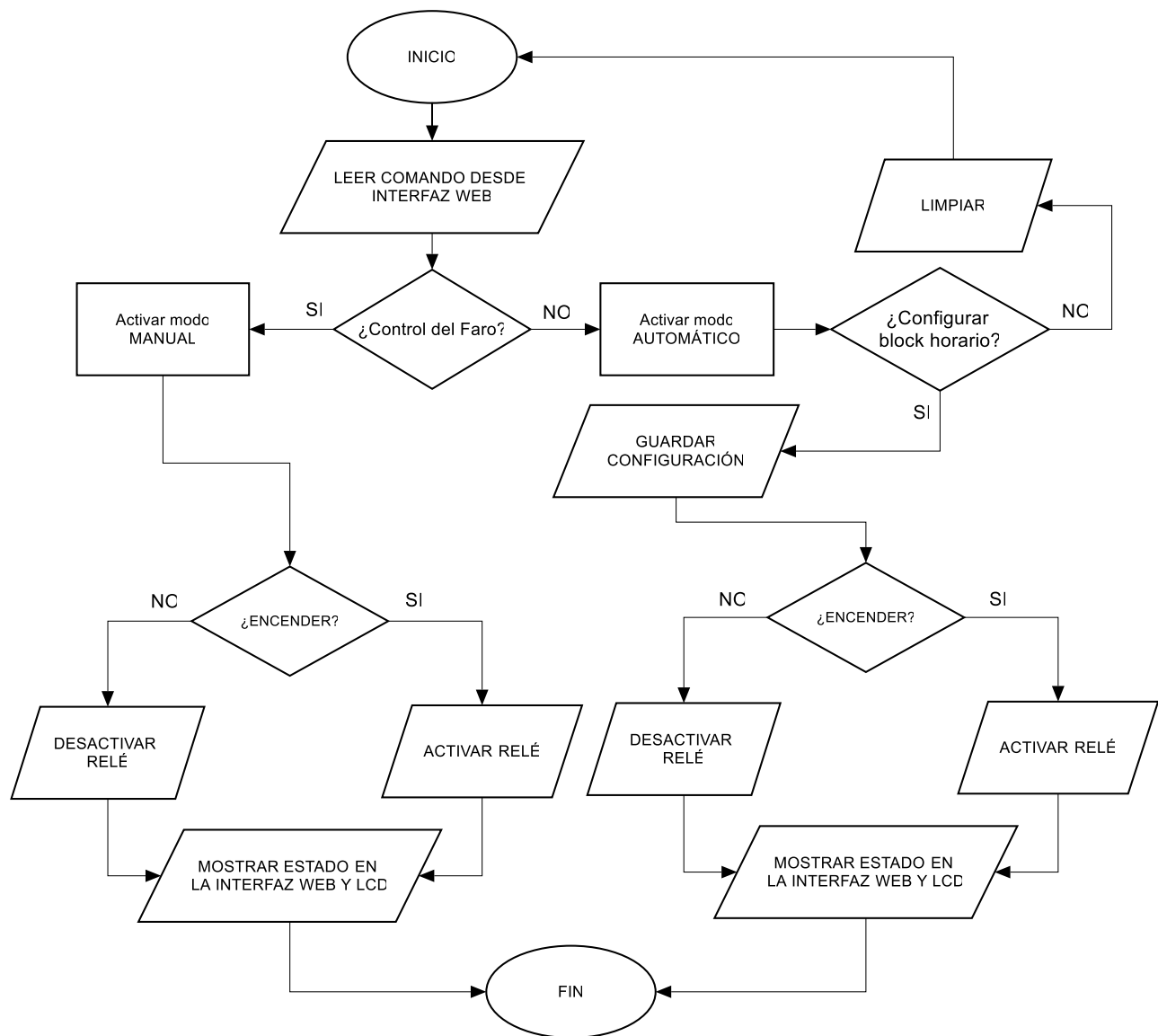
Fuente: Elaboración propia, sobre los estados del Faro.

### 2.2.3 Diagramas de flujo

Se han diseñado diagramas de flujo que detallan los procesos más relevantes del sistema, los que se describen a continuación.

#### 2.2.3.1 Control del Faro

Representa las acciones de encendido y apagado según los comandos recibidos desde la interfaz web, ya sean desde modo manual o automático. Ver figura 2-2.

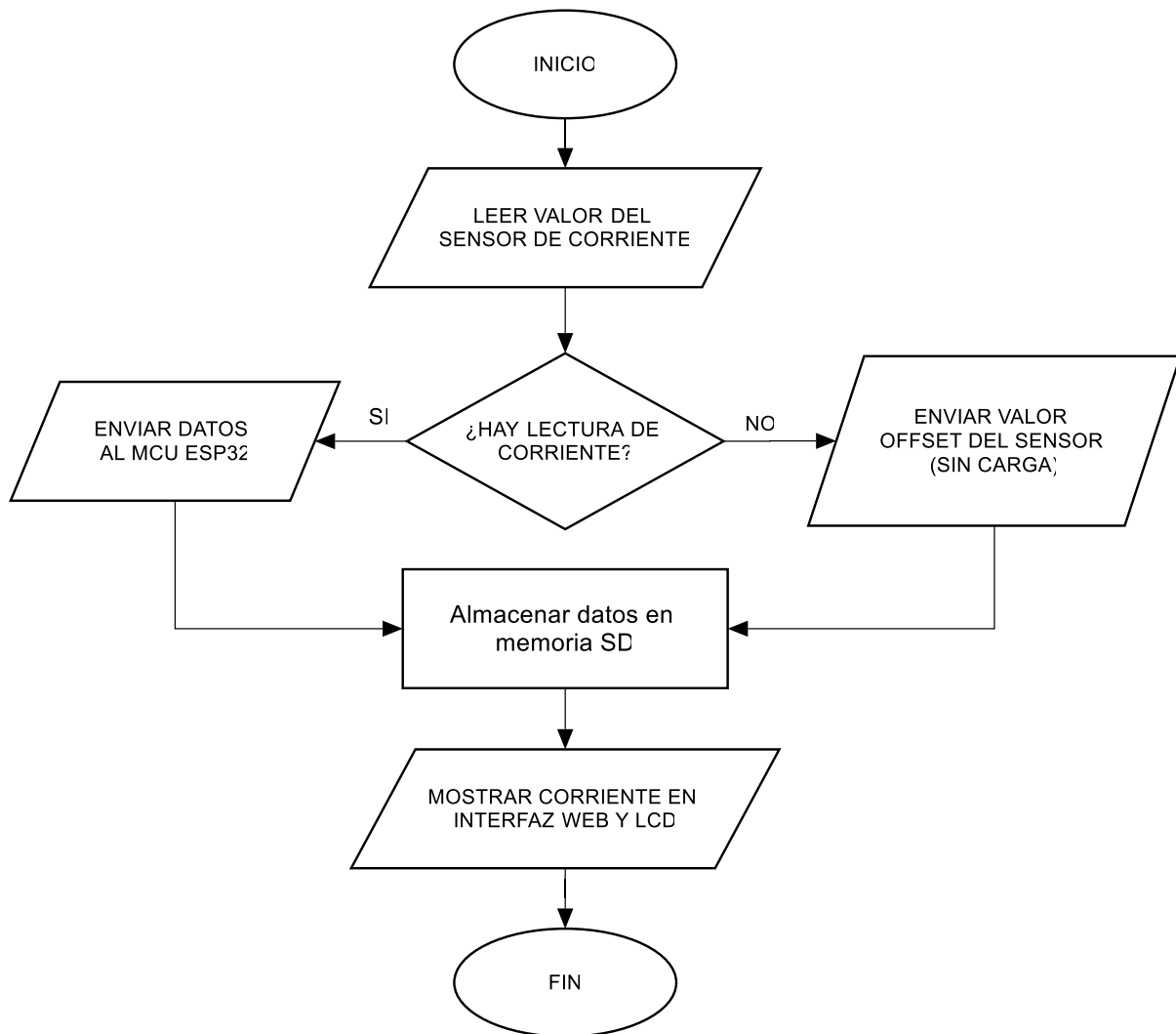


Fuente: Elaboración propia en ClickChart de NCH Software, del Control del Faro.

Figura 2-2 Diagrama de flujo del control del Faro.

### 2.2.3.2 Adquisición de datos

Muestra cómo se obtienen y procesan los datos del sensor de corriente, los cuales se ven representados en un diagrama de flujo de la figura 2-3.



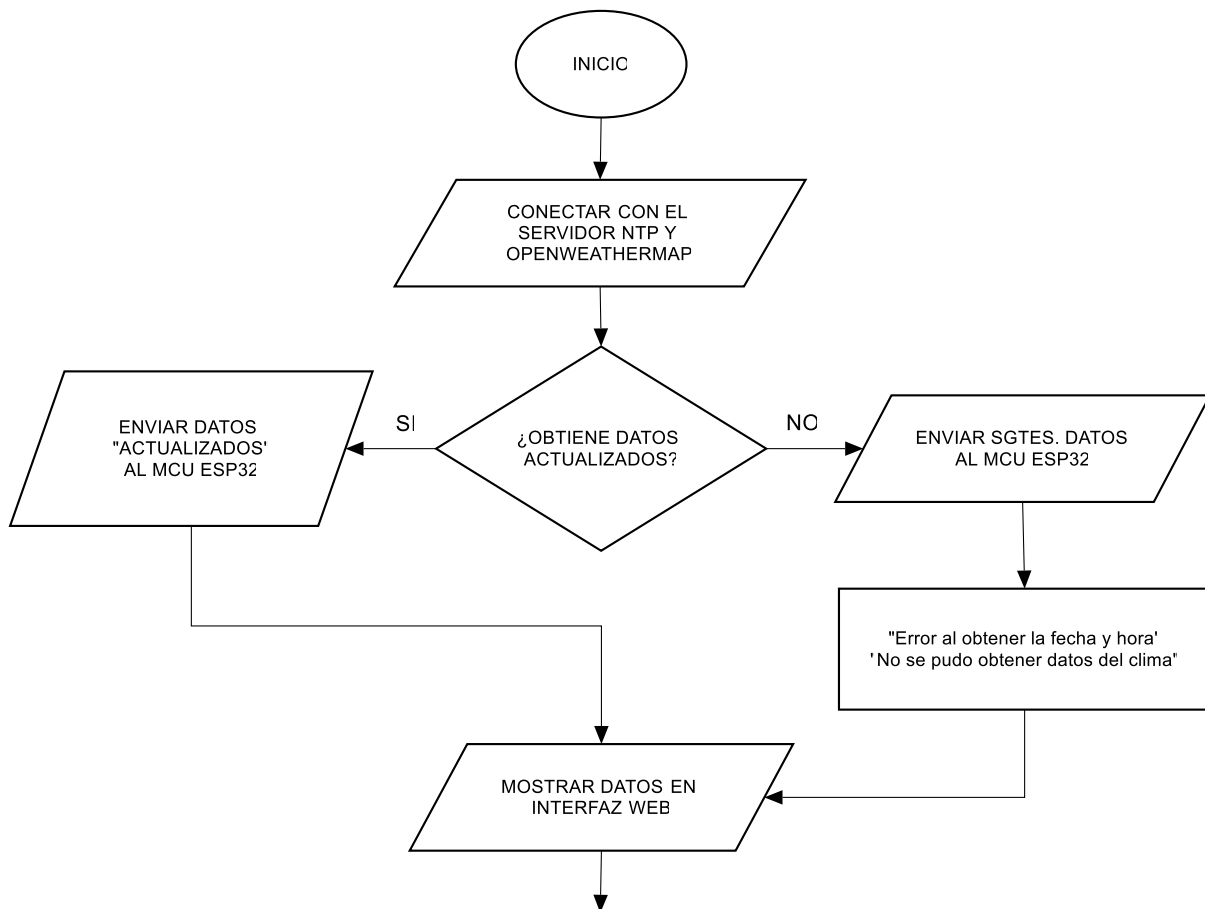
Fuente: Elaboración propia en ClickChart de NCH Software, de la adquisición de datos.

Figura 2-3 Diagrama de flujo de la adquisición de datos.

### 2.2.3.3 Actualización de datos

Representa la interacción con el servidor NTP y la API de OpenWeatherMap para mantener actualizada la información del sistema.

A continuación, se ve representado un diagrama de flujo en la figura 2-4.



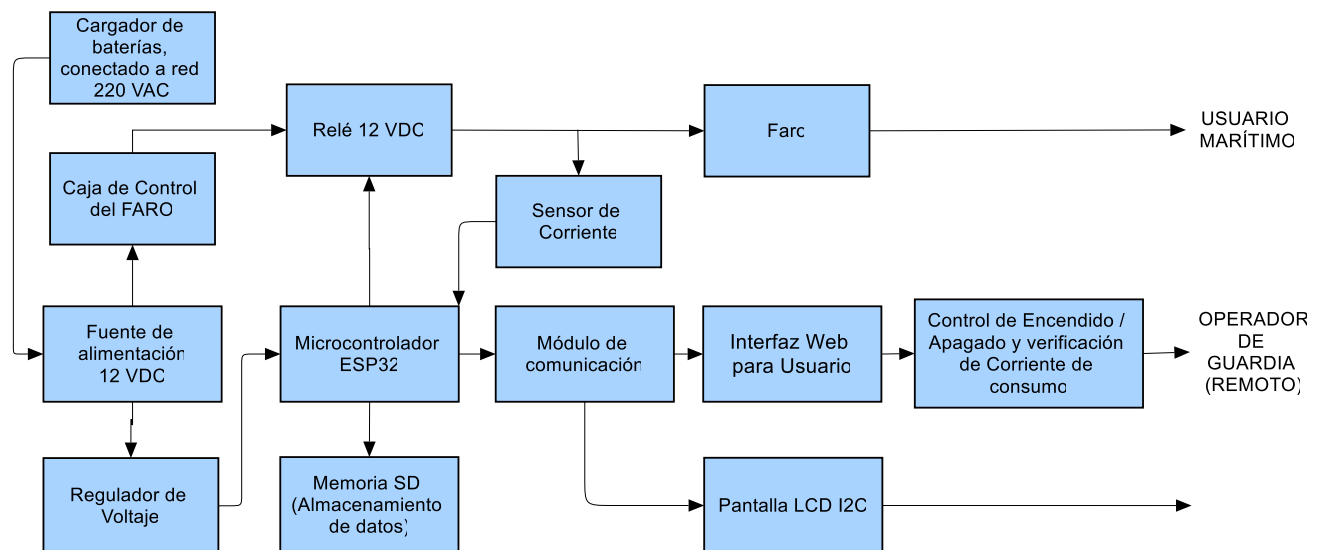
Fuente: Elaboración propia en ClickChart de NCH Software, de la actualización de datos.

Figura 2-4 Diagrama de flujo de la actualización de datos.

## 2.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO

En esta sección se presenta el diseño y definición del prototipo, el cual es representativo del diseño integral del proyecto. Para su desarrollo, se utilizó un microcontrolador ESP32, detallándose los procedimientos, equipos y herramientas necesarios para su implementación. Además, se incluye la configuración de la interfaz web, a través de la cual se monitoreará y controlará el funcionamiento del sistema en tiempo real.

La Figura 2-5 se muestra claramente la estructura y componentes clave del sistema diseñado. Es importante destacar que el diseño del prototipo no solo constituye un modelo funcional del sistema, sino que también refleja la arquitectura final del proyecto, asegurando su viabilidad y operatividad en el entorno real.



Fuente: Elaboración propia en ClickChart de NCH Software, del desarrollo de la solución.

Figura 2-5 Diagrama en bloques de diseño del prototipo.

A continuación, se describirá cada elemento incluido en el diseño del prototipo implementado dentro del sistema.

### 2.3.1 Hardware

El diseño del sistema requiere los siguientes componentes para su implementación, los que fueron descritos anteriormente y se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Hardware.

| Componente             | Modelo                                         | Cant. | Descripción                                                                                                             |
|------------------------|------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Microcontrolador       | ESP32-WROOM                                    | 1     | Controla el sistema y permite la conexión Wi-Fi.                                                                        |
| Fuente de alimentación | APB-2000 12VDC 105AH                           | 1     | Proporciona 12VDC para el sistema y el Faro. (se carga a través de un cargador de baterías conectado a la red 220 VAC). |
| Relé                   | Optocoplado 12VDC 2 CH                         | 1     | Controla el encendido y apagado del faro.                                                                               |
| Sensor de corriente    | HTP50SP                                        | 1     | Mide la corriente de consumo del faro, durante su funcionamiento.                                                       |
| Regulador de voltaje   | LM2596S                                        | 1     | Regula el voltaje de entrada 5 VDC, del microcontrolador.                                                               |
| Módulo de memoria SD   | Módulo microSD Catalex                         | 1     | Permite almacenamiento de datos históricos.                                                                             |
| Display                | LCD I2C 16x2                                   | 1     | Visualiza el estado del sistema y datos medidos de manera local en el tablero.                                          |
| Faro                   | Baliza MBL-150<br>Lámpara incandescente 12V/1A | 2     | El Faro es la carga principal del sistema y se ilumina para servir como guía marítima y la que se necesita controlar.   |

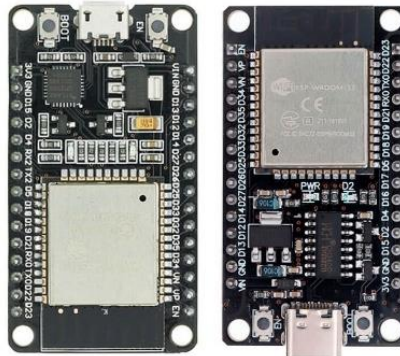
Fuente: Elaboración propia, sobre los Hardware utilizados.

### 2.3.1.1 Microcontrolador ESP32 devkit V1 30 pines USB-C/microUSB

El microcontrolador ESP-WROOM-32, gestiona señales del sensor de corriente y del módulo de comunicación, procesa datos y controla el relé para encender o apagar el faro. Además, transmite información a la interfaz web para un monitoreo en tiempo real.

Este dispositivo de 30 pines destaca por su bajo costo y consumo energético, con conectividad Wi-Fi y Bluetooth dual, ideal para proyectos de “IoT”. Incorpora periféricos como sensores táctiles, efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjetas SD, Ethernet, y múltiples protocolos de comunicación (SPI, UART, I2S, I2C). Su CPU de dos núcleos alcanza hasta 240 MHz, permitiendo conexiones sencillas con sensores y actuadores mediante cables Dupont.

En la figura 2-6 “Placa de desarrollo ESP-WROOM-32”, se muestra de forma clara la placa de desarrollo utilizada en este proyecto.



Fuente: <https://uelectronics.com/producto/esp32-devkit-v1-30-pines-usb-c-microusb/>

Figura 2-6 Placa de desarrollo ESP-WROOM-32.

Cuenta con un amplio respaldo comunitario y una extensa documentación que cubre casi cualquier requerimiento técnico. Su entorno de programación multiplataforma es compatible con Windows, Mac OS y Linux, utilizando un lenguaje basado en C++, sencillo para principiantes, pero

suficientemente potente para desarrolladores avanzados, permitiendo aprovechar al máximo su funcionalidad.

✓ Características principales:

- Serie: ESP32 DEVKIT V1.
- Puerto: USB- C / MicroUSB.
- Chip USB-Serial: CH340C.
- Numero de Núcleos: 2.
- Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC.
- Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC.
- Consumo de energía de 5 [mA] modo de suspensión.
- Pines físicos: 30.
- Pines digitales GPIO: 24 (Algunos pines solo como entrada).
- Conversor Analógico Digital: Dos ADC de 12bits tipo SAR, soporta mediciones en hasta 18 canales, algunos pines soportan un amplificador con ganancia programable.
- Antena en PCB.
- Tipo: Módulo Wifi + Bluetooth.
- Wifi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s).
- Bluetooth: 4.2 BR/EDR BLE Modo de control dual.
- CPU principal: Tensilica Xtensa 32-bit LX6.
- Memoria: 448 KByte ROM, 520 KByte SRAM, 6 KByte SRAM en RTC y QSPI admite múltiples chips flash /SRAM.
- Procesador secundario: Permite hacer operaciones básicas en modo de ultra bajo consumo.
- Desempeño: Hasta 600 DMIPS.
- Frecuencia de Reloj: hasta 240Mhz.
- Seguridad: IEEE 802.11, incluyendo WPA2 y WAPI.

- Criptografía acelerada por hardware: AES, SHA-2, RSA, criptografía de curva elíptica (ECC), generador de números aleatorios (RNG).

#### 2.3.1.2 Fuente de alimentación modelo APB-2000 12 VDC/105 AH

La batería de plomo-ácido modelo APB-2000/105 AH de 12 VDC suministra energía confiable para los componentes del sistema, incluyendo el relé, el microcontrolador, el sensor de corriente y la lámpara del faro. Diseñada para aplicaciones de ciclo profundo y libre de mantenimiento, esta batería destaca por su alta fiabilidad, larga vida útil y excelente relación costo-beneficio, siendo ideal para aplicaciones exigentes como los sistemas de faros.

Actualmente, este modelo es utilizado en los sistemas de iluminación de faros, demostrando que su capacidad energética es suficiente para garantizar la operación del sistema existente y la integración del nuevo sistema de monitoreo y control. Su diseño compacto, resistente a vibraciones y sin necesidad de mantenimiento asegura una operación eficiente y estable en el entorno operativo del proyecto.

A continuación, se muestra en la figura 2-7 “Batería APB-2000 12VDC/105AH Automatic Power”.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de ficha técnica de batería.

Figura 2-7 Batería APB-2000 12VDC/105AH Automatic Power.

✓ Características principales:

a. UNA LARGA VIDA LIBRE DE MANTENIMIENTO:

Nunca necesita agua – en el interior, hay un separador especial de líquido y gas que devuelve cualquier líquido al generoso depósito de electrolito; la parte superior está sellada para evitar la contaminación, el riego excesivo y la terminal de triple sellado, elimina la pérdida de electrolitos.

b. CONSTRUCCIÓN DURADERA:

Construida para durar, reforzada para una máxima resistencia.

- El envase de polipropileno resistente tiene empuñaduras moldeadas para un fácil manejo.
- Las placas ancladas con epoxi con conexiones centradas resisten las vibraciones perjudiciales.
- Los sobres separadores internos evitan el cortocircuito entre placas y la desalineación inducida por alguna vibración.
- La Rejillas de calcio forjado son de grano fino, fuertes y altamente resistentes a la corrosión interna.
- Las conexiones intercelulares de fusión por extrusión demostraron un mayor rendimiento y fiabilidad.

c. IDEAL PARA USO FOTOVOLTAICO:

Ligero y compacto, la APB-2000 reduce los requisitos de tamaño del sistema y reduce los costos de envío; el diseño sin mantenimiento y la construcción robusta lo hacen ideal para lugares remotos; los sistemas fotovoltaicos actuales exigen un almacenamiento de energía confiable y de alto rendimiento. API APB-2000 es una solución eficiente y rentable.

d. PRUEBA DE CHISPAS SCI:

Diseñado para una operación segura y sin problemas.

- La batería incluye un supresor de llama incorporado y está equipada con un tubo de ventilación externo para permitir la ventilación remota.
- Los espárragos terminales de acero inoxidable con roscas especiales y una superficie de contacto eléctrico moldeado, demostraron una sujeción firme y segura para conectores de cables sellados.
- La batería ha sido probada a prueba de chispa de acuerdo con los procedimientos recomendados por BCI para los respiraderos de seguridad de la batería.

✓ Especificaciones:

- Voltaje nominal: 12 VDC
- Capacidad en amperios/hora: 105 AH
- Autodescarga: 4 AH por mes a 27°C
- Peso (lb/kg): 65/29.5
- Dimensiones: 13" (330mm) L x 6.8" (239mm) W x 9.4" (241mm) H

### 2.3.1.3 Relé 12 VDC de 2 canales

El Relé de 12 VDC actúa como un interruptor controlado electrónicamente que permite al microcontrolador activar o desactivar el faro. Mediante la señal de control del microcontrolador, el relé conecta o desconecta la alimentación de la lámpara del faro, permitiendo su encendido y apagado remoto.

Estos módulos son ideales para controlar cargas tanto de AC como DC pueden ser controlados fácilmente con un MCU o con las placas de Arduino y otras similares. Estos relés son dispositivos electrónicos que permiten el control de dispositivos con una potencia máxima de 250V / 15A para AC y 125V / 10A, así como 30V / 10A para DC, utilizando una señal de control de

5V. La activación de los relés se indica mediante un LED en su placa de circuito impreso (PCB). (Ver figura 2-8 “Relé 12V de 2 canales”).

Cabe destacar que este tipo de relés es del tipo activo low, esto quiere decir que la señal de la entrada In1 debe tener un voltaje bajo para que se active el relé.



Fuente: [https://fselectronics.cl/products/rele-5v-2-canal?pr\\_prod\\_strat=e5\\_desc&pr\\_rec\\_id=8aa59c648&pr\\_rec\\_pid=5611469996198&pr\\_ref\\_pid=7691604394150&pr\\_seq=uniform](https://fselectronics.cl/products/rele-5v-2-canal?pr_prod_strat=e5_desc&pr_rec_id=8aa59c648&pr_rec_pid=5611469996198&pr_ref_pid=7691604394150&pr_seq=uniform)

Figura 2-8 Relé 12V de 2 canales.

- ✓ El Relé tiene tres puntos de conexión a la entrada:
  - Vcc: corresponde al positivo de la alimentación (normalmente 5VDC ó 3.3VDC sin el jumper)
  - Gnd: corresponde al negativo de la alimentación o tierra 0VDC.
  - In1 ó S: es la señal que dispara al relé y es de 0VDC.
  
- ✓ Características principales:
  - 2 canales (independientes protegidos con Optoacopladores)
  - Relevador: SDR-05VDC-SL-C
  - Voltaje de alimentación (VCC): 5V DC
  - Corriente de disparo: 5mA

- Carga
- AC Máxima: 250V / 125V 10A
- DC Máxima: 30V 10A
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Señal de control TTL
- (IN – Activación) para NO: 0V o LOW hasta 1.2V
- (IN – Desactivación) para NO: Min. 3.3V y Max. 5V
- Leds indicadores de estado: IN1 y IN2 encienden cuando se activa el relé de lo contrario se encuentran apagados.
- No incorpora led de PWR.
- Incorpora Jumper Switch: JD-VCC – VCC
- Tamaño: 68 mm x 49 mm x 16 mm
- Peso: 18 g

#### 2.3.1.4 Sensor de corriente HTP50SP

El sensor de corriente HTP50SP, fabricado por Mediterráneo Señales Marítimas, es un dispositivo diseñado para medir el consumo eléctrico del faro en tiempo real (Ver figura 2-9 “Sensor de corriente HTP50SP”). Este sensor es fundamental para el sistema, ya que permite monitorizar y registrar el consumo de corriente, lo que contribuye al control eficiente del consumo energético y a la detección temprana de fallas en el sistema.

El HTP50SP tiene un rango de medición de 0 A a 50 A, y proporciona una salida analógica proporcional a la corriente medida. La señal de salida, que varía linealmente con el consumo, es conectada al pin ADC del microcontrolador ESP32, que se encarga de convertirla a valores digitales para su procesamiento. La señal de salida del sensor puede alcanzar hasta 5 V, por lo que se implementó un divisor de voltaje para ajustar el rango de entrada al nivel máximo soportado por el ESP32 (0 V a 3.3 V), garantizando así la seguridad del microcontrolador.

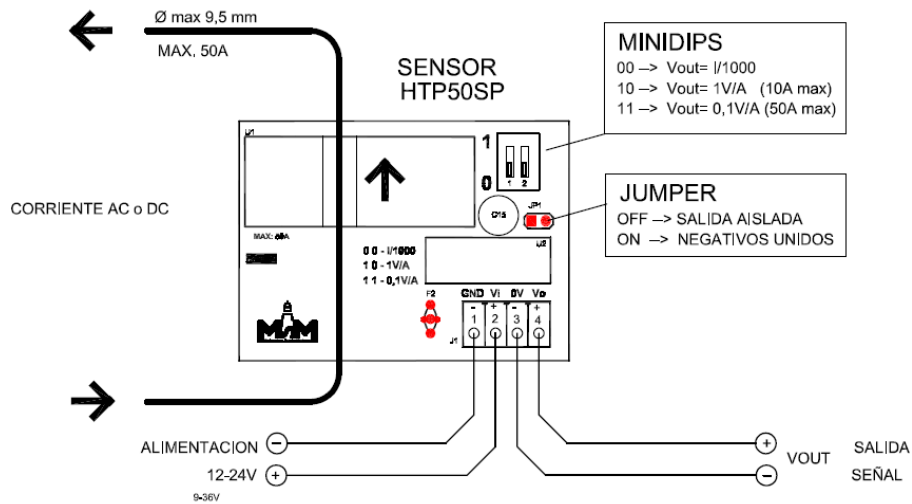


Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de ficha técnica del sensor.

Figura 2-9 Sensor de corriente HTP50SP.

La sensibilidad del sensor es de aproximadamente 40 mV/A, lo que significa que cada amperio de corriente genera un incremento de 40 mV en la señal de salida. Adicionalmente, se consideró un offset de referencia en el software del microcontrolador para compensar el voltaje base del sensor cuando no hay corriente (aproximadamente 2.5 V). Este offset fue calibrado previamente mediante mediciones comparativas entre el sensor y un multímetro digital, mostrando resultados consistentes y dentro de los márgenes especificados.

El HTP50SP es alimentado por una fuente de 12 V, y su instalación se realizó de acuerdo con el esquema presentado en la figura 2-10 del informe. Este diagrama muestra cómo se conectan los terminales de alimentación, salida analógica y referencia de tierra al sistema. La integración del sensor en el sistema de monitoreo del faro ha permitido registrar mediciones precisas en tiempo real, que son almacenadas en una tarjeta SD para su posterior análisis y exportación en formato CSV.

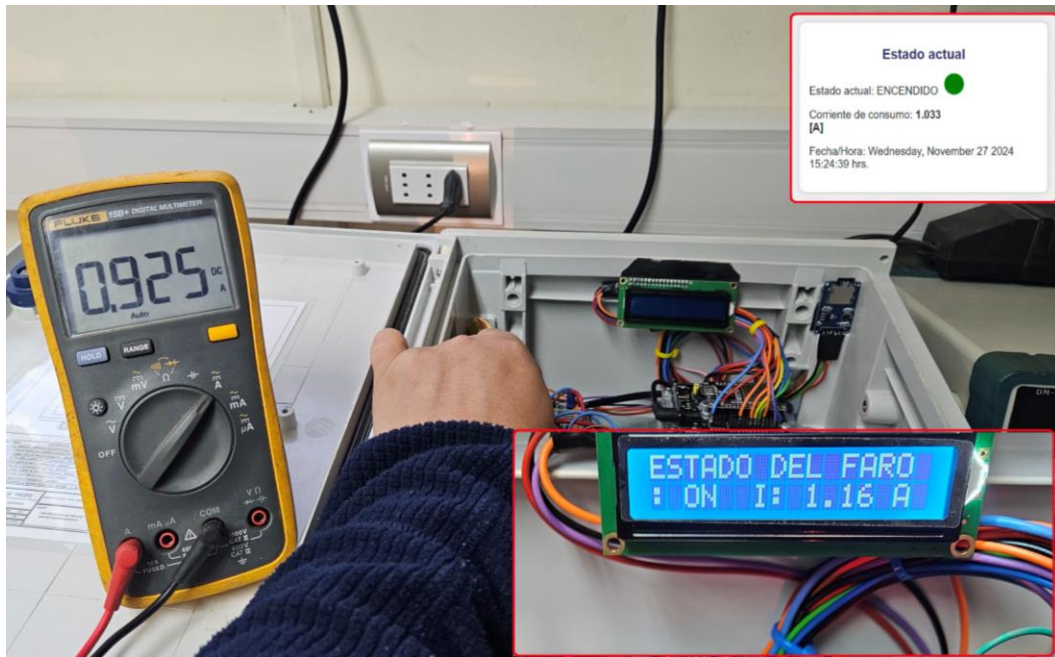


Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de ficha técnica del sensor.

Figura 2-10 Diagrama de conexión del sensor.

Durante las pruebas, se evaluó el desempeño del sensor de corriente HTP50SP comparándolo con un multímetro digital, utilizando una lámpara con un consumo nominal de 1 A como referencia. En una de las mediciones realizadas, el multímetro registró un valor de 0,925 A, mientras que el sensor HTP50SP, conectado al sistema y visualizado en la pantalla LCD controlada por el ESP32, indicó un consumo de 1,16 A. Ver figura 2-11.

A pesar de esta discrepancia entre los valores medidos, las lecturas del sensor se mantuvieron dentro del rango de precisión definido en los requerimientos del proyecto ( $\pm 0,7$  A). Estas diferencias pueden deberse a factores como la sensibilidad del sensor, el método de calibración o las pequeñas fluctuaciones en el sistema eléctrico. No obstante, los resultados obtenidos durante las pruebas confirman la capacidad del sistema para medir y monitorear el consumo de corriente del faro de manera confiable y en tiempo real.



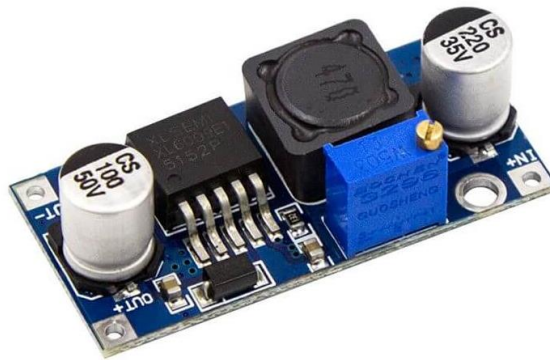
Fuente: Elaboración propia, fotografía de montaje y mediciones.

Figura 2-11 Mediciones de corriente.

#### 2.3.1.5 Regulador de voltaje LM2596S

El regulador de voltaje se encarga de reducir el voltaje de 12 VDC a un nivel adecuado para el microcontrolador, que típicamente funciona a un voltaje más bajo (como 5V o 3.3V). Este componente garantiza que el microcontrolador reciba la energía de manera segura y sin riesgo de daños.

El LM2596S es un regulador de voltaje conmutado de tipo step-down (buck) ampliamente utilizado debido a su eficiencia y facilidad de uso. En la figura 2-12, se muestra el regulador de voltaje utilizado.



Fuente: <https://uelectronics.com/producto/xl6009-elevador-de-voltaje-boost-step-up-10w-3a/>

Figura 2-12 Regulador de voltaje LM2596S.

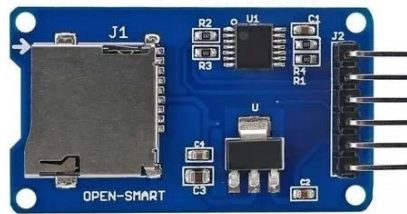
✓ Características principales:

- Tipo: Regulador de voltaje conmutado (step-down).
- Voltaje de entrada: Soporta un rango amplio de entrada de 4.5 V a 40 V.
- Voltaje de salida: Ajustable entre 1.23 V y 37 V, dependiendo de la configuración de los componentes externos (resistencias en divisor de voltaje).
- Corriente de salida: Hasta 3 A.
- Frecuencia de operación: Aproximadamente 150 kHz, lo que permite utilizar componentes externos más pequeños que los reguladores lineales.
- Eficiencia: Alta, generalmente superior al 80%, dependiendo de la carga y el voltaje de entrada/salida.
- Protección integrada:
  - Protección contra sobrecorriente.
  - Protección térmica.
  - Protección contra sobrevoltaje.

### 2.3.1.6 Módulo de almacenamiento microSD de Catalex

El módulo de almacenamiento registra datos históricos de consumo eléctrico para un análisis posterior y generación de reportes.

El módulo de almacenamiento utilizado es el MicroSD de Catalex siendo una herramienta que facilita la lectura y escritura de tarjetas microSD en proyectos de electrónica, especialmente con plataformas como Arduino. Ver figura 2-13.



Fuente: <https://electronica.club/producto/modulo-memoria-micro-sd-adaptador-arduino-shield-spi-catalex/>

Figura 2-13 Módulo microSD Catalex.

✓ Características principales:

- Admite tarjeta Micro SD, tarjeta Micro SDHC (tarjeta de alta velocidad)
- La placa de circuito de conversión de nivel que puede interconectar el nivel es de 5 V o 3,3 V.
- La fuente de alimentación es de 4,5 V ~ 5,5 V, placa de circuito regulador de voltaje de 3,3 V.
- La interfaz de comunicación es una interfaz SPI estándar.
- 4 orificios de posicionamiento de tornillos M2 para una fácil instalación
- Interfaz de control: un total de seis pines (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND a tierra, VCC es la fuente de alimentación, MISO, MOSI, SCK es el bus SPI, CS es el pin de señal de selección del chip;

- Circuito regulador de 3,3 V: salida del regulador LDO de 3,3 V como chip convertidor de nivel, suministro de tarjeta Micro SD;
- Circuito de conversión de nivel: la tarjeta Micro SD en la dirección de las señales a 3,3 V, la tarjeta MicroSD hacia la dirección de la interfaz de control, la señal MISO también se convierte a 3,3 V, el sistema de microcontrolador AVR general puede leer la señal;
- Conector de tarjeta Micro SD: sí desde la plataforma bomba para facilitar la inserción y extracción de la tarjeta.
- Orificios de posicionamiento: 4 tornillos M2 con un diámetro de orificio de posicionamiento de 2,2 mm, el módulo es fácil de instalar y lograr una combinación entre módulos.

Para el almacenamiento de datos durante las mediciones de corriente se utiliza una tarjeta microSD HIKSEMI de 16GB de capacidad. Ver figura 2-14.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de microSD.

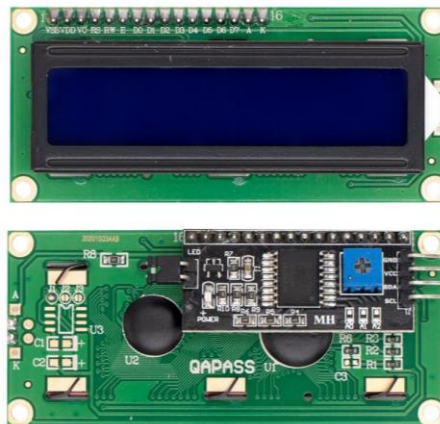
Figura 2-14 Tarjeta microSD HIKSEMI de 16GB.

### 2.3.1.7 Display LCD 12x2 I2C

La pantalla LCD es el dispositivo donde los operadores pueden visualizar el estado del faro y monitorear el consumo de corriente en tiempo real. Este portal facilita el control y la supervisión de manera local.

El display LCD 16x2 con interfaz I2C, disponible con fondo azul y amarillo, es una herramienta útil para desarrollar proyectos de electrónica, permitiendo mostrar y desplegar información como texto, números, símbolos y pequeñas figuras. Es compatible con diversas tarjetas de desarrollo o microcontroladores, PIC, STM, AVR, NodeMCU, ESP32 y Raspberry Pi, entre otros. Es ideal para la creación de interfaces hombre-máquina (HMI) que faciliten el control o la visualización de información.

La pantalla LCD I2C 16x2, se conectan a los pines GPIO21 y GPIO22 configurados como salidas digitales en el ESP32. En la figura 2-15, se muestra el display utilizado.



Fuente: <https://uelectronics.com/producto/display-lcd-16x2-fondo-azul-amarillo-con-i2c/>

Figura 2-15 Display LCD 12x2 I2C-azul.

✓ Características principales:

- Tipo: Pantalla LCD

- Modelo: LCD1602 I2C
  - Resolución: 16×4 pixeles
  - Filas: 2
  - Columnas: 16
  - Voltaje de alimentación: 3.3V / 5V DC
  - Controlador I2C: PCF8574
  - Dirección I2C: 0x27
  - Color disponible:Fondo azul y texto blanco
  - Fondo amarillo y texto negro
  - Contraste: Ajustable por potenciómetro en la interfaz I2C
  - Tamaño: 80 mm x 36 mm x 20 mm
  - Área visible: 66 mm x 16 mm
  - Peso: 35 g
- ✓ Pines:
- GND: Voltaje de alimentación negativo –
  - VCC: Voltaje de alimentación positivo +
  - SDA: Pin de datos interfaz I2C
  - SCL: Pin de reloj interfaz I2C

#### 2.3.1.8 Baliza led MBL-150 y lámpara 12VDC/1A

El faro es la carga principal del sistema y se ilumina para servir como guía marítima. Su encendido y apagado están controlados por el relé, mientras que el sensor de corriente monitorea su consumo eléctrico para asegurar que funcione correctamente y dentro de los parámetros esperados.

A pesar de que las balizas actualmente son de tecnología led y ya poseen la tecnología de encendido y apagado con fotosensor, el Faro Punta Ángeles y varios Faros monumentales de Chile

aún utilizan el sistema antiguo con encendido manual desde el tablero, utilizando una lámpara incandescente o haluro metálica, lo que genera una luz fija en un haz que gira en 360°.

Para el prototipo se utilizan un fanal led modelo MBL-150 12 VDC y 1 [A] (Ver figura 2-16), con un encendido forzado y una lámpara incandescente de 12 VDC y de 1 [A] de consumo, utilizadas en Faros, ver figura 2-17.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de ficha de Fanal MBL-150.

Figura 2-16 Fanal Led modelo MBL-150.



Fuente: Elaboración propia, fotografía a lámpara utilizada.

Figura 2-17 Lámpara incandescente 12VDC/1A.

### 2.3.2 Software

Los softwares necesarios para programar y monitorear el sistema son los siguiente que se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Software.

| Plataforma/Software | Descripción                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arduino IDE         | Plataforma para programación del ESP32.<br>Versión: Arduino IDE 2.3.3                                                                                                                                          |
| ClickCharts         | Utilizado para la creación de diagramas en bloques, diagramas de flujo y diagrama UML.                                                                                                                         |
| OpenWeatherMap API  | Proporciona datos meteorológicos del lugar de ubicación del Faro Punta Ángeles.<br><br>A. API Key de OperWeatherMap:<br>94272b8e68912a07ea6e73b5938c613f<br><br>B. ID de Valparaíso, Chile:<br>CityID: 3868626 |
| Servidor NTP        | Permite sincronizar la fecha y hora.                                                                                                                                                                           |

Fuente: Elaboración propia, sobre los Software utilizados.

## 2.4 IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO

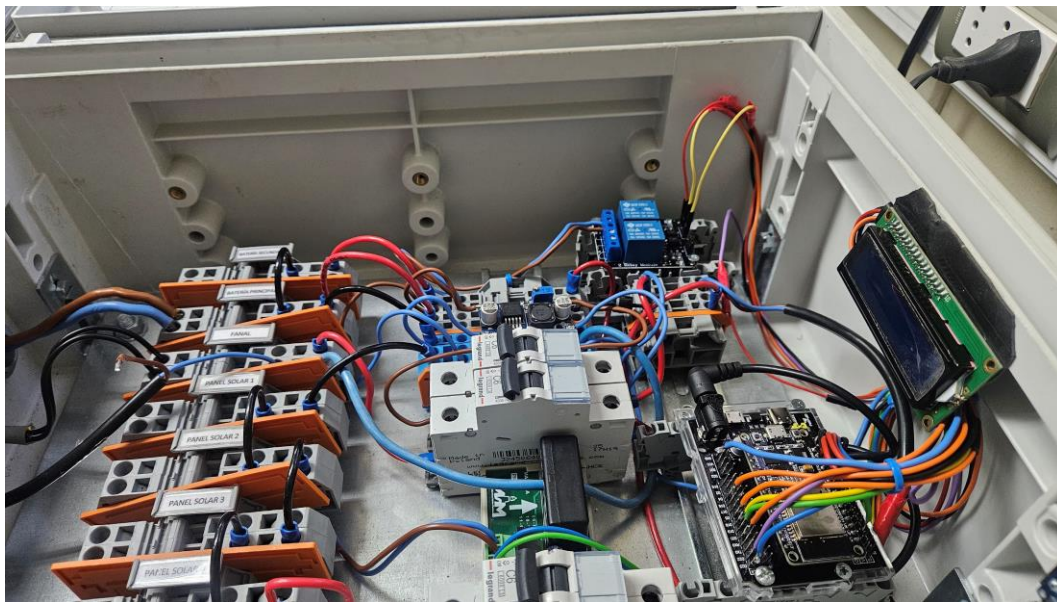
La implementación del prototipo implica la integración de los componentes de hardware y software descritos previamente en un sistema funcional para el monitoreo y control del Faro Punta Ángeles. Este proceso abarca el ensamblaje físico de los elementos, la configuración del

microcontrolador ESP32, la conexión de sensores, relés y módulos, así como la programación de la interfaz web para la supervisión y el control remoto.

El prototipo se diseña de manera modular, lo que permite realizar pruebas individuales de cada subsistema (control, monitoreo y almacenamiento de datos), garantizando su escalabilidad y facilidad de mantenimiento. Finalmente, se instala en una caja de control adecuada para su funcionamiento en condiciones reales, asegurando su operatividad y resistencia en el entorno del faro.

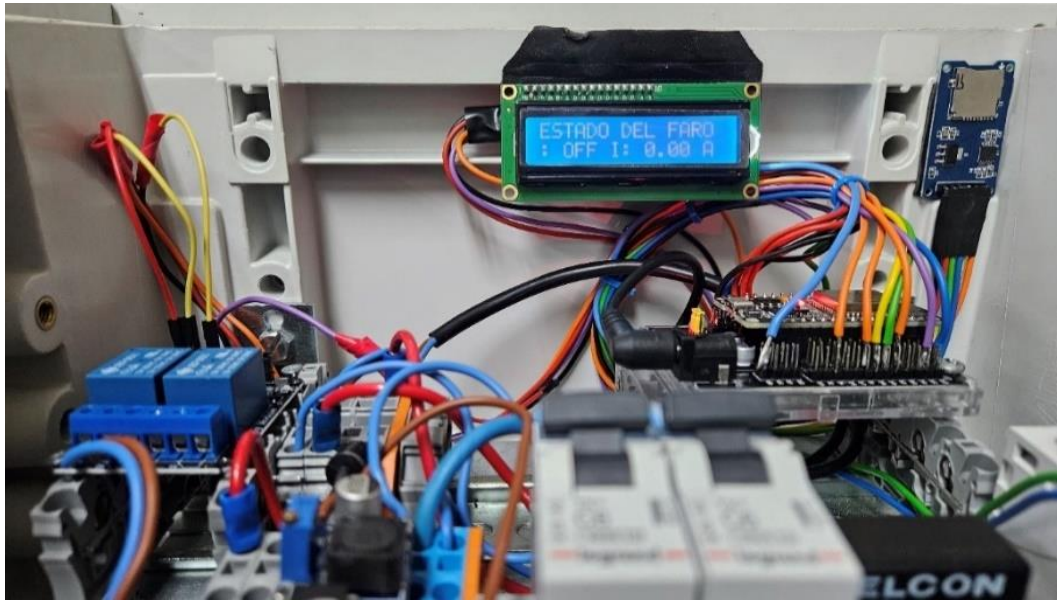
#### 2.4.1 Hardware montado

A continuación, en las figuras 2-18 y 2-19 se muestra la implementación del sistema de monitoreo y control, instalado en una caja de control de Faros en funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia, prototipo del sistema instalado en la caja de control Faros.

Figura 2-18 Implementación de prototipo\_01.



Fuente: Elaboración propia, prototipo del sistema instalado en la caja de control Faros.

Figura 2-19 Implementación de prototipo\_02.

#### 2.4.2 Modo de transmisión Wi-Fi

El prototipo utiliza una red Wi-Fi local estándar IEEE 802.11 b/g/n en la frecuencia de 2.4 GHz, habilitada mediante un router personal (teléfono móvil) que conecta el microcontrolador ESP32 con dispositivos clientes como computadoras o móviles. Es importante destacar que esta configuración es exclusiva para las pruebas del prototipo. En el diseño final del proyecto, se prevé la integración de una red Wi-Fi general perteneciente al complejo de direcciones técnicas, garantizando un acceso más robusto y centralizado.

Esta infraestructura permite al operador de guardia, ubicado en el complejo de direcciones técnicas, monitorear y controlar en tiempo real el estado del faro, los valores de corriente y las configuraciones del sistema. Las pruebas de latencia realizadas mediante comandos de "ping" confirmaron un desempeño satisfactorio, cumpliendo con los

requerimientos actuales del sistema y estableciendo una base para futuras mejoras y escalabilidad. Ver figura 2-20 “CMD PC Cliente y ping con ESP32”.

✓ Características principales:

- SSID: S23\_Hector
- Protocolo: Wi-Fi (802.11n)
- Banda de red: 2.4 Ghz
- Canal de red: 6
- Velocidad de vínculo (recepción/transmisión): 144/144 (Mbps)

```

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::e248:3c3d:dd75:2b44%3
    Dirección IPv4. . . . . : 192.168.30.147
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.30.159

Adaptador de Ethernet Conexión de red Bluetooth:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

C:\Users\fuent>ping 192.168.30.86

Haciendo ping a 192.168.30.86 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.30.86: bytes=32 tiempo=180ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.86: bytes=32 tiempo=147ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.86: bytes=32 tiempo=152ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.30.86: bytes=32 tiempo=179ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.30.86:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 147ms, Máximo = 180ms, Media = 164ms

C:\Users\fuent>_

```

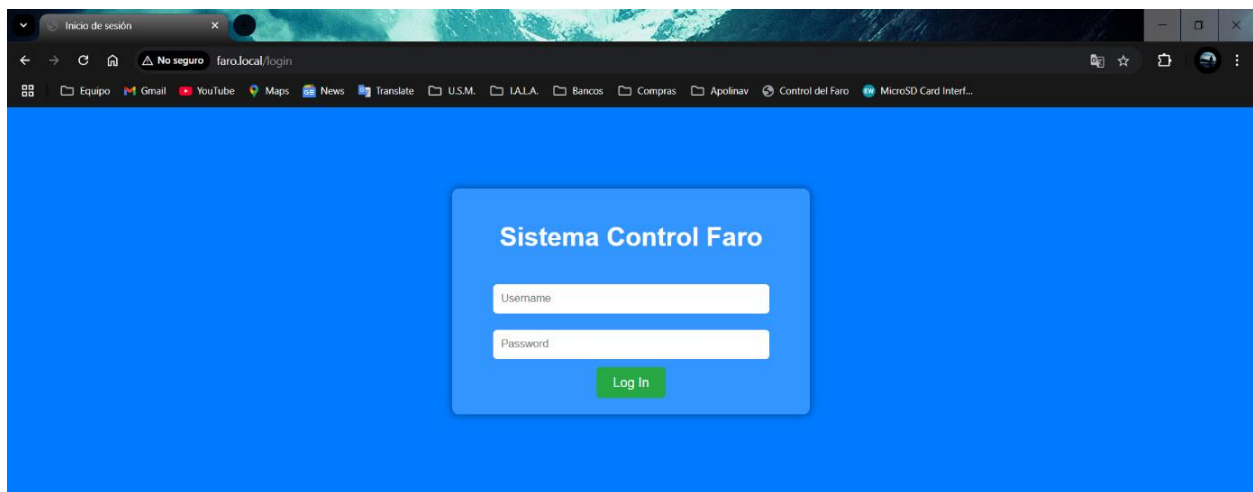
Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de CMD desde PC Cliente.

Figura 2-20 CMD PC cliente y ping con ESP32.

### 2.4.3 Interfaz web

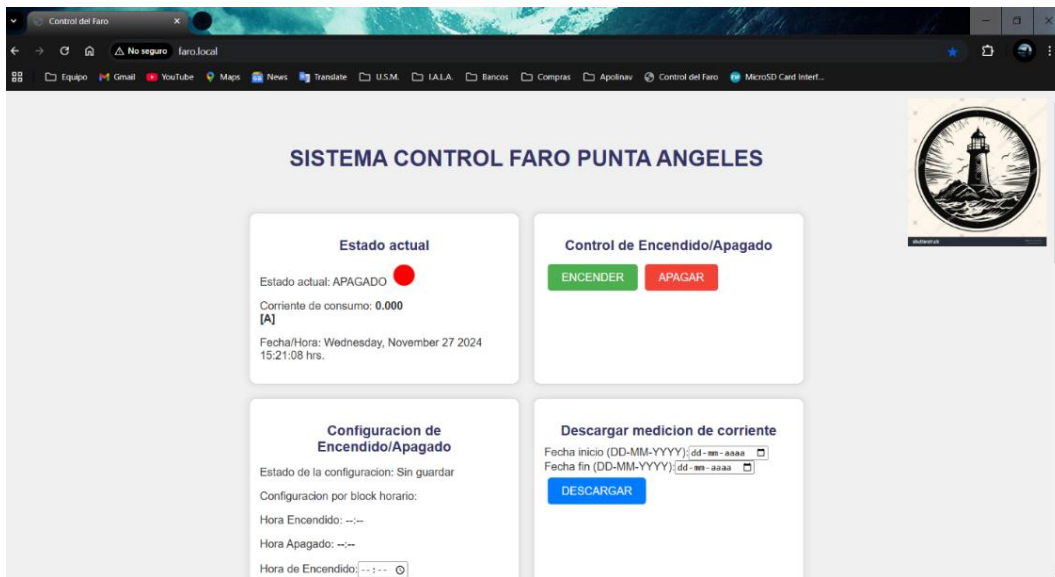
La interfaz web permite a los operadores monitorear el estado del faro, controlar su encendido y apagado, y supervisar el consumo de corriente en tiempo real. Accesible desde <http://faro.local>, ahora incluye una página de inicio de sesión con username y password, garantizando un acceso seguro para el operador. Ver figura 2-21.

Tras autenticarse, el usuario puede configurar horarios de encendido y apagado, verificar el estado actual del sistema y visualizar gráficos de consumo de corriente, junto con datos adicionales como condiciones meteorológicas y ubicación del faro. Estas funcionalidades se muestran en la figura 2-22 y figura 2-23.



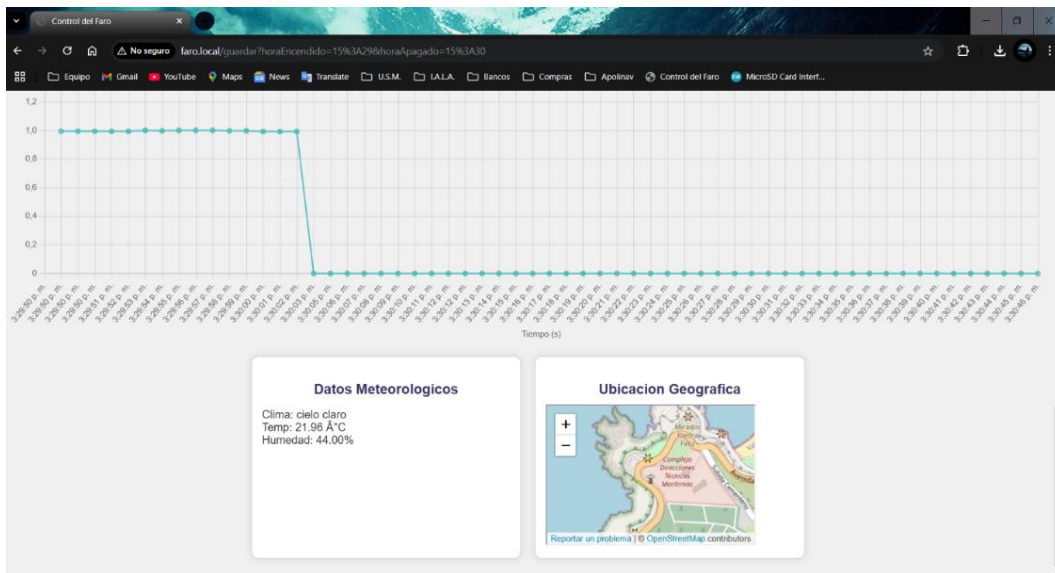
Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de inicio de sesión.

Figura 2-21 Inicio de sesión sistema control Faro.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-22 Servidor web control del Faro (Parte superior página).



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

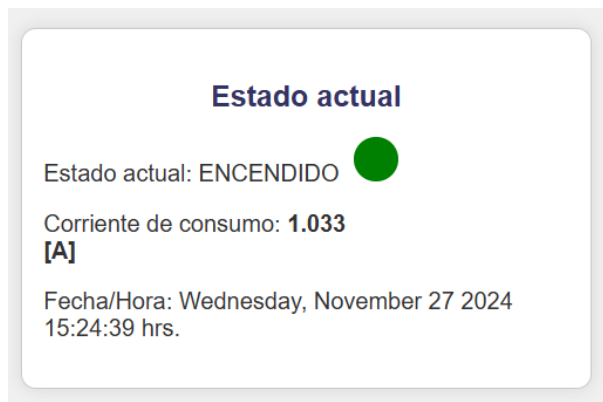
Figura 2-23 Servidor web control del Faro (Parte inferior página).

#### 2.4.3.1 Estado actual

Este bloque representa la funcionalidad del monitoreo. Los operadores de guardia pueden verificar el estado del faro y revisar el consumo de corriente para detectar cualquier anomalía. Esta verificación asegura que el faro funcione correctamente y dentro de los límites de consumo deseados, alertando a los operadores en caso de problemas. Ver figura 2-24.

✓ Las funcionalidades de este bloque son:

- Estado del Faro: Indica si el faro está encendido o apagado.
- Indicador Visual (LED Virtual): Un ícono o animación que cambia de color o estado para representar si el faro está encendido (verde) o apagado (rojo).
- Medición de Corriente: Muestra el valor instantáneo de corriente consumida por el faro, actualizado en tiempo real.
- Fecha y Hora: Se visualiza la fecha y hora actual del sistema, sincronizada con un servidor NTP.



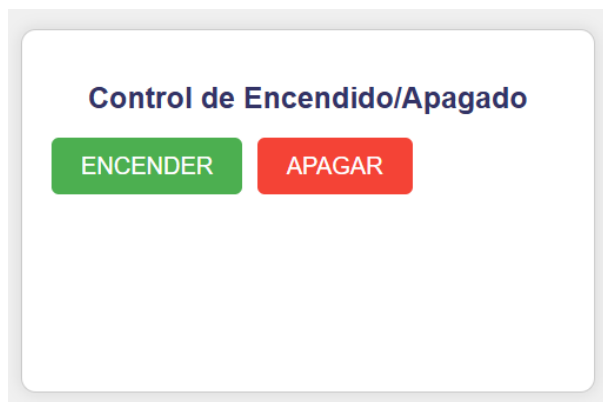
Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-24 Estado actual.

### 2.4.3.2 Control manual

Este bloque representa la funcionalidad del control manual del Faro. Los operadores de guardia pueden activar o desactivar el sistema, permitiendo controlar manualmente el estado del faro (ver figura 2-25).

- ✓ Las funcionalidades de este bloque son:
- Encendido Manual: Botón para activar el faro de forma inmediata.
  - Apagado Manual: Botón para desactivar el faro de forma inmediata.
  - Confirmación de Acción: Muestra un mensaje en la interfaz para confirmar si la acción fue ejecutada correctamente.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-25 Control manual.

### 2.4.3.3 Configuración automática

Este bloque representa la funcionalidad del control automático del Faro. Los operadores de guardia pueden activar o desactivar el sistema a través de un block horario, permitiendo controlar automáticamente el estado del faro (ver figura 2-26).

✓ Las funcionalidades de este bloque son:

- Bloque Horario: Permite al usuario establecer un rango de tiempo para el encendido y apagado automático del faro. Por ejemplo:
- Hora de Inicio: Configurar la hora en que el faro debe encenderse automáticamente.
- Hora de Fin: Configurar la hora en que el faro debe apagarse automáticamente.
- Estado del Modo Automático: Indicador que muestra si el modo automático está activado o desactivado.
- Opciones de Activación: Botón para activar o desactivar el modo automático.



**Configuración de Encendido/Apagado**

Estado de la configuración: Guardado

Configuración por block horario:

Hora Encendido: 15:19

Hora Apagado: 15:20

Hora de Encendido: --:-- ⌚

Hora de Apagado: --:-- ⌚

**GUARDAR**

**LIMPIAR**

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

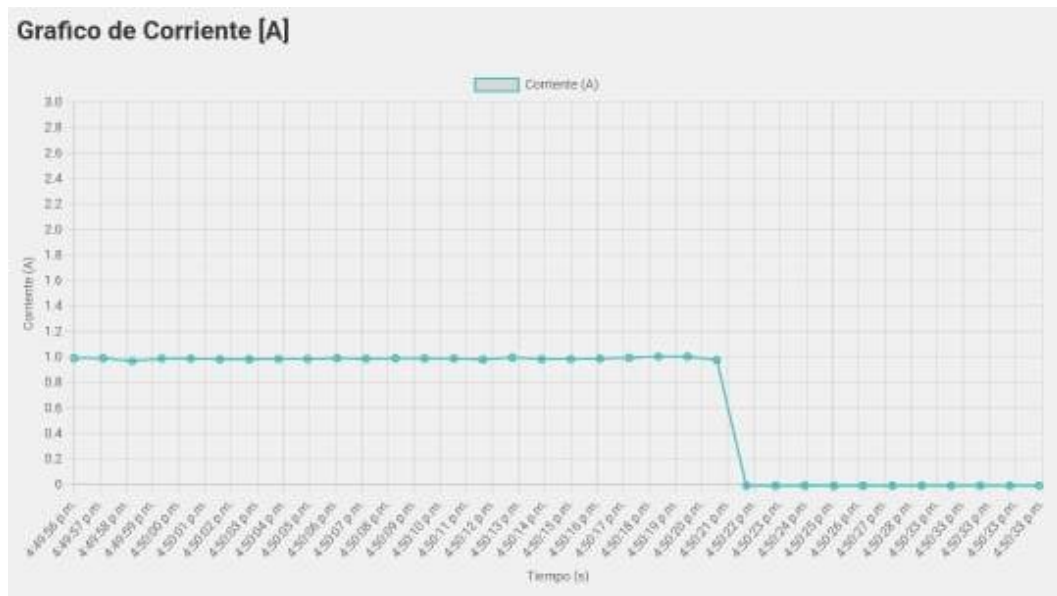
Figura 2-26 Configuración automática.

#### 2.4.3.4 Visualización de datos

Además de las funciones previamente definidas, esta sección incluye un gráfico en tiempo real que permite visualizar las mediciones de corriente de forma más clara (ver figura 2-27).

✓ Las funcionalidades de este bloque son:

- Tipo de Gráfico: Se utiliza un gráfico de línea para mostrar los valores de corriente en función del tiempo.
- Eje X: Representa la línea temporal con marcas de fecha y hora.
- Eje Y: Indica los valores de corriente medidos en amperios (A).
- Actualización en Tiempo Real: Los datos se actualizan dinámicamente a medida que el sistema realiza nuevas mediciones.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

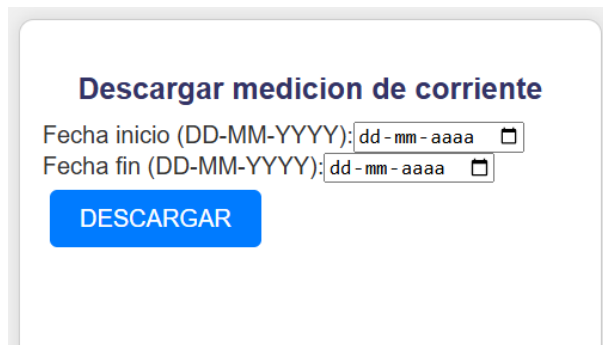
Figura 2-27 Gráfico de corriente [A].

#### 2.4.3.5 Descarga de datos

Esta sección permite al usuario obtener un registro histórico de las mediciones de corriente. En la figura 2-28, se puede ver el bloque de descarga de datos por rango de fechas.

✓ Las funcionalidades de este bloque son:

- Formato de Archivo: El archivo descargado estará en formato CSV, compatible con herramientas como Excel.
- Datos Incluidos: Fecha y hora de cada medición, valor de corriente medido y estado del faro en ese momento (ENCENDIDO/APAGADO).
- Botón DESCARGAR: Un botón que permite descargar directamente el archivo a través de la interfaz web.

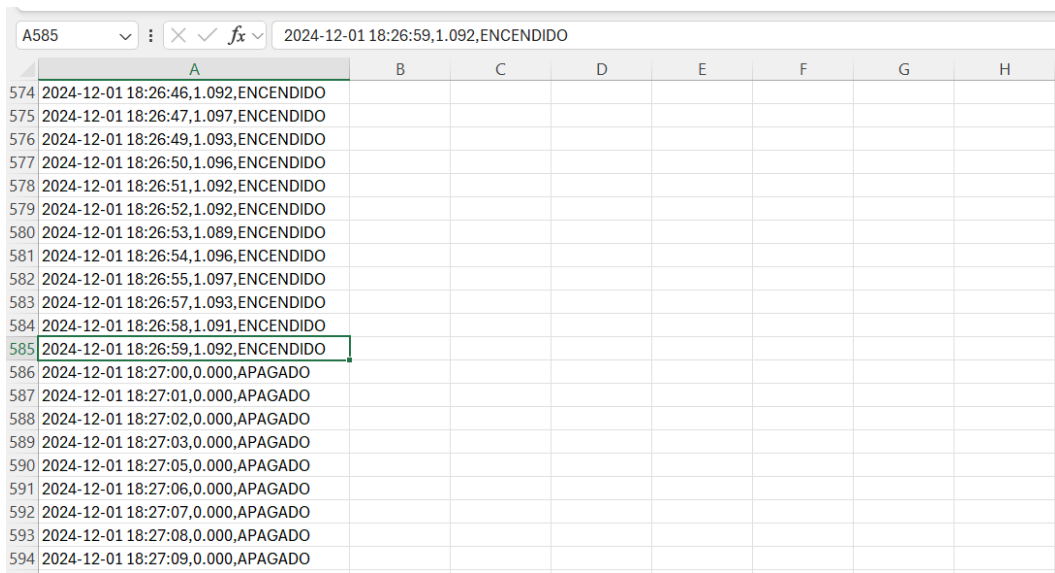


El formulario, titulado "Descargar medicion de corriente", contiene dos campos de fecha. El primer campo, "Fecha inicio (DD-MM-YYYY)", muestra el texto "dd-mm-aaaa" y un icono de calendario. El segundo campo, "Fecha fin (DD-MM-YYYY)", también muestra "dd-mm-aaaa" y un icono de calendario. Debajo de estos campos se encuentra un botón rectangular de color azul con el texto "DESCARGAR" en blanco.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-28 Descargar medición de corriente.

A continuación, en la figura 2-29, se pueden visualizar las funcionalidades del bloque en el archivo csv descargado y abierto en Excel.



|     | A                                   | B | C | D | E | F | G | H |
|-----|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 574 | 2024-12-01 18:26:46,1.092,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 575 | 2024-12-01 18:26:47,1.097,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 576 | 2024-12-01 18:26:49,1.093,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 577 | 2024-12-01 18:26:50,1.096,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 578 | 2024-12-01 18:26:51,1.092,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 579 | 2024-12-01 18:26:52,1.092,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 580 | 2024-12-01 18:26:53,1.089,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 581 | 2024-12-01 18:26:54,1.096,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 582 | 2024-12-01 18:26:55,1.097,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 583 | 2024-12-01 18:26:57,1.093,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 584 | 2024-12-01 18:26:58,1.091,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 585 | 2024-12-01 18:26:59,1.092,ENCENDIDO |   |   |   |   |   |   |   |
| 586 | 2024-12-01 18:27:00,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 587 | 2024-12-01 18:27:01,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 588 | 2024-12-01 18:27:02,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 589 | 2024-12-01 18:27:03,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 590 | 2024-12-01 18:27:05,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 591 | 2024-12-01 18:27:06,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 592 | 2024-12-01 18:27:07,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 593 | 2024-12-01 18:27:08,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |
| 594 | 2024-12-01 18:27:09,0.000,APAGADO   |   |   |   |   |   |   |   |

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de archivo CSV abierto en Excel.

Figura 2-29 Archico CSV de mediciones filtradas.

#### 2.4.4 Funciones adicionales

Incluye integración con OpenWeatherMap para datos meteorológicos, ubicación geográfica y sincronización mediante NTP.

##### 2.4.4.1 Páginas web embebidas en HTML

En el proyecto, se desarrollan páginas web embebidas en el ESP32 utilizando HTML, CSS y JavaScript para mostrar información relevante en tiempo real. Estas páginas permiten al usuario acceder a datos meteorológicos, ubicación geográfica y la fecha y hora actual sincronizada. Para ello, se integran servicios como OpenWeatherMap API y el Servidor NTP.

- A. OpenWeatherMap API: El servicio OpenWeatherMap API es utilizado para proporcionar datos meteorológicos actualizados en tiempo real. Estos datos permiten conocer las condiciones climáticas del lugar donde se encuentra el sistema.

En la figura 2-30, se muestra de forma clara los datos obtenidos.

✓ Visualización de los datos meteorológicos:

- Clima: Descripción del clima (soleado, nublado, lluvioso, etc.) acompañada de un icono representativo.
- Temperatura: El valor actual de la temperatura ambiente.
- Humedad Relativa: Indicador del porcentaje de humedad en el aire.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-30 Servidor web datos meteorológicos.

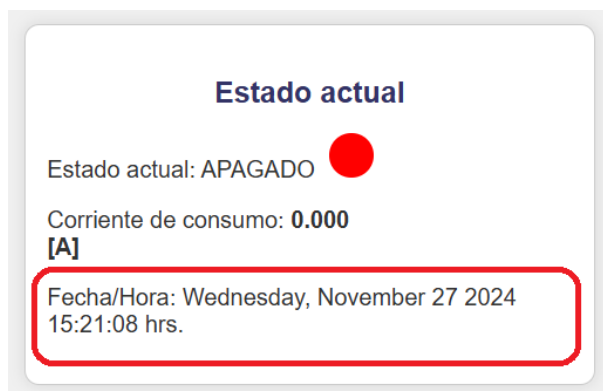
- B. Ubicación geográfica: Los datos meteorológicos están vinculados a una ubicación geográfica configurada mediante las coordenadas geográficas. La interfaz web, se puede ver en la figura 2-31.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-31 Servidor web ubicación geográfica.

- C. Servidor NTP: El Servidor NTP (Network Time Protocol) se utiliza para sincronizar la fecha y hora del sistema con una fuente confiable. Este servicio garantiza que el sistema opere con información temporal precisa. Ver figura 2-32.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de página <http://faro.local>

Figura 2-32 Servidor NTP (Fecha/Hora).

#### 2.4.4.2 Beneficios de integración

La implementación de estas funcionalidades en el servidor web ofrece varias ventajas:

- Datos Meteorológicos: Ayudan a tomar decisiones informadas sobre el uso del sistema, en función de las condiciones climáticas.
- Ubicación Geográfica: Proporcionan contexto sobre la posición del faro, útil para la navegación.
- Fecha y Hora Precisas: Garantizan que las funciones automáticas del sistema, como el encendido y apagado, se ejecuten correctamente según el horario configurado.

#### 2.4.5 Usuarios

Esta sección identifica los dos principales perfiles que interactúan con el sistema del Faro Punta Ángeles: el operador de guardia, encargado de gestionar el sistema, y el usuario marítimo, beneficiario final de la iluminación del faro para la seguridad en la navegación.

##### 2.4.5.1 Operador de guardia

El operador de guardia utiliza la interfaz web para supervisar y controlar el sistema, asegurando el correcto encendido y apagado del faro y monitoreando los datos de consumo. Su responsabilidad principal es mantener la operación continua del sistema y gestionar cualquier anomalía que pueda surgir.

##### 2.4.5.2 Usuario marítimo

El usuario marítimo no interactúa directamente con el sistema, pero depende de la iluminación proporcionada por el faro para su seguridad durante la navegación, destacando la importancia del funcionamiento adecuado del sistema implementado.

## 2.5 ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS O DISPOSITIVOS PARA UTILIZAR

Se realizó un análisis comparativo para evaluar las opciones disponibles en cada etapa del sistema, los cuales se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Análisis de equipos o dispositivos.

| Equipo/Componente           | Ventajas                                          | Desventajas                              | Decisión     |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------|
| Microcontrolador ESP32      | Alta conectividad, capacidad de procesamiento.    | Requiere alimentación estable.           | Seleccionado |
| Relé optoacoplado           | Aislación eléctrica, alta capacidad de corriente. | Tamaño más grande que un relé común.     | Seleccionado |
| Sensor de corriente HTP50SP | Precisión, fácil integración con el ESP32.        | Requiere calibración adecuada.           | Seleccionado |
| Módulo de memoria SD        | Permite almacenamiento de datos históricos.       | Espacio físico adicional necesario.      | Seleccionado |
| Pantalla LCD I2C            | Bajo consumo, comunicación sencilla.              | Limitación en la cantidad de caracteres. | Seleccionado |

Fuente: Elaboración propia, sobre la evaluación de equipos o dispositivos a utilizar.

## 2.6 PROGRAMACIÓN Y CONEXIÓN

A continuación, se describe la programación y la conexión de cada elemento al microcontrolador ESP32.

### 2.6.1 Programación

La programación del sistema se realiza en el entorno Arduino IDE, utilizando el microcontrolador ESP32 como núcleo principal. Se desarrollan diferentes módulos de código para gestionar las funcionalidades del sistema, incluyendo:

- ✓ Control del Faro
- ✓ Monitoreo de Corriente
- ✓ Sincronización y Datos Adicionales
- ✓ Interfaz Web

El código de programación del prototipo utilizado en la implementación fue realizado en el software Arduino IDE y se muestra en el Anexo “A”.

### 2.6.2 Conexión de los componentes implementados

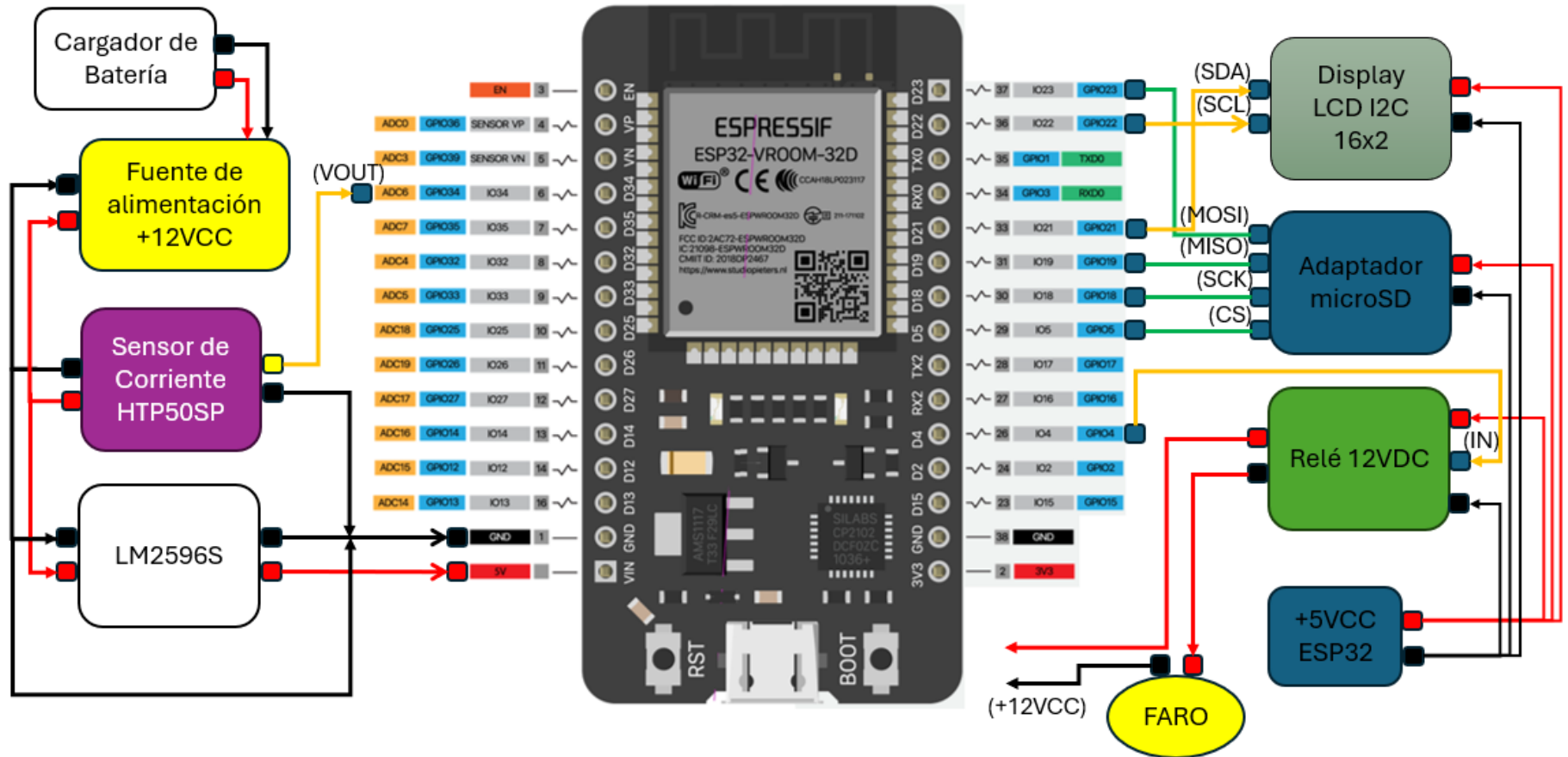
La conexión de los componentes del sistema sigue un esquema claro y modular, asegurando la funcionalidad y evitando interferencias.

Los circuitos electrónicos se diseñaron para garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y de fácil mantenimiento, considerando redundancia en los circuitos críticos y accesibilidad para futuros ajustes. Ver tabla 2.5 y figura 2-33.

Tabla 2.5 Conexión de dispositivos a MCU ESP32.

| Componente                | Conexión a +12VCC                               | Entrada o Salida a ESP32 | Conexión a ESP32                                                                                          |
|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fuente Alimentación 12VDC | Si                                              | Entrada                  | LM2596S                                                                                                   |
| Regulador de voltaje      | Alimentación:<br>- +12V (VCC)<br>- GND (GND)    | Entrada                  | Conectado a la alimentación principal. +5VCC del ESP32                                                    |
| Relé                      | Activación Faro<br>- +12V (COM1)<br>- GND (NO1) | Salida                   | - +5V (VCC)<br>- GND (GND)<br>- GPIO4 (OUT)                                                               |
| Sensor de Corriente       | Alimentación:<br>- +12V (VCC)<br>- GND (GND)    | Entrada                  | Señal VOUT sensor, conectada a los pines ADC para lectura analógica.<br>- ADC6 GPIO34 (IN)<br>- GND (GND) |
| Adaptador de microSD      | No                                              | Entrada y Salida         | - +5V (VCC)<br>- GND (GND)<br>- GPIO13 (MOSI)<br>- GPIO19 (MISO)<br>- GPIO18 (SCK)<br>- GPIO5 (CS)        |
| Display LCD I2C 16x2      | No                                              | Salida                   | - +5V (VCC)<br>- GND (GND)<br>- GPIO21 (SDA)<br>- GPIO22 (SCL)                                            |

Fuente: Elaboración propia, sobre la evaluación de equipos o dispositivos a utilizar.



Fuente: Elaboración propia, creado en power point sobre el conexionamiento total.

Figura 2-33 Conexión de dispositivos a MCU ESP32.

### **CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA**

### 3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se realiza la evaluación económica del diseño, desarrollo e implementación del sistema de monitoreo y control del Faro Punta Ángeles. El análisis tiene como objetivo determinar la viabilidad económica del proyecto mediante la identificación y clasificación de los costos asociados, que incluyen hardware, software, recursos humanos y otros gastos. Asimismo, se justifica la inversión al destacar los beneficios operativos y técnicos que se obtendrán con la modernización del sistema, tales como la optimización de las operaciones y el monitoreo eficiente del consumo eléctrico del sistema de iluminación. Este análisis no solo garantiza el cumplimiento de los objetivos planteados, sino que también establece un marco de referencia para futuras implementaciones similares.

#### 3.1 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

El diseño e implementación del proyecto de modernización y monitoreo del Faro Punta Ángeles está pensado para ser financiado por la Dirección de Seguridad y Operaciones Marítimas (DIRSOMAR), una dependencia técnica de la Armada de Chile. DIRSOMAR, como entidad responsable de los sistemas de seguridad marítima, cuenta con recursos asignados por el Estado de Chile a través de diversas fuentes de financiamiento.

Entre las principales fuentes de financiamiento para este tipo de proyectos se incluyen:

- **Ley de Presupuesto Anual:** Fondos asignados por el Estado para el funcionamiento general de la Armada de Chile.
- **Ley de Navegación (Decreto Ley 2.222):** Esta ley establece los recursos destinados específicamente a la señalización y seguridad marítima, donde los faros juegan un rol fundamental como ayudas a la navegación. Los fondos provenientes de esta ley son gestionados para garantizar el mantenimiento, modernización y operación de los sistemas de iluminación marítima en Chile.

- **Fondo Rotativo de Abastecimiento (FORA):** Ley 16.256, destinada a la adquisición y mantenimiento de equipamiento operativo.
- **Otros Fondos Complementarios:** Incluyen recursos específicos destinados a la modernización de infraestructura marítima.

En este caso particular, la modernización del Faro Punta Ángeles podría ser financiada principalmente a través de la Ley de Navegación, debido a su relación directa con la seguridad marítima y las ayudas a la navegación. Este enfoque asegura que los recursos estén alineados con los objetivos estratégicos de DIRSOMAR y la Armada de Chile, priorizando la operación eficiente y segura de los faros en las costas nacionales.

### **3.2 MONEDA DE REFERENCIA**

Todos los cálculos de este capítulo se han realizado en pesos chilenos (CLP), dado que se trata de un proyecto ejecutado a nivel nacional. Sin embargo, considerando la posibilidad de fluctuaciones económicas y la necesidad de presentar un análisis estandarizado, los costos podrían ser expresados en Unidad de Fomento (UF), una medida comúnmente utilizada en estudios financieros en Chile. La UF garantiza que el valor del proyecto no se vea afectado por la inflación, proporcionando estabilidad a largo plazo.

A la fecha 27 de marzo de 2025 el valor de 1 UF equivale a 38.874,08 pesos chilenos (CLP), de acuerdo con lo indicado en la página oficial del Banco Central de Chile, (<https://si3.bcentral.cl/indicadoressiete/secure/IndicadoresDiarios.aspx>).

### **3.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO**

Para determinar el costo total del proyecto de modernización del Faro Punta Ángeles, se consideran los siguientes componentes: costos de mano de obra, costos de materiales y equipos

(incluyendo hardware), costos de herramientas y otros, y costos relacionados con diseño y contingencias. Este análisis proporciona una visión clara y estructurada de los recursos financieros necesarios, garantizando la transparencia en la inversión, optimizando los recursos disponibles y facilitando la planificación de futuros proyectos similares.

Se presentan a continuación las estimaciones de costos en los siguientes criterios:

- Costos de mano de obra.
- Costos de materiales.
- Costos de herramientas, equipos y otros.
- Costo de diseño, capacitaciones y contingencias.
- Costo total del proyecto.

### 3.3.1 Costos de mano de obra

La implementación del proyecto requiere un equipo técnico especializado para realizar las tareas de diseño, montaje y supervisión. Este apartado detalla el equipo necesario y los costos asociados a las actividades de mano de obra.

#### 3.3.1.1 Equipo de trabajo

El equipo mínimo necesario para llevar a cabo el proyecto incluye un ingeniero y tres técnicos especializados, cada uno con responsabilidades definidas según sus competencias:

- ✓ 01 Ingeniero en Control e Instrumentación Industrial: Responsable del diseño, supervisión y configuración del sistema.
- ✓ 01 Técnico en Control: Encargado del montaje de los sistemas eléctricos y electrónicos.
- ✓ 01 Técnico Electricista: Responsable de las conexiones eléctricas y pruebas operativas. Además, es el encargado del montaje y configuración de la caja de control del faro.

El pago de los trabajadores se calcula por hora de trabajo, considerando turnos de ocho horas diarias. La tabla 3.1, resume los valores por hora y el costo diario por trabajador:

Tabla 3.1 Cálculo del costo diario de los trabajadores.

| Trabajador                        | Valor HH (UF) | Costo Diario (UF) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|
| Ingeniero en Control              | 0,321         | 2,568             |
| Técnicos (Control y Electricista) | 0,106         | 0,848             |

Fuente: Elaboración propia, <https://cl.computrabajo.com/salarios/ingeniero-instrumentacion>,  
<https://cl.talent.com/salary?job=t%C3%A9cnico+electricista>.

### 3.3.1.2 Carta gantt

La implementación del proyecto se estructuró en un plan detallado de actividades, descrito en una carta Gantt que identifica las tareas principales, los responsables y el tiempo estimado de ejecución en días hábiles. A continuación, se detalla la planificación:

- Inspección inicial y planificación: Evaluar las condiciones del sitio de trabajo y establecer un plan de ejecución.
- Montaje del sistema: Realizar la instalación de componentes, cableado y montaje de la caja de control del faro.
- Configuración del sistema: Configurar el software del ESP32 y realizar pruebas de conectividad.
- Pruebas operativas: Verificar el correcto funcionamiento del sistema y ajustar parámetros según sea necesario.

La implementación del proyecto se efectuará en un plazo de quince días hábiles, en donde todo el equipo de trabajo se contará con ocho horas de trabajo diarias y se verán todos involucrados en la ejecución de las tareas cooperando en las distintas actividades.

Tabla 3.2 Carta gantt proyecto de modernización Faro Punta Ángeles.

| Actividad  | Descripción                                       | Responsable     | Días Hábiles |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | HH  |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----|
|            |                                                   |                 | 1            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |     |
| Tarea N°1  | Inspeccionar el lugar                             | Todos           |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 24  |
| Tarea N°2  | Habilitar Fanal provisorio                        | Tec. Elec.      |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 24  |
| Tarea N°3  | Desconectar red 220 vac y periféricos del tablero | Tec. Elec.      |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 48  |
| Tarea N°4  | Desconectar y reordenar cableado caja de control  | Tec. Elec.      |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 48  |
| Tarea N°5  | Instalar microcontrolador, relé y componentes     | Tec. Control    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 48  |
| Tarea N°6  | Efectuar conexión de cableado caja de control     | Tec. Elec.      |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 48  |
| Tarea N°7  | Instalar sensor de corriente en fanal principal   | Tec. Control    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 48  |
| Tarea N°8  | Deshabilitar Fanal provisorio                     | Tec. Elec.      |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 24  |
| Tarea N°9  | Verificar instalaciones y cableado del tablero    | Ing. En Control |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 24  |
| Tarea N°10 | Instalar programa y configurar microcontrolador   | Ing. En Control |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 24  |
| Tarea N°11 | Efectuar pruebas operativas                       | Ing. En Control |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 24  |
| Total HH   |                                                   |                 |              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 384 |

Fuente: Elaboración propia, sobre la ejecución del proyecto.

En la tabla 3.2., se puede apreciar que el total de HH necesarias para la implementación del sistema es de 384, de las cuales, 120 HH corresponden a las del Ingeniero que tienen un costo de 0,321 UF cada una y 264 HH corresponden a las HH de los técnicos que tienen un costo de 0,106 UF cada una.

Tabla 3.3 Costo total de mano de obra.

| Mano de obra                                           | Unidad | Cantidad | Precio unitario (UF) | Total (UF)    |
|--------------------------------------------------------|--------|----------|----------------------|---------------|
| Ingeniero (E.) en Control e Instrumentación Industrial | HH     | 120      | 0,321                | 38,52         |
| Técnico en Control                                     | HH     | 120      | 0,106                | 12,72         |
| Técnico Electricista                                   | HH     | 120      | 0,106                | 12,72         |
|                                                        |        |          |                      |               |
| Leyes sociales                                         | %      | 30       |                      | 19,188        |
| <b>Total</b>                                           |        |          |                      | <b>83,148</b> |

Fuente: Elaboración propia, sobre el costo total mano de obra.

En la tabla 3.3. Se establece el costo total de mano de obra, que irá acorde a lo estipulado anteriormente considerando los gastos por leyes sociales que se debe pagar por cada trabajador, que corresponderá al 29% del costo total.

### 3.3.2 Costos de materiales

El hardware necesario para la implementación del proyecto incluye componentes electrónicos clave como el microcontrolador ESP32, sensores, y relés. La durabilidad de estos equipos garantiza la funcionalidad del sistema a largo plazo.

A continuación, en la tabla 3.4 se efectuará un listado de materiales (Hardware) necesarios para desarrollar el proyecto:

Tabla 3.4 Costos de materiales.

| Componente                                                               | Cantidad | Precio Unitario (UF) | Total (UF)  |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------|
| Microcontrolador ESP32                                                   | 1        | 0,26                 | 0,26        |
| Módulo de placa de alimentación ESP32S, placa de expansión de desarrollo | 1        | 0,20                 | 0,20        |
| Sensor de corriente HTP50SP                                              | 1        | 2,50                 | 2,50        |
| Relé de 12 VDC 2 Canales                                                 | 1        | 0,25                 | 0,25        |
| Display LCD I2C 16x2                                                     | 1        | 0,25                 | 0,25        |
| Adaptador de tarjeta microSD                                             | 1        | 0,22                 | 0,22        |
| Memoria microSD 16 GB                                                    | 1        | 0,22                 | 0,22        |
| Cables y conectores                                                      | 1        | 1,20                 | 1,20        |
| <b>Total</b>                                                             |          |                      | <b>5,10</b> |

Fuente: Elaboración propia, sobre cotizaciones de equipos.

### 3.3.3 Costos de herramientas, equipos y otros

Para las herramientas o equipos de la empresa utilizadas en los trabajos se les considerará un valor de arriendo que cubra su mantenimiento y en el caso de que la maquinaria o equipo que se arrienden el costo será el mismo valor de arriendo.

A continuación, en la tabla 3.5 se efectuará un listado con las herramientas y equipos necesarios para desarrollar el proyecto, estimando el tiempo de uso.

Tabla 3.5 Costos de herramientas, equipos y otros.

| Componente                        | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (UF) | Total (UF)   |
|-----------------------------------|--------|----------|----------------------|--------------|
| Laptop programador                | UN     | 0,03     | 36                   | 1,08         |
| Software IDE Arduino              | UN     | 0,03     | 20                   | 0,6          |
| Multímetro digital marca Fluke    | UN     | 0,04     | 10                   | 0,4          |
| Energía eléctrica durante pruebas | Hora   | 20       | 0,25                 | 5            |
| Transporte al Faro Punta Ángeles  | Hora   | 20       | 0,25                 | 5            |
| Herramientas varias               | UN     | 0,04     | 12                   | 0,48         |
| Servicio de red Wi-Fi             | Mes    | 1        | 0,9                  | 0,9          |
| <b>Total</b>                      |        |          |                      | <b>13,46</b> |

Fuente: Elaboración propia, sobre los costos de herramientas, equipos y otros utilizados.

### 3.3.4 Costos de diseño, capacitaciones, contingencias e imprevistos

El proyecto considera los costos asociados al diseño del sistema, las capacitaciones necesarias para su implementación, así como posibles contingencias e imprevistos. El diseño contempla el desarrollo de esquemas técnicos y la programación del sistema, mientras que las capacitaciones están dirigidas a preparar al equipo técnico para operar y mantener el sistema de

forma autónoma. Las contingencias cubren gastos adicionales planificados, y los imprevistos, aquellos no contemplados inicialmente.

El ítem Imprevistos considera posibles gastos no previstos que puedan surgir durante el desarrollo o la implementación del sistema. Estos incluyen la reposición de componentes dañados, ajustes de diseño, adquisición de materiales menores no contemplados y costos logísticos inesperados. Se estima un total de [X] UF para este ítem, con el fin de asegurar la continuidad del proyecto ante cualquier eventualidad.

A continuación, en la tabla 3.6 se detallan los ítems, el responsable involucrado y el tiempo estimado utilizado para cada uno.

Tabla 3.6 Costos de diseño, capacitaciones y contingencias.

| Ítem           | Unidad | Cantidad | Precio unitario (UF) | Total (UF)  |
|----------------|--------|----------|----------------------|-------------|
| Diseño         | HH     | 120      | 0,25                 | 30          |
| Capacitaciones | UF     | 22       | 1                    | 22          |
| Contingencias  | UF     | 32       | 1                    | 32          |
| Imprevistos    | UF     | 8,4      | 1                    | 8,4         |
| <b>Total</b>   |        |          |                      | <b>92,4</b> |

Fuente: Elaboración propia, sobre los costos de diseño, capacitaciones y contingencias.

Estos costos aseguran un sistema operativo eficiente, minimizan riesgos y garantizan la capacitación del personal técnico.

### 3.3.5 Costo total del proyecto

El costo total del proyecto integra los diferentes componentes evaluados en las secciones anteriores, proporcionando una visión global de la inversión necesaria para la implementación del sistema de monitoreo y control del Faro Punta Ángeles.

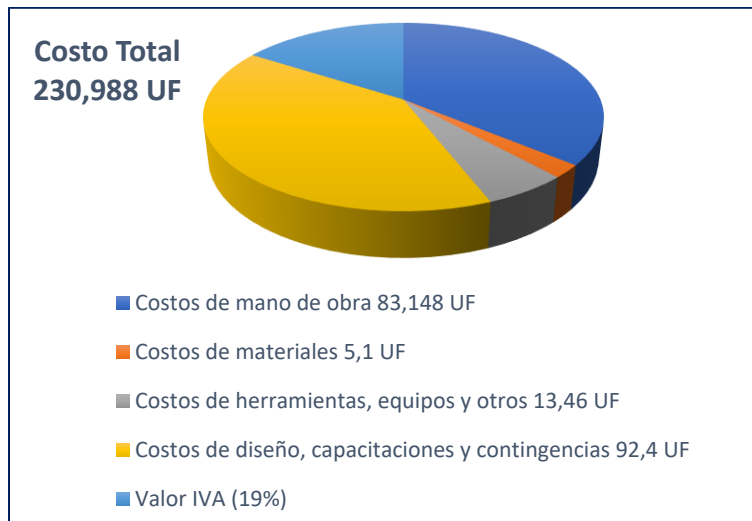
A continuación, en la tabla 3.7 y figura 3-1 se presenta el desglose del costo total del proyecto:

Tabla 3.7 Costo total del proyecto.

| CONCEPTO                                         | VALOR (UF)     |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Costo Mano de Obra                               | 83,148         |
| Costos de Materiales                             | 5,1            |
| Costos de Herramientas, Equipos y Otros          | 13,46          |
| Costos de Diseño, Capacitaciones y Contingencias | 92,4           |
| Valor IVA (19%)                                  | 36,88          |
| <b>Valor total</b>                               | <b>230,988</b> |

Fuente: Elaboración propia, sobre el costo total del proyecto.

El monto total estimado para la ejecución del proyecto es de **230,988 UF**. Esta cifra considera todos los aspectos necesarios para garantizar la correcta implementación, operación y sostenibilidad del sistema. La inversión propuesta se justifica no solo por los beneficios operativos y técnicos que aportará, sino también por su contribución a la modernización y optimización del Faro Punta Ángeles.



Fuente: Elaboración propia, gráfico creado en Word sobre el desglose de los costos.

Figura 3-1 Gráfico de costos totales del proyecto.

### 3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico del proyecto destaca su viabilidad al enfocarse en los beneficios operativos y técnicos que aporta la modernización del sistema. Aunque no se anticipan ingresos directos, se justifican los costos a través de un análisis costo-impacto, considerando:

- ✓ Mayor eficiencia operativa.
- ✓ Reducción de riesgos asociados a fallas.
- ✓ Cumplimiento de normativas y estándares internacionales.

#### 3.4.1 Justificación del gasto

El gasto se justifica mediante la optimización de recursos operativos y la mejora en la seguridad y confiabilidad del sistema. Además, el impacto positivo en la imagen institucional refuerza el valor estratégico del proyecto.

### 3.4.1.1 Evaluación costo – impacto

La evaluación costo-impacto se enfoca en analizar proyectos de difícil medición y valoración de beneficios, como lo es el sistema de monitoreo y control del Faro Punta Ángeles. Aunque los beneficios no se traduzcan directamente en ingresos económicos, el impacto estratégico y operativo del proyecto es significativo. Este enfoque es comúnmente utilizado en sectores públicos y sociales, especialmente en proyectos evaluados por el Sistema Nacional de Inversión Pública.

Tabla 3.8 Costo de implementación proyecto.

| Costo           | Definición                 | Tiempo | Monto UF       |
|-----------------|----------------------------|--------|----------------|
| Costo inicial   | Costo total del proyecto   | Único  | 230,988        |
| Costo operativo | Mantenimiento mensual Faro | Anual  | 20             |
| <b>Total</b>    |                            |        | <b>250,988</b> |

Fuente: Elaboración propia, sobre el costo total del proyecto.

La intangibilidad de los beneficios es un desafío en proyectos como éste, ya que aspectos clave, como la mejora en la seguridad marítima, la reducción de riesgos operativos y el cumplimiento de normativas internacionales, son difíciles de cuantificar monetariamente. Sin embargo, los costos de implementación y mantenimiento, como se observa en la Tabla 3.8, proporcionan una base económica para la evaluación.

Estos costos se comparan con los beneficios cualitativos que el proyecto genera, tales como la proyección de una imagen institucional eficiente y moderna, la optimización del consumo energético y la reducción de intervención humana. Este análisis permite justificar la inversión mediante un enfoque de costo-impacto, garantizando que los recursos asignados al proyecto sean utilizados de manera eficiente y estratégica.

### 3.4.2 Comparación de alternativas

El sistema actual basado en controles manuales presenta limitaciones significativas, como la falta de monitoreo continuo y la imposibilidad de detectar fallas de manera oportuna. Comparado con otras soluciones comerciales, el diseño propuesto resulta más económico y adaptado a las necesidades específicas del faro.

### 3.4.3 Indicadores financieros

Normalmente, en la Armada de Chile no se realizan estudios de flujo de caja para determinar la viabilidad de proyectos de menor escala, como en este caso. En su lugar, se analiza el impacto cualitativo que estas iniciativas tienen en la institución, evaluando aspectos críticos como la seguridad del personal, el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales, las mejoras en la eficiencia operativa de los sistemas, y el fortalecimiento de la imagen institucional tanto a nivel nacional como internacional.

Por esta razón, la justificación del proyecto se fundamenta en un enfoque de “costo-impacto”, que valora los aspectos cualitativos positivos de la inversión y permite comparar los costos de implementación con los beneficios estratégicos y operativos obtenidos. Este tipo de análisis es particularmente relevante en proyectos donde los beneficios son difíciles de cuantificar directamente en términos monetarios, pero esenciales para garantizar la sostenibilidad, eficiencia y seguridad operativa del Faro Punta Ángeles.

## 3.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO

El proyecto ofrece múltiples beneficios que van más allá de la simple modernización tecnológica. Entre los principales logros esperados se encuentran la mejora en la eficiencia operativa del faro, el monitoreo constante del consumo energético y la reducción de riesgos

asociados a la operación manual. Asimismo, la automatización de procesos incrementa la fiabilidad del sistema, garantizando una respuesta más rápida ante posibles fallas y optimizando el uso de recursos humanos.

Estos beneficios fortalecen la justificación del proyecto, asegurando que la inversión realizada aporte valor tangible y contribuya a la sostenibilidad operativa del faro.

- **Monitoreo en tiempo real:** Permite obtener datos precisos sobre el consumo eléctrico, facilitando la detección temprana de fallas.
- **Automatización de operaciones:** Reduce la dependencia de intervención humana, optimizando recursos y tiempo.
- **Eficiencia energética:** Contribuye a un mejor control del consumo eléctrico, minimizando gastos operativos.
- **Reducción de riesgos:** La supervisión remota disminuye el riesgo asociado a tareas manuales en condiciones adversas.

### **3.6 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA**

El mantenimiento periódico es una prioridad para garantizar el correcto funcionamiento del sistema a largo plazo. Las actividades de mantenimiento se centran en la revisión y actualización de componentes críticos, asegurando así que el sistema opere de manera eficiente y sin interrupciones.

Entre las actividades clave se destacan la inspección y limpieza de los componentes de hardware, la actualización del firmware del microcontrolador ESP32 y la sustitución de piezas desgastadas. Estas medidas preventivas no solo prolongan la vida útil del sistema, sino que también reducen los costos asociados a reparaciones mayores o fallas inesperadas.

- Periodicidad: Se recomienda realizar inspecciones trimestrales del sistema, enfocándose en la limpieza y revisión de conexiones eléctricas y componentes físicos.
- Actualización de software: Para mantener la seguridad y el rendimiento óptimo del sistema, se sugiere actualizar periódicamente el firmware del ESP32 y las bibliotecas utilizadas.
- Reemplazo de componentes: En caso de desgaste, los componentes como el relé y los cables deben ser reemplazados, considerando su bajo costo y facilidad de adquisición.

### **3.7 VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS**

La vida útil de los equipos utilizados en el proyecto varía según el tipo de componente y las condiciones operativas. Cada elemento ha sido seleccionado cuidadosamente para garantizar una durabilidad adecuada al entorno del Faro Punta Ángeles.

Por ejemplo, el microcontrolador ESP32 y la pantalla LCD tienen una vida útil estimada de más de 8 años, mientras que el sensor de corriente y el relé pueden requerir reemplazos más frecuentes dependiendo de su uso. Estas estimaciones permiten planificar la reposición de componentes y establecer un esquema de mantenimiento que asegure la continuidad operativa del sistema.

A continuación, se detalla una aproximación:

- Microcontrolador ESP32: Su vida útil puede superar los 10 años si se opera dentro de los rangos especificados de voltaje y temperatura.
- Sensor de corriente HTP50SP: Diseñado para soportar condiciones adversas, su vida útil puede alcanzar 5 a 7 años en uso continuo.
- Relé de 12V: Su vida útil dependerá del número de ciclos de operación, estimándose entre 50.000 y 100.000 ciclos.

- Pantalla LCD I2C: Su durabilidad puede extenderse a más de 8 años, dependiendo del tiempo de uso diario.

La vida útil promedio del sistema completo puede estimarse entre 7 y 10 años, sujeto a un mantenimiento adecuado y condiciones operativas óptimas.

### **3.8 SEGURIDAD Y ACCESO**

En el desarrollo del prototipo del sistema de monitoreo y control del Faro Punta Ángeles, se implementaron medidas básicas de seguridad para proteger la comunicación y el acceso, aunque existen oportunidades de mejora.

#### **3.8.1 Medidas implementadas**

- ✓ Protocolo HTTP: Utilizado para la comunicación entre el servidor y los clientes, pero sin encriptación, lo que deja los datos expuestos a riesgos.
- ✓ Autenticación básica: Requiere usuario y contraseña, pero se transmiten en texto plano.
- ✓ Red Wi-Fi local: Acceso restringido a una red cerrada para dispositivos autorizados.

#### **3.8.2 Medidas propuestas**

- ✓ Migrar a HTTPS: Implementar encriptación con certificados SSL/TLS para proteger la comunicación.
- ✓ Mejorar la autenticación: Reemplazar por un sistema con tokens o contraseñas seguras.
- ✓ Restricciones de acceso: Limitar conexiones por direcciones IP y bloquear tras intentos fallidos.

- ✓ Registro de eventos: Incluir un sistema de logs para monitorear accesos y actividades.

### **3.9 CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS**

El análisis económico evidencia que la inversión en la modernización del Faro Punta Ángeles es viable y está alineada con los objetivos de DIRSOMAR. El costo total estimado de **250,988 UF** es razonable considerando los beneficios a largo plazo en términos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad del sistema.

## **CONCLUSIONES**

En base a los análisis obtenidos en el primer capítulo, se determina la mejor solución al problema, la alternativa 3 “Diseñar un sistema de monitoreo y control del encendido/apagado y medición de corriente de consumo del Faro Punta Ángeles”, con la utilización de un microcontrolador y sensor de corriente, debido a los costos asociados son mucho menores al de un PLC, además de poseer la facilidad de obtener el dispositivo en menor tiempo.

El capítulo 2 establece las bases técnicas del proyecto, detallando los modelos conceptuales, los componentes seleccionados y el diseño del prototipo. A través de los diagramas y tablas presentados, se valida la factibilidad técnica de la solución, garantizando que cumple con los objetivos planteados para el Faro Punta Ángeles. La integración de hardware y software asegura un sistema eficiente y escalable que responde a las necesidades operativas y de monitoreo del faro.

Se concluye que este proyecto posee el potencial de ser adaptado y aplicado a cualquier faro que opere con un sistema manual, proporcionando una solución escalable y versátil. Además, el diseño presentado permite futuras mejoras e implementaciones, incluyendo la incorporación de nuevas tecnologías destinadas a optimizar el monitoreo, el control remoto y la integración con sistemas de gestión energética o inteligencia artificial. Estas características aseguran la evolución del sistema en el tiempo, alineándose con las demandas tecnológicas y operativas de futuras aplicaciones.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Libro\_punta\_angeles\_\_1\_.pdf, [En Línea].  
 <[https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20220920/20220920102702/libro\\_punta\\_angeles\\_\\_1\\_.pdf](https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20220920/20220920102702/libro_punta_angeles__1_.pdf)>. [Visitado: Octubre 2024].

DIRECTEMAR. [En Línea]. <<https://www.directemar.cl/directemar/organizacion/mision-y-vision>>. [Visitado: Octubre 2024].

IALA Recommendation E200-0 “On Marine Signal Lights Part 0 – Overview”. Sobre Señales Luminosas Marítimas Parte 0 – Perspectiva general. 1a Edición. Diciembre 2008. [Visitado: Octubre 2024].

Lista de Faros de la Costa de Chile, SHOA PUB. 3007 19ª EDICIÓN 2019, <<https://tienda.shoa.cl/productos/pub-3007/>>. [Visitado: Octubre 2024].

OpenWeatherMap, página para extraer datos meteorológicos y la posición del Faro. [En Línea]. <<https://openweathermap.org/>>. [Visitado: Noviembre 2024].

Software Arduino, [En Línea]. <<https://www.arduino.cc/en/software>>, [Visitado: Noviembre 2024].

MicroSD Card Interfacing with ESP32, [En Línea]. <<https://www.electronicwings.com/esp32/microsd-card-interfacing-with-esp32>>. [Visitado: Diciembre 2024].