

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño y simulación de un sistema de alarmas de inundación en sentinas para la Corbeta Misilera Manabí mediante el software TIA Portal.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electricidad

Presentado por:

Alex Geovanny Silva Velarde

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi papá, Edgar Nolberto Silva Erazo, quién en vida fue mi apoyo incondicional, mi amigo y mi guía en el arduo camino que nos ha tocado recorrer juntos.

.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la Armada del Ecuador, gloriosa institución que me ha permitido formar parte de sus filas, y me ha dado la oportunidad de continuar con mi desarrollo profesional.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Alex Geovanny Silva Velarde* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alex Geovanny Silva Velarde', written over a horizontal line.

Autor

EVALUADORES

.....
M.Sc. Fernando Vaca Urbano

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
M.Sc. Otto Alvarado Moreno

PROFESOR TUTOR

.....
M.Sc. Hector Plaza Velez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto está centrado en el diseño, programación y simulación de un sistema automatizado de alarmas de inundación de sentinas para la Corbeta Misilera Manabí mediante el uso de un controlador lógico programable (Programmable Logic Controller, PLC) S7-1200 de SIEMENS, equipos de periferia, sensores de nivel, y una interfaz hombre-máquina (Human Machine Interface, HMI); mediante un programa en lenguaje escalera en el software de Portal de automatización totalmente integrada (Totally Integrated Automation, TIA) como herramienta para implementar todas las funciones de vigilancia y alarma mostradas en la programación e interfaz con el operador. En cuanto a la parte eléctrica, contempla el dimensionamiento de las bombas de sentinas y protecciones de acuerdo a las condiciones de generación y alimentación de la Corbeta Misilera, diseñando todo el circuito eléctrico de fuerza mediante el software EPLAN Education.

La automatización se propone mediante la implementación de trece sensores de nivel de líquidos en las sentinas, como dispositivos de entrada, ubicados y numerados sobre la quilla del buque de popa a proa, al igual que trece electroválvulas y dos bombas de achique, como dispositivos de salida; mediante estaciones de periferia y un PLC Siemens S7-1200 para el control de la lógica de funcionamiento. Una vez desarrollado la etapa de automatización, se aborda el diseño y dimensionamiento de los diferentes dispositivos y controles que intervienen en el circuito de fuerza, enmarcando los estándares de la Sociedad de Clasificación: Lloyd's Register, y del NFPA-70 para el dimensionamiento de los dispositivos de alimentación y protección eléctrica, junto a su diseño y su ubicación dentro del tablero eléctrico.

Palabras Clave: Sentinas, dimensionamiento eléctrico, S7-1200, TIA Portal, EPLAN Education.

ABSTRACT

This project is about the design, programming, and simulation of an automated bilge flooding alarm system for the Manabí Missile Corvette. It is developed using the usage of a SIEMENS's S7-1200 Programmable Logic Controller (PLC), periphery equipment, level sensors, and a Human Machine Interface (HMI). TIA Portal software and ladder language programming were used to implement the surveillance and alarm functions shown in the programming and interface with the operator. The electrical design consists on dimensioning of the bilge pumps and protections, according to the generation and supply conditions of the Missile Corvette. The power circuit were designed by EPLAN Education software.

The industrial control design considers inputs, outputs as well as control devices. Such as, thirteen labeled liquid level sensors, solenoid valves, bilge pumps, Simatic S7-1200 PLC among other. After the automation stage, the design and sizing of devices and controls of the power circuit is addressed. Classification Society: Lloyd's Register, and the NFPA-70 rule the standards for the dimensioning of the power supply and electrical protection devices, and their location within the electrical panel.

Keywords: *Bilges, electrical dimensioning, S7-1200, TIA Portal, EPLAN Education.*

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| EVALUADORES | 1 |
| RESUMEN | I |
| <i>ABSTRACT</i> | II |
| ÍNDICE GENERAL | III |
| ABREVIATURAS | VII |
| SIMBOLOGÍA..... | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | X |
| ÍNDICE DE TABLAS | XIII |
| CAPITULO 1 | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Descripción del problema | 2 |
| 1.2 Justificación del problema | 2 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 3 |
| 1.4 Alcance del proyecto | 3 |
| CAPÍTULO 2 | 4 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1 Términos y definiciones importantes en el área naval | 4 |
| 2.2 Características técnicas de la Corbeta Misilera “Manabí” | 5 |
| 2.3 Clasificación de las embarcaciones..... | 5 |
| 2.4 Tipos de buques..... | 6 |
| 2.4.1 Mercante..... | 6 |
| 2.4.2 Pasaje..... | 9 |
| 2.4.3 Pesca | 10 |
| 2.4.4 Guerra | 10 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 2.5 | Instalaciones eléctricas en los buques | 12 |
| 2.6 | Estándares para el diseño del sistema eléctrico de un buque | 13 |
| 2.6.1 | Principales componentes del sistema eléctrico en buques | 16 |
| 2.6.2 | Elección de la tensión y frecuencia a utilizar en un buque | 17 |
| 2.6.3 | Circuito de alimentación principal..... | 17 |
| 2.6.4 | Red de alumbrado eléctrico principal | 18 |
| 2.6.5 | Instalaciones de corriente continua..... | 18 |
| 2.7 | Cableados específicos para instalaciones en los buques | 19 |
| 2.8 | Estándares para el servicio de sentinas y sus conexiones | 20 |
| 2.8.1 | General..... | 20 |
| 2.8.2 | Selección de las bombas en servicio de achique y sus conexiones | 20 |
| 2.9 | Selección de la potencia requerida de las bombas de achique | 21 |
| 2.9.1 | Capacidad de bombas (Caudal) | 21 |
| 2.9.2 | Tamaños de las tuberías de succión de sentina | 21 |
| 2.9.3 | Relación entre caudal y velocidad del fluido | 22 |
| 2.9.4 | Pérdida de fricción total en el sistema de tuberías del buque..... | 23 |
| 2.9.5 | Potencia requerida de la bomba de achique | 26 |
| 2.10 | Automatización industrial..... | 27 |
| 2.11 | Controlador lógico programable (PLC) | 28 |
| 2.12 | Sistemas de periferia descentralizada | 29 |
| 2.12.1 | Sistema de periferia descentralizada ET200S | 30 |
| 2.12.2 | Módulo de potencia | 30 |
| 2.13 | Lenguaje de programación “escalera” | 30 |
| CAPÍTULO 3 | | 32 |
| 3. | METODOLOGÍA..... | 32 |
| 3.1 | Enfoque..... | 32 |
| 3.2 | Contexto de la investigación..... | 33 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 3.3 | Diseño utilizado | 33 |
| 3.4 | Procedimientos | 33 |
| 3.5 | Propuesta de control-automatización | 33 |
| 3.5.1 | Modo de operación: Remoto y Local..... | 36 |
| 3.5.2 | Componentes de hardware y software del sistema de control | 38 |
| 3.6 | Propuesta del sistema de fuerza | 39 |
| 3.6.1 | Dimensionamiento de la bomba de achique | 39 |
| 3.6.2 | Selección del motor eléctrico (Bomba de achique) | 40 |
| 3.6.3 | Selección de las protecciones del motor | 40 |
| 3.6.4 | Equipos y Materiales..... | 42 |
| CAPÍTULO 4 | | 43 |
| 4. | RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 43 |
| 4.1 | Propuesta del sistema de control | 43 |
| 4.2 | Alimentación del sistema de control | 44 |
| 4.3 | Diseño del sistema de control en lenguaje escalera | 45 |
| 4.3.1 | Sistema de control con selector “Local” | 46 |
| 4.3.2 | Sistema de control con selector “Remoto” | 49 |
| 4.3.1 | Sistema de control con selector “Manual” | 58 |
| 4.3.2 | Control de alarmas | 59 |
| 4.3.3 | Interfaz HMI para el control y monitoreo del nivel de aguas en sentinas. .. | 60 |
| 4.3.4 | Lista de equipos selecciones-sistema de control | 62 |
| 4.4 | Propuesta del sistema de fuerza | 63 |
| 4.4.1 | Diseño del circuito de fuerza..... | 63 |
| 4.4.2 | Dimensionamiento de la bomba de achique | 67 |
| 4.4.3 | Cálculo de la pérdida de fricción en el sistema de tuberías del buque | 70 |
| 4.4.4 | Cálculo de la potencia requerida por la bomba de achique..... | 72 |
| 4.4.5 | Selección del tipo de arranque..... | 74 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| 4.4.6 | Protecciones eléctricas para arranque directo | 75 |
| 4.4.7 | Dimensionamiento de las protecciones eléctricas del circuito | 75 |
| 4.4.8 | Dimensionamiento de las protecciones eléctricas para el transformador del circuito de control | 77 |
| 4.4.9 | Lista de equipos selecciones-protecciones eléctricas del motor | 78 |
| 4.5 | Diseño del tablero eléctrico | 80 |
| 4.5.1 | Diseño del tablero eléctrico de Popa..... | 80 |
| 4.5.2 | Diseño del tablero eléctrico de Proa | 81 |
| CAPÍTULO 5 | | 82 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 82 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 82 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 83 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 86 |
| 6. | Bibliografía | 86 |
| APÉNDICES | | 88 |

ABREVIATURAS

| | |
|-----|--|
| TPM | Tonelaje de Peso Muerto |
| TRB | Tonelaje de Registro Bruto |
| TEU | Cantidad de contenedores que puede transportar |

SIMBOLOGÍA

| | |
|------------|---|
| V | Voltaje |
| I | Corriente |
| P | Potencia |
| Fp | Factor de potencia |
| IP | Índice de polaridad |
| FS | Factor de servicio |
| Q | Caudal o flujo volumétrico |
| L | Eslora del buque |
| B | Mayor manga del barco |
| D | Profundidad de trazado de la cubierta de mamparo |
| A | Área de la sección |
| Re | Número de Reynolds |
| μ | Densidad del fluido |
| ν | Viscosidad cinemática del fluido |
| f | Factor de fricción de Darcy |
| k_f | Factor de fricción de los accesorios |
| k_{Ex} | Factor de fricción por expansión entre accesorios |
| k_c | Factor de fricción por contracción entre accesorios |
| C_{ff} : | Coefficiente de fricción de accesorios de tuberías |
| A_2 | Valor del área pequeña entre accesorios |
| A_1 | Valor del área grande entre accesorios |
| l | Longitud de la tubería |
| D | Diámetro de la tubería |
| V_2 | Velocidad de fluido final |
| V_1 | Velocidad de fluido inicial |
| h_2 | Altura de desagüe |
| h_1 | Altura de succión |
| p_2 | Presión atmosférica final |
| p_1 | Presión atmosférica inicial |
| E_f | Pérdida de fricción total en el sistema |
| W_B | Trabajo realizado por la bomba de achique |

| | |
|------------|---|
| g | Gravedad |
| ρ | Densidad del fluido |
| P_t | Potencia teórica de la bomba de achique |
| P_{Real} | Potencia real de la bomba de achique |
| η | Eficiencia de la bomba |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Corbeta Misilera "Manabí". | 5 |
| Figura 2.2 Buque tipo Frigorífico. [5] | 7 |
| Figura 2.3 Buque tipo Granelero. [5] | 7 |
| Figura 2.4 Buque Portacontenedores. [5] | 8 |
| Figura 2.5 Buque tipo Petrolero. [5] | 8 |
| Figura 2.6 Buque tipo Ro-Ro. [5] | 9 |
| Figura 2.7 Buque de Pasaje tipo Crucero. [5] | 9 |
| Figura 2.8 Buque tipo Pesquero. [5] | 10 |
| Figura 2.9 Buque de Guerra-Tipo Fragata Misilera. [3] | 11 |
| Figura 2.10 Buque de Guerra-Tipo Corbeta Misilera. [3] | 11 |
| Figura 2.11 Buque de Guerra-Tipo Lancha Misilera. [3] | 12 |
| Figura 2.12 Buque tipo Auxiliar. [3] | 12 |
| Figura 2.13 Designación y características de cables para aplicación marina. [8] | 19 |
| Figura 2.14 Ejemplos de cables utilizados en la industria naval. [8] | 19 |
| Figura 2.15 Diagrama de Moody. [10] | 23 |
| Figura 2.16 Valores de rugosidad equivalentes para tuberías. [10] | 24 |
| Figura 2.17 Valores de pérdidas por fricción de accesorios. [11] | 25 |
| Figura 2.18 PLC Compacto y Modulares. [13] | 29 |
| Figura 2.19 Esquema de contactos KOP. [15] | 30 |
| Figura 2.20 Flujo de corriente en programación KOP. [15] | 31 |
| Figura 3.1 Enfoque Cualitativo. [16] | 32 |
| Figura 3.2 Diagrama de flujo del ciclo de trabajo del sistema de control. | 34 |
| Figura 3.3 Diagrama de flujo del sistema de control-modo remoto y local. | 36 |
| Figura 3.4 Diagrama de flujo del dimensionamiento de la Bomba de Achique. | 39 |
| Figura 3.5 Diagrama de flujo para la selección de protecciones del motor. | 41 |
| Figura 4.1 Dispositivos y redes del sistema de control. | 43 |
| Figura 4.2 Alimentación con módulo para configuración redundante. [20] | 44 |
| Figura 4.3 Módulo de protección selectiva para sobrecarga o cortocircuito. | 44 |
| Figura 4.4 Fuentes de alimentación, módulos de redundancia. [20] | 45 |
| Figura 4.5 Bloque de programa: modo "Local". | 46 |
| Figura 4.6 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#1- 1/2. | 46 |
| Figura 4.7 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#1- 2/2. | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.8 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#2- 1/2. | 48 |
| Figura 4.9 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#2- 2/2. | 49 |
| Figura 4.10 Bloque de programa: modo "Remoto"-1/2. | 49 |
| Figura 4.11 Bloque de programa: modo "Remoto"-2/2. | 50 |
| Figura 4.12 Bloque de programa: modo Remoto; Bomba de achique #1 y #2. | 50 |
| Figura 4.13 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#1; Inicialización. | 50 |
| Figura 4.14 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#2; Transición-1/2. | 51 |
| Figura 4.15 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#2; Transición-2/2. | 52 |
| Figura 4.16 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#3; Transición. | 52 |
| Figura 4.17 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#4; Actuadores-1/2. | 53 |
| Figura 4.18 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#4; Actuadores-2/2. | 54 |
| Figura 4.19 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#1; Inicialización. | 54 |
| Figura 4.20 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#2; Transición. | 55 |
| Figura 4.21 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#3; Transición. | 56 |
| Figura 4.22 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#4; Actuadores-1/2. | 57 |
| Figura 4.23 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#4; Actuadores-2/2. | 58 |
| Figura 4.24 Bloque de programa: modo "Manual"-1/2. | 58 |
| Figura 4.25 Bloque de programa: modo "Manual"-2/2. | 59 |
| Figura 4.26 Bloque de programa: control de alarmas. | 59 |
| Figura 4.27 Bloque de programa: alarmas de las bombas de achique. | 59 |
| Figura 4.28 Interfaz HMI-Imagen de bienvenida. | 60 |
| Figura 4.29 Interfaz HMI-control modo Local. | 60 |
| Figura 4.30 Interfaz HMI-control modo Remoto. | 61 |
| Figura 4.31 Interfaz HMI-Alarmas. | 61 |
| Figura 4.32 Portada del diseño del circuito de fuerza. | 63 |
| Figura 4.33 Diseño del circuito de fuerza. | 63 |
| Figura 4.34 Conexiones de DI/DO/PROFINET del PLC-HMI. | 64 |
| Figura 4.35 Conexiones de DI/DO/PROFINET de las Estaciones de Periferia. | 64 |
| Figura 4.36 Entradas digitales 1/3. | 65 |
| Figura 4.37 Entradas digitales 2/3. | 65 |
| Figura 4.38 Entradas digitales 3/3. | 66 |
| Figura 4.39 Salidas digitales 1/3. | 66 |
| Figura 4.40 Salidas digitales 2/3. | 67 |
| Figura 4.41 Salidas digitales 3/3. | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.42 Obtención de los valores L,B y D de la Corbeta Misilera | 68 |
| Figura 4.43 Cálculo del factor de fricción de Darcy (f)..... | 71 |
| Figura 4.44 Datos de placa del motor (bomba de achique) [3] | 74 |
| Figura 4.45 Combinación de dispositivos para arranque directo. [18]..... | 75 |
| Figura 4.46 Diseño del tablero eléctrico de Popa. | 80 |
| Figura 4.47 Diseño del tablero eléctrico de Proa. | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Partes Principales de un Barco [1] [2]..... | 4 |
| Tabla 2.2 Estándares para el diseño del sistema eléctrico de un buque. [7]..... | 13 |
| Tabla 4.1 Selección de equipos para el sistema de control | 62 |
| Tabla 4.2 Equipos seleccionados-protecciones eléctricas del motor. | 79 |
| Tabla 5.1 Tabla de resultado del dimensionamiento de la bomba de achique | 83 |

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico en un buque varia de complejidad en referencia al tamaño, uso y equipos de la unidad, pudiendo encontrar instalaciones eléctricas tan complejas como las de un buque mercante que requiere de un número mínimo de grupos electrógenos y complejos sistemas de distribución, o tan simples como la de una pequeña embarcación que solo requiere un grupo de baterías y un alternador acoplado al motor principal.

La continua evolución de la tecnología va a la par de su competencia en el mercado. Los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés) forman parte de la tecnología más reciente en los sistemas eléctricos modernos, y son utilizados para automatizar una amplia gama de aplicaciones, funciones y procesos en el área industrial, permitiendo una facilidad de interconexión con diferentes dispositivos como “La Interfaz Hombre-Máquina” (HMI, por sus siglas en inglés) que crea un medio en donde el usuario puede comunicarse con una máquina, así, las operaciones del sistema industrial pueden ser monitoreados y controlados por el operador.

El presente proyecto propone el desarrollo de un sistema de alarmas de inundación de sentinas automatizado por el SIMATIC S7-1200, programado mediante el software TIA PORTAL, que permita el achique de los líquidos que se almacena en los diferentes compartimientos inferiores del buque; por encima de la quilla, llamados sentinas, a fin de que no afecte la estanqueidad del buque. No solo se orienta a la repotenciación del sistema de control, también contempla el dimensionamiento eléctrico de las bombas de sentinas, protecciones eléctricas y contactores, de acuerdo a las condiciones de generación y alimentación propias de la Corbeta Misilera “Manabi”, diseñando todo el circuito eléctrico de fuerza y control, al igual que el tablero eléctrico mediante el software EPLAN EDUCATION, tablero en donde se instalarán todos los controles eléctricos necesarios para ejecutar el sistema en referencia.

1.1 Descripción del problema

En todo buque existirán imbornales, pequeños ductos vinculantes entre los compartimientos, o alguna fisura en la cubierta que permitan la transmisión de líquidos a lo largo de su eslora, y por gravedad terminan facilitando su ingreso al punto más bajo de la unidad. Sea cual sea el ingreso, estos líquidos siempre buscarán los comportamientos inferiores por encima de la quilla, llamados sentinas, y es precisamente ese lugar, donde todos los buques deben lograr agotar recursos y bombear cualquier compartimento estanco que no esté dedicado de manera permanente a contener agua, combustible, aceite o cualquier otro tipo de líquido.

La acumulación de agua y líquidos en las sentinas generan un aumento en el desplazamiento del buque con el paso del tiempo. También, la acumulación de agua en las sentinas sumado al movimiento del buque, al calor del ambiente, la falta de ventilación y en algunas ocasiones, a restos orgánicos; van creando condiciones y problemas graves de salubridad e higiene.

1.2 Justificación del problema

Debido a la obsolescencia tecnológica y económica de algunas unidades de superficie de la Armada del Ecuador, en comparación con su reparación, mantenimiento, y vida útil; existe la necesidad de la creación de procesos de automatización a la vanguardia del avance tecnológico actual, enmarcando su diseño e instalación de acuerdo al escenario real del sistema eléctrico de un buque. Entre las unidades de superficie, tenemos a la Corbeta Misilera "Manabí", unidad que cuenta con ya más de 40 años de servicio en la Armada del Ecuador, a la cual se le ha realizado diferentes proyectos de repotenciación a fin de alargar su vida útil.

En un buque es de vital importancia los sistemas de achique e inundación debido a que sus circuitos de aspiración y trasiego permiten mantener la estanqueidad de la unidad evitando afectaciones en su desplazamiento, y ayudando a evitar la proliferación de condiciones insalubres debido a la acumulación de líquidos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un programa en lenguaje “escalera” que realice el control, alerta e interfaz HMI del nivel de aguas de sentinas con el software de programación TIA Portal.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Describir la configuración del PLC S7-1200 y desarrollar su programa en lenguaje “escalera”.
2. Dimensionar eléctricamente las bombas de sentinas y el tablero eléctrico a utilizarse.
3. Desarrollar la interfaz HMI para el control y monitoreo del nivel de aguas en sentinas.

1.4 Alcance del proyecto

El presente proyecto está centrado en el diseño, programación y simulación de un sistema automatizado de alarmas de inundación de sentinas mediante el uso de un SIMATIC S7-1200, equipos de periferia, sensores de nivel, y un HMI; mediante el software de TIA PORTAL. En cuanto a la parte eléctrica, contempla el dimensionamiento eléctrico de las bombas de sentinas, protecciones eléctricas y contactores, de acuerdo a las condiciones de generación y alimentación de la Corbeta Misilera “Manabí”, diseñando todo el circuito eléctrico de fuerza y control, al igual que el tablero eléctrico mediante el software EPLAN EDUCATION.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

El sistema eléctrico en un buque contempla diferentes estándares para su diseño, dependiendo de su tamaño y equipos requeridos para su funcionamiento. A esto se suma el poco conocimiento en un área nueva de aplicación como es la naval a diferencia del área civil, por consiguiente, este capítulo aborda temas con una introducción al ámbito naval, englobando la investigación de temas relacionados al proyecto.

2.1 Términos y definiciones importantes en el área naval

Tabla 2.1 Partes Principales de un Barco [1] [2].

| | |
|------------------|---|
| Proa | Parte delantera de la nave, con la cual corta las aguas. |
| Popa | Parte posterior de las naves. |
| Línea de Crujía | Es la raya que divide de forma imaginaria nuestra embarcación en dos partes. La trazamos de popa a proa, dividiendo la embarcación por la mitad, por la parte derecha tendríamos estribor y por la parte izquierda babor. |
| Estribor | Costado derecho del navío mirando de popa a proa. |
| Babor | Lado izquierdo de la embarcación, mirando de popa a proa. |
| Eslora del buque | Longitud de éste, medida entre las perpendiculares trazadas en los extremos de la línea de máxima carga de compartimentado. |
| Manga del buque | Anchura máxima de éste fuera de miembros, medida en la línea de máxima carga de compartimentado o por debajo de ella. |
| Puntal | Altura de un buque hasta una determinada cubierta, medida en la cuaderna maestra. Distancia vertical entre el canto alto de la quilla y la intersección de la parte superior del bao con el costado. |
| Quilla | Principal pieza estructural del barco, va de proa a popa en la parte inferior y en su medianía. Es como su columna vertebral, a partir de la cual salen piezas importantes que refuerzan el casco. |

2.2 Características técnicas de la Corbeta Misilera “Manabí”



Figura 2.1 Corbeta Misilera "Manabí".

La Corbeta Misilera “Manabí” posee una dotación de más de 80 hombres con las siguientes características técnicas [3]:

Eslora: 62.30 m.

Manga: 9.30 m.

Puntal: 5.05 m.

Velocidad: 25 nudos

La corbeta posee misiles antisuperficie, antiaéreos, cañones superficie/antiaéreo, torpedos antisubmarinos, cargas de profundidad, que la convierten en un arma disuasiva para defender la soberanía marítima.

2.3 Clasificación de las embarcaciones

En la ingeniería naval las embarcaciones se pueden clasificar en:

- Embarcaciones mayores: con una eslora mayor a 24 metros, considerado “buque”.
- Embarcaciones menores: con una eslora menor a 24 metros.

Estas dos clasificaciones se dividen en otras subdivisiones, siendo uno de los factores más predominantes en su organización la total capacidad volumétrica del buque, es decir, el tonelaje de registro bruto (TRB).

2.4 Tipos de buques

Mientras que no exista definiciones de aplicación universal para los diferentes tipos de buques, en los tratados y convenios internacionales [4] se utilizan normas y descripciones específicas. A continuación, se expone una lista no exhaustiva de los tipos de buques:

- Mercante
- Pasaje
- Pesca
- Guerra
- Deportivos
- Especiales

Debido a la gran cantidad de subdivisiones de tipos de existentes, a continuación, se detalla las más importantes.

2.4.1 Mercante

Buque utilizado para transportar bienes, mercancías y materiales de un puerto a otro, entre su diversidad pueden llegar a ser de tamaños colosales, restringiendo su ingreso solo a determinados puertos. Son los más abundantes y de mayor subdivisión:

- Frigoríficos (Refeers)
- Graneleros (Bulk-carriers)
- Mineraleros (Ore-carriers)
- Portacontenedores (Container)
- Petroleros (Tankers)
- Roll On-Roll (Ro-Ro)

Frigorífico (Refeers)

Buque utilizado en el transporte de cargas refrigeradas, generalmente alimentos y pesca. Posee instalaciones de almacenamiento diseñadas para mantener bajas temperaturas y aislación térmica.



Figura 2.2 Buque tipo Frigorífico. [5]

Graneleros (Bulk-carriers)

De manera general, se considera a todo buque construido con una sola cubierta, tanques laterales tipo tolva en los espacios de carga, tanques en la parte superior de los costados, principalmente para el transporte de carga seca a granel. Entre los graneleros se incluyen mineraleros y buques de carga combinados, entre otros. [1]



Figura 2.3 Buque tipo Granelero. [5]

Portacontenedores

Buques que mueven el comercio internacional mediante el transporte de contenedores de puerto a puerto. Su tamaño se mide por TEU (cantidad de contenedores que pueden transportar), existiendo buques desde 100 hasta 13.000 TEU:



Figura 2.4 Buque Portacontenedores. [5]

Petroleros (Tankers)

Es todo buque construido/adaptado para transportar principalmente hidrocarburos a granel mediante sus compartimientos de carga. También comprende los buques de carga combinados, los "buques tanque para el transporte de sustancias nocivas líquidas" [6] y tal como se definen en [1], cuando transportan cargamento total o parcial de hidrocarburos a granel.



Figura 2.5 Buque tipo Petrolero. [5]

Roll On-Roll (Ro-Ro)

Se define el buque de transbordo rodado como "un buque de pasaje con espacios de carga rodada o espacios de categoría especial. Una de las funciones más importantes de los buques de transbordo rodado es como transbordador de pasajeros / automóviles, particularmente en rutas de mar corta. [1]



Figura 2.6 Buque tipo Ro-Ro. [5]

2.4.2 Pasaje

Se considera a un buque que transporta más de doce pasajeros. Y por pasajero se entiende toda persona que no sea: el capitán, un miembro de la tripulación u otra persona empleada u ocupada a bordo del buque en cualquier cometido relacionado con las actividades del mismo; y un niño de menos de un año. [1]



Figura 2.7 Buque de Pasaje tipo Crucero. [5]

2.4.3 Pesca

Es un buque destinado para la captura de peces, ballenas, focas, morsas u otras especies vivas de la fauna y la flora marinas. [1]



Figura 2.8 Buque tipo Pesquero. [5]

2.4.4 Guerra

Son las naves diseñadas principalmente para realizar operaciones militares, construidos de forma diferente a los buques mercantes. Poseen sistemas de armas, una mayor maniobrabilidad y están preparados para recibir daños en su estructura. Los buques de guerra pertenecen a cada país que enarbolan su bandera:

- Portaviones
- Unidades de superficie de combate
- Auxiliares

El desarrollo de esta sección se delimitará a los buques de guerra que posee la Armada del Ecuador como son las unidades de superficie de combate.

Unidades de superficie de combate

Naves de guerra designadas para el combate en la superficie del agua, cumpliendo misiones ofensivas y defensivas particularmente con sus propias armas, o en conjunto con otras unidades o buques de guerra. Entre

las principales unidades de superficie de combate que posee el país de Ecuador son:

- Fragatas Misileras: destinadas para la guerra antisubmarina y proteger a otros buques:



Figura 2.9 Buque de Guerra-Tipo Fragata Misilera. [3]

- Corbetas Misileras: destinadas para tareas de vigilancia y defensa:



Figura 2.10 Buque de Guerra-Tipo Corbeta Misilera. [3]

- Lanchas Misileras: destinadas para tareas de vigilancia y defensa, su adquisición representa una inversión menor en comparación a corbetas y fragatas.



Figura 2.11 Buque de Guerra-Tipo Lancha Misilera. [3]

Auxiliares

Buques encargados de tareas de logística y apoyo a las naves de combate; abastecimiento de víveres, combustible, municiones, etc.



Figura 2.12 Buque tipo Auxiliar. [3]

2.5 Instalaciones eléctricas en los buques

Las instalaciones eléctricas en un buque pueden enmarcar su diseño y construcción de acuerdo a convenios internacionales vigentes en [4], como son [1] y [6]. Pero hay que recalcar, que estos lineamientos están dados en gran parte para buques de carga y pasaje, mientras que en los buques de guerra se rigen requerimientos adicionales a estos para su construcción, al igual que sus instalaciones, debido a su uso militar. Sin embargo, representan una guía legal vigente a seguir por parte sus estados miembros de los cuales el país de Ecuador forma parte.

Paralelamente, las unidades navales deben cumplir con reglas y regulaciones emitidos particularmente por diferentes instituciones de control como sociedades clasificadoras. Por ejemplo, si un buque requiere de un seguro contra algún riesgo marítimo, es exigencia por parte de la aseguradora que se evalúe el estado óptimo del buque por parte de sociedades clasificadoras, constituyendo así, una forma de control de calidad del buque.

2.6 Estándares para el diseño del sistema eléctrico de un buque

Para la seguridad del buque, tanto en [1], como en los estándares dados por Sociedades de Clasificación, se enmarcan los medios y sistemas que deben ser instalados en un buque.

Tomando como guía la información proporcionada por ASTINAVE en cuanto a la descripción de los requerimientos del sistema eléctrico de un buque en la etapa de planificación, previo a su construcción, se puede describir lo siguiente:

Tabla 2.2 Estándares para el diseño del sistema eléctrico de un buque. [7]

| N°. | Aspecto | Descripción |
|-----|------------------|---|
| 1 | Redes Eléctricas | Contará al menos con las siguientes redes eléctricas: <ol style="list-style-type: none"> 1. 440VAC, 60Hz, trifásico sin neutro. 2. 220VAC, 60Hz, trifásico. 3. 127VAC, 60Hz, trifásico. 4. 24VDC red bipolar, corriente continua, aislada de tierra. 5. Convertidor de frecuencia de 400Hz. El material eléctrico será de aplicación naval cumpliendo los estándares militares aplicables. |
| 2 | Generadores | El grupo de generadores principales tendrá la capacidad de suministrar toda la potencia eléctrica |

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>requerida para cubrir en la más crítica condición de carga:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generadores principales: <ol style="list-style-type: none"> a. El buque dispondrá de al menos 2 generadores principales de trabajo continuo de 440V 60Hz, con operación en paralelo con transferencia automática. b. Control con gobernador electrónico. c. Sistema de precalentamiento eléctrico con sistema de arranque y parada automático en caso de black out o funcionamiento en paralelo. d. Sistemas de alarmas y monitoreo. e. Panel de control montado en el generador. f. Al menos IMO TIERR II. (Los estándares de emisiones de [4] se conocen comúnmente como estándares Tier I, II y III) g. Sistema de enfriamiento por agua de mar. h. Dimensionar para entrar a trabajar a funcionar en un marco óptimo del 80% cuando no entran a funcionar en paralelo. i. Fecha de manufactura no menor al año actual de construcción. 2. Generador de emergencia: <p>Ubicado sobre cubierta de tipo marino enfriado por aire con la capacidad adecuada para alimentar al menos: sistema de navegación, luces de navegación y emergencia, sistemas de comunicaciones del GMDSS, sistema de gobierno y control de maquinaria, áreas</p> |
|--|--|--|

| | | |
|---|---|---|
| | | médicas. Fecha de fabricación no menor al año actual de construcción. |
| 3 | Poder de Tierra | <ol style="list-style-type: none"> 1. (01) toma de poder de tierra. 2. 440VAC, 60Hz, 3+T con aislamiento galvánico. 3. Máxima corriente 250A, con distribución adecuada para suplir las necesidades operativas. 4. Cable de poder de al menos 60m con su respectivo calzo. |
| 4 | Transformadores | Transformadores dimensionados acorde a las necesidades de potencia en cada condición en operación. |
| 5 | Cargadores de baterías y rectificadores | <ol style="list-style-type: none"> 1. Bancos de 24VDC conectados a rectificadores y sistema de carga. 2. Un cargador portátil para las baterías de los botes “rigid-hulled inflatable boat” (RHIB) en cubierta. |
| 6 | UPS | Un sistema de UPS’s en rack para cargas de 230V/127V. |
| 7 | Bancos de Baterías | Contará con bancos de baterías de 24VDC. |
| 8 | Tableros de Distribución | Para operación en ambiente marino con grado de protección IP de acuerdo al área de instalación, con componentes para uso naval. |
| 9 | Cable Eléctrico | <ol style="list-style-type: none"> 1. Los cables eléctricos serán para uso naval apropiadamente asegurados en bandejas. 2. Propiedades del cable: libre de halógenos (IEC 60754-1&2); baja emisión de humos (IEC 61034-1&2); retardante a la llama (IEC 60332-3 CAT.A) o equivalente. 3. La temperatura de operación de los cables va desde los -40°C a los +90°C. |

| | | |
|----|--|---|
| | | 4. Estándares de diseño y pruebas de cable: IEC 60092-376 & IEC 60092-350. |
| 10 | Iluminación Interna | <ol style="list-style-type: none"> 1. Las luminarias serán tipo LED de 120VAC y distribuidas en cantidades necesarias en los comportamientos de la embarcación. 2. Así como luces de cabecera con un tomacorriente y un puerto USB para cada litera en la acomodación. 3. En sala de máquinas se dispondrán luminarias con grado de protección IP64. |
| 11 | Iluminación de Emergencia | Serán tipo LED cumpliendo los estándares militares aplicables y se accionarán automáticamente en caso de un corte de energía. |
| 12 | Iluminación de Orientación | Se contará con luces rojas LED en pasillos internos y áreas de habitabilidad. |
| 13 | Iluminación Externa | Iluminación externa general con luces de inundación LED. Zonas de maniobra con reflectores LED independientes. |
| 14 | Tomacorrientes | Tomacorrientes de 120VAC y 220VAC tipo NEMA, distribuidos en la unidad. |
| 15 | Penetración de cables a mamparos y cubiertas | Los pasos de cables serán con pasa-mamparos y pasa-cubiertas estancos con reducción de interferencia electromagnéticas. |
| 16 | Aterrizamiento | Contarán con aterrizamiento de protección para todo los sistemas y equipos de operen con poder eléctrico. |

2.6.1 Principales componentes del sistema eléctrico en buques

Primeramente, se debe tomar en cuenta que las embarcaciones mayores de 24 metros de eslora se los denomina como buques, y es donde se tiene una mayor generalización de los componentes de su sistema eléctrico. Entre sus principales componentes tenemos: fuentes de generación principal y de emergencia, transformadores, tableros de distribución,

cableado eléctrico, motores eléctricos, sistema de propulsión, sistema de alumbrado principal y de emergencia, equipos de navegación, sistema de gobierno, sistemas de comunicación exterior e interior. En referencia a una estandarización para su instalación en un área naval.

2.6.2 Elección de la tensión y frecuencia a utilizar en un buque

La elección de la tensión y la frecuencia está condicionada principalmente por la corriente empleada en los puertos en los que el buque va a atracar en su recorrido más frecuente. En este caso suponemos que el buque realizará recorridos por Europa, en donde la tensión empleada es de 380 V a 50 Hz. En consecuencia, éstas serán las características de la corriente que se obtendrá en los generadores instalados, en contraposición a la empleada en EE.UU. que es de 440 V a 60 Hz [8].

Entre los diferentes puntos de análisis en [8] como las ventajas del uso de instalaciones de corriente alterna trifásica en los buques frente al uso de instalaciones de corriente continua tenemos los siguientes:

- Analiza la factibilidad de conectarse a las redes de puertos dentro de sus futuros itinerarios de viajes.
- Presentan mayor robustez, mantenimiento más sencillo, menor coste, peso y empacho de los generadores y motores.
- Debido a la posibilidad de utilizar tensiones más elevadas; se tendrá una sección menor de los conductores obtenido un ahorro en cobre.
- Mayor conocimiento del personal a bordo; brindando mayor fiabilidad al mantenimiento preventivo y correctivo.
- La velocidad de régimen no exige un control tan elevado.

Por estas razones, en comparación con su equivalente en corriente continua, se elige instalaciones de corriente eléctrica alterna trifásica.

2.6.3 Circuito de alimentación principal

Se proveerá una fuente de energía eléctrica principal con capacidad suficiente para alimentar todos los servicios mencionados en la Regla

40.1.1. Esta fuente de energía eléctrica principal estará constituida por dos grupos electrógenos cuando menos. [1]

Para la alimentación principal del buque en [8] se va a emplear la corriente que se obtiene directamente de los generadores, niveles de tensión de entre 380 y 440 V a 50 Hz o 60 HZ al igual que una instalación en tierra.

2.6.4 Red de alumbrado eléctrico principal

En [1] se indica que la disposición de la red de alumbrado eléctrico principal será tal que si se produce un incendio u otro siniestro en los espacios en que se hallen la fuente de energía eléctrica principal, el correspondiente equipo transformador, si lo hay, el cuadro de distribución principal y el cuadro de distribución de alumbrado principal, no quede inutilizada la red de alumbrado eléctrico de emergencia prescrita en las Reglas 42.2.1 y 42.2.2 ó 43.2.1, 43.2.2 y 43.2.3.

Por lo general, el sistema de alumbrado se alimenta con una tensión de 220V a 60Hz, frecuencia depende del análisis presentado en la sección 2.4.1, y con la cual se podría conectar el buque a una red de puerto.

2.6.5 Instalaciones de corriente continua

En un buque existe una variedad de equipos que requieren alimentación de corriente continua a 24V, entre los principales tenemos:

- Luces de navegación, señales, morse, etc
- Equipos de navegación.
- Equipos de sistemas de armas (buques de guerra)
- Equipos de comunicación

También existen equipos especiales con una mayor demanda de tensión requeridos por organizaciones particulares. Para obtener 24V CC se puede hacer uso de fuentes de alimentación conmutadas, o mediante el uso de baterías de acumuladores que se cargan de la red trifásica mediante grupos transformadores-rectificadores [8].

2.7 Cableados específicos para instalaciones en los buques

Las especificaciones y características de los cables para una aplicación marina corresponden a una designación en una clave de cinco letras:

| 1ª Letra | 2ª Letra | 3ª Letra | 4ª Letra | 5ª Letra |
|---|--|--|--|----------|
| Aplicación M- Marina | Cubierta interior P- Plomo G- Goma neopreno V- PVC Si- Silicona T - Trenzado fibra vidrio H - Hypalón | Armadura (si existe) F- Fleje de hierro M- Corona de hilos de hierro T- Trenza metálica de hierro. Ta - Trenza metálica de aldrej Tc - Trenza metálica de cobre | | |
| Aislamiento G-Goma EPR V- PVC X- XLPE Si- Silicona | | | Cubierta sobre armadura V - PVC | |

Figura 2.13 Designación y características de cables para aplicación marina. [8]

| | | | |
|-----------------------|---|--|---|
| TIPO/NOMBRE | EXZHELLENT MAR, RDt – Control. | EXZHELLENT MAR; RO2Dt – Instrumentation. | EXZHELLENT-MAR; S2 RFOU(c). |
| TENSIONES | 150/250 V. | 150/250 V. | 250 V. |
| CONDUCTOR | Cobre, semirrígido clase 2. | Cobre, semirrígido clase 2. | Cobre estañado, semirrígido clase 2. |
| AISLAMIENTO | Polietileno reticulado (XLPE). | Polietileno reticulado (XLPE). | Etileno Propileno (EPR). |
| CUBIERTA EXT. | Compuesto termoplástico libre de halógenos (SHF1). | Compuesto termoplástico libre de halógenos (SHF1). | Compuesto termoestable libre de halógenos (SHF2). |
| PANTALLA | ----- | O2. Al/poliéster, pantalla colectiva. | Cinta Cu/Poliéster. Trenzas de alambres de Cu/Sn. |
| APLIC. CARAC. | Cables multiconductores para instalación en buques con especiales características de no propagación del incendio y reducida emisión de humos opacos, gases tóxicos y corrosivos. | Cables multipares apantallados colectivamente para instalación en circuitos de control en buques con especiales características de no propagación del incendio y reducida emisión de humos opacos, gases tóxicos y corrosivos. | Cables armados multipares/multitrisos apantallado colectivamente para instalación de circuitos de control en plataformas con especiales características de no propagación del incendio y reducida emisión de humos opacos, gases tóxicos y corrosivos. Resistente a los aceites. |
| TEMPERATURA | Temperatura máxima del conductor en servicio permanente: 90°C. | Temperatura máxima del conductor en servicio permanente: 90°C. | Temperatura máxima del conductor en servicio permanente: 90°C. |
| NORMATIVA | IEC 60092-350 - Norma constructiva; IEC 60092-376 - Norma constructiva; IEC 60092-351 - Norma constructiva (aislamientos); IEC 60092-359 - Norma constructiva (cubiertas); IEC 60754 - Libre de halógenos. Baja acidez y corrosividad de los gases; IEC 61034 - Baja emisión de humos opacos; IEC 60332-1 - No propagador de la llama; IEC 60332-3-22 - No propagador del incendio, cat. A. | | |
| IMAGEN |  |  |  |

Figura 2.14 Ejemplos de cables utilizados en la industria naval. [8]

2.8 Estándares para el servicio de sentinas y sus conexiones

Para el desarrollo de esta sección se ha tomado como guía a las reglas y regulaciones de la Sociedad de Clasificación: Lloyd's Register-Rulefinder 2021 [9], sección 6; Bombas en el servicio de sentina y sus conexiones:

2.8.1 General

Todos los buques deberán estar provistos de una planta de bombeo eficaz que tenga las succiones y los medios de drenaje dispuestos de manera que el agua de cualquier compartimiento del buque, o cualquier sección estanca de cualquier compartimiento, pueda bombearse a través de al menos una succión. cuando el barco está en una quilla nivelada y está erguido o tiene un escoramiento de no más de 5°. Para este propósito, generalmente serán necesarias las succiones de ala, excepto en compartimentos cortos y estrechos donde una succión puede proporcionar un drenaje efectivo en las condiciones anteriores.

2.8.2 Selección de las bombas en servicio de achique y sus conexiones

Regla 6.1 Número de bombas

6.1.1 En los buques, que no sean de pasaje, con motores de hasta 220 kW, se proveerá al menos una bomba de achique motorizada que pueda funcionar con el motor principal. Además, se deben instalar bombas de succión de mano. En los buques con motores de más de 220 kW, se instalarán al menos dos bombas de achique de potencia en el espacio de máquinas, una de las cuales podrá funcionar con los motores principales y la otra deberá accionarse de forma independiente.

Regla 6.2 Bombas de servicio general

6.2.1 Las bombas de achique requeridas por [9] en el Pt 5, Cap. 11, 6.1 Número de bombas, también se pueden utilizar para tareas de lastre, incendio o servicios generales de carácter intermitente, pero deben estar inmediatamente disponibles para tareas de sentina cuando sea necesario.

Bombas autocebantes

Todas las bombas motorizadas que sean esenciales para los servicios de sentina serán del tipo autocebante.

Conexiones de bomba

Las conexiones en las bombas de achique serán tales que una unidad pueda continuar en funcionamiento cuando la otra unidad se abra para su revisión.

2.9 Selección de la potencia requerida de las bombas de achique

El cálculo del caudal o flujo volumétrico requerido de las bombas de achique se enmarca en el procedimiento establecido de la Sociedad de Clasificación: Lloyd's Register-Rulefinder, al igual que el cálculo requerido del diámetro interno de la línea principal de succión de sentinas, mientras que para el cálculo de la potencia requerida de la bomba de achique se va a hacer uso de la fórmula de balance de energía mecánica:

2.9.1 Capacidad de bombas (Caudal)

La capacidad de cada bomba de achique no será inferior a la requerida por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{5.75}{10^3} d_m^2 \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (2.1)$$

Donde:

Q : caudal; capacidad en $\left[\frac{m^3}{h} \right]$.

d_m : diámetro interno de la línea principal de succión de sentinas, en [mm].

2.9.2 Tamaños de las tuberías de succión de sentina

Línea de sentina principal

El diámetro interno de la línea principal de succión de sentinas (d_m), no será menor que el requerido por la siguiente fórmula, redondeado a los 5 [mm] más cercanos, pero en ningún caso el diámetro será menor que el requerido para cualquier rama de succión de sentina:

$$d_m = 1,5 * \sqrt{L * (B + D)} + 25 \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

Donde:

L: regla de eslora del buque. *L* no debe ser inferior al 96%, y no es necesario que sea superior al 97%, de la eslora extrema en la línea de flotación de carga más profunda, en [m].

B: mayor manga moldeada del barco, en [m].

D: profundidad de trazado de la cubierta de mamparo, en [m].

Succiones de sentina de ramal a los espacios de carga y máquinas

El diámetro (*db*) de los ramales de las tuberías de succión de las líneas de sentina hacia los espacios de carga y máquinas no será menor que el requerido por la siguiente fórmula, redondeado a los 5 [mm] más próximos, pero en ningún caso el diámetro de cualquier succión será menor de 40 [mm]:

$$d_b = 2,0 * \sqrt{C * (B + D)} + 25 \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

Donde:

d_b: diámetro interno de la succión de sentina de la rama, en [mm].

C: longitud del compartimento, en [m].

2.9.3 Relación entre caudal y velocidad del fluido

El caudal o flujo volumétrico es el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado, también se lo puede calcular mediante la relación entre la velocidad del fluido y el área de la sección por donde circula el fluido.

$$Q = V * A \left[\frac{m^3}{seg} \right] \quad (2.4)$$

Donde:

Q: caudal o flujo volumétrico $\left[\frac{m^3}{seg} \right]$.

V: velocidad del fluido $\left[\frac{m}{seg} \right]$.

A: área de la sección $[m^2]$.

2.9.4 Pérdida de fricción total en el sistema de tuberías del buque

El cálculo de la pérdida de fricción se lo realiza mediante la obtención de diferentes valores del sistema, siguiendo el siguiente procedimiento [10]:

1. Interpolarse el valor del factor de fricción de Darcy (f)

Se hace uso del Diagrama de Moody [10]; a fin de encontrar el factor de fricción para flujo turbulento en una tubería circular mediante la interpolación de los valores del número de Reynolds y la rugosidad relativa del sistema en la siguiente figura:

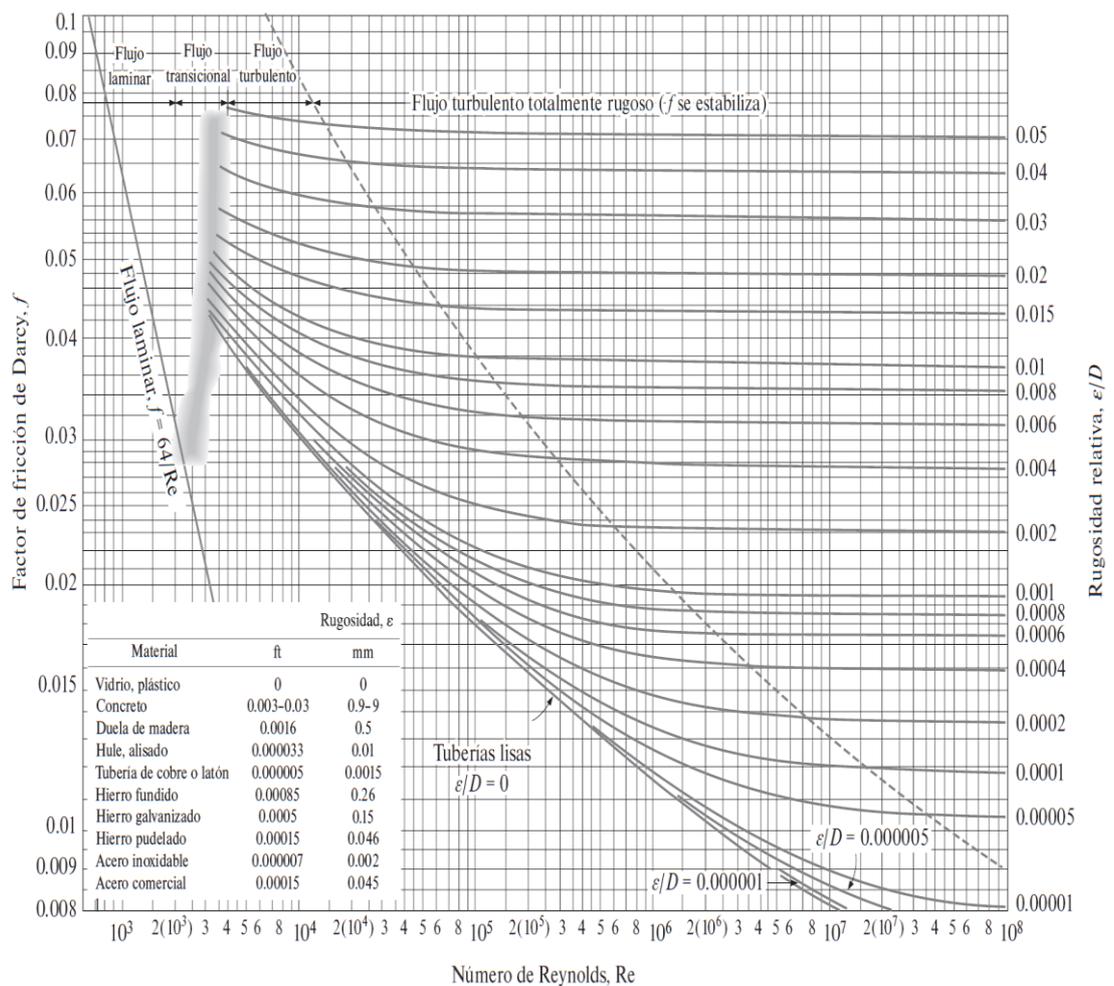


Figura 2.15 Diagrama de Moody. [10]

Número de Reynolds

Número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, y su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento:

$$Re = \frac{\rho * V * \sqrt{A}}{\mu} \quad (2.5)$$

$$Re = \frac{V * \sqrt{A}}{\nu} \quad (2.6)$$

Donde:

ρ : densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

V: velocidad de fluido $\left[\frac{m}{seg}\right]$.

A: área característica altura de desagüe [m].

μ : viscosidad del fluido $\left[\frac{kg}{m*s}\right]$.

ν : viscosidad cinemática del fluido $\left[\frac{m^2}{seg}\right]$.

Rugosidad relativa (ϵ/D)

Es la razón de la altura media de rugosidad de la tubería al diámetro de la tubería. La forma funcional de esta relación no se puede obtener a partir de un análisis teórico, y todos los resultados disponibles se obtienen a partir de experimentos:

TABLA 8-2

Valores de rugosidad equivalentes para tuberías comerciales nuevas*

| Material | Rugosidad ϵ | |
|--------------------------|----------------------|--------|
| | ft | mm |
| Vidrio, plástico | 0 (liso) | |
| Concreto | 0.003-0.03 | 0.9-9 |
| Duela de madera | 0.0016 | 0.5 |
| Hule, alisado | 0.000033 | 0.01 |
| Tubería de cobre o latón | 0.000005 | 0.0015 |
| Hierro fundido | 0.00085 | 0.26 |
| Hierro galvanizado | 0.0005 | 0.15 |
| Hierro forjado | 0.00015 | 0.046 |
| Acero inoxidable | 0.000007 | 0.002 |
| Acero comercial | 0.00015 | 0.045 |

* La incertidumbre en estos valores puede ser hasta ± 60 por ciento.

Figura 2.16 Valores de rugosidad equivalentes para tuberías. [10]

Una vez encontrado el valor del factor de fricción; se necesita calcular las pérdidas adicionales del sistema dado por sus accesorios (codos, válvulas, uniones, etc.):

2. Calcular el factor de fricción de los accesorios

Para encontrar este valor se utiliza la siguiente relación:

$$k_f = \sum C_{ff} * \# \text{ de elementos} \quad (2.7)$$

Donde:

k_f : factor de fricción de los accesorios.

de elementos: cantidad de codos, válvulas, uniones, etc.

C_{ff} : coeficiente de fricción y viene dado por los siguientes valores:

TABLA 2.2 Pérdidas por fricción para uniones estándar.

| Tipo de unión | C_{ff} |
|--|----------|
| Codos gran curvatura | |
| De 45°, fileteado | 0,2 |
| De 90°, con brida | 0,7 |
| De 90°, fileteado | 0,2 |
| De curvatura normal 45°, fileteado | 0,4 |
| De curvatura normal 90°, con brida | 0,3 |
| De curvatura normal 90°, fileteado | 1,5 |
| De retorno 180° | |
| De retorno 180°, con brida | 0,2 |
| De retorno 180°, fileteado | 1,5 |
| Tes | |
| Flujo en te, con brida | 1,0 |
| Flujo de te, fileteado | 2,0 |
| Flujo en línea, con brida | 0,2 |
| Flujo en línea, fileteada | 0,9 |
| Unión, fileteado | |
| | 0,8 |
| Válvulas | |
| En ángulo completamente abierto | 2 |
| De bola cerrada, 1/3 | 5,5 |
| De bola cerrada, 2/3 | 210 |
| De bola completamente abierta | 0,05 |
| De diafragma, abierta | 2,3 |
| De diafragma, 1/4 cerrada | 2,6 |
| De diafragma, 1/2 cerrada | 4,3 |
| De compuerta, 3/4 cerrada | 17 |
| De compuerta, 1/4 cerrada | 0,26 |
| De compuerta, 1/2 | 2,1 |
| De compuerta, completamente abierta | 0,15 |
| De globo, completamente abierta | 10 |
| De doble sentido, flujo en sentido inverso | ∞ |
| De doble sentido, flujo en sentido directo | 2 |

Figura 2.17 Valores de pérdidas por fricción de accesorios. [11]

3. Calcular el valor del factor de fricción por expansión y por contracción entre accesorios

Adicionalmente, se requiere encontrar el factor de las pérdidas de la energía por expansión (k_{Ex}) y por contracción (k_c) del fluido al pasar o atravesar entre los accesorios como por ejemplo tubería-codo-tubería. Como no se ha definido el sistema de tuberías en el presente proyecto, se asume trabajar con un mismo diámetro de tubería, por lo qué, $k_{Ex} = 0$, mientras que el factor de fricción por contracción estará dado mediante la siguiente relación:

$$k_c = 0,55 * \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \quad (2.8)$$

Donde:

k_c : factor de fricción por contracción de fluidos por accesorios.

A_2 : valor del área pequeña entre accesorios.

A_1 : valor del área grande entre accesorios.

Finalmente, se procede a calcular el valor de la pérdida por fricción total en el sistema mediante la siguiente relación:

4. Calcular el valor de la pérdida por fricción total en el sistema

$$E_f = \left(f * \frac{l}{D} + k_{Ex} + k_f + k_c\right) * \frac{V^2}{2} \quad (2.9)$$

Donde:

E_f : pérdida por fricción total en el sistema.

f : factor de fricción de Darcy.

l : longitud de la tubería [m].

D : diámetro de la tubería [m].

k_{Ex} : factor de fricción por expansión entre accesorios.

k_c : factor de fricción por contracción entre accesorios.

k_f : factor de fricción de los accesorios.

V : velocidad de fluido $\left[\frac{m}{seg}\right]$.

2.9.5 Potencia requerida de la bomba de achique

Para el cálculo de la potencia requerida de la bomba de achique se va a hacer uso de la fórmula de balance de energía mecánica:

$$\frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2} + g(h_2 - h_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho} + E_f + W_B = 0 \quad (2.10)$$

Donde:

V_2 : velocidad de fluido final $\left[\frac{m}{seg}\right]$.

V_1 : velocidad de fluido inicial $\left[\frac{m}{seg}\right]$.

h_2 : altura de desagüe [m].

h_1 : altura de succión [m].

p_2 : presión atmosférica final [pascal].

p_1 : presión atmosférica inicial [*pascal*].

E_f : pérdida de fricción total en el sistema $\left[\frac{m^2}{seg^2}\right]$.

W_B : trabajo realizado por la bomba de achique $\left[\frac{J}{kg}\right]$.

g : gravedad $\left[\frac{m}{seg^2}\right]$.

ρ : densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

Obteniendo el valor del trabajo realizado por la bomba de achique W_B que permitirá encontrar el valor de la potencia requerida por la bomba teóricamente:

$$P_t = W_B * (Flujo_{m\acute{a}sico}) [W] \quad (2.11)$$

$$Flujo_{m\acute{a}sico} = \rho * Q \left[\frac{kg}{seg}\right] \quad (2.12)$$

$$P_t = W_B * (\rho * Q)[W] \quad (2.13)$$

Donde:

P_t : potencia teórica de la bomba de achique [*W*].

$Flujo_{m\acute{a}sico}$: es la medida de la masa o peso en unidad de tiempo $\left[\frac{kg}{seg}\right]$.

ρ : densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

Q : caudal o flujo volumétrico $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$.

Finalmente, se puede calcular el valor de la potencia real requerida por la bomba de achique mediante la utilización de la eficiencia de la bomba:

$$P_t = -\eta * P_{Real} [W] \quad (2.14)$$

Donde:

P_{Real} : potencia real de la bomba de achique [*W*]

η : eficiencia de la bomba

2.10 Automatización industrial

La automatización significa hacer que un proceso funcione de forma automática o, en otras palabras, una tecnología que permita el funcionamiento

de máquinas y procesos derivados sin la supervisión continua de un ser humano.

2.11 Controlador lógico programable (PLC)

Es un controlador industrial que recibe señales de entrada y las procesa de acuerdo con la lógica del programa almacenado y envía señales de control en sus terminales de salida [12]:

La arquitectura del PLC está constituida por los siguientes elementos:

1. La Unidad Central de Procesamiento "CPU": Es una unidad basada en microprocesador que procesa datos de acuerdo con cierta "lógica" de programa almacenada en su memoria.
2. Memoria: Todos los programas e instrucciones de la CPU.
3. Sistema de entrada/salida: Los módulos de entrada/salida interconectan los dispositivos de entrada/salida con la CPU del sistema PLC.
4. Líneas de extensión: El número de entradas/salidas, así como los puertos de comunicación, se pueden aumentar mediante el uso de módulos de extensión conectados a líneas de extensión.
5. Fuente de alimentación: La fuente de alimentación convierte el nivel alto tensiones a tensiones de bajo nivel para encender la CPU y los módulos del PLC.

Selección del PLC

Enmarca el análisis del número de señales de entrada y salida capaces de manejar, junto a la complejidad de operaciones que es capaz de realizar:

- Señal de entrada: conjunto de consignas y de realimentaciones que ingresan al controlador.
- Señal de salida: conjunto de señales de control obtenidas del PLC.

Las señales de entrada y salida pueden ser analógicas y/o digitales. Para la selección de equipos, suele ser conveniente un 20% de reserva, tanto de canales de entrada, como de salida para un sistema escalable con futuras expansiones [13].

PLC modular y compacto

Los equipos modulares suelen incluir una CPU, una fuente interna y un mínimo de entradas y salidas. También, prevé la conexión de unidades de expansión para aumentar la cantidad de entradas y salidas. La mayoría de los PLC poseen la característica de ser modulares. Esto significa que el hardware está fragmentado en partes que se pueden interconectar y permiten configurar un sistema a la medida de las necesidades. Los PLC que adoptan la definición de modulares, suelen tener CPU, la fuente de alimentación y los módulos de entrada y salida por separado [13].

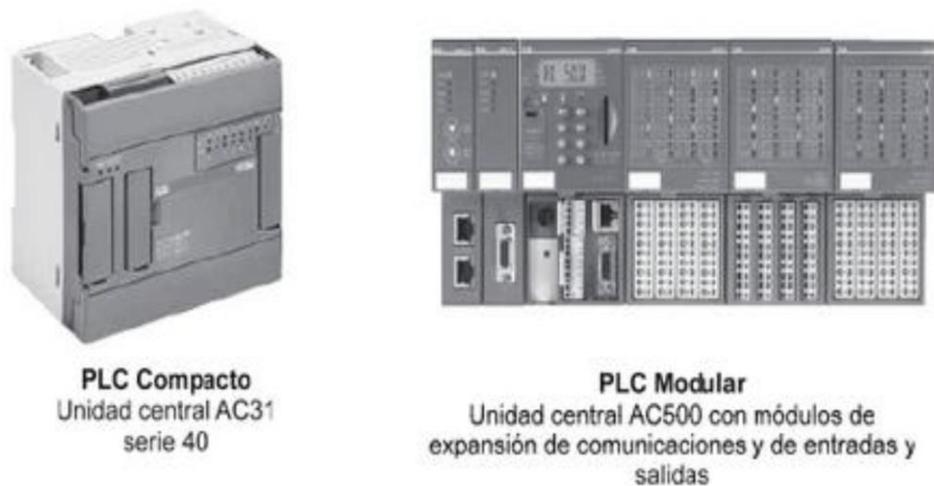


Figura 2.18 PLC Compacto y Modulares. [13]

2.12 Sistemas de periferia descentralizada

Cuando se configura una instalación, generalmente las entradas y salidas del proceso normalmente se suelen integrar en el sistema de automatización de forma centralizada. Si las entradas y salidas se encuentran a una distancia considerable del sistema de automatización, se requerirá un largo tendido de los cables, el cableado será por lo tanto complicado y se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas. Para tales instalaciones, la mejor solución es emplear un sistema de periferia descentralizada:

- La instalación del CPU de control es de forma centralizada.
- Las entradas y salidas, sistemas de periferia, funcionan a pie de proceso de forma descentraliza.

- PROFIBUS DP se encarga de ser el enlace de comunicación entre la CPU de control y equipos/sistemas de periferia con una alta velocidad de transferencia de datos. [14]

2.12.1 Sistema de periferia descentralizada ET200S

El ET200S es un sistema de periferia descentralizada altamente escalable y flexible que permite conectar las señales del proceso a un controlador central a través de un bus de campo. El ET200S soporta los buses de campo PROFIBUS DP y PROFINET IO. El ET200S tiene el grado de protección IP 20. [14]

2.12.2 Módulo de potencia

Permite controlar la alimentación eléctrica o flujo de energía a las cargas. con los siguientes módulos de potencia disponibles:

- Para la alimentación 24, 24-48, 24 a 48 VCC con diagnóstico.
- Para la alimentación 24 a 230 VCA con diagnóstico y fusible. [14]

2.13 Lenguaje de programación “escalera”

El diagrama en escalera, también se lo conoce como diagrama Ladder o diagrama/esquema de contactos (KOP). En [15] KOP es un lenguaje de programación gráfico. Su representación se basa en esquemas de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, así como las bobinas, se combinan para formar segmentos.

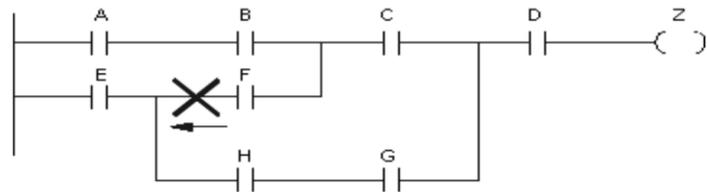


Figura 2.19 Esquema de contactos KOP. [15]

Para crear la lógica de operaciones complejas, es posible insertar ramas para los circuitos paralelos. Las ramas paralelas se abren hacia abajo o se

conectan directamente a la barra de alimentación. Las ramas se terminan hacia arriba. KOP ofrece instrucciones con cuadros para numerosas funciones, p. ej. matemáticas, temporizadores, contadores y transferencia. STEP 7 no limita el número de instrucciones (filas y columnas) de un segmento KOP.

No se permite programar ramas que puedan ocasionar un flujo invertido de la corriente.



- No se permite programar ramas que causen cortocircuitos.

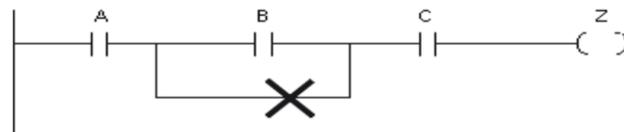


Figura 2.20 Flujo de corriente en programación KOP. [15]

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

En la actualidad existen varias metodologías y enfoques para gestionar el diseño y simulación de sistemas de control y fuerza. La metodología que se desarrolló en este capítulo describe como fue llevada a cabo la investigación teniendo en cuenta un ámbito de aplicación naval.

3.1 Enfoque

Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado un enfoque cualitativo que enmarcó la recopilación y análisis de datos con el fin de revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación, basándose más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas).

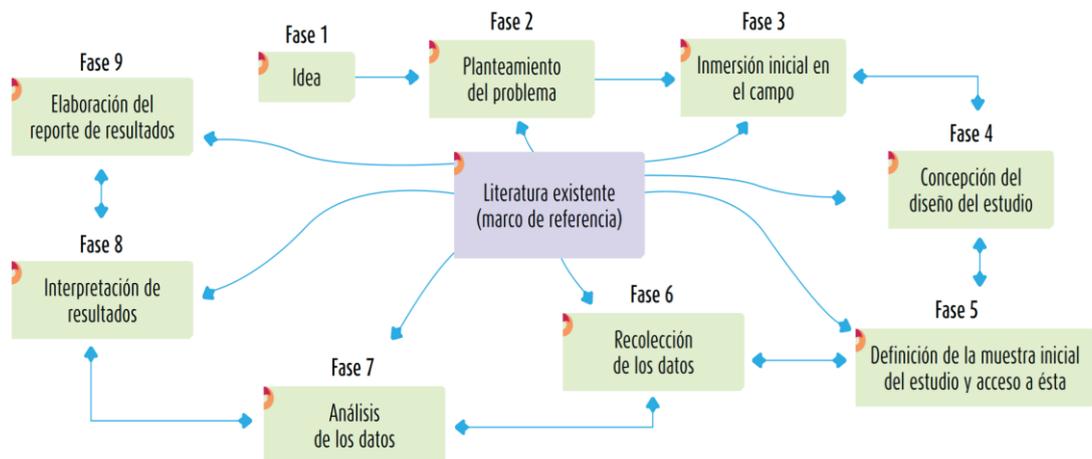


Figura 3.1 Enfoque Cualitativo. [16]

En un estudio cualitativo, el investigador analiza la información recopilada mediante una entrevista y obtiene conclusiones. Subsiguientemente, analiza la información de una segunda entrevista y vuelve a revisar sus conclusiones y resultados. Con igual procedimiento, realiza y analiza más y más entrevistas a fin de encontrar una explicación al fenómeno de su interés. En otras palabras, parte de lo particular para llegar a lo general. [16]

3.2 Contexto de la investigación

La investigación fue realizada en la ciudad de Guayaquil, provincia Guayas, durante el periodo académico comprendido entre octubre del año 2021 a febrero del año 2022, accediendo a información proporcionada por la Armada del Ecuador, y a entrevistas de diferentes profesionales miembros de la institución.

3.3 Diseño utilizado

El trabajo de investigación se enmarcó en un diseño experimental mediante la realización de modelos de estudio de sistemas de control y fuerza en softwares de diseño y simulación respecto a factores con variables independientes.

3.4 Procedimientos

Para el diseño y simulación del sistema de alarmas de inundación mediante lenguaje “escalera” se utilizó el software de siemens TIA PORTAL debido a la gran variedad de herramientas y componentes que la integran [14]. Mientras que para el diseño del sistema de fuerza y control, y tableros eléctricos se ha utilizado el software de Eplan Education [17], su uso fue mediante una licencia estudiantil otorgada por parte de la misma empresa **(Ver Apéndice A)**.

3.5 Propuesta de control-automatización

Entre las primeras actividades se ha optado por realizar diagramas de flujo, representaciones esquemáticas, que permitan establecer los pasos o actividades del proceso de diseño del sistema de alarmas de inundación en sentinas en el cual se va a trabajar, permitiendo entender más fácilmente el proceso en términos de sus actividades; como funciona el proceso, y como debería funcionar el proceso.

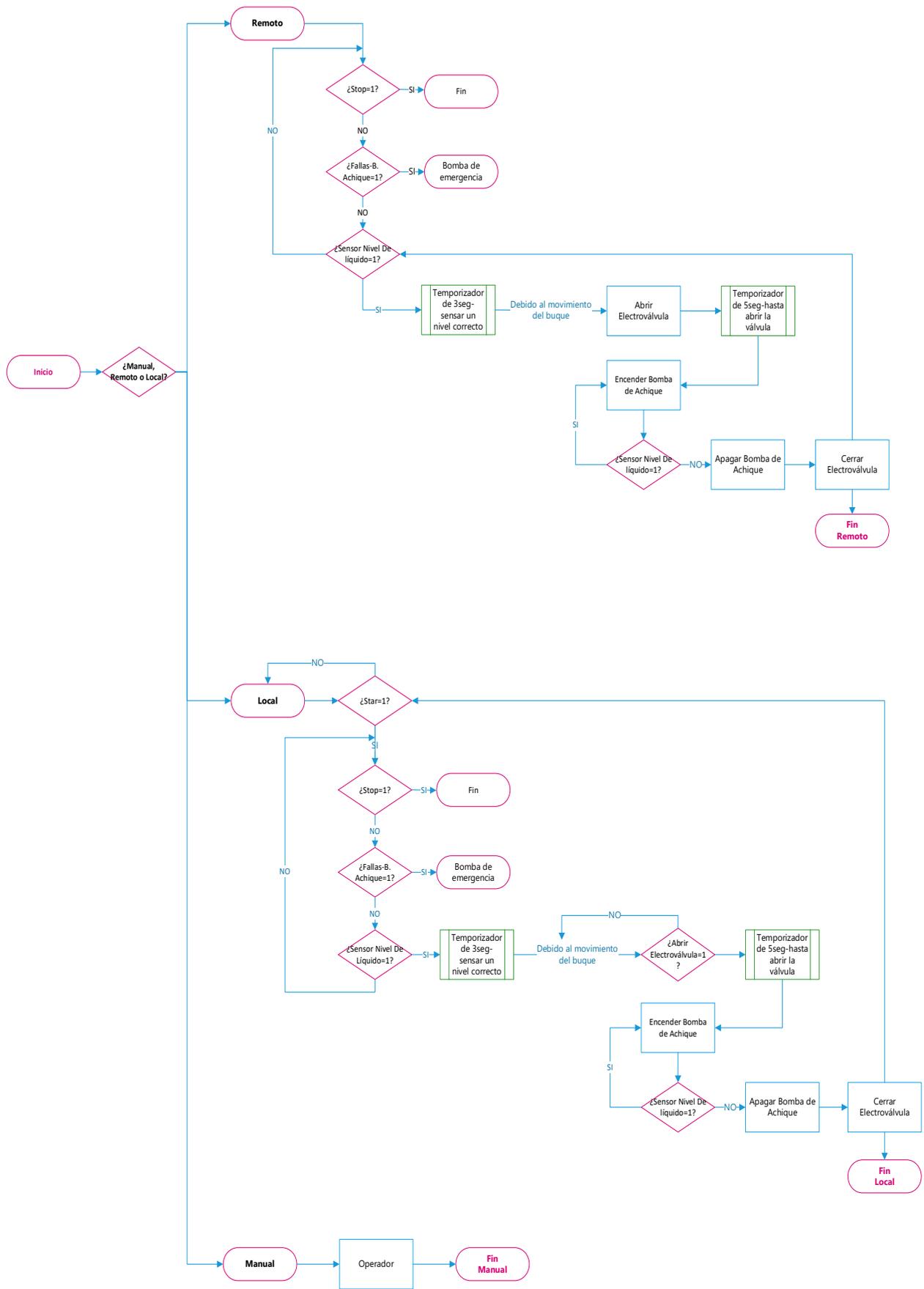


Figura 3.2 Diagrama de flujo del ciclo de trabajo del sistema de control.

En la figura se presenta el ciclo de operación del sistema propuesto en el presente proyecto, que deriva en tres subdivisiones dependiendo de la selección del modo de operación, ya sea manual, remoto o local. En cada subdivisión se encuentra detallado la secuencia de procedimientos que se realiza la propuesta de automatización entorno a sus definiciones:

Modo Manual: solo acepta órdenes realizadas por el operador.

Modo Automático: tienes dos ajustes; local o remoto.

- Local: el operador establece órdenes de secuencias o procesos operación del sistema.
- Remoto: no es necesario la intervención del operador.

Cabe recalcar, que todas las órdenes aceptadas en el modo de control manual se deben aceptar en el modo de control automático al ser un mismo sistema de trabajo.

3.5.1 Modo de operación: Remoto y Local

Si se selecciona los modos de operación remoto o local se va a cumplir con el siguiente ciclo de operaciones:

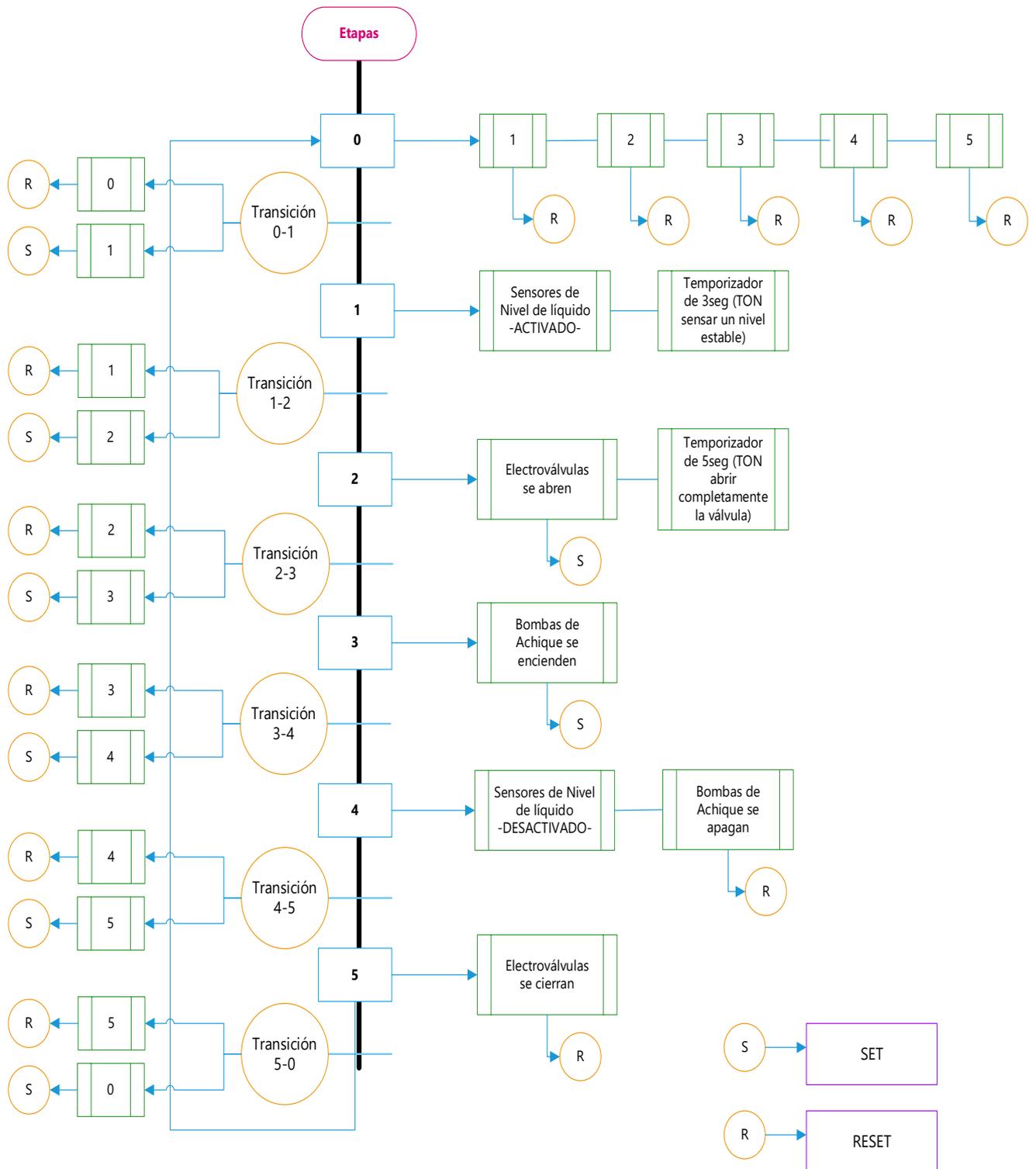


Figura 3.3 Diagrama de flujo del sistema de control-modo remoto y local.

I. Etapa Inicial

En la etapa inicial todos los procesos del ciclo se encuentran en modo desactivado o cero, lo que permite reiniciar el ciclo de operaciones sin memoria las veces que sea necesario durante su funcionamiento.

II. Primera Etapa:

En esta etapa tenemos la conmutación de los sensores de nivel de líquido, que al alcanzar un nivel de líquido programado para su activación generan una señal de activación que dará paso a la siguiente etapa. Debido al constante movimiento de los buques durante una navegación junto a los líquidos almacenados en las sentinas, se ha incorporado un temporizador ON-DELAY que retarda el tiempo de accionamiento de su contactor durante 3 segundos, permitiendo censar un nivel estable de líquidos.

III. Segunda Etapa:

Posterior a la conmutación por parte de los sensores de nivel, se energiza las electroválvulas para abrirlas y permitir el paso de líquidos por sus tuberías. También se incorporó un temporizador ON-DELAY que retarda la conmutación durante 5 segundos antes de continuar a la siguiente etapa debido a que se tiene establecido un intervalo de tiempo para que las electroválvulas se abran completamente.

IV. Tercera Etapa:

Se realiza el accionamiento de las bombas de achique en sus circuitos de aspiración. Deberán permanecer encendidas las bombas hasta que todos los sensores de nivel de líquido dejen de conmutar o censar un nivel alto de líquido en las sentinas.

V. Cuarta Etapa:

Una vez desactivada la conmutación de todos los sensores de nivel de líquido, se procede a conmutar a las electroválvulas respectivas relacionadas a cada sensor para cerrarlas, y posteriormente al apagado de las bombas de achique, dejando sentinas sin acumulación de aguas en sus compartimientos.

VI. Quinta Etapa

Como medida de seguridad al sistema, se procede a verificar que se han cerrados todas las válvulas conmutando nuevamente las electroválvulas para cerrarlas, en caso de que no lo han hecho, y verificando el apagado de las bombas de achique, a fin de que se pueda dar paso al proceso de transición a la etapa cero, en donde se reiniciará el ciclo de operación.

3.5.2 Componentes de hardware y software del sistema de control

Con el manual de SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200 [15]:

Componentes de hardware

En los componentes de hardware tenemos a la CPU que incorpora:

- Un microprocesador y una fuente de alimentación integrada.
- Circuitos de entrada y salida.
- PROFINET integrado.
- E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas.

Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485, RS232, IEC, DNP3 y WDC. [15]

Componentes de software

Utiliza el Software de programación STEP 7; ofrece un entorno confortable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como controladores y

dispositivos HMI. Para poder encontrar la información necesaria, STEP 7 ofrece un completo sistema de ayuda en pantalla.

Al crear un bloque lógico, se debe seleccionar el lenguaje de programación que empleará dicho bloque. El programa de usuario puede emplear bloques lógicos creados con cualquiera de los lenguajes de programación. [15]

3.6 Propuesta del sistema de fuerza

Para comenzar, se ha realizado un levantamiento de información del sistema eléctrico del buque [3] a fin de trabajar con características reales del sistema. Este levantamiento se enmarca específicamente en la alimentación de las bombas de achique, con sus protecciones eléctricas, y para el sistema de control. En el capítulo de resultados se detalla la propuesta realizada.

3.6.1 Dimensionamiento de la bomba de achique

La capacidad de cada bomba de achique [9] no será inferior a la requerida dentro del siguiente análisis:

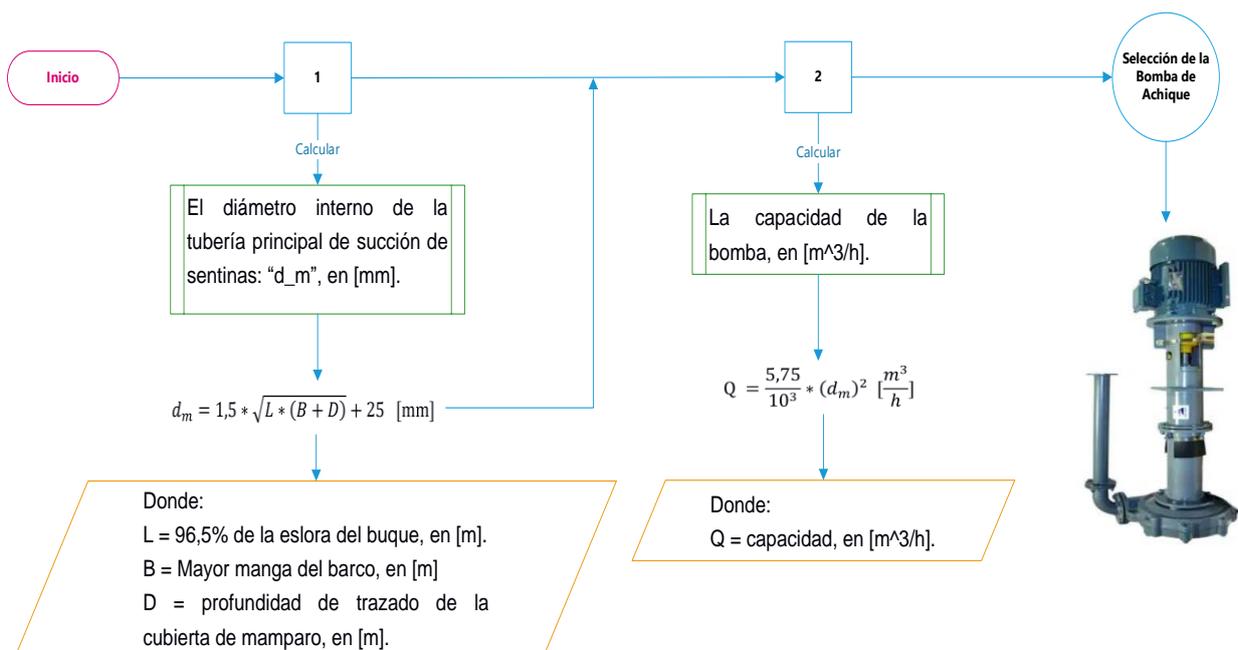


Figura 3.4 Diagrama de flujo del dimensionamiento de la Bomba de Achique.

3.6.2 Selección del motor eléctrico (Bomba de achique)

Mediante la utilización de criterios de selección [18]; existen distintas características a tener en cuenta al seleccionar un motor, algunas básicas y otras optativas:

- Potencia asignada
- Temática energética
- Bobinado y aislamiento
- Velocidad asignada
- Tensión y frecuencia asignada
- Formas constructivas
- Protecciones mecánicas
- Temperatura ambiente

No obstante, solo se va a realizar el dimensionamiento de la bomba de achique mediante el cálculo de potencia requerida, las demás características y parámetros deben ser orientadas a una aplicación naval.

3.6.3 Selección de las protecciones del motor

Se ha enmarcado el diseño y selección de las protecciones eléctricas del motor del NFPA 70 [19] y la combinación de protecciones de arranque directo [18]:

Parte II. Conductores para circuitos de motores

430.21 Generalidades. En la Parte II se especifica la ampacidad de los conductores capaces de conducir la corriente del motor sin sobrecalentarse en las condiciones especificadas.

Las disposiciones de la Parte II no se deben aplicar a circuitos de motores de más de 1000 volts nominales.

Nota Informativa: Para más de 1000 volts nominales, ver Parte XI.

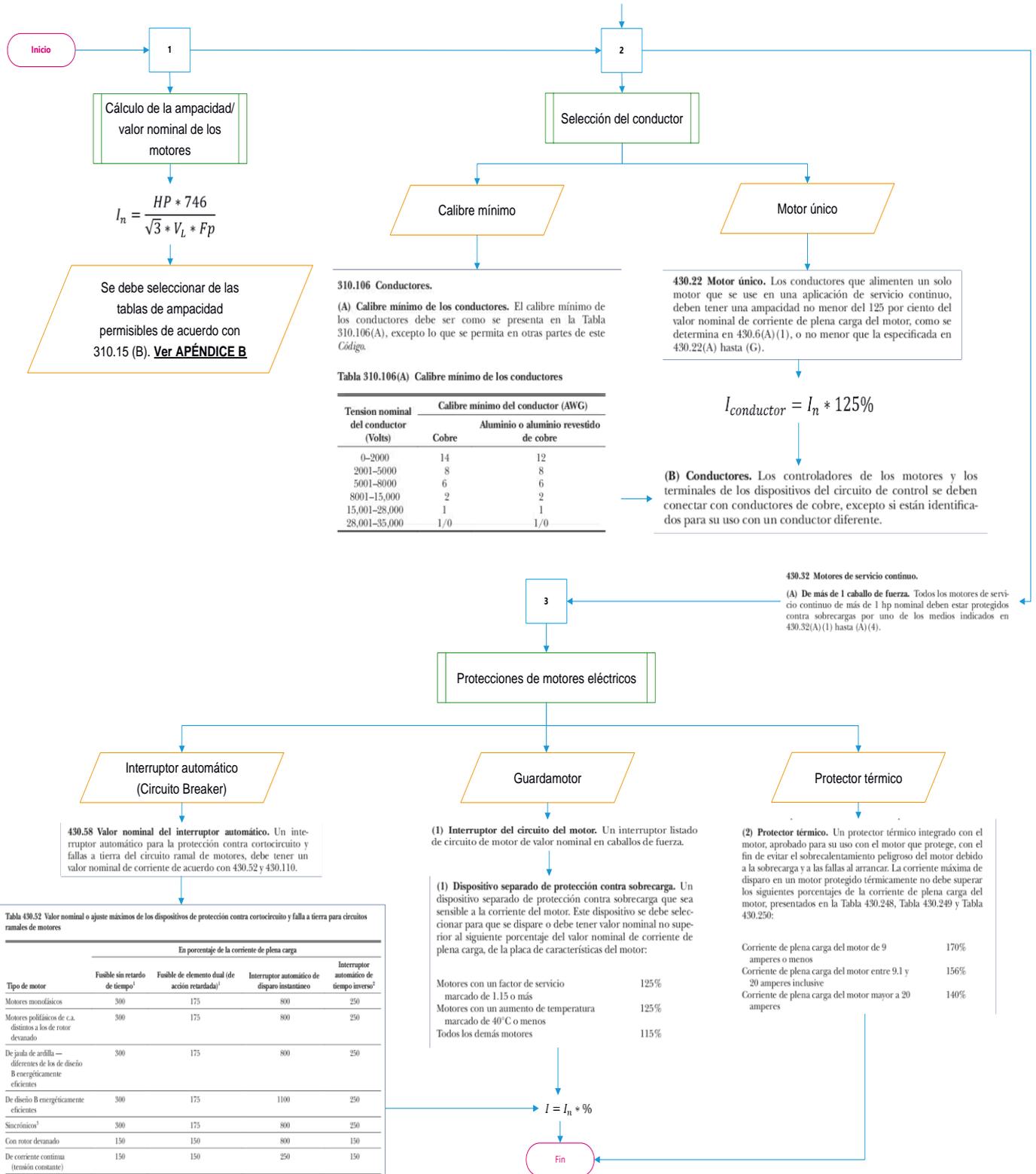


Figura 3.5 Diagrama de flujo para la selección de protecciones del motor.

3.6.4 Equipos y Materiales

El proyecto establece el diseño y simulación de un sistema de control y fuerza, por consiguiente, solo requiere la utilización de softwares de simulación como TIA PORTAL y EPLAN EDUCATION. En cuanto a la selección de equipos para el diseño, se ha enmarcado a su homologación en el sector Naval como la gama industrial SIRIUS de SIEMENS; con una vida eléctrica extremadamente larga, bajo las más duras condiciones de trabajo.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados que se muestran en el presente capítulo recopilan la información precedente del marco teórico y la enlaza con los procedimientos establecidos en la metodología para el desarrollo de cada una de las secciones.

4.1 Propuesta del sistema de control

Se utilizaron 13 sensores de nivel de líquidos en las sentinas, como dispositivos de entrada; ubicados y numerados sobre la quilla del buque de popa a proa, al igual que 13 electroválvulas y 02 bombas de achique como dispositivos de salida:

- Popa: 07 sensores, 07 electroválvulas y 01 bomba de achique van a estar conectados a la estación de periferia ET-200S (IO-Device_1).
- Proa: 06 sensores, 06 electroválvulas y 01 bomba de achique van a estar conectados a la estación de periferia ET-200S (IO-Device_2).
- Los dispositivos ET-200S van a estar conectados con un PLC S7-1200 y un HMI mediante un cable de red (Ethernet).

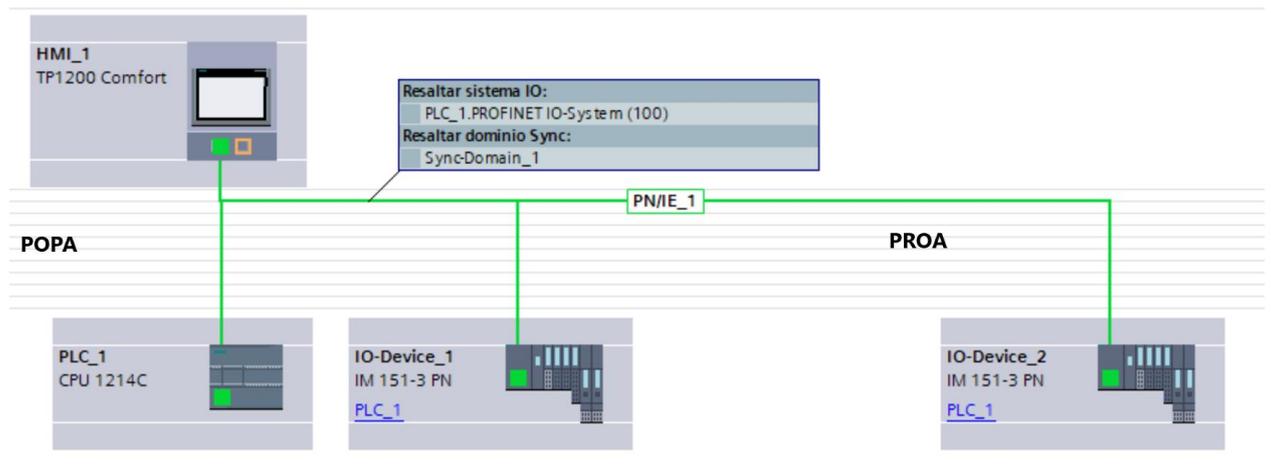


Figura 4.1 Dispositivos y redes del sistema de control.

4.2 Alimentación del sistema de control

Para la alimentación del sistema se ha considerado dos fuentes de alimentación de 120VAC/24VDC y la incorporación de un módulo de redundancia para alimentación siguiendo el siguiente esquema:

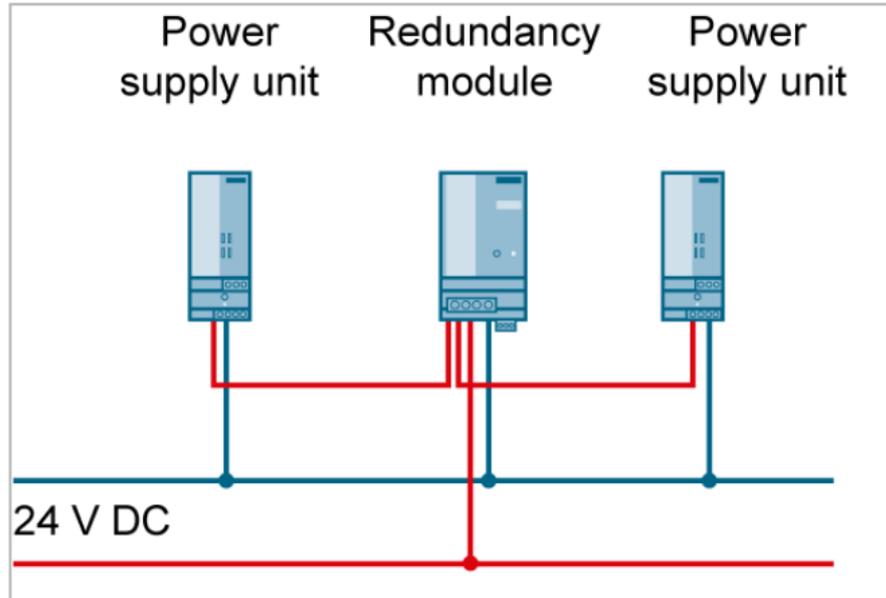


Figura 4.2 Alimentación con módulo para configuración redundante. [20]

Mientras que para la protección del sistema de alimentación se ha considerado un módulo protección selectiva que permita detectar los fallos debidos a sobrecarga o cortocircuito en derivaciones concretas a fin de que se desconecten de forma selectiva siguiendo el siguiente esquema:

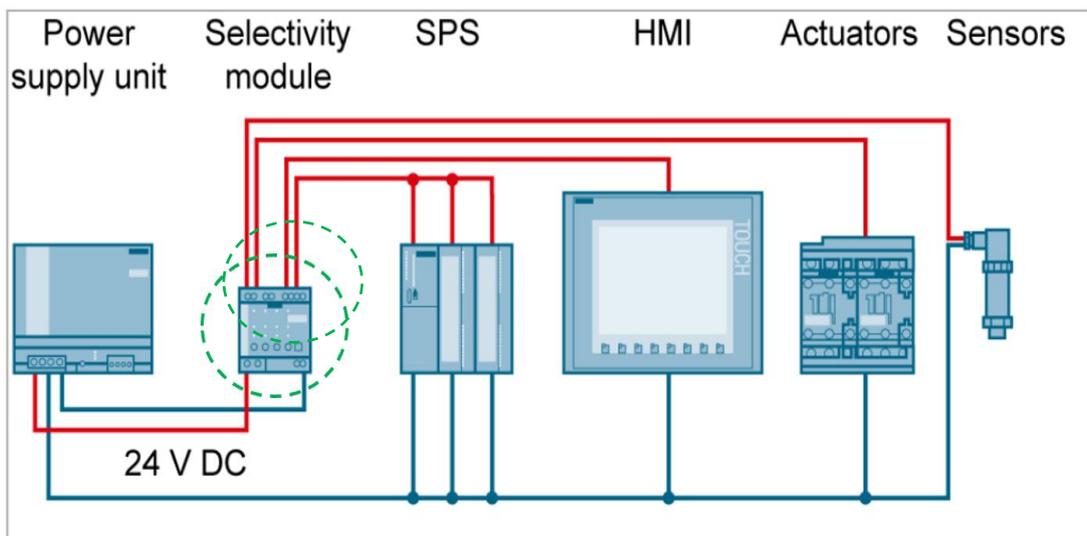


Figura 4.3 Módulo de protección selectiva para sobrecarga o cortocircuito.

A continuación, se presenta un ejemplo de la selección de los equipos necesarios para la alimentación del sistema de control mediante el programa TIA Selection Tool. Cabe recalcar, que los equipos deben ser seleccionados con homologación al sector naval:

Fuente de alimentación seleccionada

2x SITOP PSU100L/1AC/DC24V/5A



6EP1333-1LB00

SITOP PSU100L 24 V/5 A Fuente de alimentación estabilizada entrada: AC 120/230 V salida: DC 24 V/5 A

 Industry Online Support

Módulo de redundancia adecuado

1x SITOP PSE202U/M.REDUNDANCIA/DC24V/10A



6EP1964-2BA00

SITOP PSE202U 10A módulo de redundancia Entrada/salida: 24 V DC apto para desacoplar dos fuentes de alimentación SITOP con una intensidad de salida de 5 A máx. cada una

 Industry Online Support

Módulo para la protección selectiva

1x SITOP PSE200U/4X0.5-3A/ACS



6EP1961-2BA31

SITOP PSE200U 3 A Módulo de corte selectivo de 4 canales entrada: DC 24 V/12 A salida: DC 24 V/4x 3 A Umbral ajustable 0,5-3 A con aviso de estado para cada salida

 Industry Online Support

Figura 4.4 Fuentes de alimentación, módulos de redundancia. [20]

4.3 Diseño del sistema de control en lenguaje escalera

Mediante un PLC S7-1200 se ha desarrollado los bloques de programa para un sistema de control mediante sus diferentes modos de operación:

4.3.1 Sistema de control con selector "Local"

Segmento 1: Modo LOCAL

Mediante HMI

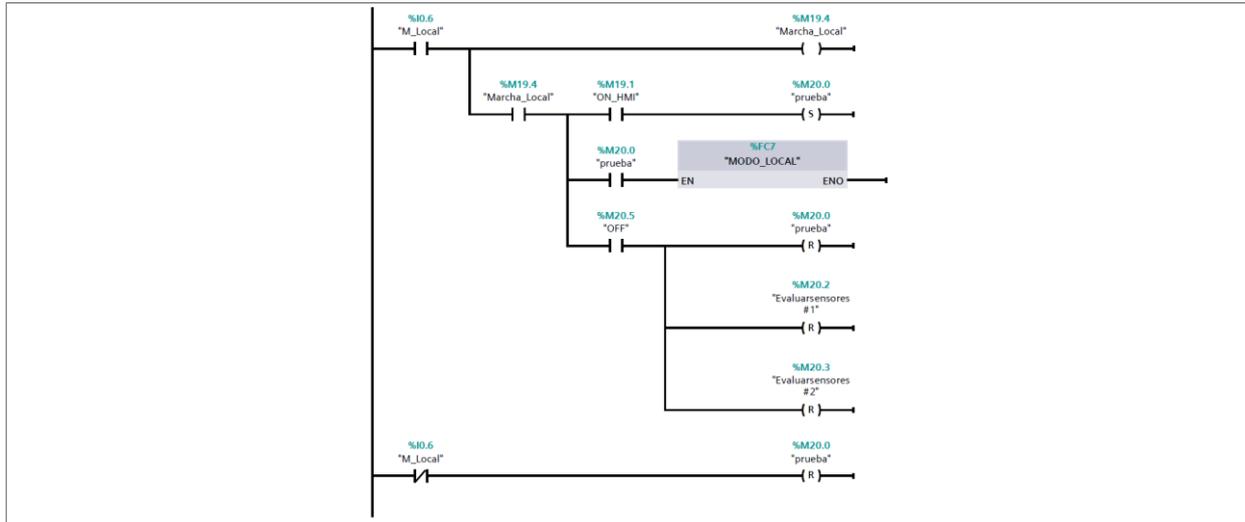


Figura 4.5 Bloque de programa: modo "Local".

M_Local Bomba#1 [FC10]

Segmento 1: Accionamiento de válvulas y el motor

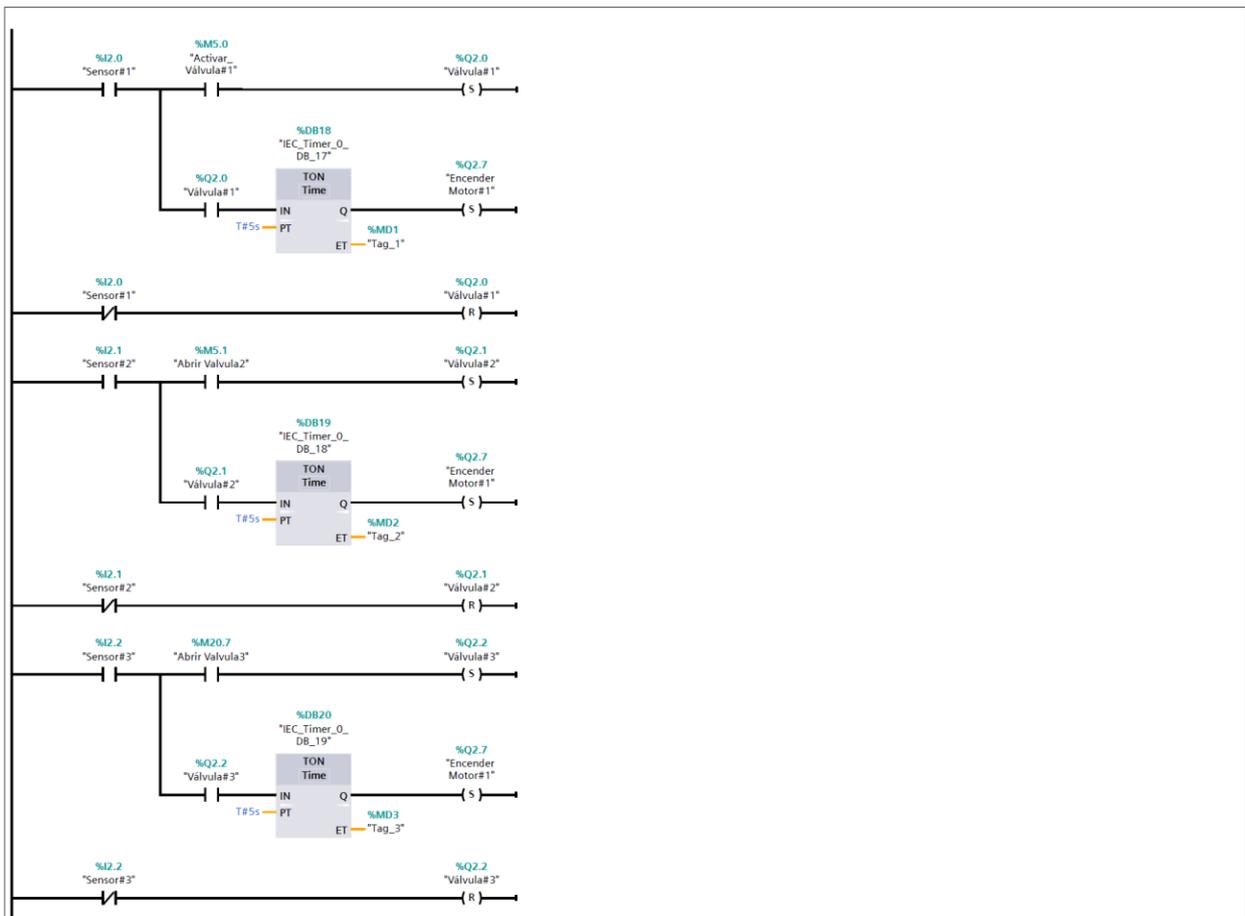


Figura 4.6 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#1- 1/2.

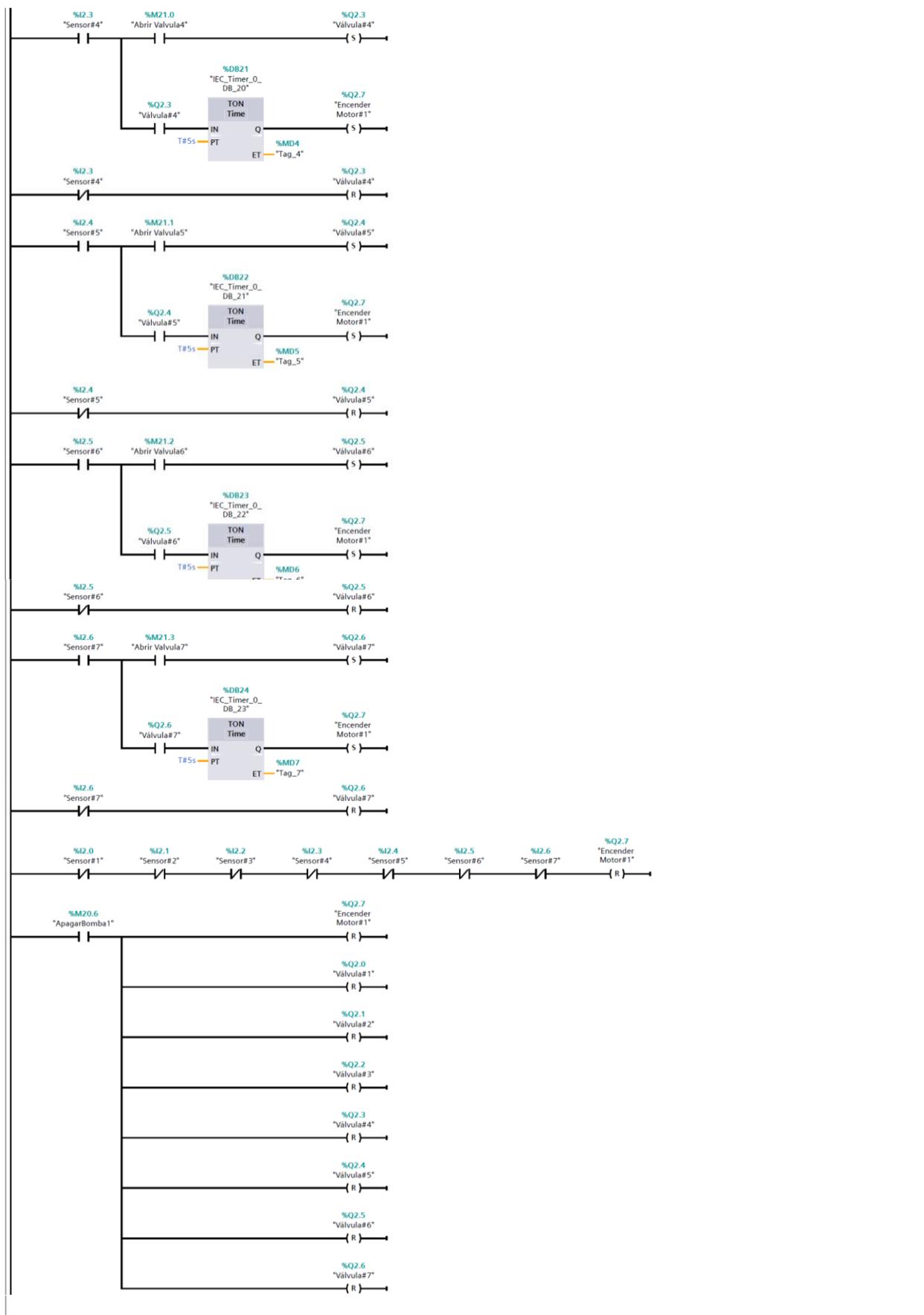


Figura 4.7 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#1- 2/2.

M_Local Bomba#2 [FC11]

Segmento 1: Accionamiento de válvulas y el motor

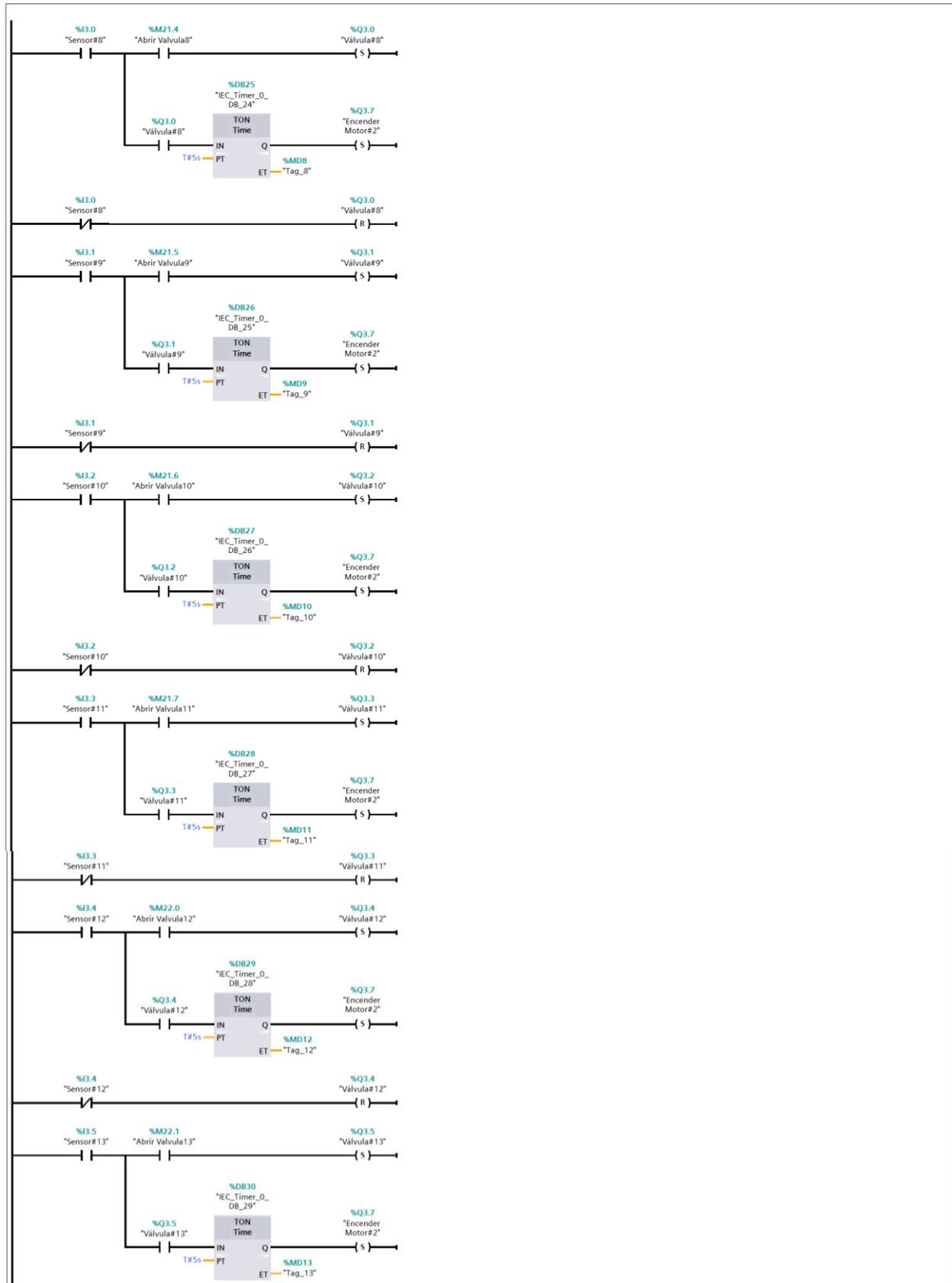


Figura 4.8 Bloque de programa: modo "Local"; Bomba de achique#2- 1/2.

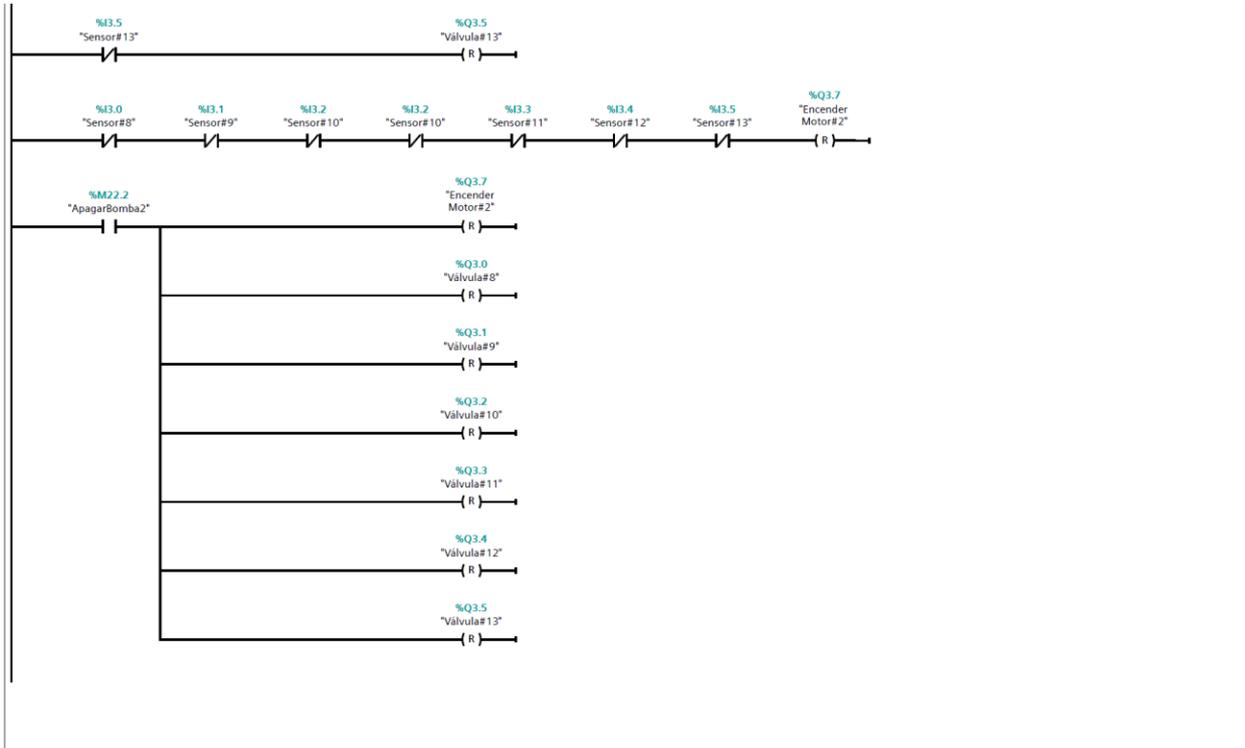


Figura 4.9 Bloque de programa: modo “Local”; Bomba de achique#2- 2/2.

4.3.2 Sistema de control con selector “Remoto”

Segmento 2: Modo REMOTO

Automático HMI

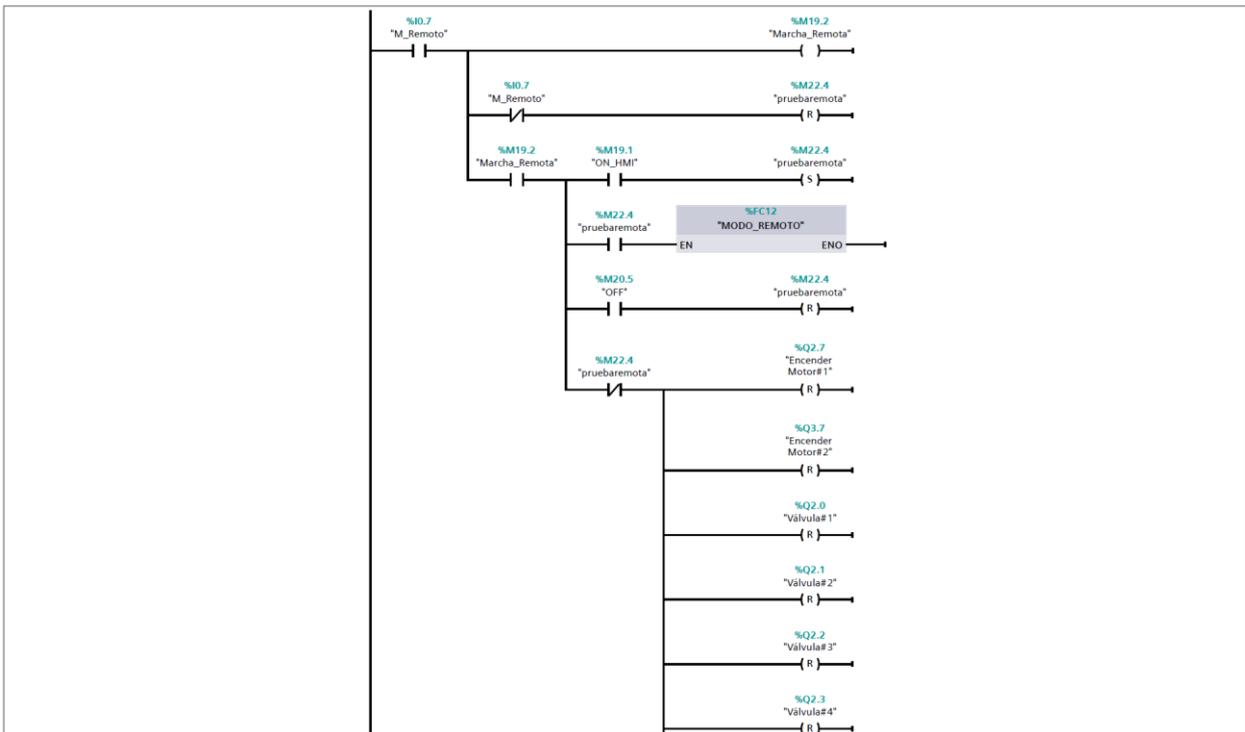


Figura 4.10 Bloque de programa: modo “Remoto”-1/2.

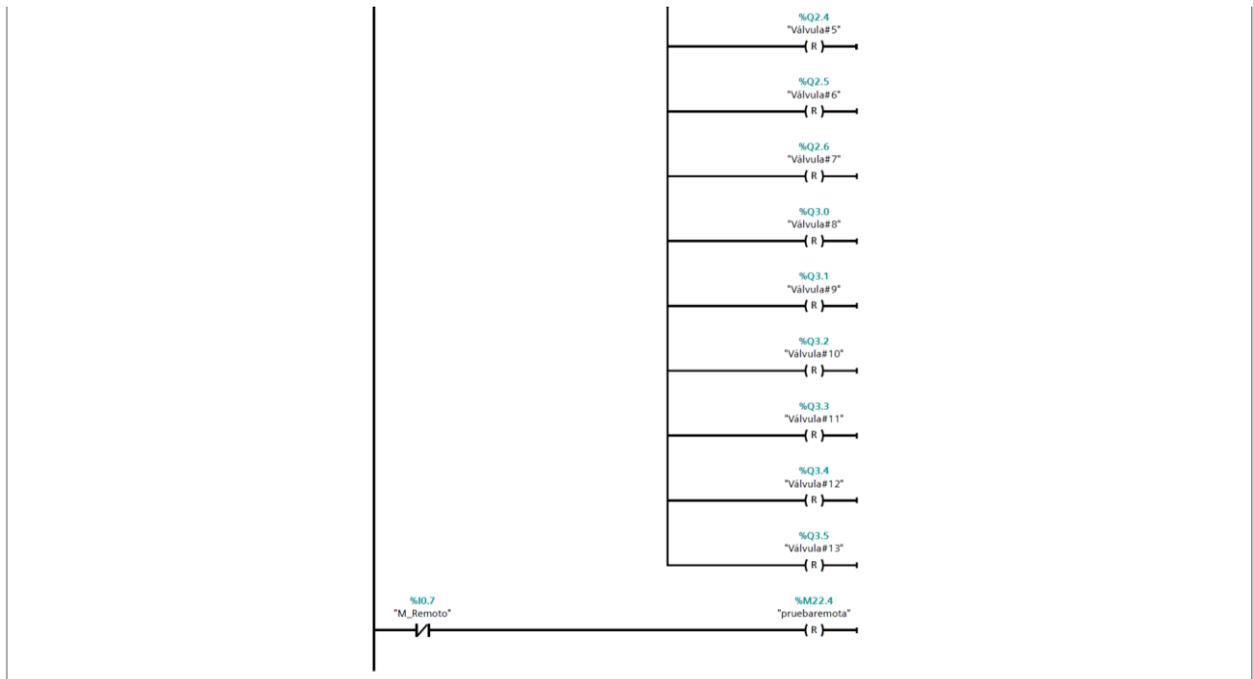
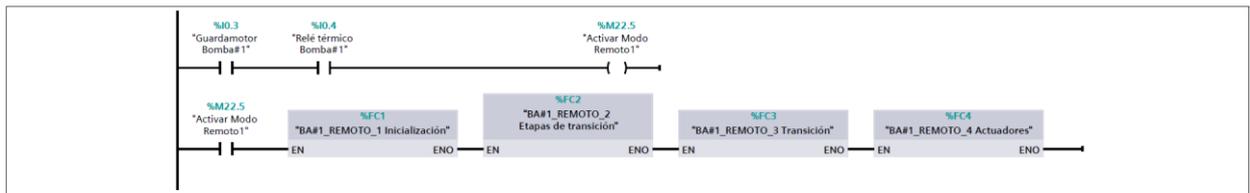


Figura 4.11 Bloque de programa: modo "Remoto"-2/2.

MODO_REMOTO [FC12]

Segmento 1: Modo Remoto B. Achique #1



Segmento 2: Modo Remoto B. Achique #2

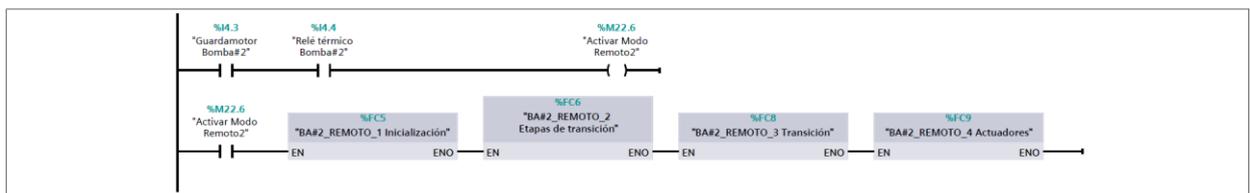


Figura 4.12 Bloque de programa: modo Remoto; Bomba de achique #1 y #2.

BA#1_REMOTO_1 Inicialización [FC1]

Segmento 1: Etapa #0



Figura 4.13 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#1; Inicialización.

BA#1_REMOTO_2 Etapas de transición [FC2]

Segmento 1: Transición entre etapas

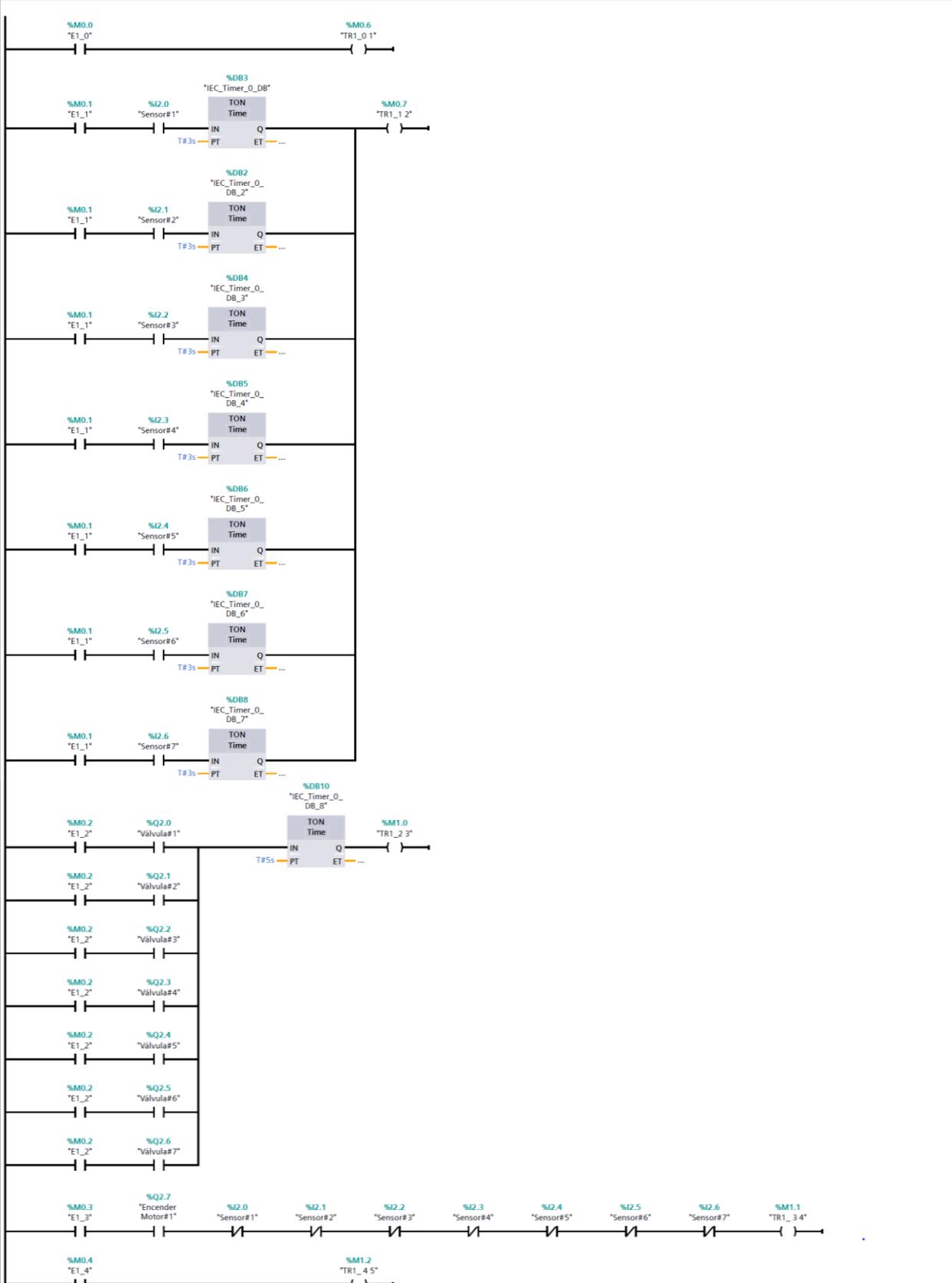


Figura 4.14 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#2; Transición-1/2.

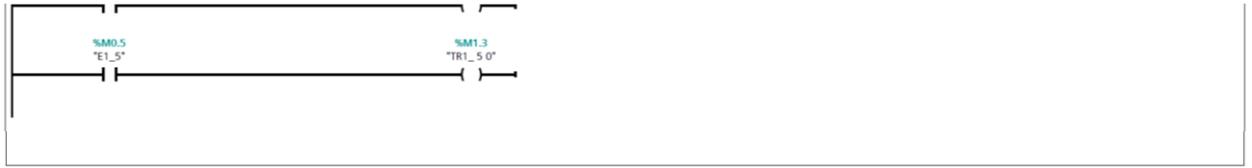


Figura 4.15 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#2; Transición-2/2.

BA#1_REMOTO_3 Transición [FC3]

Segmento 1: Etapa #0

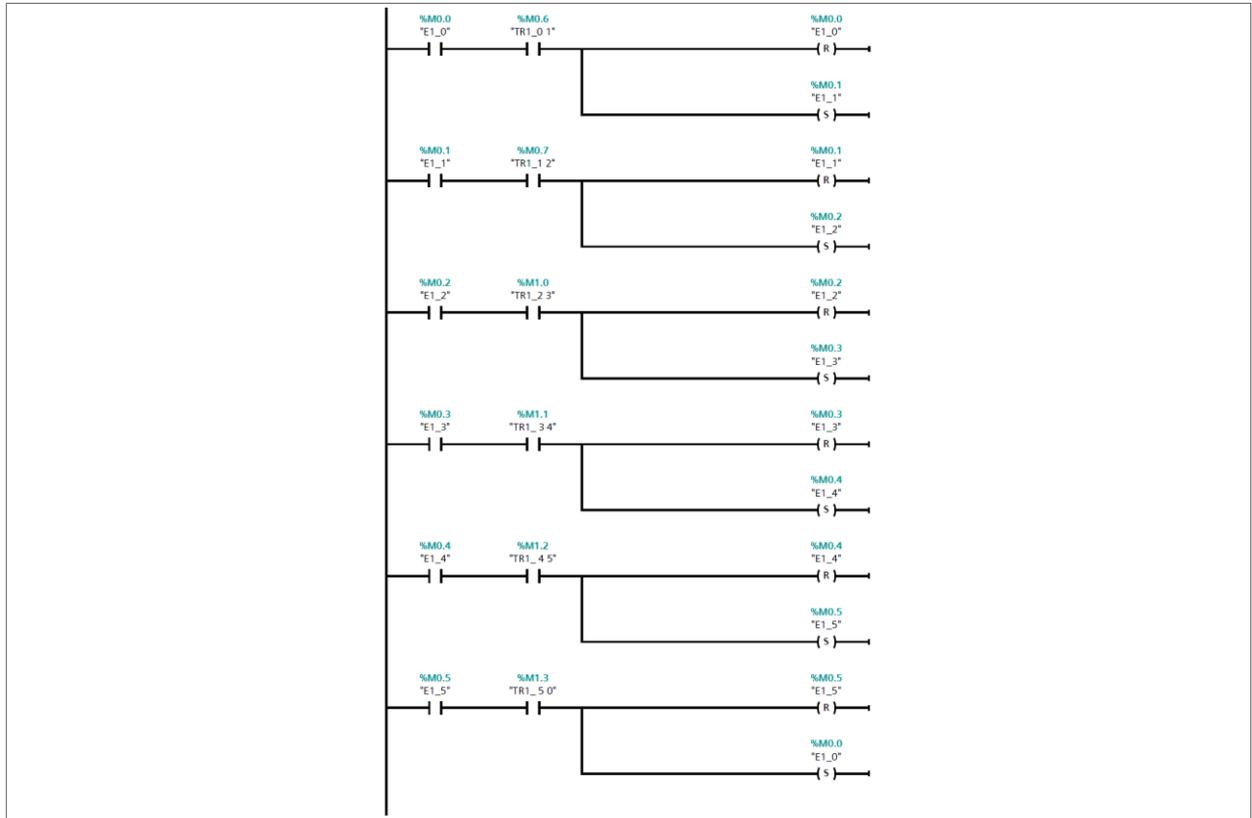


Figura 4.16 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#3; Transición.

BA#1_REMOTO_4 Actuadores [FC4]

Segmento 1: Actuadores sobre válvulas y motor

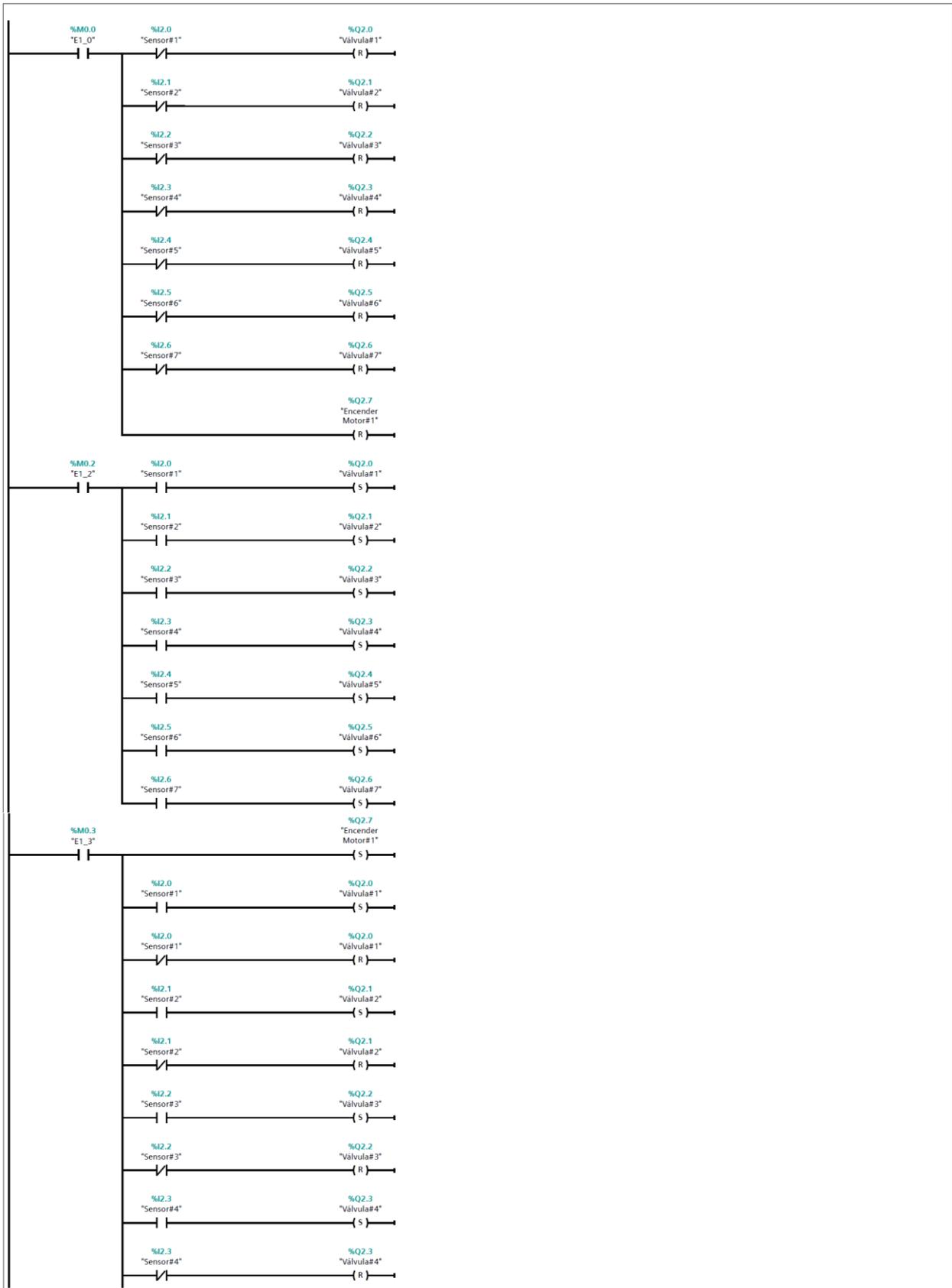


Figura 4.17 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#4; Actuadores-1/2.

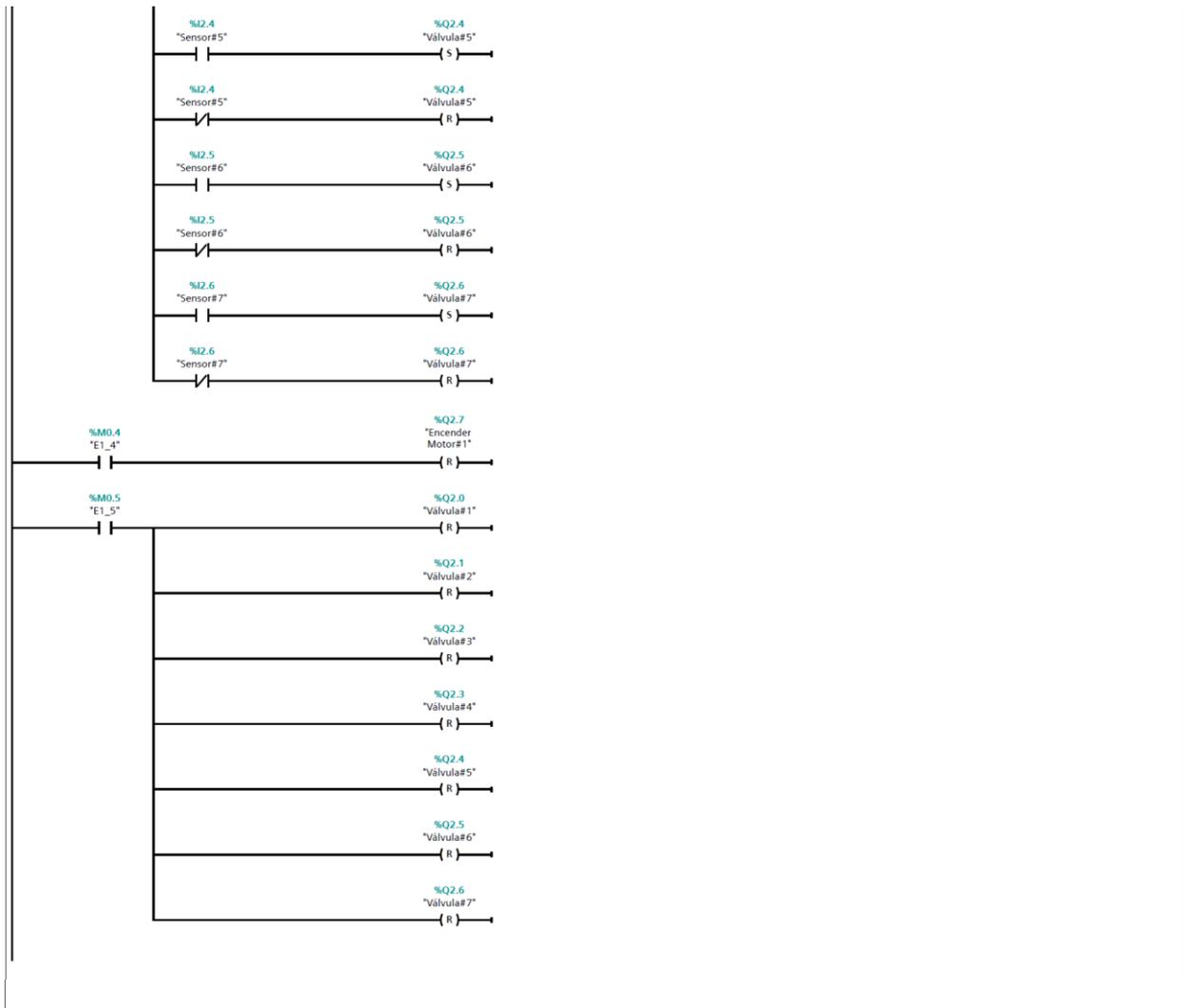


Figura 4.18 Bloque de programa: modo Remoto_BA#1_Etapa#4; Actuadores-2/2.

BA#2_REMOTO_1 Inicialización [FC5]

Segmento 1: Etapa #0



Figura 4.19 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#1; Inicialización.

BA#2_REMOTO_2 Etapas de transición [FC6]

Segmento 1: Transición entre etapas

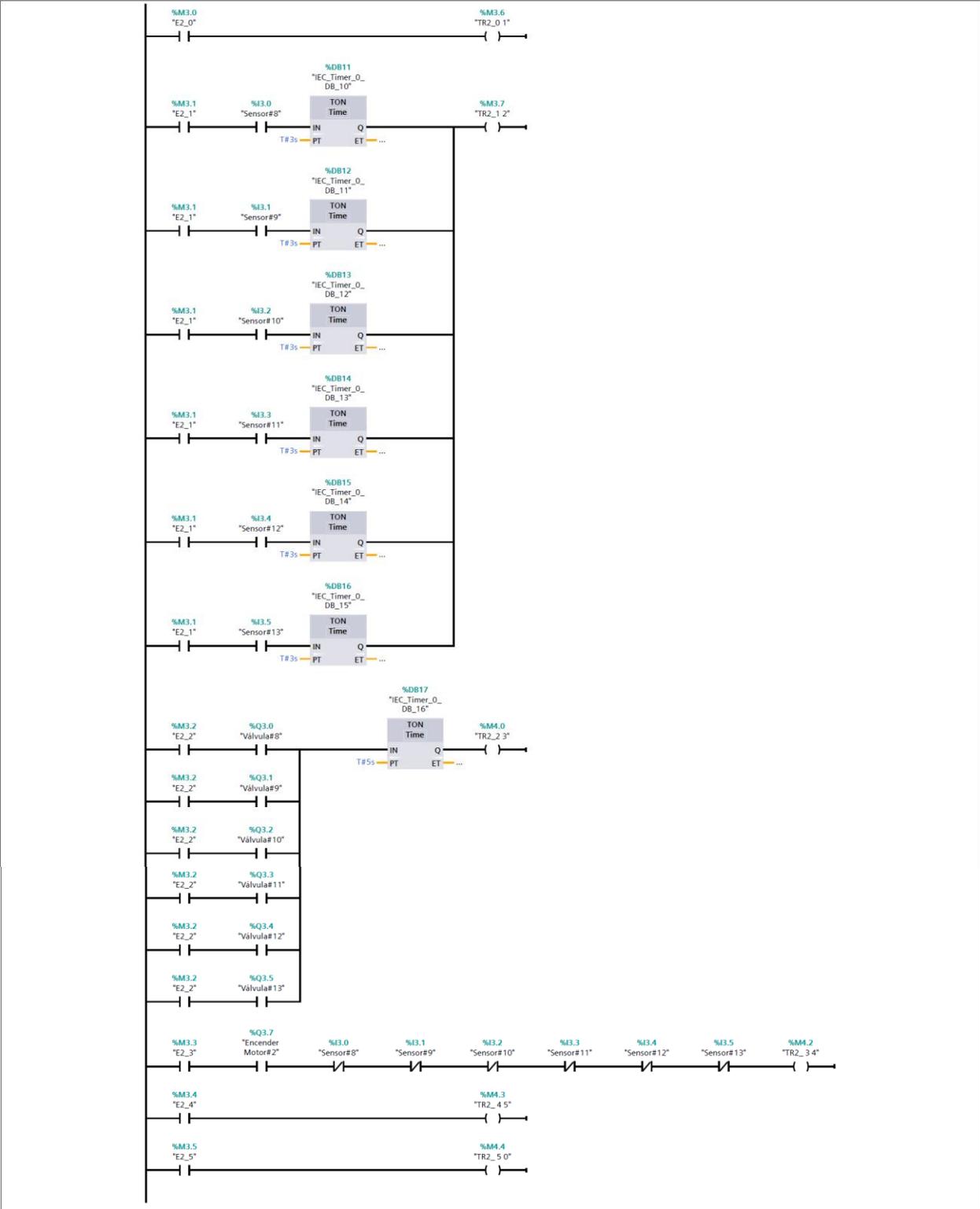


Figura 4.20 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#2; Transición.

BA#2_REMOTO_3 Transición [FC8]

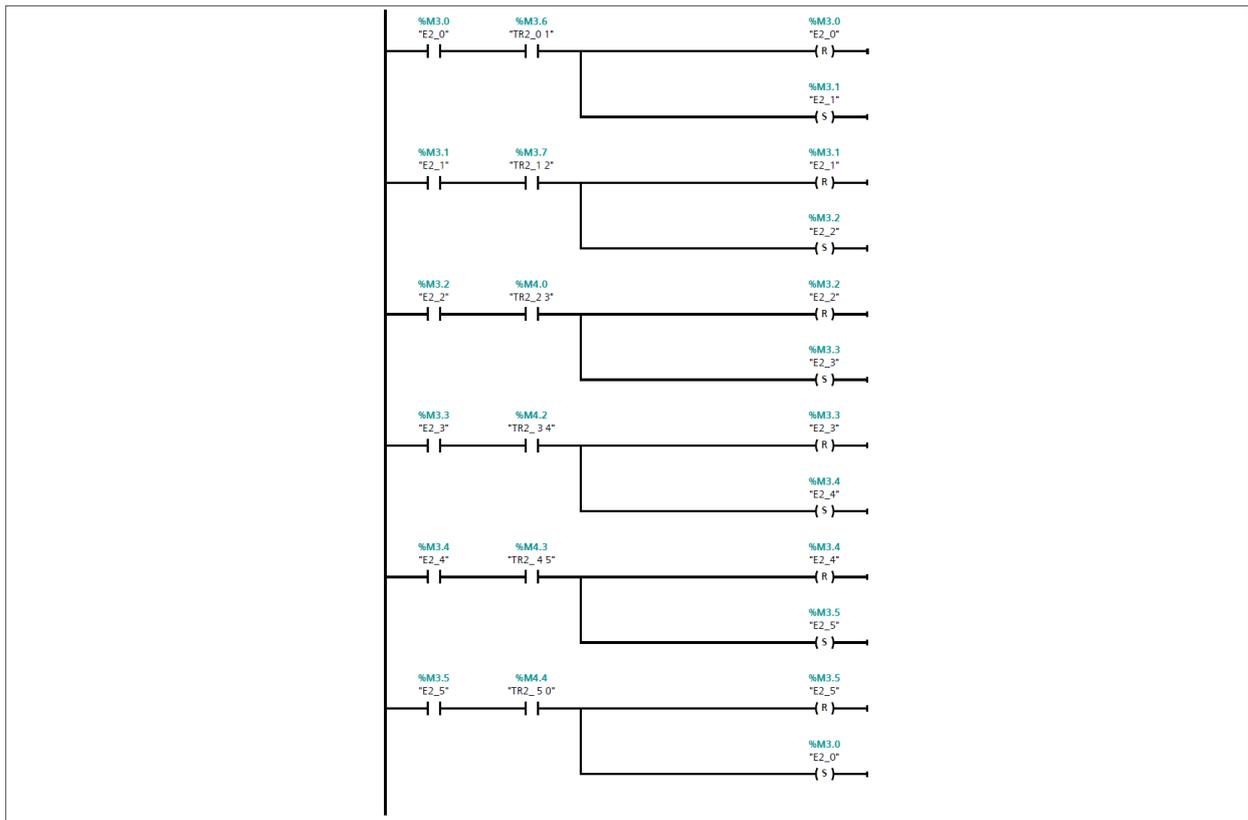


Figura 4.21 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#3; Transición.

BA#2_REMOTO_4 Actuadores [FC9]

Segmento 1: Válvula de tubería

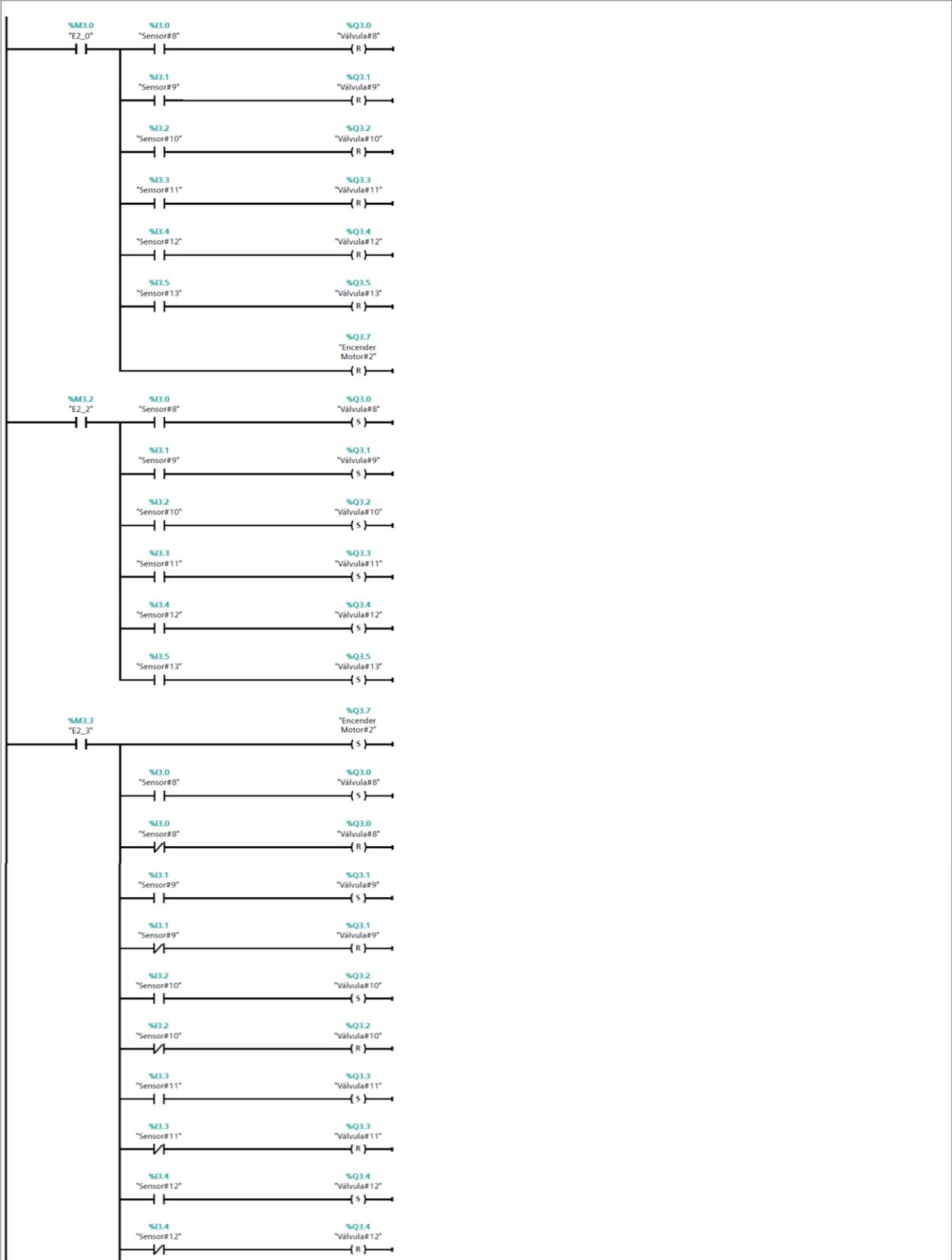


Figura 4.22 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#4; Actuadores-1/2.

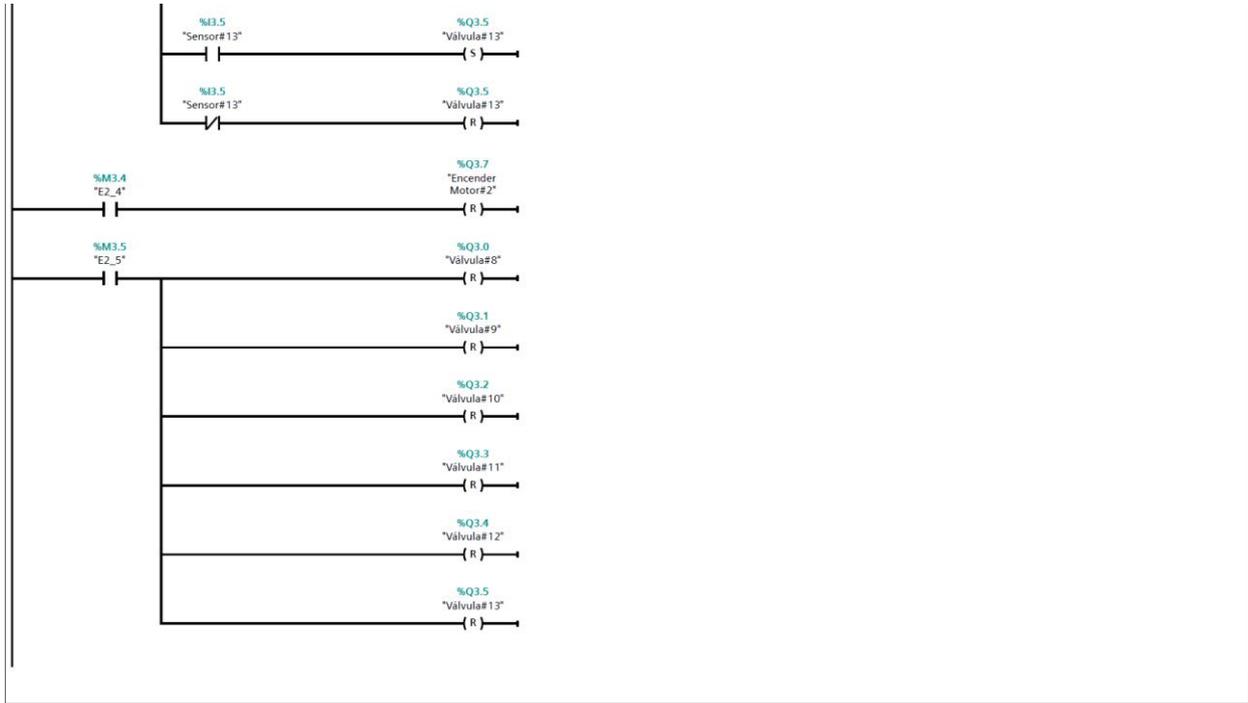


Figura 4.23 Bloque de programa: modo Remoto_BA#2_Etapa#4; Actuadores-2/2.

4.3.1 Sistema de control con selector “Manual”

Segmento 3: Modo MANUAL

Mediante el armario eléctrico

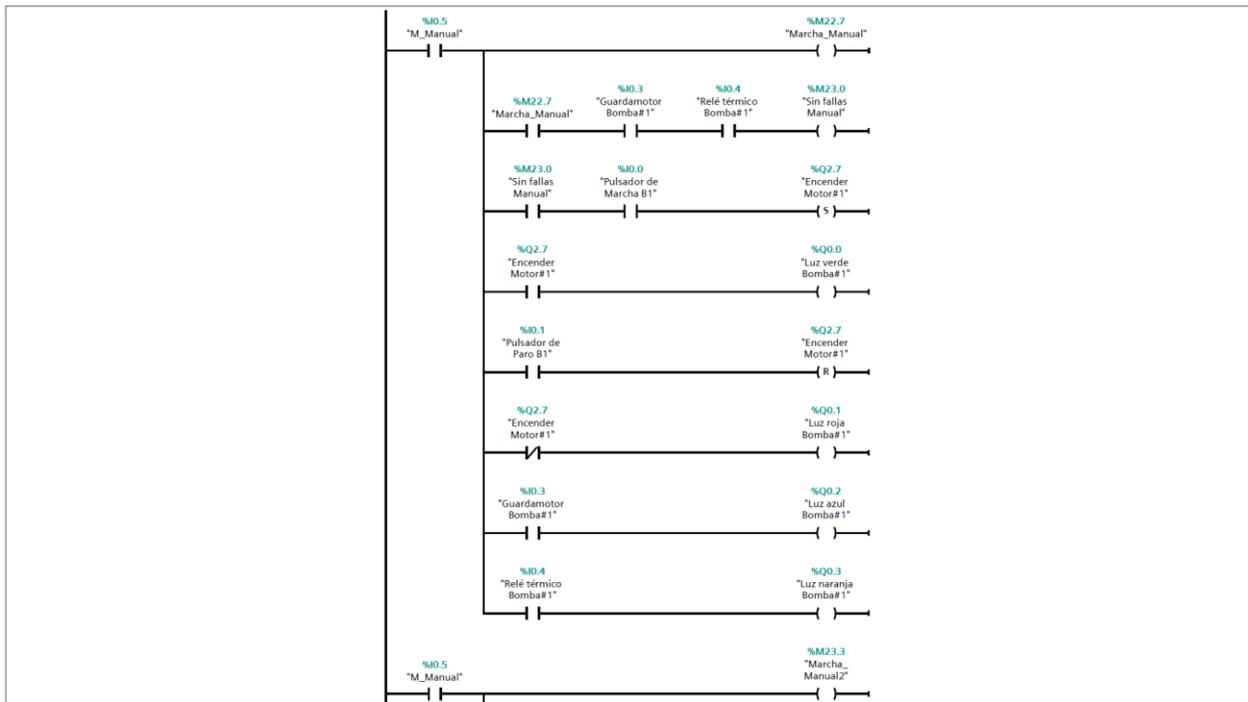


Figura 4.24 Bloque de programa: modo "Manual"-1/2.

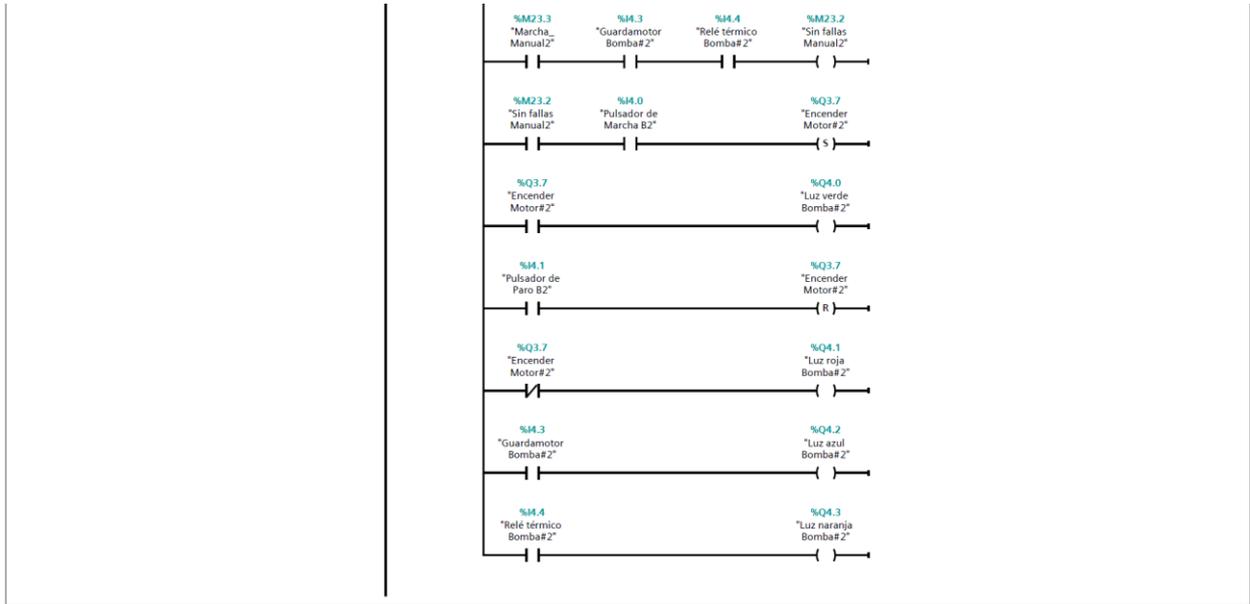


Figura 4.25 Bloque de programa: modo "Manual"-2/2.

4.3.2 Control de alarmas

Segmento 4: ALARMAS del sistema

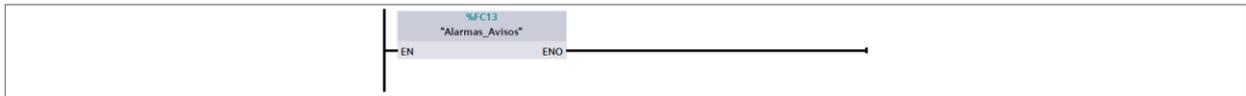
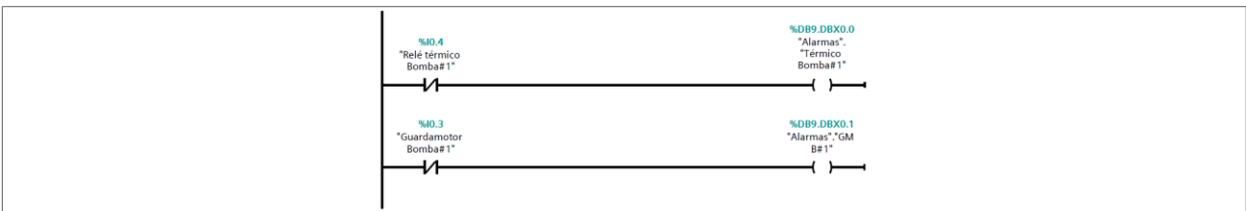


Figura 4.26 Bloque de programa: control de alarmas.

Alarmas_Avisos [FC13]

Segmento 1: Alarmas de la Bomba de Achique #1

Alarmas para Guardamotor y Relé Térmico no detectado



Segmento 2: Alarmas de la Bomba de Achique #2

Alarmas para Guardamotor y Relé Térmico no detectado

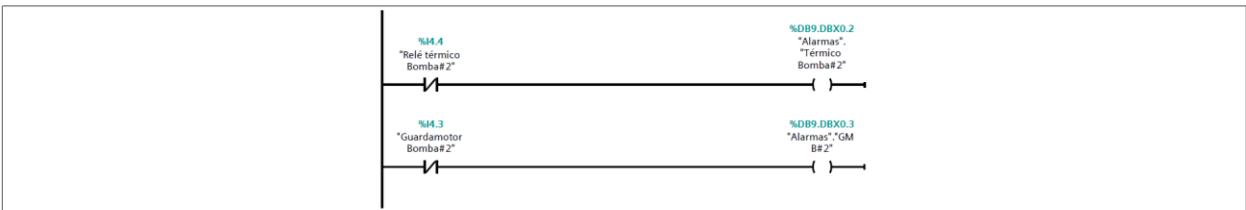


Figura 4.27 Bloque de programa: alarmas de las bombas de achique.

4.3.3 Interfaz HMI para el control y monitoreo del nivel de aguas en sentinas.

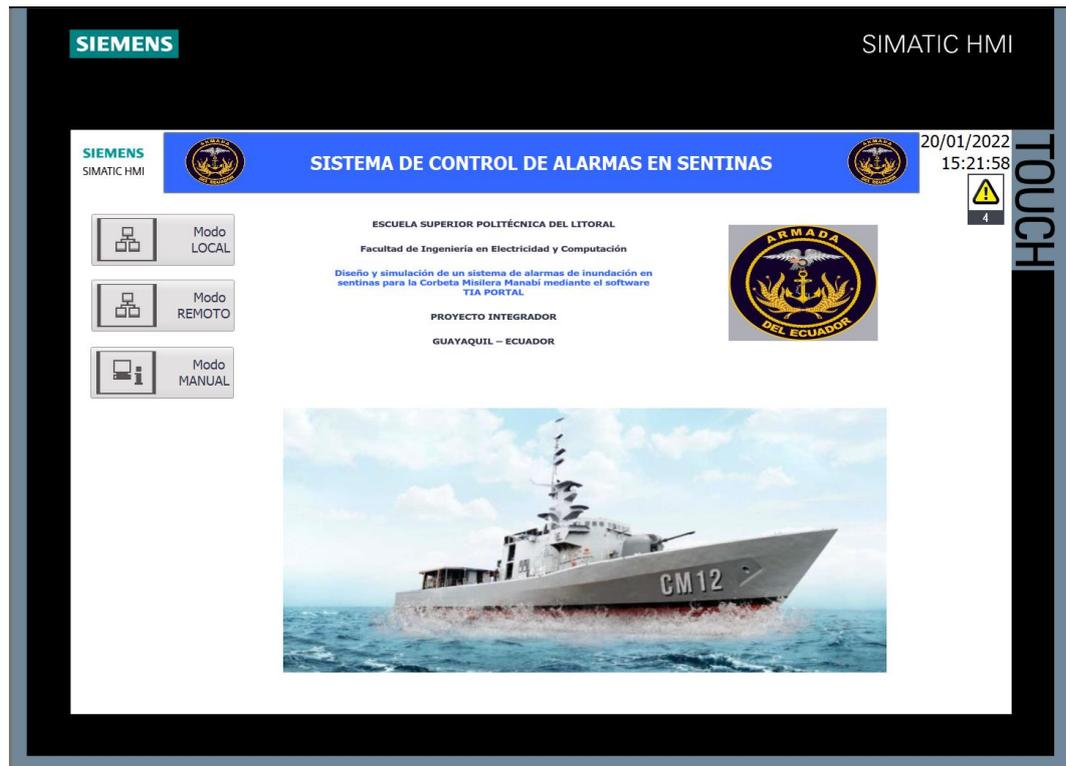


Figura 4.28 Interfaz HMI-Imagen de bienvenida.

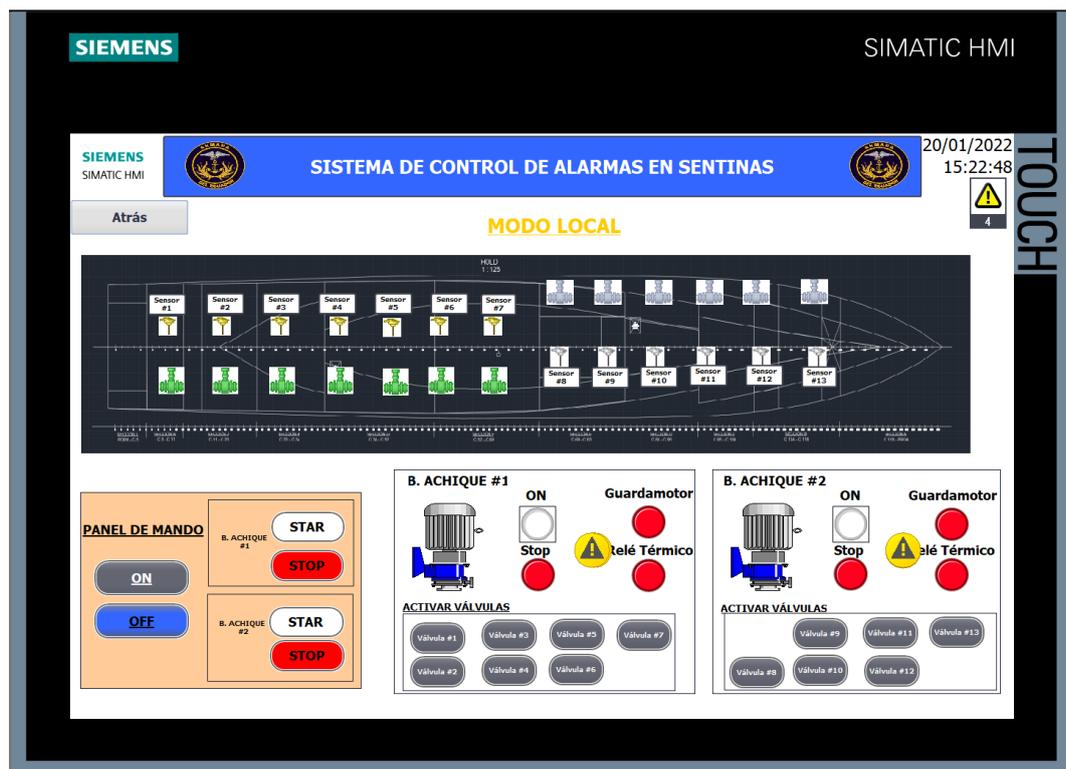


Figura 4.29 Interfaz HMI-control modo Local.

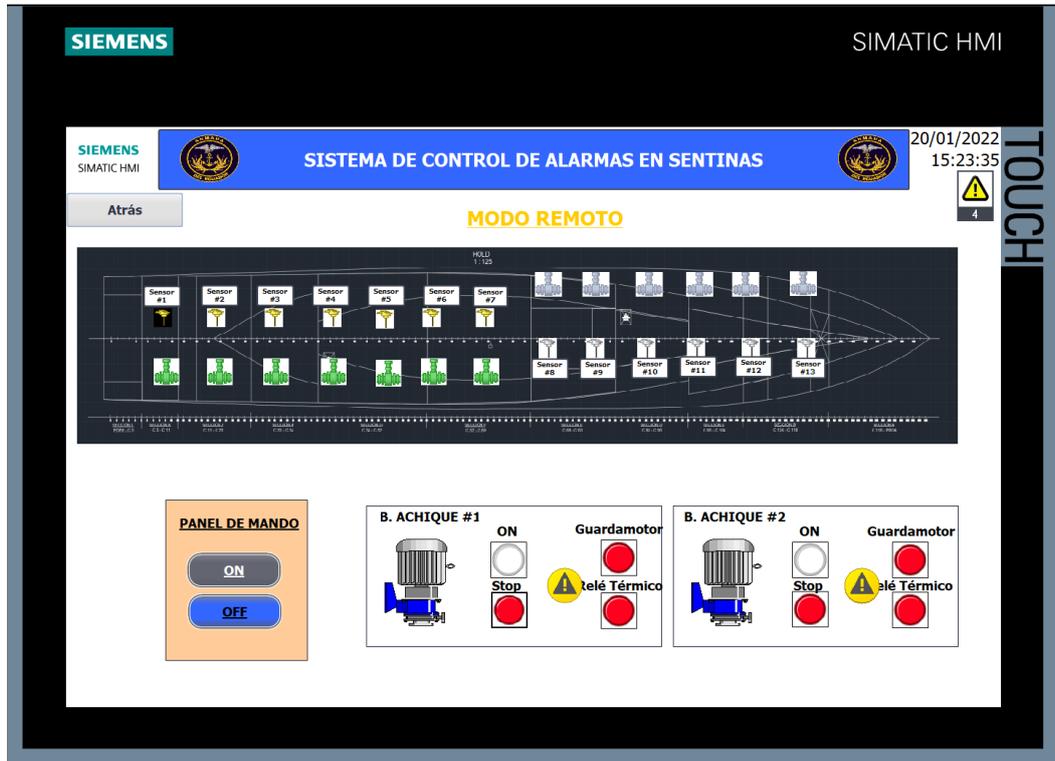


Figura 4.30 Interfaz HMI-control modo Remoto.



Figura 4.31 Interfaz HMI-Alarmas.

4.3.4 Lista de equipos seleccionados-sistema de control

A continuación, se muestra un ejemplo de una lista de equipos seleccionados tomadas de [14] para la ejecución del sistema de control, pero es importante mencionar, que la correcta elección de estos equipos debe estar sujeta a una homologación en el sector Naval para su aplicación:

Tabla 4.1 Selección de equipos para el sistema de control

| | | |
|------------------------------|---|---|
| PLC |  | PLC S7-1200; CPU 1214C. Referencia: 6ES7 214-1AG40-0XB0. Versión: V4.2. |
| Módulo de periferia |  | Módulo ET200S IM 151-3 PN. Referencia: 6ES7 151-3BA23-0AB0. Versión: V7.0. |
| Módulo de potencia |  | ET200S, Power Module PM-E Referencia: 6AG1 138-4CA01-2AA0. |
| Módulo de entradas digitales |  | Digital inputs modules 8DI x 24VDC Referencia: 6AG1 131-4BF00-7AA0: |
| HMI |  | HMI TP1200 Comfort. Referencia: 6AV2 124-0MC01-0AX0. Versión: V14.0.1.0. |

4.4 Propuesta del sistema de fuerza

4.4.1 Diseño del circuito de fuerza

| | | | | | |
|--|---|---|--|--|----------------------|
| | | Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación Ingeniería en Electricidad II Término, Año Lectivo 2021-2022 | | | |
| Cliente Designación de instalación Número de proyecto | Armada del Ecuador Sistema de alarma de inundación en sentinas AS2021-001 | | | | |
| Fabricante (empresa) Circuito Nombre de proyecto Producto Tipo Lugar de instalación | Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación Proa-Sala de Máquinas BORRADOR FINAL Diagrama Eléctrico Diagrama Multifilar Corbeta Misilera Manabí (CM-12) | | | | |
| Modificado | 13/11/2021 | | | | Número de páginas 12 |

| | | | | | |
|----------|------------|--|--|----------------|----------------|
| Fecha | 14/11/2021 | IEC: Estructura de página con instalación y lugar de montaje | Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación | Portada | ==DE=CM12+SM/1 |
| Resp. | ricky | Sistema de alarma de inundación en sentinas | | | |
| Proyecto | | | | | |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original | Sustituido por | Hoja 1 / 12 |

Figura 4.32 Portada del diseño del circuito de fuerza.

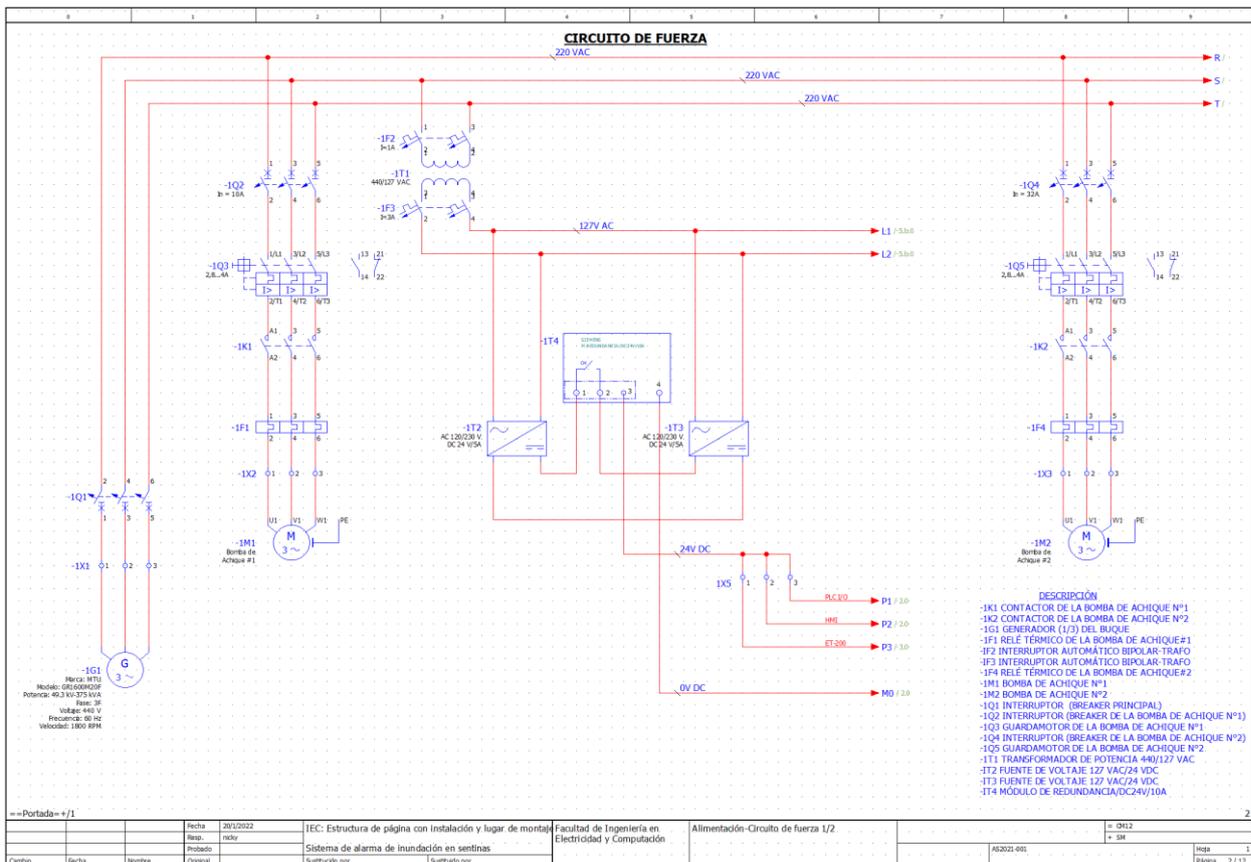


Figura 4.33 Diseño del circuito de fuerza.

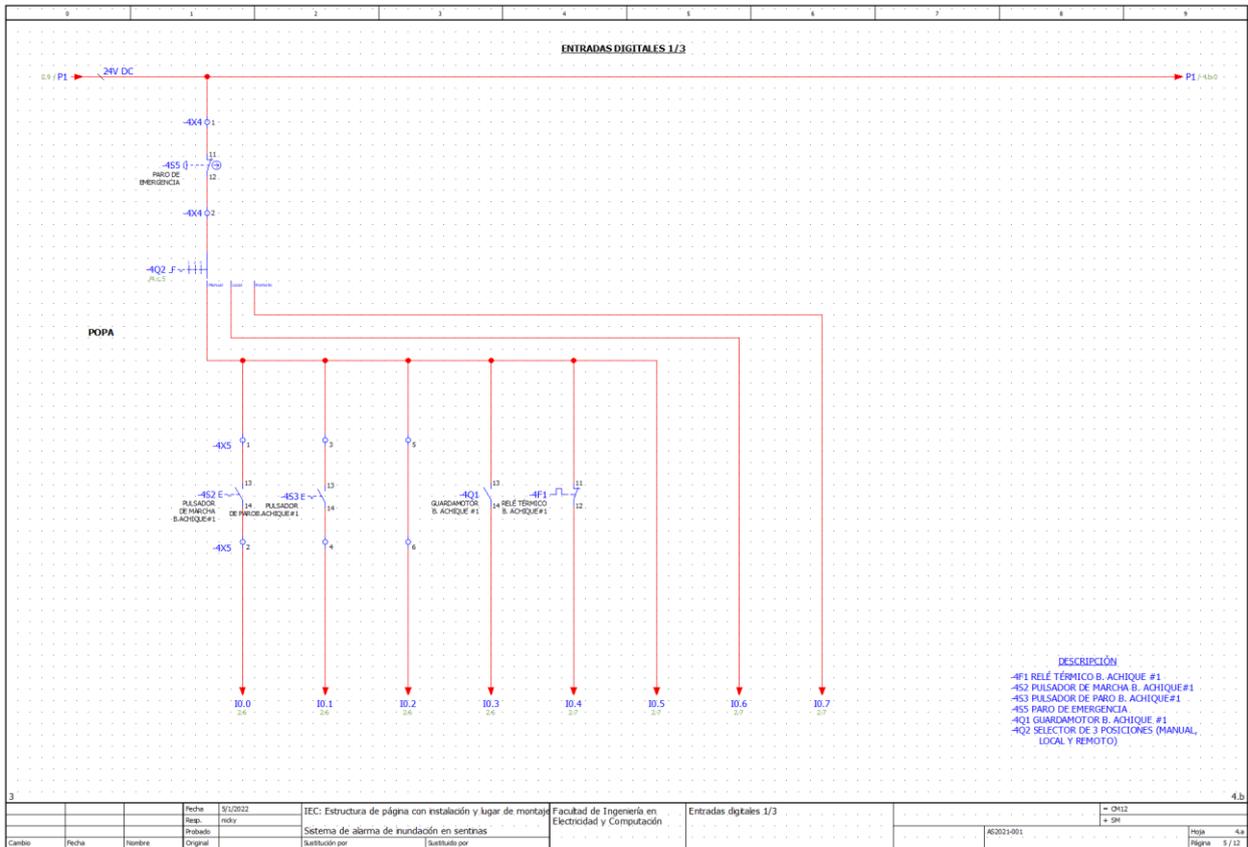


Figura 4.36 Entradas digitales 1/3.

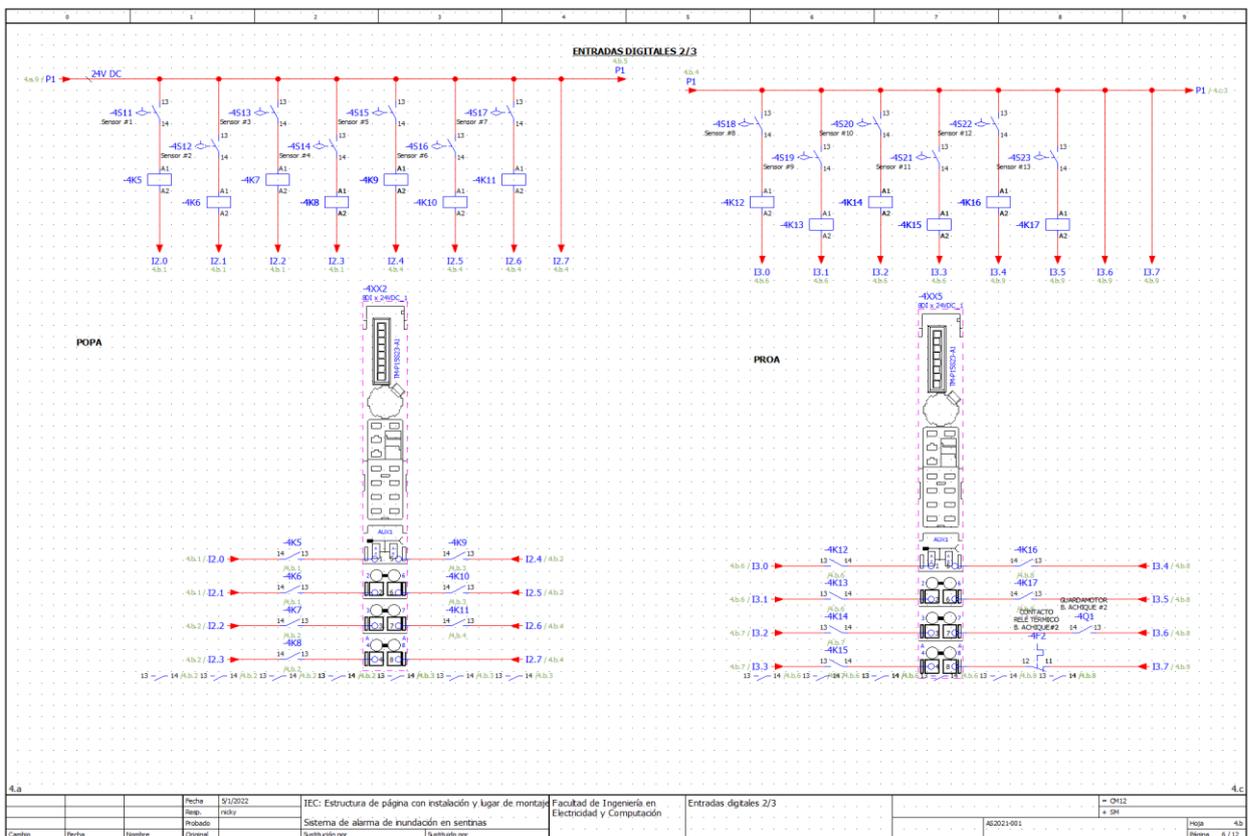


Figura 4.37 Entradas digitales 2/3.

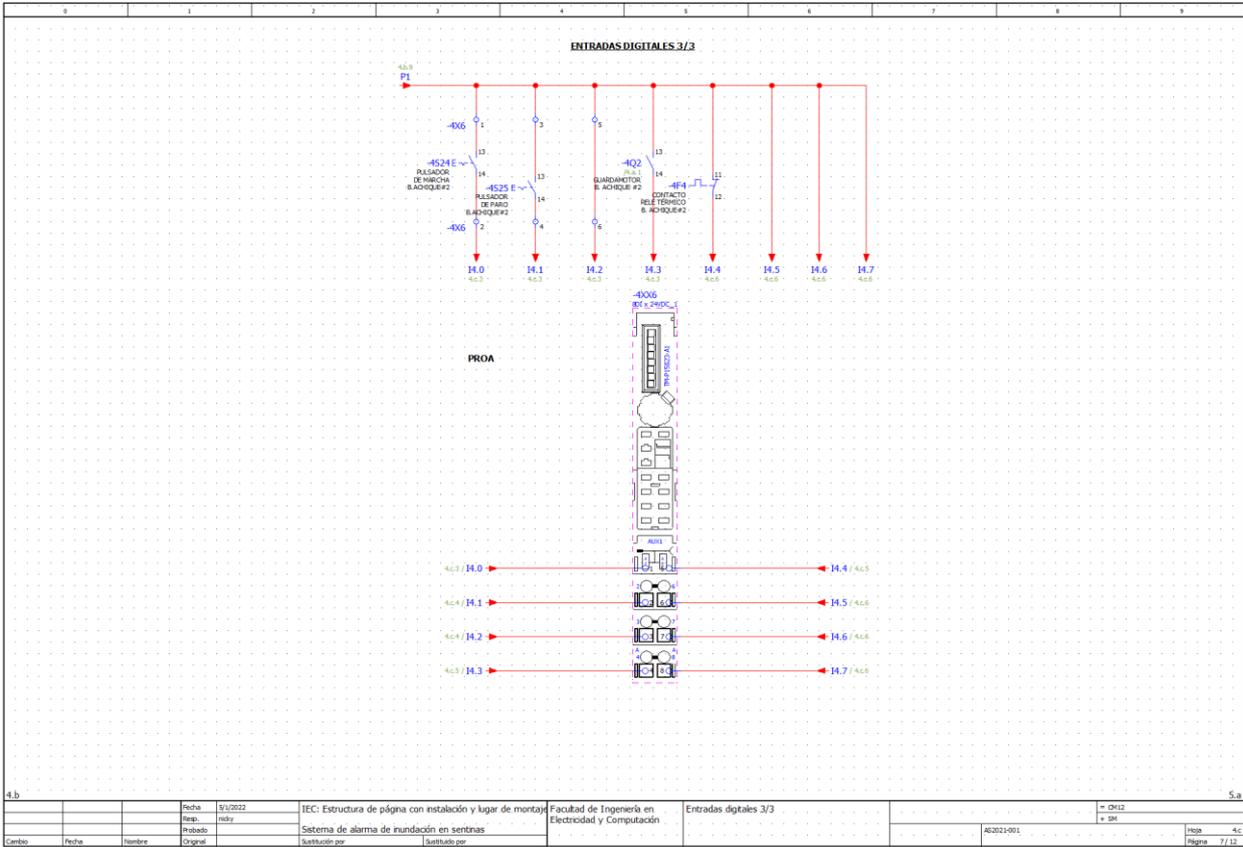


Figura 4.38 Entradas digitales 3/3.

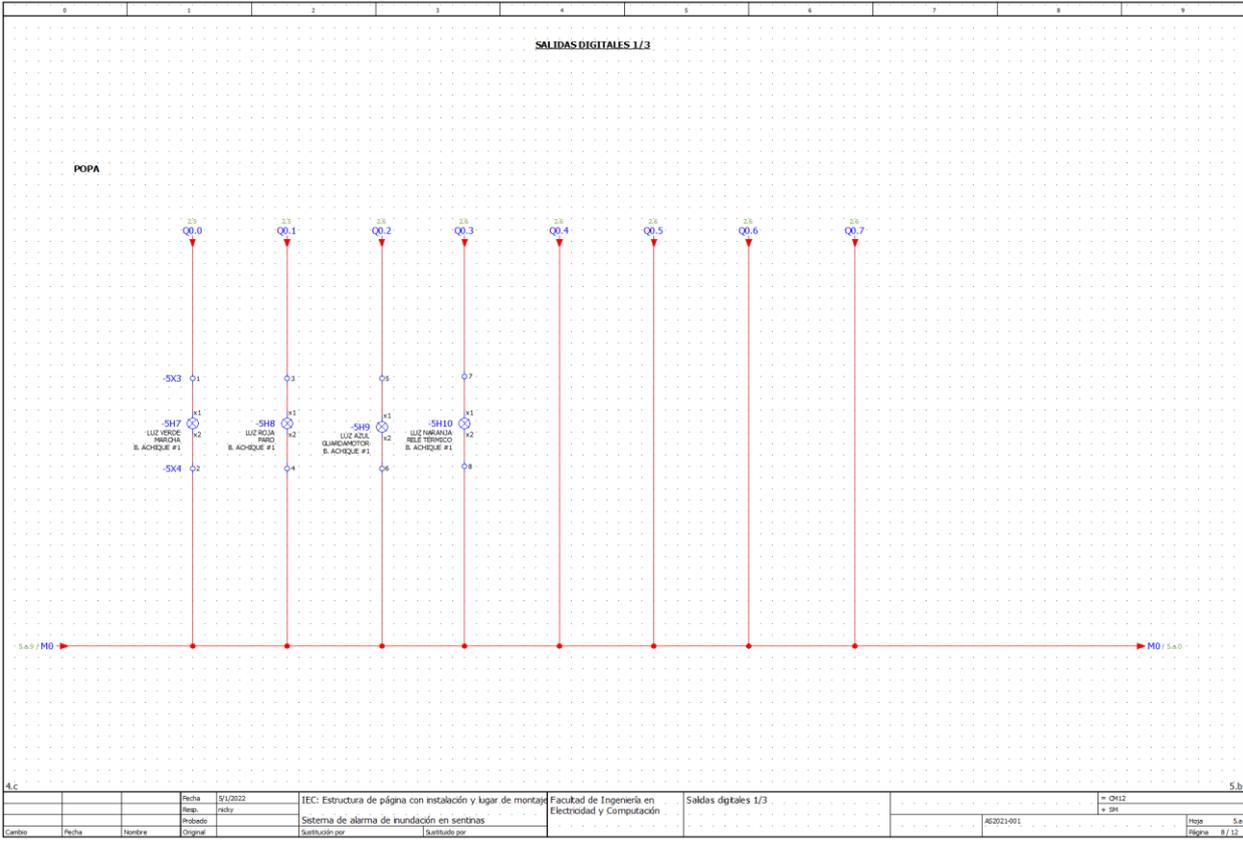


Figura 4.39 Salidas digitales 1/3.

En relación al procedimiento establecido en el diagrama de flujo 3.4:

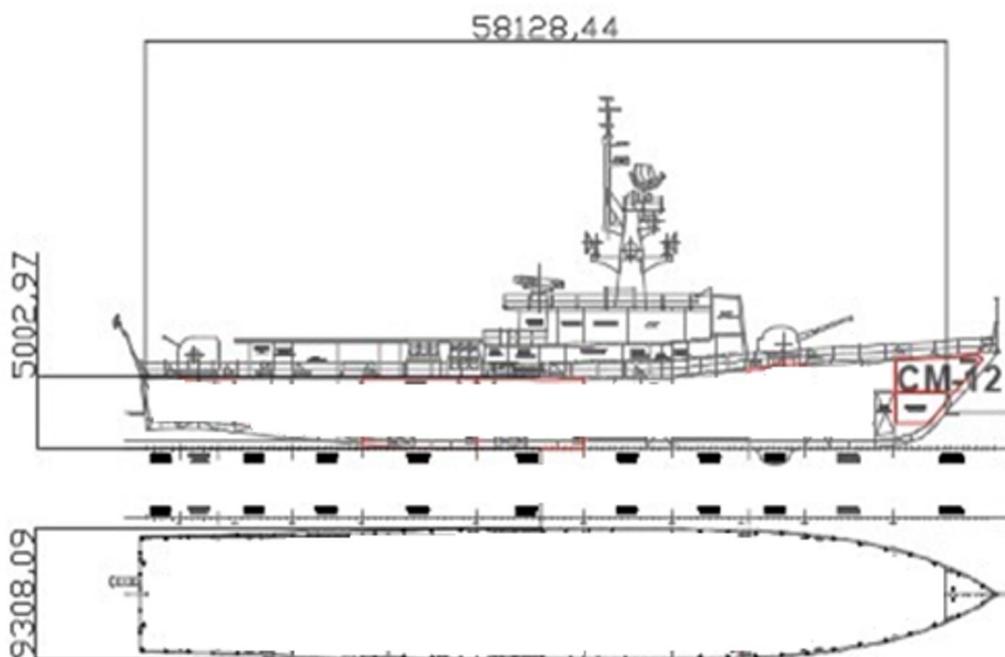


Figura 4.42 Obtención de los valores L,B y D de la Corbeta Misilera

Cabe recalcar, que los planos originales de la unidad tienen un carácter de información confidencial, por lo cual, se utilizó la figura 4.42 para obtener valores de medida de forma aproximada, sin reflejar mayor detalle en su presentación.

Estos valores se sacaron en [mm] aproximando la sección media de la embarcación; tomando como referencia la perpendicular de proa y popa de acuerdo al calado máximo. El puntal moldeado y manga moldeado siempre se miden desde la sección maestra, es decir, sección media de la unidad, considerando que la eslora del buque no debe ser inferior al 96%, y no es necesario que sea superior al 97%, de la eslora extrema en la línea de flotación de carga más profunda:

$$L = 58128,44 \text{ [mm]} * 96\% = 55803,3 \text{ [mm]} \approx 55,8 \text{ [m]}$$

$$B = 9308,09 \text{ [mm]} \approx 9,3 \text{ [m]}$$

$$D = 5002,97 \text{ [mm]} \approx 5 \text{ [m]}$$

Con estos datos en (2.2) se puede calcular el diámetro interno de la tubería principal de succión de sentinas en [mm] y la capacidad de la bomba requerida en $\left[\frac{l}{seg}\right]$:

$$d_m = 1,5 * \sqrt{L * (B + D)} + 25 \text{ [mm]}$$

$$d_m = 1,5 * \sqrt{55,8 * (9,8 + 5)} + 25$$

$$d_m = 68,106 \text{ [mm]}$$

Una vez encontrado el valor de d_m se reemplaza este valor en (2.1):

$$Q = \frac{5,75}{10^3} * (d_m)^2 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

$$Q = \frac{5,75}{10^3} * (68,106)^2$$

$$Q = 26,67 \left[\frac{m^3}{h}\right] = 0,007408 \left[\frac{m^3}{seg}\right] = 7,408 \left[\frac{l}{seg}\right]$$

La capacidad requerida de la bomba de achique en base a las dimensiones de la Corbeta Misilera Manabí es de $Q = 0,007408 \left[\frac{m^3}{seg}\right]$

Con el valor del caudal y el diámetro en (2.4) también se puede encontrar la velocidad del fluido:

$$Q = V * A \left[\frac{m^3}{seg}\right]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,007408 \left[\frac{m^3}{seg}\right]}{\pi * radio^2 [m^2]} = \frac{0,7408}{\pi * \frac{d_m^2}{4}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = \frac{0,007408}{\pi * \frac{(0,068106 m)^2}{4}} = \frac{0,007408}{0,003643} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Dando como resultado una velocidad del fluido con un valor de:

$$V = 2,033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

4.4.3 Cálculo de la pérdida de fricción en el sistema de tuberías del buque

Aunque no se ha definido el sistema de las tuberías, se realizará una aproximación de acuerdo al procedimiento establecido en el capítulo II:

1. Interpolación del valor del factor de fricción de Darcy (f)

Previo a la interpolación, se necesita encontrar los valores del Número de Reynolds y la rugosidad relativa:

Número de Reynolds:

Debido a que el agua de sentinas es una mezcla de diferentes tipos de líquidos, con densidades diferentes adicionado a residuos sólidos, para el presente proyecto se ha considerado como ejemplo al combustible destilado marino [21] con una densidad máxima del fluido a 15°C de 830 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ y una viscosidad cinemática a 40°C entre 2-6 $\left[\frac{mm^2}{seg}\right]$, por lo que, se va a elegir a (2.6):

$$Re = \frac{V * \sqrt{A}}{\nu} = \frac{2,033 * \sqrt{0,003643}}{6 * 10^{-6}}$$
$$Re = 20451,089 = 2,045 * 10^4$$

Después, se calcula el valor de la rugosidad relativa:

- El material considerado para las tuberías que conforman el sistema de achique es acero galvanizado o similar, y de acuerdo a la figura 2.16: se tiene un valor de rugosidad de 0,15 [mm].
- El diámetro de la tubería es de 0,068106 [m].

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00015}{0,068106} = 0,002202$$

Una vez encontrados los valores del Número de Reynolds y la rugosidad relativa, se procede a intercalarlos en el diagrama de Moody:

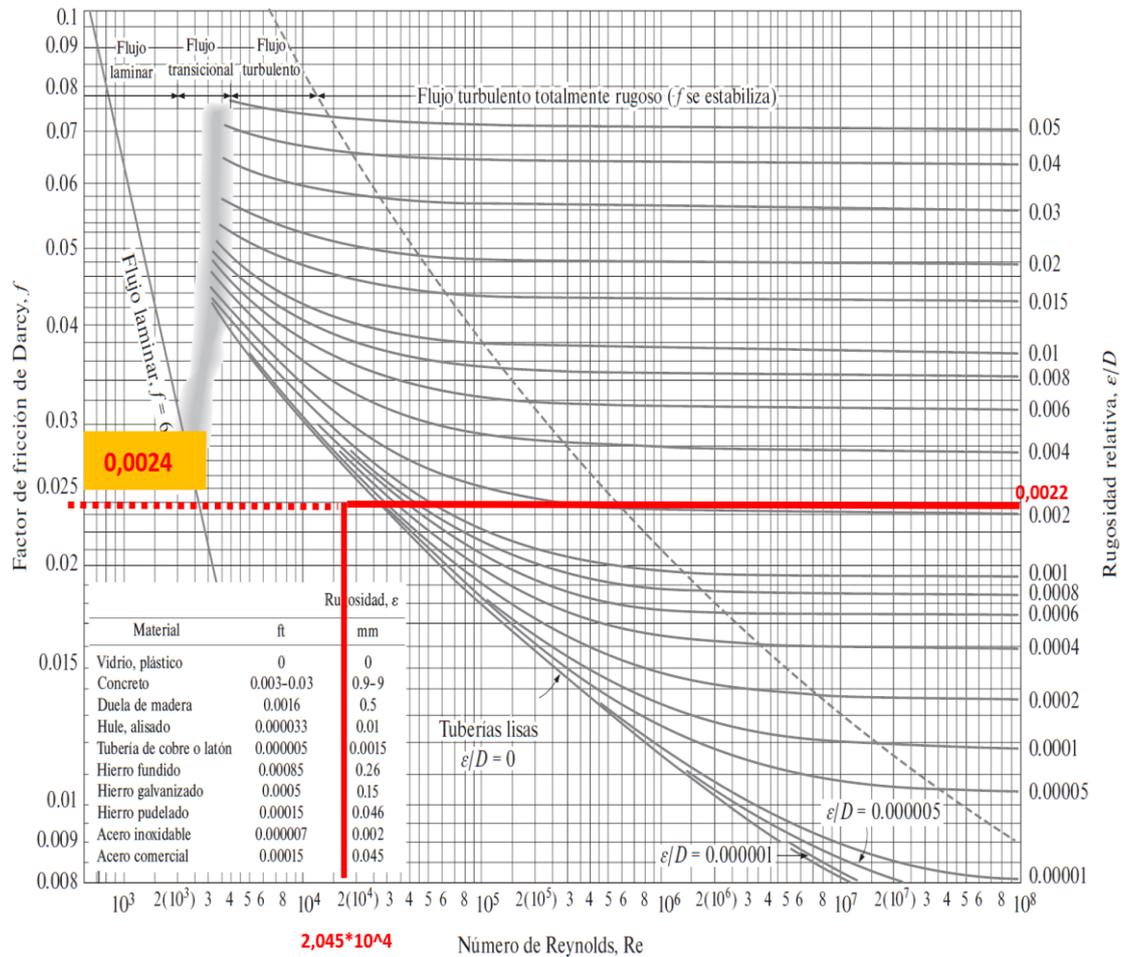


Figura 4.43 Cálculo del factor de fricción de Darcy (f)

Dando un valor para el factor de fricción de Darcy de $f = 0,0024$

2. Calcular el factor de fricción de los accesorios

Aunque en el proyecto no se define el sistema de tuberías se realiza una aproximación de sus componentes, asumiendo la utilización de 26 codos de 90° fileteado (2 por cada ramal secundario por sensor), 13 codos de 90° con brida (interconexión entre ramal secundario al principal), 15 válvulas en ángulo completamente abierto (13 de sensores y 2 de achique); enmarcando sus coeficientes de fricción mediante la utilización de (2.7) y la figura 2.17:

$$k_f = \sum C_{ff} * \# \text{ de elementos}$$

$$k_f = 26 * 0,2 + 13 * 0,7 + 15 * 2 = 44,3$$

3. Calcular el valor del factor de fricción por expansión y por contracción entre accesorios

Factor de fricción por expansión entre accesorios:

$k_{Ex} = 0$; sin cambios en el diámetro entre los accesorios de las tuberías

Factor de fricción por contracción entre accesorios mediante la ecuación (2.8):

$$k_c = 0,55 * \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$$

$\frac{A_2}{A_1} = 0$; sin cambios en el diámetro entre los accesorios de las tuberías:

$$k_c = 0,55$$

4. Calcular el valor de la pérdida por fricción total en el sistema

Reemplazando los valores obtenidos en los procedimientos anteriores, y considerando un sistema de tuberías con una longitud total, tramo principal y secundario de 90 [m] en (2.9):

$$E_f = \left(f * \frac{l}{D} + k_{Ex} + k_f + k_c\right) * \frac{V^2}{2}$$
$$E_f = \left(0,0024 * \frac{90[\text{m}]}{0,068106 [\text{m}]} + 0 + 0,55 + 44,3\right) * \frac{(2,033 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}}\right])^2}{2}$$
$$E_f = 99,238 \approx 100 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}\right]$$

Obteniendo como resultado final un valor de las pérdidas de fricción en el sistema de la unidad de $E_f = 100 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}\right]$.

4.4.4 Cálculo de la potencia requerida por la bomba de achique

Se calcula el balance de energía mecánica mediante (2.10):

$$\frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2} + g(h_2 - h_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho} + E_f + W_B = 0$$

Teniendo en cuenta:

$$V_1 = 0 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}}\right]; \text{ parte del reposo}$$

$$p_1 = p_2; \text{ presión atmosférica}$$

$$h_2 = 4 \text{ metros}; \text{ altura aprox de achique}$$

$$h_1 = 0,5 \text{ metros}; \text{ altura aprox de succión}$$

Reemplazando valores y despejando W_B :

$$\frac{(V_2^2)}{2} + g(h_2 - h_1) + E_f = -W_B$$

$$\frac{\left[2,033 \left[\frac{m}{seg}\right]\right]^2}{2} + 9,81 \left[\frac{m}{seg^2}\right] * (4 - 0,5)[m] + 100 \left[\frac{m^2}{seg^2}\right] = -W_B$$

$$W_B = -136,40 \left[\frac{m^2}{seg^2}\right] = -136,40 \left[\frac{J}{kg}\right]$$

Con el valor del trabajo realizado por la bomba de achique se puede calcular la potencia teórica de la bomba con (2.13):

$$P_t = W_B * (\rho * Q)$$

$$P_t = -136,4 \left[\frac{J}{kg}\right] * (850,5 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 0,007408 \left[\frac{m^3}{seg}\right])$$

$$P_t = -859,39 \left[\frac{J}{seg}\right] = -859,39 [W]$$

Y mediante (2.14) se halla la potencia real de la bomba:

$$P_t = -\eta * P_{Real}$$

$$P_{Real} = \frac{P_B}{-\eta} = -\frac{859,39 [W]}{-0,95}$$

$$P_{Real} = 904,62 [W]$$

La potencia real de la bomba de achique es de 904,62 [W]. No obstante, uno de los principales requisitos dentro de la selección de equipos y sistemas es que sean “escalables”; fácilmente ampliable en caso de requerirlo, adicional a un margen de error que pueda existir en los cálculos y/o condiciones adicionales propias del sistema de tuberías, se ha considerado el sobredimensionamiento de la capacidad de potencia requerida de la bomba de achique al 200% de la potencia calculada:

$$P_B = 1809,24 [W]$$

$$P_B = 1809,24 [W] * \frac{1HP}{746 [W]}$$

$$P_B = 2,425 [HP] \approx 2,5 [HP]$$

La potencia calculada requerida de la bomba de achique, tanto de proa como de popa, es $P_B = 2,5$ [HP] y mediante esta potencia se procederá a realizar el dimensionamiento y selección de las protecciones eléctricas requeridas para su arranque.



Figura 4.44 Datos de placa del motor (bomba de achique) [3]

En la figura 4.44 se puede observar los datos de placa de una de las bombas de achique que se encuentran instaladas en la Corbeta Misilera.

4.4.5 Selección del tipo de arranque

Si no es posible arrancar directamente a un motor, ya sea porque la red eléctrica no tiene la potencia suficiente y se verá alterada durante el arranque, o porque la máquina arrastrada sufrirá mecánicamente deterioros por no soportar el valor máximo del par de aceleración producido por el motor, o porque la producción se verá afectada y los productos dañados; entonces se recurre a algún tipo de arranque a tensión reducida. [18].

Por consiguiente, se selecciona el tipo de arranque directo para el accionamiento de la bomba de achique.

4.4.6 Protecciones eléctricas para arranque directo

| Combinación de arranque directo | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Seccionamiento | Interruptor manual | Fusibles | Guardamotor | Guardamotor | Interruptor s/térmico |
| Maniobra del motor | Interruptor manual | Contactador | Guardamotor | Contactador | Contactador |
| Protección del motor | No hay | Relé de sobrecargas | Guardamotor | Guardamotor | Relé de sobrecargas |
| Protección del circuito | Fusibles | Fusibles | Guardamotor | Guardamotor | Interruptor s/térmico |
| Circuito unifilar | | | | | |
| Maniobra | | | | | |
| Frecuencia maniobras | Reducida | Elevada | Reducida | Elevada | Elevada |
| Vida útil | Reducida | Elevada | Reducida | Elevada | Elevada |
| Mando a distancia | NO | SI | NO | SI | SI |
| Enclavar/señalización | NO | SI | Limitado | SI | SI |
| Protección del motor | | | | | |
| Sobrecargas | NO | SI | SI | SI | SI |
| Falta de base | NO | SI | SI | SI | SI |
| Reset | NO | SI | SI | NO | SI |
| Protección del circuito | | | | | |
| Cortocircuito | Excelente | Excelente | Muy buena | Muy buena | Buena |
| Limitación de corriente | Muy Buena | Muy Buena | Buena | Buena | Buena |

Figura 4.45 Combinación de dispositivos para arranque directo. [18]

En la Figura 4.45 se puede observar una comparación entre las características más representativas de cada uno de los distintos tipos de protecciones eléctricas para este tipo de arranque, por lo tanto, se ha escogido a la combinación de un guardamotor con un contactor debido a la integración de un sistema de control, mando a distancia, que permita el arranque del motor. Del mismo modo, se ha elegido esta combinación por su elevada frecuencia de maniobras, vida útil, y su alta protección contra sobrecargas y cortocircuitos, pero en especial; por su limitación de corriente en referencia a la demanda a plena carga del motor.

4.4.7 Dimensionamiento de las protecciones eléctricas del circuito

Cálculo de la corriente nominal del motor (I_n)

Considerando una eficiencia del 95%:

$$I_n = \frac{HP*746}{\sqrt{3}*V_L*Fp*\eta} \quad (4.1)$$

$$I_n = \frac{2.5 * 746}{\sqrt{3} * 440 * 0,82 * 0,95} = 3,14 \text{ [A]}$$

El valor de corriente nominal del motor es $I_n = 3,14$ [A].

Selección del tipo conductor

Los conductores que alimenten a un solo motor que se use en una aplicación de servicio continuo, debe tener una ampacidad no menor del 125% del valor nominal de la corriente de plena carga del motor [19]:

$$I_{conductor} = I_n * 125\% \quad (4.2)$$
$$I_{conductor} = 3,14 * 1,25 = 3,93 \text{ [A]}$$

No obstante, para un valor de tensión nominal de los conductores de 0-2000 Voltios; se deberá tener un calibre mínimo 12 (AWG) de cobre, y si es de aluminio o aluminio revestido de cobre un calibre 12 (AWG) [19].

Para este diseño, se ha seleccionado un conductor: calibre 12 (AWG) de cobre para la alimentación de la bomba de achique.

Selección del guardamotor

Con un FS=1.15 (servicio continuo) que indica que del 100% podemos sobrecargar al motor a un 115% más. Para la selección del dispositivo se debe considerar que se accione/dispare para un valor nominal superior al porcentaje del 125% del valor nominal de corriente de plena carga [19]:

$$I = I_n * 125\% = 3,14 * 1,25 = 3,93 \text{ [A]}$$

Comercialmente, se debe seleccionar un guardamotor con un rango de valores de limitación de corriente de corriente que permita configurar 3.73 Amperios. En la Tabla 4.2 se describe el equipo seleccionado con [22] y sus características de [15].

Selección del interruptor automático (Circuit breaker)

Se ha seleccionado un interruptor automático de “tiempo inverso” para motores polifásicos de corriente alterna para la protección contra fallas a tierra y cortocircuito en los circuitos ramales de los motores. En porcentaje

de la corriente de plena carga para un interruptor automático de tiempo inverso es del 250% [19]:

$$I = I_n * 250\% \quad (4.3)$$
$$I = 3,14 * 2,50 = 7,85[A]$$

Selección del relé térmico

La corriente máxima de disparo de un motor protegido térmicamente no debe superar un porcentaje del 170% cuando la corriente de plena carga del motor sea de 9 amperes o menos [19]:

$$I_{min} = I_n * 170\% = 3,14 * 1,7 = 5,34 [A]$$

El relé térmico debe ser dimensionado para un valor de 5,34 [A]. *En la Tabla 4.2 se describe el equipo seleccionado con [22] y sus características de [15].*

Selección del contactor

Su valor nominal debe ser superior al valor nominal de corriente de plena carga del motor:

$$I > I_n, \text{ es decir, } I > 3,14 [A]$$

En la Tabla 4.2 se describe el equipo seleccionado con [22] y sus características de [15].

4.4.8 Dimensionamiento de las protecciones eléctricas para el transformador del circuito de control

Como primer paso se debe calcular la corriente del primario y secundario del transformador del circuito de control; seleccionando un transformador de 250 VA monofásico se tendrá los siguientes valores:

$$I_p = \frac{S}{V_p} = \frac{250}{220} = 1,13 [A] \text{ en el primario}$$

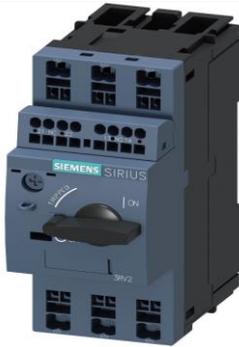
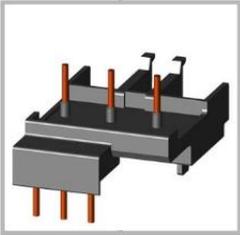
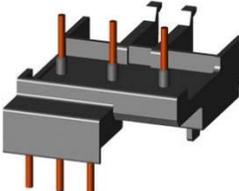
$$I_s = \frac{S}{V_s} = \frac{250}{120} = 1,97 \text{ [A] en el secundario}$$

La selección del interruptor automático debe para un valor comercial a la I_p y I_s

4.4.9 Lista de equipos selecciones-protecciones eléctricas del motor

En base al análisis realizado en la sección 4.4.5, y al catálogo de siemens Ecuador [22], actualizado al 01 de febrero de 2021:

Tabla 4.2 Equipos seleccionados-protecciones eléctricas del motor.

| | | |
|---|---|--|
|  |  | <p>3RV2011-1EA10 INTERRUPTOR AUT. BORNES TORNILLO 4A Interruptor automático tamaño S00 para protección de motores, CLASE 10 Disparador por sobrecarga con retardo según intensidad 2,8...4 A Disparador de cortocircuito 52 A borne de tornillo poder de corte estándar.</p> |
|  |  | <p>Bloque de conexión 3RA1921-1DA00 BLOQUE DE CONEXION P.3RV S00/S0, 3RT S00</p> |
|  |  | <p>3RT2015-1AF01 CONTACTOR, AC3:3KW 15 AC110V 50/60HZ contactor, AC-3, 3 kW / 400 V</p> |
|  |  | <p>Soporte para instalación independiente 3RU2916-3AA01 SOPORTE PARA MONTAJE INDEPEND. TAM. S0</p> |
|  <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 60px; height: 60px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 20px auto;"> <div style="text-align: center;"> <p>M</p> <p>3~</p> </div> </div> |  | <p>3RU2116-1GB0 RELE TERM. DE SOBREC. 4,5 - 6,3 A Relé de sobrecarga 4,5...6,3 A térmico para protección de motores tamaño S00, clase 10 para montar en contactor Circuito principal: atornillable circuito auxiliar: atornillable Rearme manual/automático</p> |

4.5 Diseño del tablero eléctrico

4.5.1 Diseño del tablero eléctrico de Popa

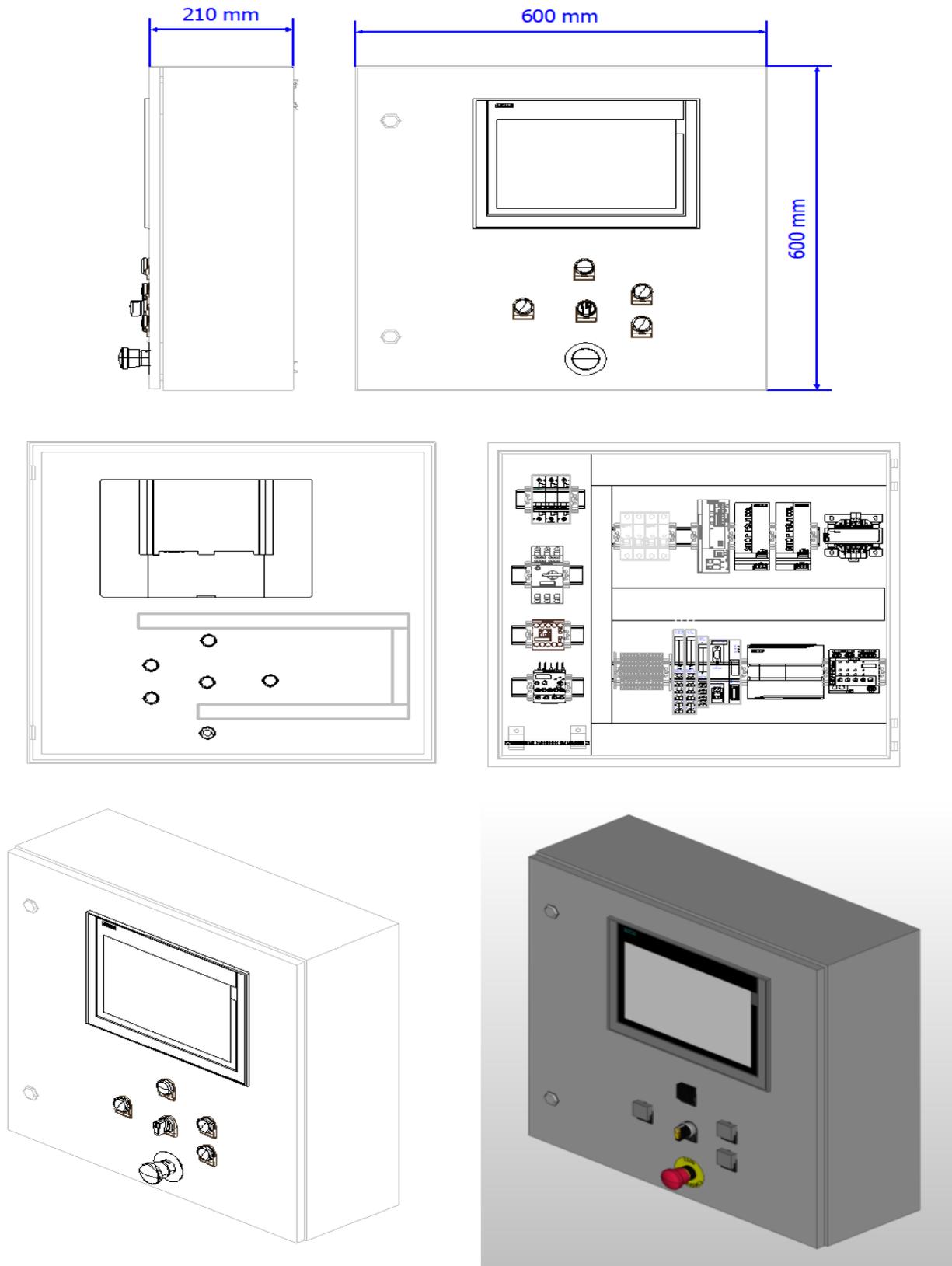


Figura 4.46 Diseño del tablero eléctrico de Popa.

4.5.2 Diseño del tablero eléctrico de Proa

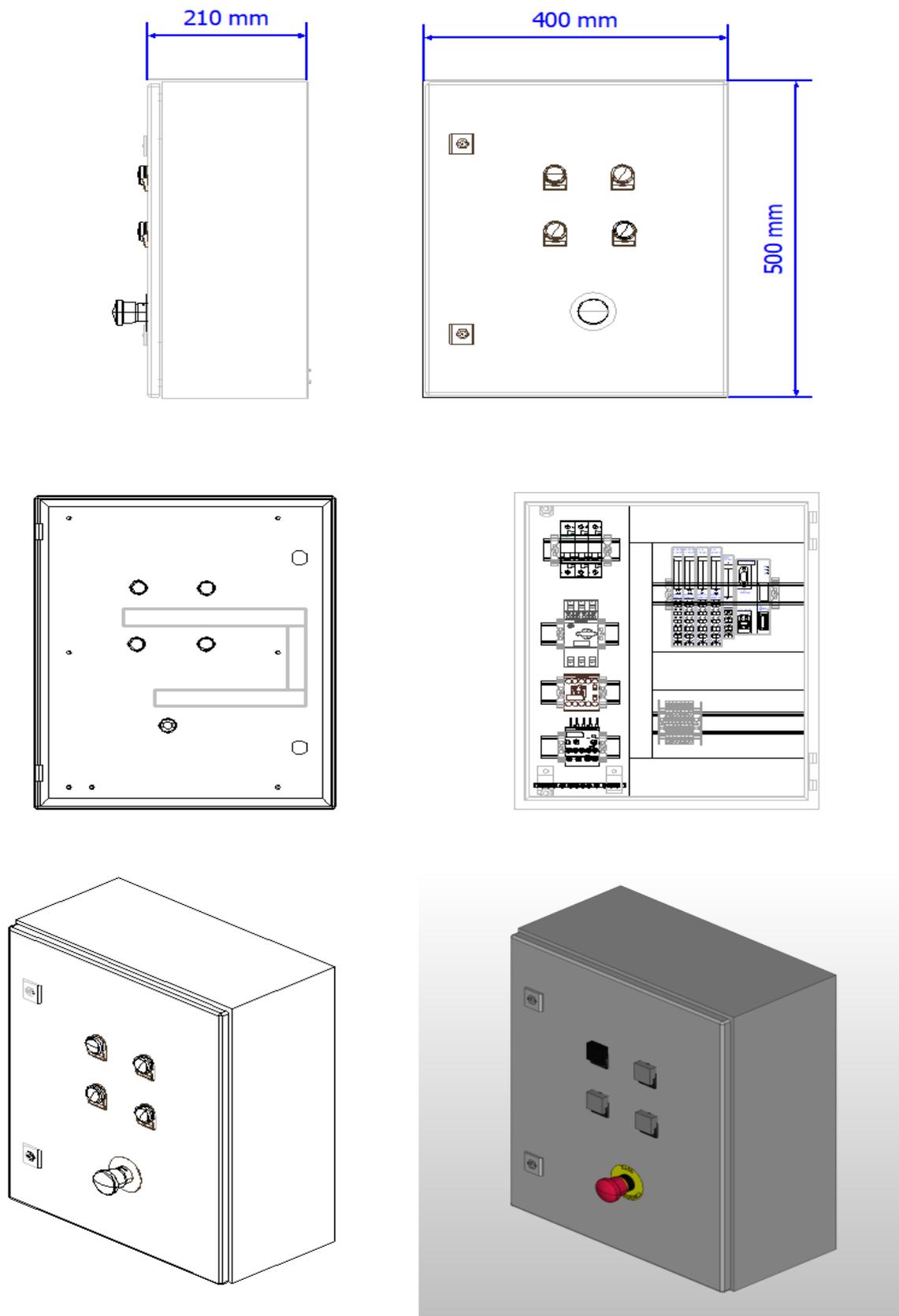


Figura 4.47 Diseño del tablero eléctrico de Proa.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se realizó el diseño de un sistema de control, alerta e interfaz HMI del nivel de aguas de sentinas mediante la ejecución de una propuesta de automatización de los procesos de achique de sentinas mediante la utilización del software TIA portal, cumpliendo con cada uno de los puntos mencionados en el Capítulo 1. Al ser un proceso automatizado mediante el PLC S7-1200 liberará de tareas rutinarias al personal del buque, permitiendo prestar más atención al funcionamiento del sistema, paralelamente de disponer de información en tiempo real de todos sus elementos con una visión global de su ejecución. Cuando se consideré oportuno se puede seleccionar el modo manual o local de operación.

El diseño del sistema de fuerza y del tablero eléctrico facilitó describir la configuración del sistema de control, desde su alimentación segura con equipos de maniobra como protecciones eléctricas, hasta su instalación y ubicación en el tablero eléctrico, describiendo adicionalmente cada una de las conexiones al sistema de control como el PLC S7-1200. Los diseños de los sistemas fueron realizados mediante el software de EPLAN EDUCATION, permitiendo su visualización en 2D del tablero eléctrico.

En los resultados obtenidos para el dimensionamiento eléctrico de la bomba de sentinas al igual que las protecciones eléctricas, se ha tomado en consideración el margen de error que pueda existir en los cálculos, por lo cual, se ha considerado el sobredimensionamiento de algunos equipos y protecciones eléctricas haciendo hincapié al NFPA 70-Código Eléctrico Nacional Americano, y estándares para el diseño del sistema eléctrico de un buque bajo la dirección de reglas se la sociedad clasificadora Lloyd's Register of Shipping mediante el Register-Rulefinder 2021.

El software de TIA portal permitió configurar y simular la interfaz HMI para el control y monitoreo del sistema de achique, facilitando la visualización de la

operación de los sensores de nivel de líquido, válvulas electromecánicas y encendido y apagado de los motores de acuerdo al ciclo de trabajo descrito en la sección 3.2 en la metodología. También, se realizaron varias discusiones sobre los métodos y la arquitectura, al igual que las fortalezas y debilidades que pueda presentar el diseño, sin embargo, la parte medular del sistema consiste en la ejecución del programa en lenguaje escalera.

5.2 Recomendaciones

En el diseño eléctrico de un buque y sus sistemas derivados, las fuentes de alimentación eléctrica deben tener una configuración “redundante” que permita suministrar alimentación desde dos fuentes diferentes, cuyo principal objetivo es evitar un “Blackout”, condición similar a la de un buque apagado, que pueda suceder durante una navegación.

Para el dimensionamiento de la bomba de achique, se debe seguir los procedimientos establecidos por instituciones de control como sociedades clasificadoras a fin de encontrar los diámetros de las tuberías y capacidad de caudal requerida de la bomba, mientras que para encontrar las variables relacionadas a las pérdidas de energía en las tuberías y la potencia real requerida de la bomba se debe realizar un estudio de mecánica de fluidos en base a un sistema de tuberías real de un buque, es decir, considerando la cantidad exacta de sus elementos (codos, uniones, válvulas, etc.) y variables adicionales que permitan una mayor exactitud en los valores obtenidos en la siguiente tabla de resultados:

Tabla 5.1 Tabla de resultado del dimensionamiento de la bomba de achique

| TABLA DE RESULTADOS | |
|---|---|
| DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ACHIQUE | |
| 1.- Caudal y velocidad del flujo | |
| 1.1.- Diámetro interno de la tubería principal de succión de sentinas | $d_m = 68,106 \text{ [mm]}$ |
| 1.2.- Caudal/flujo volumétrico requerido | $Q = 0,007408 \left[\frac{m^3}{seg} \right]$ |

| | | |
|---|--|--------------|
| 1.2.- Velocidad del fluido | $V = 2,033 \left[\frac{m}{seg} \right]$ | |
| 2.- Pérdida de fricción en el sistema de tuberías del buque | | |
| 2.1.- Factor de fricción de Darcy (f) mediante el Diagrama de Moody | Número de Reynolds: $Re = 2,045 * 10^4$ | $f = 0,0024$ |
| | Rugosidad relativa: $\frac{\epsilon}{D} = 0,002202$ | |
| 2.2.- Factor de fricción de los accesorios | $k_f = 4,3$ | |
| 2.3.- Factor de fricción por expansión entre accesorios | $k_{Ex} = 0$ | |
| 2.4.- Factor de fricción por contracción entre accesorios | $k_c = 0,55$ | |
| 2.5.- Pérdida por fricción total en el sistema | $E_f = 100 \left[\frac{m^2}{seg^2} \right].$ | |
| 3.- Cálculo de la potencia requerida por la bomba de achique | | |
| 3.1.- Balance de energía mecánica | $W_B = -136,40 \left[\frac{J}{kg} \right]$ | |
| 3.2.- Potencia teórica de la bomba | $P_t = -859,39 [W]$ | |
| 3.3.- Potencia real de la bomba | $P_{Real} = 904,62 [W]$ | |
| 3.4.- Potencia requerida de la bomba | $P_B = 2,5 [HP]$ | |

En cuanto a las reglas y normativas de buques de guerra, en los tratados y convenios internacionales, al igual que en sociedades clasificadoras; se enmarca reglas universales para la seguridad de los buques y prevenir su contaminación, no obstante, el diseño de un buque de guerra sigue lineamientos y requerimientos adicionales propios de cada país, por lo cual, interpretar correctamente las normativas y reglas aplicables a buques de guerra resulta en un trabajo complejo al tener que delimitar las mismas a cada unidad y su tipo de operación.

En el presente proyecto, no se ha citado reglas establecidas en MARPOL sobre las zonas y áreas autorizadas para el achique de aguas de sentinas al mar, sin embargo, en la ejecución real del sistema se debe limitar su operación

a lo establecido en el convenio internacional, a fin de poder reducir el impacto ambiental en pro de conservación del medio ambiente

Usualmente, el diseño del sistema de achique de aguas de sentinas debe ir acompañado de sistemas adicionales para el tratamiento de este tipo de contaminantes, como separación de los efluentes acumulados en las sentinas, entre otros. Y aunque sean sistemas que se operan independiente, suelen tener en común el tanque de decantación de sentinas, cumpliendo las normativas exigidas por la Organización Marítima Internacional, ocasionando que se reconfigure el sistema para un trabajo en conjunto que integre sistemas adicionales.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Marítima Internacional, «Convenio SOLAS,» 1974. [En línea]. Available: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx). [Último acceso: 12 Nov 2021].
- [2] Ingeniero Marino, «Definición de buque y estructura,» 2020. [En línea]. Available: <https://ingenieromarino.com/definicion-partes-estructura-del-buque/>. [Último acceso: 20 Nov 2021].
- [3] Armada del Ecuador, *Corbeta Misilera Manabí*, 2021.
- [4] Organización Marítima Internacional, «Reglas de seguridad para los diferentes tipos de buques,» 1993. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/OurWork/Safety/Paginas/RegulationsDefault.aspx>. [Último acceso: 13 Nov 2021].
- [5] G. J. Javier, «Navegación y barcos,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.navyamar.com/>.
- [6] Organización Marítima Internacional, «Convenio MARPOL,» 1973. [En línea]. Available: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx). [Último acceso: 12 Nov 2021].
- [7] Astilleros Navales Ecuatorianos, *ASTINAVE EP.*, 2021.
- [8] Z. P. Cano, «Electricidad en el buque,» 2012-2013. [En línea]. Available: <http://www.naval582.com/maquinas/pdf/electricidad.naval.patron.pdf>.
- [9] L. Register, «Rulefinder Version 9.35,» July 2021. [En línea]. Available: <https://www.lr.org/en/rulefinder/download/>.
- [10] Y. A. Cengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones*, Mexico: Mc-Graw-Hill, 2018.
- [11] R. P. Singh y D. R. Heldman, *Introducción a la ingeniería de alimentos*, España: Acribia, 2001.

- [12] A. I. Abashar, M. A. Mohammedeltoum and O. D. Abaker, «Automated and Monitored Liquid Filling System,» *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, vol. doi: 10.1109/ICCCCEE.2017.7866699, pp. pp. 1-5, 2017.
- [13] P. A. Daneri, PLC Automatización y Control Industrial, Buenos Aires: HASA, 2008.
- [14] Siemens, «Industry Mall Ecuador,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ec/Catalog/Products/10090014>.
- [15] Siemens, «Industry Online Support, Product Support,» [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/products?mfn=ps&lc=en-US>. [Último acceso: 3 Dic 2021].
- [16] R. Hernandez, C. Fernández y P. Baptista, Metodología de la Investigación, México: McGraw-Hill Interamericana, 2014.
- [17] EPLAN, «Eplan efficient engineering,» [En línea]. Available: <https://www.eplan-software.com/>.
- [18] SIEMENS, «Guía técnica para el instalador electricista,» 2013. [En línea]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9b7dc9bf-297b-47ac-89cc-955fec785fc3/guia-tecnica-para-el-instalador-electricista-2013.pdf>. [Último acceso: 5 Dic 2021].
- [19] NFPA 70, Código Eléctrico Nacional, Español ed., Quincy, 2017.
- [20] SIEMENS, «TIA Selection Tool,» 2021.
- [21] TotalEnergies Marine Fuels, «Distillate Marine Fuels,» 2022. [En línea]. Available: <https://marinefuels.totalenergies.com/products-and-services/distillate-marine-fuel>. [Último acceso: 5 Ene 2022].
- [22] Siemens, «Lista de precios productos industriales eléctrico,» 1 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://electricoindustrial.com.ec/catalogos/Catalogoo_SIEMENS.pdf.
- [23] E. Hayden, An Abbreviated History of Automation & Industrial, vol. 23, International Journal of Computer, 2015.

APÉNDICE B

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60°C a 90°C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30°C (86°F)*.

| Calibre AWG o kcmil | Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).] | | | | | | Calibre AWG o kcmil |
|---------------------------|---|---|---|--------------|--|---|---------------------|
| | 60°C (140°F) | 75°C (167°F) | 90°C (194°F) | 60°C (140°F) | 75°C (167°F) | 90°C (194°F) | |
| | Tipos TW, UF | Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW | Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 | Tipos TW, UF | Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE | Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 | |
| COBRE | | | ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE | | | | |
| 18** | — | — | 14 | — | — | — | — |
| 16** | — | — | 18 | — | — | — | — |
| 14** | 15 | 20 | 25 | — | — | — | — |
| 12** | 20 | 25 | 30 | 15 | 20 | 25 | 12** |
| 10** | 30 | 35 | 40 | 25 | 30 | 35 | 10** |
| 8 | 40 | 50 | 55 | 35 | 40 | 45 | 8 |
| 6 | 55 | 65 | 75 | 40 | 50 | 55 | 6 |
| 4 | 70 | 85 | 95 | 55 | 65 | 75 | 4 |
| 3 | 85 | 100 | 115 | 65 | 75 | 85 | 3 |
| 2 | 95 | 115 | 130 | 75 | 90 | 100 | 2 |
| 1 | 110 | 130 | 145 | 85 | 100 | 115 | 1 |
| 1/0 | 125 | 150 | 170 | 100 | 120 | 135 | 1/0 |
| 2/0 | 145 | 175 | 195 | 115 | 135 | 150 | 2/0 |
| 3/0 | 165 | 200 | 225 | 130 | 155 | 175 | 3/0 |
| 4/0 | 195 | 230 | 260 | 150 | 180 | 205 | 4/0 |
| 250 | 215 | 255 | 290 | 170 | 205 | 230 | 250 |
| 300 | 240 | 285 | 320 | 195 | 230 | 260 | 300 |
| 350 | 260 | 310 | 350 | 210 | 250 | 280 | 350 |
| 400 | 280 | 335 | 380 | 225 | 270 | 305 | 400 |
| 500 | 320 | 380 | 430 | 260 | 310 | 350 | 500 |
| 600 | 350 | 420 | 475 | 285 | 340 | 385 | 600 |
| 700 | 385 | 460 | 520 | 315 | 375 | 425 | 700 |
| 750 | 400 | 475 | 535 | 320 | 385 | 435 | 750 |
| 800 | 410 | 490 | 555 | 330 | 395 | 445 | 800 |
| 900 | 435 | 520 | 585 | 355 | 425 | 480 | 900 |
| 1000 | 455 | 545 | 615 | 375 | 445 | 500 | 1000 |
| 1250 | 495 | 590 | 665 | 405 | 485 | 545 | 1250 |
| 1500 | 525 | 625 | 705 | 435 | 520 | 585 | 1500 |
| 1750 | 545 | 650 | 735 | 455 | 545 | 615 | 1750 |
| 2000 | 555 | 665 | 750 | 470 | 560 | 630 | 2000 |

APÉNDICE C

Diagrama de cableado de la CPU 1214 DC/DC/DC

Para el cableado y equipamiento de la CPU mediante el software TIA PORTAL y EPLAN EDUCATION se ha seguido el procedimiento en [15]; 6ES7 214-1AG40-0XB0:

