



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Migración tecnológica de los circuitos de fuerza y control del sistema de aire acondicionado para barra segura y control digital de la Central Hidroeléctrica San Francisco.**

Arizaga Jupiter, Richard Steven

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Msc. Sánchez Ocaña, Wilson Edmundo

28 de febrero de 2024

Latacunga

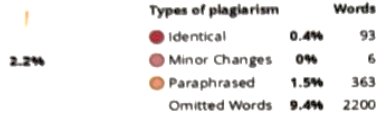


## TESIS\_ Completa Revisión\_ARÍZAGA\_2...

### Scan details

Scan time	Total Pages	Total Words
February 22th, 2024 at 17:17 UTC	94	23460

### Plagiarism Detection



### AI Content Detection

Text coverage
AI text
Human text
N/A

### Plagiarism Results: (16)

- DSpace ESPOCH.: Modernización del Sistema de Supervisión, Control y M...** 0.5%  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6524>  
 Skip navigation ...
- La migración de la TI** 0.5%  
<https://www.redhat.com/es/topics/automation/what-is-it-migration>  
 Skip to contentEnlaces destacados Soporte Console Desarrolladores Comenzar una prueba gratis Ver todo...
- (PDF) Modernización del Sistema de Supervisión, Control y Monitoreo del...** 0.4%  
[https://www.academia.edu/85026033/modernizaci%C3%B3n\\_del\\_sistema\\_de\\_supervis%C3%B3n\\_control\\_y\\_m...](https://www.academia.edu/85026033/modernizaci%C3%B3n_del_sistema_de_supervis%C3%B3n_control_y_m...)  
 Aldo Jair  
 Academia.edu no longer supports Internet Explorer. To browse Academia.edu and the wider internet faster and more securely, p...
- Qué es RS485 - Guía de la Comunicación RS485 [2024]** 0.3%  
<https://www.elitima.com/es/article/rs485-communication-guide/>  
 ...



About this report  
help.copleaks.com



Ing. Sánchez Ocaña Wilson Edmundo Msc.

Director



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Migración tecnológica de los circuitos de fuerza y control del sistema de aire acondicionado para barra segura y control digital de la Central Hidroeléctrica San Francisco"** fue realizado por el señor **Arizaga Jupiter Richard Steven**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

---

Ing. Sánchez Ocaña Wilson Edmundo Msc.

C.C. 0501529937



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Arizaga Jupiter Richard Steven**, con cédula de ciudadanía n°1804915468, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Migración tecnológica de los circuitos de fuerza y control del sistema de aire acondicionado para barra segura y control digital de la Central Hidroeléctrica San Francisco** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

---

Arizaga Jupiter Richard Steven.

C.C. 1804915468



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Carrera de Ingeniería en Electromecánica

**Autorización de Publicación**

Yo, **Arizaga Jupiter Richard Steven**, con cédula de ciudadanía n°1804915468, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Migración tecnológica de los circuitos de fuerza y control del sistema de aire acondicionado para barra segura y control digital de la Central Hidroeléctrica San Francisco** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

---

Arizaga Jupiter Richard Steven.  
C.C. 1804915468

### **Dedicatoria**

*Para todas aquellas personas que pusieron en mi camino el amor por aprender y el afán de esforzarse para cumplir con mis metas y que no me dejaron caer en los momentos más difíciles del trayecto de mi carrera.*

*A la persona que sembró en mí, el deseo de ser un gran profesional y me enseñó que, no importa que tan grande sea el problema siempre se podrá encontrar una solución con esfuerzo y dedicación, con mucho cariño madre mía Aracelly.*

*Y finalmente para todas aquellas mentes que vean en este trabajo una guía para el desarrollo de futuros profesionales, colegas y personas con deseos por aprender.*

*Arizaga Richard S.*

### **Agradecimiento**

*Estas palabras no pueden expresar toda la gratitud que siento hacia aquellos maestros quienes dedicaron valiosas horas de su tiempo para cultivar en mí una mente deseosa de aprender sobre el amplio mundo de las máquinas y su desarrollo industrial.*

*A demás, no puedo dejar de agradecerles a aquellas personas que incentivaron mi gusto por la generación eléctrica y que fueron los principales pilares para que el desarrollo de este trabajo sea posible, Ing. Carlos Molina, el cual vio en mí una persona con ganas de progresar y sacar adelante cualquier problema que me planteara, además de brindarme su apoyo incondicional siempre estaré agradecido por su tan valiosa amistad, Ing. Mariano Álvez, quien nunca dejo de enseñarme valiosos conocimiento y maravillosas experiencias que enriquecieron mi criterio técnico, mejoraron mi desarrollo personal, y que dejo en mi la imagen de un gran maestro, amigo y compañero de aventuras que jamás pensé conocer, y con mucho aprecio Ing. Leonardo Paredes quien nunca dejo de guiarme y preocuparse por que cumpla con mis objetivos y demuestre todos los conocimientos que he obtenido a lo largo de mi carrera, mis agradecimientos siempre estarán presentes para estas maravillosas personas así como para todo el personal del área eléctrica, mecánica y civil, son grandes personas y grandes amigos, los cuales nunca me negaron su amistad y su apoyo en la Central Hidroeléctrica San Francisco.*

*Arizaga Richard S.*

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de contenido .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>15</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>17</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>20</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo I: Problema .....</b>	<b>22</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>22</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>23</b>
<b>Justificación e importancia .....</b>	<b>23</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>24</b>
<b><i>Objetivo General</i> .....</b>	<b>24</b>
<b><i>Objetivos Específicos</i>.....</b>	<b>24</b>
<b>Capítulo II: Marco teórico .....</b>	<b>26</b>



<b>Antecedentes Investigativos .....</b>	<b>26</b>
<b>Fundamentación teórica .....</b>	<b>27</b>
<i><b>Funcionamiento general del sistema de aire acondicionado .....</b></i>	<i><b>27</b></i>
<i><b>Compresores Scroll Copeland.....</b></i>	<i><b>28</b></i>
<i><b>Pérdidas de presión en tuberías de refrigeración. ....</b></i>	<i><b>29</b></i>
<i><b>Causas de baja presión en los enfriadores.....</b></i>	<i><b>29</b></i>
<i><b>Protecciones eléctricas en aires acondicionados .....</b></i>	<i><b>30</b></i>
Guardamotor .....	31
Contactor .....	31
Relé de monitoreo .....	32
<i><b>Mejoramiento Industrial.....</b></i>	<i><b>32</b></i>
<i><b>Sistemas de control orientados a sistemas de aire acondicionado.....</b></i>	<i><b>33</b></i>
<i><b>Control todo o nada de un sistema de refrigeración.....</b></i>	<i><b>34</b></i>
<i><b>Control mediante señal de temperatura .....</b></i>	<i><b>34</b></i>
<i><b>Control mediante un sistema de enfriamiento y calefacción.....</b></i>	<i><b>35</b></i>
<i><b>Control de temperatura y humedad.....</b></i>	<i><b>36</b></i>
<i><b>Sistemas de control total. ....</b></i>	<i><b>36</b></i>
<i><b>Migración Tecnológica. ....</b></i>	<i><b>37</b></i>
<i><b>Bloques de programación Simatic S7-1200.....</b></i>	<i><b>38</b></i>
Tipos de bloques de programación .....	38
Tipos de bloques de organización .....	39

<i>Comunicación Industrial</i> .....	40
<i>Protocolo de comunicación Modbus</i> .....	40
<i>Modelos de transmisión de datos</i> .....	41
<i>Capa física de comunicación</i> .....	41
<i>Protocolo de comunicación RS-485</i> .....	42
<i>Comunicación Modbus en TIA portal</i> .....	43
<i>Configuración MB Comm Load</i> .....	44
<i>Configuración MB Máster</i> .....	44
<i>Configuración MB Slave</i> .....	45
<i>Diseño de interfaces gráficas según ISA101</i> .....	46
Fundamentación teórica .....	47
Fundamentación conceptual .....	48
Hipótesis .....	48
Variables de investigación.....	48
<i>Variable dependiente</i> .....	48
<i>Variable independiente</i> .....	48
Capítulo III: Metodología.....	49
Modalidad de Investigación.....	49
Tipos de investigación.....	52
<i>Investigación aplicada</i> .....	52
<i>Investigación descriptiva</i> .....	52

Diseño de la investigación.....	53
<i>Investigación bibliográfica</i> .....	53
<i>Investigación de campo</i> .....	53
<i>Investigación representativa</i> .....	54
Niveles de investigación .....	54
<i>Exploratorio</i> .....	54
<i>Predictivo</i> .....	54
<i>Descriptivo</i> .....	54
Indicadores.....	55
Técnicas de recolección de Información .....	56
Observación participante.....	56
Instrumentos de observación.....	58
Técnicas de análisis de datos .....	58
Técnicas de comprobación de hipótesis .....	59
Relación de humedad y temperatura en función del tiempo.....	63
Capítulo IV: Propuesta.....	66
Introducción.....	66
Datos informativos .....	67
Objetivos.....	68
<i>Objetivo General</i> .....	68
<i>Objetivos Específicos</i> .....	68

HVAC de la central hidroeléctrica San Francisco .....	68
Módulo de aire acondicionado HITACHI .....	69
Propuesta de diseño CAD circuito de fuerza y control.....	70
Propuesta de sustitución para tableros autocontenidos .....	72
Selección de equipos.....	74
<i>Selección de elementos de protección .....</i>	<i>74</i>
<i>Selección de elementos de protección en ventiladores .....</i>	<i>74</i>
<i>Selección de elementos de protección en compresores .....</i>	<i>75</i>
<i>Selección de elementos de protección en resistencias de recalentamiento.....</i>	<i>76</i>
<i>Selección de supervisor de tensión y falta de fase .....</i>	<i>77</i>
Selección de los elementos de control.....	78
<i>Controlador Lógico Programable PLC .....</i>	<i>78</i>
<i>Módulo CM1241 RS485.....</i>	<i>79</i>
<i>Módulo de E/S SM1221 .....</i>	<i>80</i>
<i>Módulo de entradas analógicas SM1231.....</i>	<i>81</i>
<i>Switch ethernet SCALANCE XB004-1.....</i>	<i>82</i>
<i>Pantalla 9" KTP BASIC 900 .....</i>	<i>83</i>
<i>Fuente de Alimentación Phoenix Contac 24VCC.....</i>	<i>84</i>
<i>Relé Biestable Arteché .....</i>	<i>85</i>
<i>Mini relés ABB 24VDC con led Indicador.....</i>	<i>86</i>
Selección de Instrumentación.....	87

<i>Transmisor de caudal másico</i> .....	87
<i>Transmisor de Presión</i> .....	88
Herramientas de diseño .....	89
<i>AutoCAD Electrical 2024</i> .....	89
<i>Totally Integrated Automation Portal V16</i> .....	90
<i>Modbus Slave como método de pruebas</i> .....	91
<i>Esquema de comunicación</i> .....	92
Capítulo V: Análisis de resultados .....	94
Análisis del objeto de estudio .....	94
Resultado del diseño del circuito de fuerza. ....	97
Etiquetado y normalización. ....	98
Regla de bornes y terminales de conexión .....	98
Señales de control en los circuitos de fuerza .....	99
Resultado del diseño del circuito de control.....	101
Interruptores de protección, iluminación y calefacción .....	102
Regla de bornes de paso en unidades AC-1 /AC-2 .....	104
Filosofía de control .....	106
<i>Arquitectura de control</i> .....	106
<i>Funciones del sistema</i> .....	106
Modos de Operación .....	107
<i>Modo Automático</i> .....	107

<i>Modo Manual</i> .....	107
<i>Estrategias de control</i> .....	108
<i>Esquema de operación</i> .....	108
Estructura de programación para S7-1200 .....	110
Desarrollo de bloques de función .....	111
<i>Bloques de control de unidad AC -1 / AC-2</i> .....	111
<i>Bloques de función para control de tiempo</i> .....	111
<i>Bloques de programación de bits a Word</i> .....	112
Programación de Interfaz.....	113
Selección de pantallas .....	114
Resultados de mantenibilidad .....	116
Cálculo de mantenibilidad .....	118
Resultados de confiabilidad .....	119
Cálculos de confiabilidad .....	120
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	122
Conclusiones.....	122
Recomendaciones.....	124
Bibliografía.....	125
Anexos.....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Características de protocolo R232 y R485</i>	43
<b>Tabla 2</b>	<i>Selección de Indicadores del sistema de aire acondicionado</i>	55
<b>Tabla 3</b>	<i>Datos de análisis de fallas</i>	58
<b>Tabla 4</b>	<i>Informe de fallas sistema de aire acondicionado</i>	61
<b>Tabla 5</b>	<i>Actividades de mantenimiento con tiempo máximo de ejecución</i>	63
<b>Tabla 6</b>	<i>Temperatura y humedad en barra segura durante 24h</i>	64
<b>Tabla 7</b>	<i>Elementos del módulo de aire acondicionado</i>	70
<b>Tabla 8</b>	<i>Tabla selección para ventiladores</i>	75
<b>Tabla 9</b>	<i>Tabla selección para compresores</i>	76
<b>Tabla 10</b>	<i>Tabla selección para resistencias de calentamiento</i>	77
<b>Tabla 11</b>	<i>Tabla selección para supervisor de tensión</i>	78
<b>Tabla 12</b>	<i>PLC S7-1200 con Accesorios</i>	79
<b>Tabla 13</b>	<i>Módulo de Comunicación CM1241</i>	80
<b>Tabla 14</b>	<i>Características módulo SM1221</i>	81
<b>Tabla 15</b>	<i>Módulo SM1231 de 8 entradas analógicas</i>	82
<b>Tabla 16</b>	<i>Switch SCALANCE XB004-1</i>	83
<b>Tabla 17</b>	<i>HMI KTP900 Basic</i>	84
<b>Tabla 18</b>	<i>Fuente de Alimentación QUINT-PS</i>	85
<b>Tabla 19</b>	<i>Relé Biestable BF-4 24VDC</i>	86

<b>Tabla 20</b> <i>Mini Relé ABB 250VAC 8A</i> .....	87
<b>Tabla 21</b> <i>Transmisor de caudal SITRON CF420</i> .....	88
<b>Tabla 22</b> <i>Transmisor WINTERS LE1</i> .....	89
<b>Tabla 23</b> <i>Conductores Utilizados en circuitos de fuerza</i> .....	97
<b>Tabla 24</b> <i>Cargas de sistema de aire acondicionado</i> .....	101
<b>Tabla 25</b> <i>Programación de tiempos de ordenes de trabajo en IFS</i> .....	116
<b>Tabla 26</b> <i>Programación de tiempos de ordenes de trabajo en IFS</i> .....	117
<b>Tabla 27</b> <i>Cálculo de Mantenibilidad</i> .....	118
<b>Tabla 28</b> <i>Fallas suscitadas en un periodo de 4 meses</i> .....	119
<b>Tabla 29</b> <i>Confiabilidad para el sistema actual</i> .....	120
<b>Tabla 30</b> <i>Confiabilidad y Mantenibilidad para el sistema actual</i> .....	121



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Diagrama de un sistema de refrigeración.....</i>	<i>27</i>
<b>Figura 2</b>	<i>Compresor Scroll Copeland.....</i>	<i>28</i>
<b>Figura 3</b>	<i>Conexión eléctrica de aire acondicionado.....</i>	<i>30</i>
<b>Figura 4</b>	<i>Guardamotor.....</i>	<i>31</i>
<b>Figura 5</b>	<i>Contactor.....</i>	<i>31</i>
<b>Figura 6</b>	<i>Relé supervisor de tensión.....</i>	<i>32</i>
<b>Figura 7</b>	<i>Mantenimiento correctivo en tablero de control.....</i>	<i>33</i>
<b>Figura 8</b>	<i>Tipos de control de enfriamiento y calefacción.....</i>	<i>34</i>
<b>Figura 9</b>	<i>Control de humedad y temperatura en un sistema HVAC.....</i>	<i>36</i>
<b>Figura 10</b>	<i>Estructura de bloques de programación.....</i>	<i>39</i>
<b>Figura 11</b>	<i>Red de comunicación Profibus RS-485.....</i>	<i>42</i>
<b>Figura 12</b>	<i>Bloque de configuración de puerto.....</i>	<i>44</i>
<b>Figura 13</b>	<i>Bloque de configuración MB_Master.....</i>	<i>45</i>
<b>Figura 14</b>	<i>Bloque de configuración MB_Slave.....</i>	<i>45</i>
<b>Figura 15</b>	<i>HMI con normas ISA 101.....</i>	<i>47</i>
<b>Figura 16</b>	<i>Diagrama de metodología.....</i>	<i>49</i>
<b>Figura 17</b>	<i>Diagrama de ciclos de tiempo de la vida útil de un equipo.....</i>	<i>60</i>
<b>Figura 18</b>	<i>Línea de tiempo de eventos de falla.....</i>	<i>62</i>
<b>Figura 19</b>	<i>Curva de comportamiento de la humedad y la temperatura.....</i>	<i>65</i>
<b>Figura 20</b>	<i>Sistema de aire acondicionado.....</i>	<i>69</i>

<b>Figura 21</b> <i>Diseño circuito de fuerza AC1/AC2</i> .....	71
<b>Figura 22</b> <i>Diseño circuito de control principal TSAC</i> .....	72
<b>Figura 23</b> <i>Tableros de protecciones, autocontenidos AC1/AC2</i> .....	73
<b>Figura 24</b> <i>Transformadores, autocontenidos AC1/AC2</i> .....	74
<b>Figura 25</b> <i>Entorno de diseño de AutoCAD Electrical</i> .....	90
<b>Figura 26</b> <i>Interfaz gráfica de TIA portal</i> .....	91
<b>Figura 27</b> <i>Niveles de comunicación UAC-SA</i> .....	92
<b>Figura 28</b> <i>Configuración del puerto RS485 en módulos CM1241</i> .....	93
<b>Figura 29</b> <i>Diseño de Tablero para circuito de fuerza AC-1 / AC-2</i> .....	95
<b>Figura 30</b> <i>Diseño de tablero para circuito de control</i> .....	96
<b>Figura 31</b> <i>Proceso de Construcción de los circuitos de fuerza</i> .....	98
<b>Figura 32</b> <i>Proceso de Etiquetado y conexión de terminales</i> .....	99
<b>Figura 33</b> <i>Tablero posterior de fuerza para las unidades AC-1 / AC-2</i> .....	100
<b>Figura 34</b> <i>Proceso de Ajuste de Interruptor 52</i> .....	102
<b>Figura 35</b> <i>Circuito de Iluminación y calefacción</i> .....	103
<b>Figura 36</b> <i>Proceso de construcción parte frontal del tablero de control TSAC</i> .....	104
<b>Figura 37</b> <i>Proceso de reacondicionamiento para bornes de paso</i> .....	105
<b>Figura 38</b> <i>Resultado del diseño de tablero de control</i> .....	105
<b>Figura 39</b> <i>Esquema de control del sistema de aire acondicionado</i> .....	109
<b>Figura 40</b> <i>Resultado de programación para S71200</i> .....	110
<b>Figura 41</b> <i>Bloque de función para control de unidades</i> .....	111

<b>Figura 42</b> <i>Bloque de función programado para medición del tiempo.</i> .....	112
<b>Figura 43</b> <i>Estructura de programación dentro de un bloque de función.</i> .....	113
<b>Figura 44</b> <i>Diseño de Interfaz Gráfica.</i> .....	114
<b>Figura 45</b> <i>Pantallas de Interfaz Gráfica</i> .....	115
<b>Figura 46</b> <i>Aumento del índice de mantenibilidad.</i> .....	118
<b>Figura 47</b> <i>Aumento del índice de confiabilidad.</i> .....	121

## Resumen

El enfoque del presente trabajo está sujeto al análisis de la mantenibilidad y la confiabilidad en base al desarrollo e implementación del rediseño eléctrico y electrónico del sistema de aire acondicionado, el cual requiere de la sustitución total de los circuitos de fuerza y control, así como la reestructuración de la red de comunicación con la unidad de adquisición de datos, para mantener un control de temperatura adecuado para los recintos de los tableros de barra segura y control digital. La implementación del nuevo sistema se llevó a cabo en San Francisco, una de las centrales de la Unidad de Negoció Hidroagoyán perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC-EP). Mediante la revisión de los informes de fallas se establece la condición de las unidades de aire acondicionado, y los requerimientos necesarios para el rediseño. El desarrollo del rediseño se logró mediante el uso de herramientas tecnológicas como el software AutoCAD Electrical el cual fue de vital importancia para obtener un modelo de tablero fácilmente modificable y con múltiples opciones para su edición. El controlador lógico S7-1200 utilizó el portal integrado de automatización TIA, en donde además de poder esquematizar la programación de este, se pudo obtener un diseño claro para una interfaz gráfica HMI Siemens KTP900 Basic y la configuración de protocolos de comunicación para proveer datos dentro de una red Modbus entre diferentes controladores.

*Palabras clave:* rediseño de aire acondicionado, protocolo de comunicación, Modbus, S7-1200, HMI.

### **Abstract**

The focus of this work is subject to the analysis of maintainability and reliability based on the development and implementation of the electrical and electronic redesign of the air conditioning system, which requires the total replacement of the power and control circuits, as well as the restructuring of the communication network with the data acquisition unit, to maintain adequate temperature control for the safe bar and digital control panel enclosures. The implementation of the new system was carried out in San Francisco, one of the plants of the Hidroagoyán Business Unit belonging to the Electric Corporation of Ecuador (CELEC-EP). By reviewing failure reports, the condition of the air conditioning units is established, and the necessary requirements for redesign. The development of the redesign was achieved with technological tools such as the AutoCAD Electrical software, which was of vital importance to obtain an easily modifiable board model with multiple options for editing. The S7-1200 logic controller used the integrated TIA automation portal, where in addition to being able to schematize its programming, it was possible to obtain a clear design for a Siemens KTP900 Basic HMI graphical interface and the configuration of communication protocols to provide data within of a Modbus network between different controllers.

*Keywords:* redesign of air conditioning, corrective maintenance, Modbus, S7-1200, HMI.

## Capítulo I

### Problema

#### Planteamiento del problema

Actualmente, los sistemas de barra segura, de supervisión y control digital son esenciales para el área de operación y control. Sin estos sistemas, no sería posible controlar de forma remota las unidades de generación y sus sistemas auxiliares. Por lo tanto, es crucial mantener una temperatura adecuada para evitar sobrecalentamientos en las tarjetas electrónicas, lo cual podría causar fallas.

La automatización del sistema de aire acondicionado ha sido modificada en algunas ocasiones como trabajos de mejora, pero el pasar del tiempo y múltiples eventos de mal funcionamiento han deteriorado el control adecuado del sistema, además de implementar varias adecuaciones para obtener un control manual para la selección de compresores.

Estos cambios a lo largo del tiempo han dificultado las actividades de mantenimiento ya que los dispositivos que conforman el circuito de potencia están mal ubicados, expuestos a altos niveles de humedad e incluso filtraciones de agua causadas por la condensación de las unidades de acondicionamiento.

Provocando una corrosión acelerada en las bases inferiores de los módulos, donde se encuentran los transformadores reductores de 480V/220V que alimentan resistencias de calentamiento y bobinas de los dispositivos de control. También se han registrado desconexiones inusuales de los compresores a causa de varias modificaciones en el sistema y a sensores de presión obsoletos. Como resultado, los desequilibrios en el control de temperatura de los recintos en donde se encuentran estos tableros han sido constantes. Por lo tanto, la migración tecnológica y la reubicación de los dispositivos de control del sistema de aire acondicionado podrían mejorar la mantenibilidad y el adecuado manejo de la temperatura para las zonas donde se encuentran ubicados los tableros de barra segura y control digital.

## **Antecedentes**

El proyecto hidroeléctrico San Francisco inició su construcción en 2004 en la cuenca del Río Pastaza, en la ciudad de Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua. Tiene un caudal de diseño de 116m<sup>3</sup>/s y una caída neta de 200 metros. El proyecto se completó a principios de mayo de 2007, cuando comenzó la generación comercial con la primera unidad generadora. Poco después, se puso en funcionamiento la segunda unidad, lo que sumó una capacidad instalada total de 230 MW y un factor de planta del 48.4%.

La casa de máquinas en caverna, con dimensiones de 76m de largo, 19m de ancho y 42m de altura, alberga los pisos de maniobras, generadores, turbinas (subestación) y válvulas, así como la sala de control y las oficinas administrativas. Cada uno de los pisos cuenta con paneles y tableros de monitoreo equipados con controladores lógicos de alta gama (PLC) e interfaces digitales HMI táctiles, que permiten una mejor visualización de los datos y contribuyen a la confiabilidad y actualización tecnológica de la planta. Como parte de las instalaciones, la central cuenta con un sistema de barra segura y control digital, los cuales requieren mantener una temperatura adecuada para su funcionamiento y para el personal que trabaja en estas áreas. El sistema de aire acondicionado para este propósito se implementó durante la construcción de la central y se modificó en 2016 con la adaptación de un HMI touch. Este sistema se divide en dos módulos HITACHI, cada uno equipado con dos compresores, dos resistencias de calentamiento y un motor para los ventiladores, que son controlados por un PLC General Electric, modelo Fanuc Versamax IC200CPU002, así como relés auxiliares, un HMI Delta y equipos de protección eléctrica.

## **Justificación e importancia**

La renovación del control automático del sistema de aire acondicionado mejora el monitoreo de variables de temperatura, permite que las protecciones tanto eléctricas como mecánicas de los diferentes elementos que conforman los módulos de acondicionamiento presenten datos correctos mejorando la confiabilidad del sistema, brinda a los operadores la

facilidad de visualizar la activación de cada uno de los compresores, así como monitorear el flujo del agua utilizada para el enfriamiento del gas y que la presión del refrigerante sea la adecuada para el funcionamiento de los compresores.

La implementación de un nuevo PLC mejora la etapa de comunicación y recepción de datos, entre el sensor principal de temperatura y humedad y la nueva instrumentación analógica, ayudando a fortalecer el monitoreo del sistema por parte del personal de operación. Además, la reubicación de los dispositivos que conforman el circuito de fuerza en un tablero centralizado, en un entorno seco y con una temperatura adecuada, aumenta la confiabilidad del sistema y facilita las labores de mantenimiento.

Es importante mantener la temperatura en el recinto de la barra segura y el sistema de control digital entre un mínimo de 19°C y un máximo de 24°C para evitar que las tarjetas electrónicas dentro del tablero superen la temperatura de funcionamiento y afecten el control en la planta. Si el sistema de aire acondicionado no funciona correctamente, existe un mayor riesgo de presencia de fallas en los tableros de barra segura, lo cual resultaría en pérdidas significativas de tiempo, producción y dinero. Por lo tanto, es recomendable considerar una migración tecnológica para evitar estos riesgos y maximizar la eficiencia del sistema de control.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Migración tecnológica de los circuitos de fuerza y control del sistema de aire acondicionado para mejorar su mantenibilidad y proporcionar una temperatura de funcionamiento adecuada para el sistema de barra segura de supervisión y control digital en la Central Hidroeléctrica San Francisco.

### ***Objetivos Específicos***

- Dimensionar de manera adecuada los dispositivos del circuito fuerza de cada módulo que se encuentran mal ubicados para centralizarlos en un tablero general (TSAC) mediante el uso de software.



- Seleccionar los elementos de protección necesarios para cada componente del sistema y prevenir daños causados por eventos inesperados en la central, mediante el uso de los datos de placa de cada uno de los componentes de cada unidad.
- Evaluar la condición de los transformadores de 480V/220V ubicados en la parte inferior de cada unidad para determinar si es necesario reubicarlos o descartarlos en caso de no ser indispensables para el sistema.
- Sustituir los dispositivos de control, e instrumentos deteriorados que no cumplan los requerimientos necesarios para un óptimo funcionamiento, de modo que el suministro de aire acondicionado no deje de ser constante
- Implementar y programar un PLC con una interfaz gráfica (HMI) brindando una adecuada comunicación industrial con el SCADA y un correcto monitoreo de las señales presentes en el sistema.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Antecedentes Investigativos

En la tesis “Modernización del control del sistema de limpieza de las rejillas de la toma de carga de la Central Hidroeléctrica Agoyán” Previo a la obtención del título de Ingeniero en electrónica y control, el autor Klever Eduardo Aldas Mejía, manifiesta que se incluirá mejoras en la estructura de programación, operación y seguridades en caso de una mala maniobra de los operadores. Además, habilitará la funcionalidad de trabajo automático, lo que permitirá que el pórtico limpia rejas funcione con los datos recibidos del sistema de detección de obstrucciones en las rejas. Aldas (2017)

En la tesis “Modernización del sistema de supervisión, control y monitoreo del sistema de aire acondicionado para el sistema de barra segura y sistema digital de supervisión y control (SDSC) de la Central Hidroeléctrica San Francisco” Previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico en control y redes industriales, manifiesta que la modernización del sistema de aire acondicionado mejoró la interacción humano-máquina, el mantenimiento de la parte electrónica y eléctrica, y solucionó los problemas existentes en el sistema anterior de aire acondicionado. Cedeño (2017)

En la tesis “Automatización de las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará” Previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico en control y redes industriales, manifiesta que al reemplazar el sistema de control electromecánico por controladores lógicos programables mejorará la confiabilidad en el control de las unidades de generación y que la comunicación entre los diferentes equipos se considerará bajo la arquitectura diseñada para cumplir con los requisitos de control del sistema. Molina (2018)

## Fundamentación teórica

### ***Funcionamiento general del sistema de aire acondicionado***

El ciclo de refrigeración empieza cuando el compresor del sistema se activa provocando una circulación del gas refrigerante a través de los distintos elementos que lo conforman. El gas aumenta su presión y temperatura al ser comprimido, hasta llegar al condensador lugar en donde este pasa a ser un líquido de alta presión a baja temperatura, una vez que llega a la válvula de expansión disminuye su presión viajando por el evaporador a baja presión y absorbiendo calor del ambiente, un ventilador es el encargado de desviar el aire frío hacia su lugar de destino. Otros factores que deben tomarse en cuenta para entender el funcionamiento del sistema de aire acondicionado son:

- Tipo de gas refrigerante
- Tipo de refrigeración del condensador
- Tipo de compresor
- Sección de la tubería de cobre

### **Figura 1**

*Diagrama de un sistema de refrigeración*



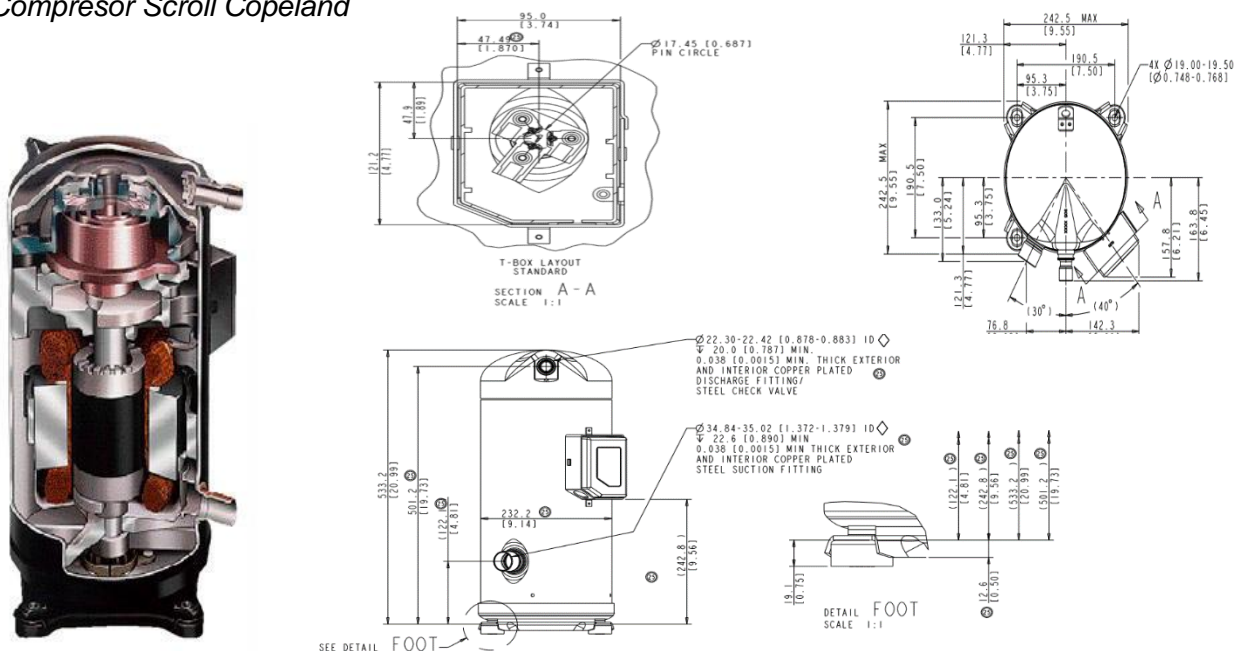
*Nota.* Tomado de Rosa (2022)

## Compresores Scroll Copeland

El diseño de este tipo de compresores es específicamente para aplicaciones de aire acondicionado o sistemas de refrigeración, posee materiales con alto grado de aislamiento y resistentes al calor, debido a que este tipo de motores se encuentran en estrecho contacto con los refrigerantes y lubricantes. Toda la gama de estos compresores cumple con la norma IEC 34-18-1, Además presentan una tolerancia a la tensión de +/- 10% y están disponibles para una frecuencia de 60Hz para diferentes niveles de tensión. Es necesario entender que los compresores trifásicos solo pueden girar en un solo sentido de giro, a diferencia de los motores monofásicos en donde no importa el sentido de la conexión. Durante el arranque este tipo de compresores emite un sonido metálico cuando empieza el contacto de las espirales que permiten la compresión del gas, el sonido es momentáneo y solo se produce un instante durante el arranque. EMERSON (2004)

**Figura 2**

*Compresor Scroll Copeland*



*Nota.* La figura muestra La estructura interna y dimensiones de un compresor espiral. Tomado de EMERSON (2004)

Los sistemas de refrigeración a pesar de ser muy eficientes pueden presentar los siguientes problemas:

### ***Pérdidas de presión en tuberías de refrigeración.***

Un diferencial de presión se puede ocasionar en cualquier parte del circuito frigorífico, es necesario una baja de presión en puntos como la válvula de expansión, pero si se presenta una pérdida de presión en otros puntos se podrían ocasionar daños en el sistema y aumentos en el consumo energético. Se debe tener en cuenta que un fluido desplazándose dentro de un volumen delimitado será expuesto a una diferencia de presión ocasionada por la fricción del medio, es decir una mayor velocidad implica una mayor pérdida y un diámetro menor provoca una mayor velocidad. Para evitar pérdidas innecesarias en el sistema se debe seleccionar adecuadamente:

- ***Línea de succión:*** es uno de los segmentos más críticos en caso de existir una caída de presión, afecta directamente a la eficiencia del sistema, en este punto la caída de presión equivale a  $1.1^{\circ}\text{K}$  tomando en cuenta la temperatura de evaporación como referencia.
- ***Línea de descarga:*** la dimensión de esta línea viene designada de fábrica para los distintos tipos de condensadores, pero como regla general esta tubería debe dimensionarse, de tal manera que las pérdidas no sean mayores de 5 psi.
- ***Línea de Líquido:*** este segmento está designado para que el refrigerante líquido se traslade por todo el evaporador y por lo general no presentan dificultades en líneas horizontales, pero para segmentos ascendentes se debe encontrar la relación de caída de presión por metro.

### ***Causas de baja presión en los enfriadores.***

Entre los principales motivos por los que la presión del gas puede bajar y afectar negativamente a la capacidad de enfriamiento de la unidad se detallan a continuación:

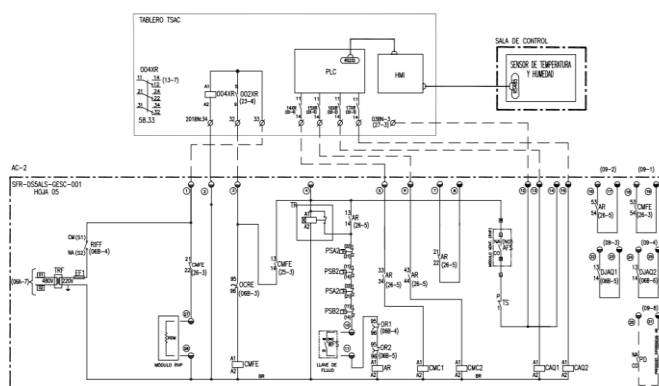
- **Baja cantidad de refrigerante o fugas:** las posibles fugas se pueden presentar en las uniones de la tubería con el evaporador, el condensador, o el compresor. El sistema puede ser restaurado si se eliminan las fugas o se carga el gas faltante.
- **Temperatura de ambiente baja:** si las condiciones ambientales externas se encuentran demasiado frías, tanto el aceite del compresor como el agua de enfriamiento del condensador, pueden causar una alarma de baja presión.
- **Obstrucciones de la tubería del sistema:** A lo largo del paso del tiempo se pueden ir acumulando impurezas dentro de los filtros, o partículas contaminantes dentro de las tuberías de refrigeración.
- **Válvula de expansión con regulación muy pequeña.** Si la apertura de la válvula de expansión es demasiado pequeña el paso del vapor refrigerante se restringe y se puede ocasionar una falla de baja presión.

### ***Protecciones eléctricas en aires acondicionados***

Los sistemas de aire acondicionado son equipos de gran consumo energético, por lo que están propensos a fallas eléctricas y requieren del uso de dispositivos de protección seleccionados correctamente para evitar fallas en el propio equipo, o incluso hasta en equipos conectados a la misma red.

### **Figura 3**

*Conexión eléctrica de aire acondicionado*



*Nota.* La figura muestra el diagrama unifilar del módulo de aire acondicionado AC-2

**Guardamotor.** Este dispositivo se utiliza para arrancar y detener motores manualmente, proporcionando protección confiable y sin fusibles utilizados en cortocircuitos, fallas en una de las fases y sobrecargas. El arrancador de motor manual ofrece una capacidad nominal de corte en cortocircuito de 100 kA a 400 VCA. ABB (2023)

#### Figura 4

*Guardamotor*



*Nota.* Tomado de ABB (2023)

**Contactador.** El contactor cuenta con un amplio rango de voltaje de control (100-250 V 50/60 Hz y CC), gestionando de manera experta fluctuaciones significativas en el voltaje de control, reduciendo así el consumo de energía del panel y garantizando un funcionamiento fluido incluso en redes inestables. Además, viene con protección contra sobretensiones incorporada, lo que ofrece una solución compacta. ABB (2023)

#### Figura 5

*Contactador*



*Nota.* Tomado de ABB (2023)

**Relé de monitoreo.** El relé de supervisión tiene por objetivo medir la resistencia eléctrica del líquido entre las sondas las cuales indican un nivel mínimo o un nivel máximo, o un principio de medición conductiva, Si la sensibilidad ajustada es menor, el relé actúa cambiando de estado. Siemens (2022)

### **Figura 6**

*Relé supervisor de tensión*



*Nota.* Tomado de Siemens (2022)

### ***Mejoramiento Industrial***

Según Borja (2021) el mejoramiento industrial hace referencia a la gestión de ajustar los procesos para lograr eficiencia y eficacia, además de aumentar la confiabilidad del sistema, mejorar su mantenibilidad y aliviar el estrés de un equipo que no trabaja correctamente.

El mejoramiento industrial tiene como actividades principales las siguientes:

- Rediseño de procesos
- Búsqueda de fallas
- Migración tecnológica
- Sistemas de control adecuados
- Comunicación entre sistemas
- Programación de interfaces gráficas

Estas actividades se complementan con la correcta selección de los equipos de automatización, protecciones y también con la instrumentación adecuada. El diseño (CAD) es



de vital importancia para presentar un modelo adaptable donde se puede visualizar una imagen futura del mejoramiento que se pretende realizar.

### **Figura 7**

*Mantenimiento correctivo en tablero de control*



*Nota.* Tomado de Kampan (2023)

La sustitución de los elementos de control y el cambio de tecnología adaptable al mercado, forman parte de un mantenimiento correctivo que tiene el enfoque de eliminar problemas y errores que se habían presentado en el pasado, los cuales no habían podido ser solventados para evitar que la producción se detenga y conlleve a pérdidas económicas, además el mejoramiento industrial también busca otorgar un mayor tiempo de vida útil para el sistema donde se aplicará la mejora.

El ultimo motivo para realizar un mejoramiento industrial es la rentabilidad, ya que todo proyecto de mejora tiene intereses económicos y busca elevar sus índices de mantenibilidad y confiabilidad, además de encontrar una paz industrial, en donde los intereses de los trabajadores sean proporcionales a los intereses empresariales.

### ***Sistemas de control orientados a sistemas de aire acondicionado***

El propósito principal de un sistema de control es que todas las variables que se encuentran en la salida del sistema actúen a las ordenes que dictan las variables que se encuentran en la entrada del proceso. Es indispensable identificar de que tipo son cada una de

las señales que se utilizaran para dar control al sistema, existen señales de tipo digital o comúnmente llamadas señales todo o nada, las cuales nos proporcionarán un código binario sobre el funcionamiento del equipo. Las señales de tipo analógico transmiten información en rangos determinados de corriente o voltaje, es decir de 4 a 20mA o de 0 a 10v, los cuales brindan información, así como la velocidad del flujo de los condensadores de un sistema de refrigeración.

### ***Control todo o nada de un sistema de refrigeración***

Este sistema se caracteriza por que fluctúa la temperatura ambiente y la humedad del área de acondicionamiento, cuando se desconectan el equipo de refrigeración los ventiladores se mantienen encendidos para lograr ventilación adicional en el área de acondicionamiento. En caso de poseer un sistema de refrigeración y calefacción se debe aplicar otro tipo de control como los que se mencionan a continuación:

### ***Control mediante señal de temperatura***

El control mediante señales de temperatura se realiza por un sensor de temperatura que gobierna el sistema con la lectura de la temperatura, realizando activaciones y desactivaciones del sistema.

## **Figura 8**

*Tipos de control de enfriamiento y calefacción*



*Nota.* La Figura muestra los tipos de control de calefacción y refrigeración.

### ***Control mediante un sistema de enfriamiento y calefacción***

En un sistema provisto de un circuito de refrigeración y resistencias de calefacción, es indispensable tener en cuenta las variables que se deben manejar, así también los flujos de agua que permiten el correcto funcionamiento de los equipos.

- **Control de flujo mediante válvulas:** El termostato que se encuentra en el área de acondicionamiento envía señales para aumentar o disminuir el caudal del refrigerante que pasa por las válvulas, ingresando al sistema para variar la capacidad de refrigeración.
- **Control de compuerta:** el termostato que se encuentra en el área de acondicionamiento envía señales de apertura y cierre de la compuerta moduladora que permiten la variación del flujo de aire que ingresa en el área de acondicionamiento.
- **Control de compuertas de mezcla de aire:** el termostato ubicado en el área de acondicionamiento envía señales de control a las compuertas ubicadas en dos ductos distintos que controlan el paso de flujo de aire caliente o frío.
- **Control de compuertas de superficie y de desviación:** el desvío de aire para que no pase por el serpentín de enfriamiento es la condición que utiliza este método para mantener las proporciones de aire que son controladas por el termostato.

El sistema de refrigeración posee variables que deben ser controladas adecuadamente para no ser víctima de fallas de funcionamiento y para mantener un control adecuado a las características del medio ambiente que lo rodea. Estas variables son:

- Temperatura
- Presión
- Flujo
- Humedad

### **Control de temperatura y humedad.**

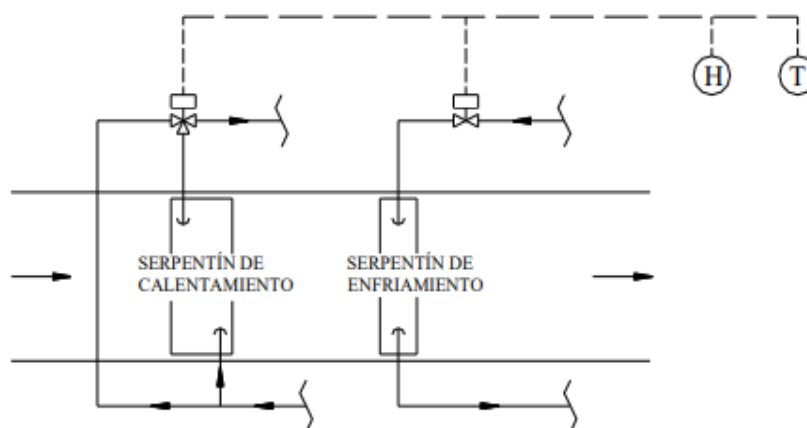
Según Torres (2008) la humedad debe ser controlada de igual manera que la temperatura, ya que las condiciones de humedad también afectan al confort del área de acondicionamiento, si la humedad en la zona de enfriamiento es menor que el ajuste del homeostato, el enfriamiento del evaporador es controlado por el sensor de temperatura, pero si la humedad llega a subir más allá del punto de control, el enfriamiento del serpentín depende del sensor de humedad. Las resistencias de calefacción llegan a funcionar si la temperatura en el área de acondicionamiento está por debajo del punto de control.

### **Sistemas de control total.**

Este método de control resulta ser muy necesario para sistemas de acondicionamiento más estructurados, es decir que no se utiliza para sistemas de baja carga. Para obtener un sistema de control total se debe reunir las características de los distintos métodos de control y concentrarlos para que el equipo de refrigeración o calefacción que se desea controlar trabaje sin ningún problema, favoreciendo al consumo de energía y reduciendo el tiempo de acondicionamiento del aire.

### **Figura 9**

*Control de humedad y temperatura en un sistema de enfriamiento y calefacción*



*Nota.* Tomado de Torres (2008)

### ***Migración Tecnológica.***

Corresponde a la acción de trasladar información de una plataforma a otra, con mejores condiciones de funcionamiento, mayor capacidad de memoria y que sea adaptable a el avance tecnológico dentro del mercado actual. El termino migración se utiliza frecuentemente cuando se trata de cambiar la estadía de la información de un controlador programable a otro, así también es utilizado en proyectos de rediseño de control y sustitución de equipos electrónicos anticuados. Actualmente, la migración tecnológica abarca distintos tipos de tareas como:

- **Migración de la base de datos:** este tipo de migración es específicamente para trasladar los datos de una empresa a una nueva infraestructura como la nube. La empresa debe estar segura de que los datos que va a trasladar son compatibles con el lugar de destino.
- **Migración de las aplicaciones:** las aplicaciones poseen diversas formas para poder ser desarrolladas o alojadas, de igual manera existen varios métodos para migrarlas. Así como el realojamiento, que consiste en cambiar una aplicación de una plataforma a otra. La reestructuración que conlleva realizar cambios significativos para poder ejecutarla en un nuevo entorno y el cambio de plataforma que implica el cambio a un entorno diferente y requiere de algunos cambios menores.
- **Migración de controladores lógicos:** existen diversos motivos para migrar de PLC, una de las principales razones es la falta de repuestos en el mercado, la capacidad del PLC también suele ser un motivo de cambio o simplemente se requiere unificar controladores de distintos fabricantes. Sin importar el motivo de la migración esto requiere un análisis minucioso para cada caso. La migración en muchos casos suele presentarse entre familias del mismo fabricante, o entre modelos de distintos. La migración de controladores siempre lleva implícito el cambio de la interfaz gráfica, ya que suele ser siempre del mismo fabricante que el PLC.

### ***Bloques de programación Simatic S7-1200.***

Cuando las ordenes de programación son sencillas, se puede utilizar un único de bloque de organización (OB), el cual ejecuta las instrucciones de manera ordenada, y al llegar al final regresa hasta la primera instrucción y repite el ciclo de operación. Cuando las tareas que requiere ejecutar el controlador son de mayor complejidad se recomienda dividir el programa en bloques más pequeños y organizados por funciones que posibiliten la comprobación de las partes del programa.

**Tipos de bloques de programación.** Desarrollar una programación estructurada depende del nivel de organización que se aplique en la propuesta de control y que la selección de los bloques sea adecuada. Los principales boques de programación se detallan a continuación:

- **Bloque de organización (OB):** este tipo de bloque es llamado así por que su sistema operativo trabaja en forma cíclica, además es el medio de comunicación entre el usuario y el sistema operativo del controlador.
- **Bloque de función (FB):** requiere de un espacio de memoria para cada instancia, cuando se realiza el llamado de un bloque de función, se necesita asignar un bloque de datos (DB), para registrar los datos de instancia. En un bloque de función también pueden ser agregados otros bloques de función y funciones específicas sin afectar el comportamiento del programa.
- **Función (FC):** No requiere de un espacio de memoria asignada, los datos en una función son eliminados después de que se ejecuta la función, los bloques de función pueden ser llamados dentro de una función, sin afectar el funcionamiento correcto del programa.
- **Bloques de Datos (DB):** son utilizados, para brindar espacios de memoria para ciertas variables de datos, los tipos de bloques de datos pueden ser globales, los

cuales son abiertos para todos los bloques del programa o de instancia, para un bloque de función específico.

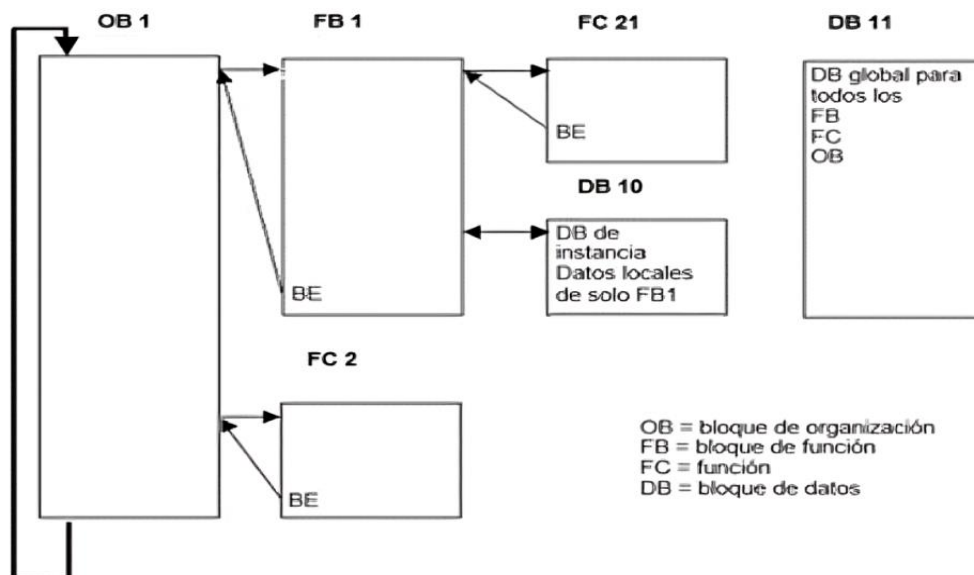
**Tipos de bloques de organización.** Los bloques de organización no pueden hacer llamados a otros bloques de organización y de igual manera para los bloques de función, solo una alarma de diagnóstico, o un evento de intervalo de tiempo pueden llamar a un bloque de ciclo. Los bloques de organización son manejados por la CPU de acuerdo con la prioridad a la que estén configurados, siendo 1 la más baja y 26 la más alta. Siemens (2018)

Algunos de los bloques de organización que también se utilizan se presentan a continuación:

- OB de arranque
- OB de alarma de retardo
- OB de alarma cíclica
- OB de alarma de proceso
- OB de alarma de error de tiempo

### Figura 10

*Estructura de bloques de programación*



*Nota.* Tomado de Siemens (2018)

## ***Comunicación Industrial***

La disponibilidad de información es un factor de gran aporte para el control de producción, obtener datos en tiempo real sobre el funcionamiento de los distintos procesos que se están llevando a cabo no se podría lograr sin una adecuada comunicación entre controladores lógicos, para llevar a cabo esta tarea existen diferentes protocolos de comunicación, mismos que otorgan la posibilidad de enlazar etapas incomunicadas de un proceso. Los protocolos de comunicación además ofrecen un diagnóstico remoto de la unidad de control, una mejor disposición de información y precisión en las mediciones.

### ***Protocolo de comunicación Modbus***

El principal mecanismo que utiliza este protocolo de comunicación se basa en generar una solicitud y obtener una respuesta, utilizando código de funciones. Este protocolo además permite realizar operaciones remotas desde un PLC, panel de control o una desde una interfaz gráfica. Su transmisión se la puede efectuar en redes de comunicación RS-485 o RS-232, hoy en día también se puede transmitir mediante TCP/IP sobre red Ethernet. Defas (2016)

Las características más relevantes del protocolo de comunicación Modbus son:

- El método de transmisión maestro/esclavo brinda un total control en la comunicación de los esclavos.
- Los códigos de función que se utilizan en el protocolo Modbus sirven para enviar las ordenes que deben ejecutar los esclavos, una vez que los esclavos ejecutaron la orden envían la información devuelta hacia el controlador designado maestro.
- Una red Modbus puede disponer hasta de 247 esclavos con una dirección única.
- Su implementación se considera fácil por lo que los costos de instalación son relativamente bajos.
- Tiene gran compatibilidad con diversos dispositivos electrónicos.



### ***Modelos de transmisión de datos.***

Pueden ser configurados en cada uno de los controladores que requieran enviar paquetes de datos desde maestros hacia esclavos y viceversa, esta configuración debe ser la misma en todos los controladores que pertenezcan a la red.

Los principales modos de transmisión de datos dentro de una red Modbus son:

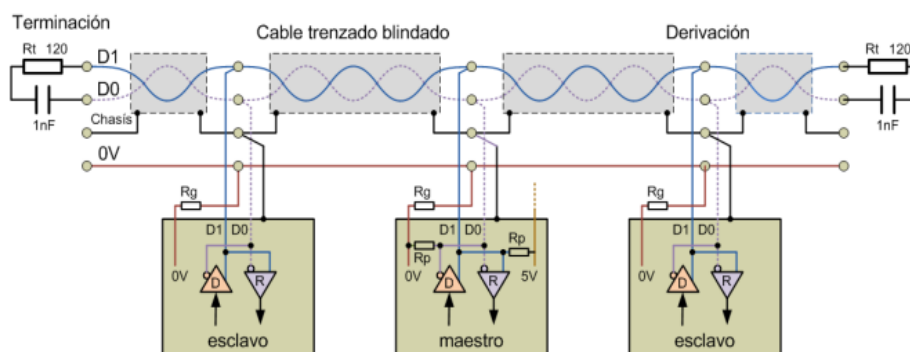
- **Comunicación Modbus RTU:** (Unidad Terminal Remota) es uno de los modos más usados, en cada byte de un mensaje de 8bits, se contiene dos caracteres hexadecimales que contienen 4bits, además de 1bit de paridad par o impar y 1bit de parada si existe paridad, 2bits cuando no existe paridad.
- **Comunicación Modbus ASCII:** (Estándar del Código Americano para Intercambio de Información) se caracteriza principalmente por la codificación de datos ASCII y por poseer un carácter hexadecimal por cada carácter ASCII ('0' ... '9') y ('A' ... 'F').  
Defas (2016)
- **Comunicación Modbus TCP/IP:** Se considera una variante dentro de la familia de protocolos de comunicación Modbus, ya que permite implementarse sobre una red ethernet con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del dispositivo de control automático. Este modelo de comunicación se desarrolla con el fin de obtener información vía internet desde cualquier parte del mundo, sin necesitar el uso de herramientas complejas para su configuración.

### ***Capa física de comunicación***

Los estándares de comunicación industrial tienen al cable de par trenzado apantallado como la mejor selección para la transmisión de datos, ya que cumple con las características para el protocolo de comunicación RS-485, y además está destinado para lugares propensos a explosiones.

**Figura 11**

*Red de comunicación Profibus RS-485*



*Nota.* Tomado de Candelas (2011)

### **Protocolo de comunicación RS-485**

Esta es considerada la tecnología mayormente utilizada para las redes Profibus debido a que son muy fáciles de implementar y poseen un bajo costo de instalación. Son utilizadas en lugares que poseen una alta tasa de transmisión de datos, utilizan el cable de par trenzado con apantallamiento, que evita las interferencias electromagnéticas y además es ideal para realizar una comunicación semi dúplex, es decir a dos hilos. Las velocidades de transmisión pueden alcanzar desde 9.6 kbps hasta 1.2Mbps dependiendo del tipo de cable utilizado, sin embargo, en todas las instalaciones con Profibus la velocidad de transmisión la imponen los dispositivos maestros. Defas (2016)

- **Conectores DB9.** Para poder conectarse a la red Profibus requieren este tipo de conectores con nueve pines del estándar Sub-D. se presentan en formas de macho y hembra y es de vital importancia no confundir la línea B de la línea A, para evitar problemas de comunicación.
- **Topología en RS-485.** Se presenta como un bus conectando de extremo a extremo a través de todo el sistema con un máximo de hasta 32 estaciones conectadas mediante una caja de conexiones tipo T. si se utilizan repetidores se pueden conectar hasta 127 estaciones con un máximo de 32 estaciones de tipo maestro.

**Tabla 1***Características de protocolo R232 y R485*

Protocolo	RS232	RS485
<b>Modo Dúplex</b>	Dúplex	Semidúplex
<b>Tipo de señal</b>	Desbalanceado	Balanceado
<b>Transmisión máxima de datos</b>	1Mbps	10 Mbps
<b>Distancia Operativa Max.</b>	Aproximadamente 15,25metros	Aproximadamente 1220 metros
<b>Corriente de salida</b>	500mA	250mA
<b>Voltaje mínimo de entrada</b>	+/- 3V	0,2V diferencial

*Nota.* La Tabla muestra las diferencias entre el protocolo RS232 y RS485. Tomado de Defas (2016)

### **Comunicación Modbus en TIA portal**

El protocolo de comunicación Modbus es altamente aplicado en las industrias para interconectar dispositivos de automatización. Este es el principal motivo para que los

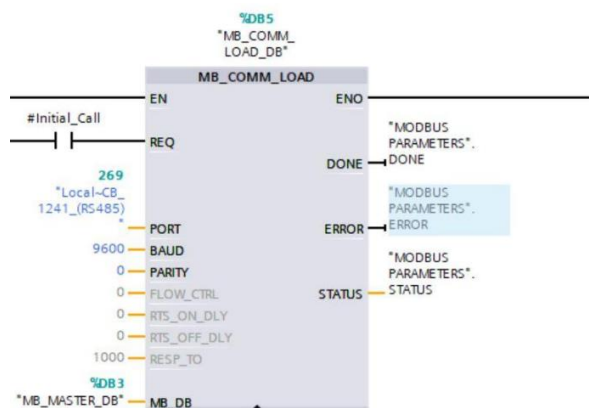
controladores programables de Siemens se puedan conectar fácilmente con este protocolo. El entorno del software TIA portal permite configurar un puerto para realizar una comunicación mediante Modbus y designarlo como un dispositivo maestro o esclavo.

### **Configuración MB Comm Load**

Este bloque se presenta en el entorno de TIA portal como una herramienta para simular la comunicación en protocolo Modbus en tiempo real. Cuando un puerto ha sido configurado en Modbus, este solo puede ser ocupado por un bloque maestro (MB\_Master) o un bloque esclavo (MB\_Slave). El bloque debe utilizar la marca de sistema de primer ciclo para iniciar la llamada, se pueden conectar hasta tres módulos y una tarjeta de comunicación RS-485.

### **Figura 12**

*Bloque de configuración de puerto*



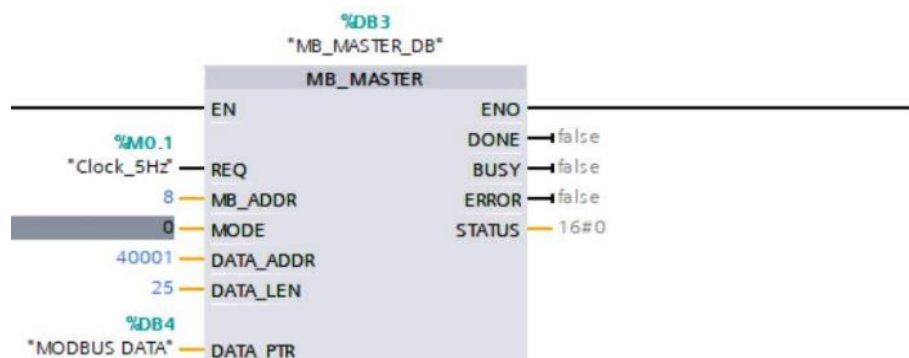
*Nota.* Tomado de Siemens (2018)

### **Configuración MB Máster**

Este bloque solo puede ser ejecutado cuando el puerto RS-485 se haya configurado adecuadamente en protocolo Modbus, si no existen problemas de comunicación una señal de 1 debe presentarse en la salida (DONE) del bloque de programación, también se debe tomar en cuenta el registro de los datos que el maestro va a solicitar, por lo general esta información se encuentra en la hoja de datos del sensor que deseamos comunicar.

**Figura 13**

*Bloque de configuración MB\_Master*



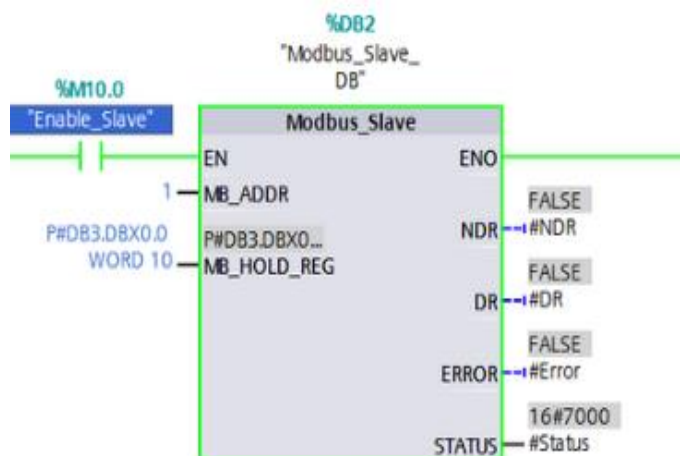
*Nota.* Tomado de Siemens (2018)

### **Configuración MB Slave**

Este bloque se utiliza para simular un dispositivo esclavo Modbus, solo puede ser programado después de ser configurado el puerto RS-485. Es indispensable conocer la dirección de los datos que se desea enviar, además de tener un bloque de registro en donde se encuentran los datos que el maestro puede solicitar.

**Figura 14**

*Bloque de configuración MB\_Slave*



*Nota.* Tomado de Siemens (2018)

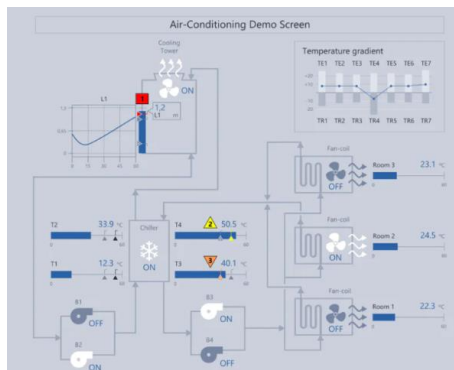
### ***Diseño de interfaces gráficas según ISA101***

Las normas ISA101 estipulan pautas con muchos detalles para que el diseño de interfaces gráficas hombre-máquina sea más efectivo y mucho más eficiente. Algunas de las pautas más relevantes son:

- **Consistencia Visual:** Es muy importante tomar en cuenta que la apariencia visual de la interfaz debe ser coherente, utilizando una paleta de colores adecuada, iconos con tonos claros y que la información se encuentre ubicada de manera lógica en la pantalla.
- **Información organizada:** la información dentro de una interfaz gráfica debe ser clara y concisa, además se deben agrupar contenidos que estén relacionados, las normas ISA 101 también sugieren evitar el desorden y utilizar la gravedad visual para resaltar información relevante para que sea fácil de comprender por el usuario.
- **Legibilidad y Contraste:** Las normas ISA101 recomiendan el uso de fuentes clara y fondos que no dificulten la lectura y garanticen un contraste definido, de esta manera la información resulta más fácil de observar e identificar.
- **Navegación Intuitiva:** La navegación dentro de una interfaz gráfica debe ser fácil de manejar y de fácil comprensión para el usuario, se pueden utilizar botones claros y etiquetas para describir ciertas funciones.
- **Diagnóstico y Alarmas:** ISA101 también recomienda el uso de colores adecuados para dar a conocer alarmas emergentes y mensajes de diagnóstico que contribuyen al diseño efectivo de una interfaz hombre-máquina. ISA(2015)

## Figura 15

HMI con normas ISA 101



Nota. Tomado de De ISA (2015) HMI de alto rendimiento visual .

El diseño de interfaces gráficas debe adaptarse a las formas y colores que se manejan en el resto de la empresa, para no crear confusión en los usuarios que constantemente operan estos sistemas. Los colores de fondo más adecuados para obtener la mejor visualización de datos, por lo general corresponden al color gris o celeste claro. Las interfaces graficas también manejan protocolos de comunicación para mantener una correcta transferencia de datos con los controladores, en la familia de Siemens las interfaces poseen conectividad Profinet con el fin de poseer una mejor comunicación con el PLC.

### Fundamentación teórica

- **IEC 60204:** Esta norma se centra en cumplir las necesidades de seguridad eléctrica, para los distintos equipos de control y de potencia en maquinaria, además brinda sugerencias para el diseño de sistemas eléctricos y la selección de protecciones.
- **IEC 61850:** En esta normativa se apoya a la migración tecnológica para mantener estándares de comunicación en subestaciones eléctricas, además busca definir un protocolo de comunicación unificado para todos los controladores de los diversos sistemas.

- **IEC 61439:** El propósito fundamental de esta norma es garantizar la confiabilidad en el diseño y construcción de tableros eléctricos, además de precautelar la seguridad de los operadores.
- **ANSI/ISA 101.01-2015:** Norma que busca promover la eficiencia y la eficacia de un diseño adecuado de interfaz gráfica para un sistema de control de una empresa.

### **Fundamentación conceptual**

- **IEC:** Comisión Electrotécnica Nacional
- **ANSI:** Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
- **ISA:** Asociación Internacional de Automatización
- **CELEC EP:** Corporación Eléctrica del Ecuador, empresa pública encargada de generar y transmitir energía eléctrica al país y bajo el control del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

### **Hipótesis**

¿La migración tecnológica del sistema de aire acondicionado aumentará su índice de confiabilidad, mantenibilidad, y además proporcionará un mejor sistema de control para la temperatura en el sistema de barra segura y control digital?

### **Variables de investigación**

#### ***Variable dependiente***

Aumento de la confiabilidad, mantenibilidad y mejora del control de temperatura para el sistema de barra segura y control digital.

#### ***Variable independiente***

Migración tecnológica del circuito de fuerza y control del sistema de aire acondicionado de la central hidroeléctrica San Francisco.



## Capítulo III

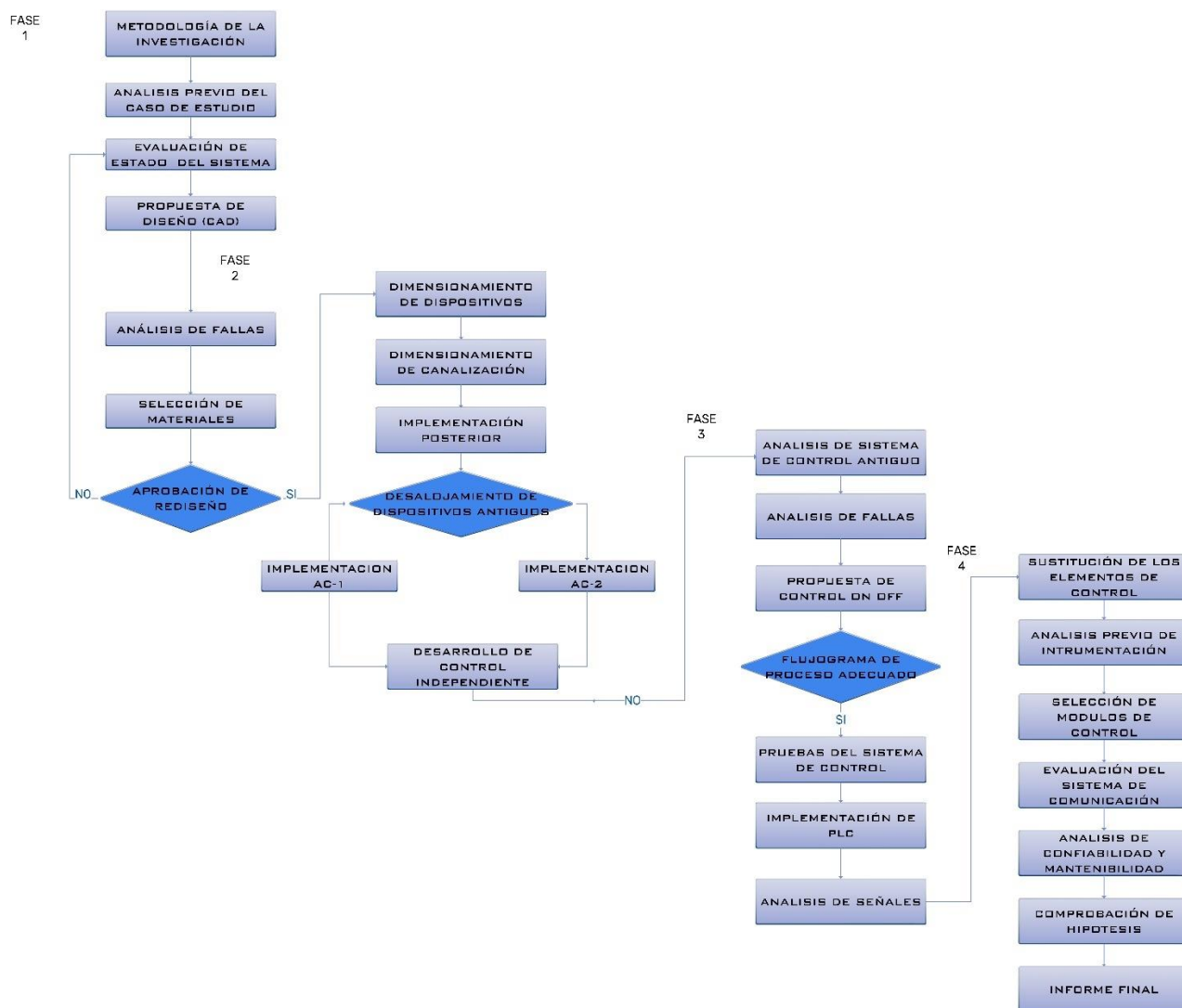
### Metodología

#### Modalidad de Investigación

El presente capítulo se enfoca en dar a conocer los métodos utilizados para obtener la información necesaria para el desarrollo de este trabajo de investigación. La metodología ha sido estructurada en 4 fases principales con diversas actividades en función de los requerimientos del proyecto.

#### Figura 16

Diagrama de metodología



El presente trabajo investigativo tiene un enfoque determinado por el análisis y la comprobación de resultados, al plantear supuestas premisas en base a un análisis previo y fundamentado, se lleva a cabo una investigación con un enfoque mixto en donde se desarrolla una serie de actividades que fortalecen la comprobación de la hipótesis y el análisis de los resultados obtenidos.

La primera fase del estudio comienza por realizar, un análisis previo del historial del equipo, en donde se obtiene una recapitulación de todos los eventos ocurridos desde la primera anomalía del sistema, las soluciones posteriores a este punto, y el detalle de las modificaciones que cada vez alteraban la anatomía inicial del equipo. Una evaluación del estado físico del sistema que proporcione detalles sobre los componentes que se encuentren defectuosos o inservibles para su posterior intervención. Para determinar las características que el sistema debe cumplir, es necesario realizar un estudio de las necesidades de funcionamiento del equipo, en donde interviene el personal que se encuentra en las áreas de acondicionamiento, y se ven afectados por cualquier cambio en el control del sistema. Realizar un análisis de fallas es necesario para delimitar el área con la mayor afluencia de problemas, el mismo que debe ser realizado mediante la revisión de los planos eléctricos y diagramas de control. El desarrollo de un nuevo modelo de la estructura del sistema que pueda ser fácilmente modificado según los informes de necesidad y se puede desarrollar con ayuda de software CAD. Para concluir esta fase se plantea una selección de los equipos que deben ser sustituidos en base a la información recopilada, los problemas encontrados y los informes de necesidad, esta selección también debe tomar en cuenta las características eléctricas de cada uno de los elementos que van a ser operados por el nuevo sistema de control. Tras presentar toda la información recopilada con estos métodos de estudio se pretende la aprobación del rediseño del sistema para cumplir con las hipótesis planteadas y posteriormente continuar con la siguiente fase del estudio.

En la fase siguiente es necesaria la verificación de todos los cambios que se presentaron en el diseño, para tener conocimiento de alguna anomalía que no se haya contemplado anteriormente. La presentación de los nuevos equipos de protección resulta ser necesaria para obtener la mejor disposición en el área donde se pretenden implementar, el desarrollo posterior consiste en ubicar adecuadamente cada uno de los equipos del circuito de fuerza tomando en cuenta la norma IEC 61439 que establece los criterios de dimensionamiento de los componentes y la distribución del circuito. Debido a que el sistema de aire acondicionado no se puede desactivar completamente, es necesario proceder al desalojo de los equipos obsoletos de forma parcial, es decir primero se aplicara este procedimiento en una de las unidades para que la otra siga en servicio además en el trayecto de la implementación, la selección de materiales asociados también resulta ser indispensable para obtener mayor confiabilidad en el equipo. Un análisis previo de las dimensiones de canalización permite que el nuevo cableado sea conducido sin problemas por las distintas tuberías de canalizado. Para finalizar esta fase del proyecto, es sumamente necesario adaptar un sistema de control provisional que esté totalmente aislado del tablero principal.

En la tercera etapa de esta metodología se emplea un análisis sobre el sistema de control empleado, de las falencias que presenta y los elementos que resultan ser indispensables para el correcto funcionamiento de este equipo. Para plantear la nueva propuesta del sistema de control se requiere de un flujograma del proceso que muestre el comportamiento del sistema ante las variaciones de temperatura en el recinto del tablero de barra segura. Para realizar pruebas previas del sistema de control planteado, se requiere implementar un programa de control para un PLC Siemens S7-1200 dentro del entorno de TIA portal. El análisis del funcionamiento del programa planteado durante un periodo de tiempo permite el paso a la intervención del tablero de control, en donde el análisis previo del cableado permite identificar señales que han sido suspendidas por que presentaban errores en el antiguo sistema de control.

En la última fase de esta metodología de trabajo se requiere llevar a cabo una sustitución completa de los elementos que conforman el tablero de control, debido a que muchos de ellos se encuentran obsoletos, o deben ser descartados por el nuevo diseño. El análisis previo sobre la instrumentación que requiere el sistema permite seleccionar los módulos que el controlador lógico necesita para comprender las señales que los sensores proporcionan. Una evaluación sobre el sistema de comunicación antiguo permite comprender que el PLC actual debe comportarse como un esclavo para brindar información a la UAC-SA (Unidad de Adquisición y Control de Datos), y a su vez debe ser un maestro para solicitar la información de humedad y temperatura del sensor (RHT) ubicado en sal de control. Para finalizar esta fase se pretende realizar un análisis de mantenibilidad y confiabilidad del equipo para poder sustentar las hipótesis planteadas.

### **Tipos de investigación**

#### ***Investigación aplicada***

Este tipo de investigación permite concentrar la búsqueda de información para solucionar un problema específico, en este caso los problemas presentados para tener una adecuada comunicación Modbus con los equipos de control de datos, se solventaron mediante una búsqueda aplicada de información sobre los métodos de comunicación en los equipos de la central hidroeléctrica San Francisco.

#### ***Investigación descriptiva***

La investigación descriptiva se ve implícita en el desarrollo del diseño de los circuitos de fuerza y control ya que la inspección visual realizada en los equipos que se desea controlar brindó la información necesaria para la selección de los dispositivos de protección, y así también los dispositivos de control propuestos.

## **Diseño de la investigación**

Para presentar la nueva propuesta de diseño se utilizaron métodos investigativos que se fueron contemplando a lo largo del proyecto. Mejorar la mantenibilidad y confiabilidad del sistema resulta ser el objetivo principal para plantear un diseño de investigación, además la migración tecnológica se fundamenta con la selección de materiales, basada en la investigación descriptiva.

Este trabajo se lo realiza utilizando varios métodos de investigación para solventar problemas de control y comunicación. La información recopilada permite desarrollar el trabajo de una manera más eficiente y controlada.

## ***Investigación bibliográfica***

El desarrollo del presente trabajo requiere de un alto contenido bibliográfico, esto debido a la necesidad de responder un sin número de interrogantes que se plantean para llegar a la solución de un problema. La información recopilada debe ser de fuentes confiables y que estén inmersas en la problemática presentada, por ende, los documentos de mayor validez científica son los trabajos investigativos, los libros correspondientes al tema de estudio y las revistas de alto reconocimiento científico. Estos documentos brindan un respaldo científico a los argumentos planteados en este tema de estudio.

## ***Investigación de campo***

La investigación de campo es una de las más utilizadas para el desarrollo de este proyecto, la información recopilada juega un papel muy importante para la selección de los equipos de control, y la instrumentación requerida.

La información de campo también es de gran necesidad para la selección del sistema de control que se debe implementar, ya que de esta manera se obtiene un registro del funcionamiento de los compresores y ventiladores del sistema, así como de los flujos de agua de enfriamiento del nuevo sistema de control.

### ***Investigación representativa***

Este tipo de investigación es muy utilizada para describir las características de un objeto de estudio en este caso, las unidades de aire acondicionado requieren un análisis constante de las activaciones y las desactivaciones de los equipos, esta información es muy necesaria para desarrollar un sistema de control adecuado a las características del equipo.

### **Niveles de investigación**

#### ***Exploratorio***

Para entender el adecuado funcionamiento del sistema se requiere analizar el comportamiento individual de cada uno de los elementos que lo conforman, así como entender de que variables depende. Es necesario también explorar cada una de las interfaces de comunicación (HMI) instaladas en los sistemas adyacentes a este para mantener un entorno de operación de igual manera que otros equipos.

#### ***Predictivo***

La programación de la interfaz gráfica brinda información relevante sobre el estado de la presión de los compresores y el flujo de agua de enfriamiento que requiere el sistema, el controlador lógico (PLC) ejecuta una serie de tareas que permiten interpretar las señales del sistema y envía una advertencia que puede ser visible gracias a esta interfaz, además permite identificar el problema de una manera más sencilla, para que el personal de mantenimiento actúe en el área específica donde se presente la falla.

#### ***Descriptivo***

El desarrollo de la programación de un nuevo sistema de control en el entorno de TIA portal proporciona información detallada del estado de las variables de control (temperatura y humedad) y así también el estado de cada uno de los sensores conectados al sistema. Con esta información, se puede obtener una descripción completa del comportamiento del equipo ante cualquier eventualidad.

## Indicadores

Para determinar los atributos de las variables que rigen el funcionamiento del sistema de aire acondicionado es necesario el uso de indicadores que permitan cuantificar el beneficio que aporta la migración tecnológica en el proceso de mantener una temperatura adecuada en el aire de los recintos del tablero de barra segura y control digital. De esta forma se establece una tabla de indicadores los cuales permitan seleccionar la técnica más adecuada para la recolección de datos sobre el funcionamiento de los equipos y que fenómenos afectan el correcto funcionamiento del sistema.

**Tabla 2**

*Selección de Indicadores del sistema de aire acondicionado*

Variable	Indicadores
Confiabilidad	Taza de fallas críticas
	Índice de fallas
	Índice de mantenimientos preventivos
Mantenibilidad	Duración del mantenimiento
	Taza de sustitución de componentes
	índice de accesibilidad

*Nota.* La tabla muestra los indicadores que ayudarán a determinar el mejor método para la recolección de datos.

Los indicadores seleccionados, contribuyen al análisis del desarrollo del proyecto y permiten identificar claramente el método de recolección de datos y las técnicas requeridas para la comprobación de hipótesis, la cual se enfoca en determinar en cuanto contribuye la migración tecnológica del sistema al desarrollo del proceso del aire acondicionado y como este mejora las condiciones para el trabajo del personal técnico que se encarga del mantenimiento y control de los equipos dentro de la central de generación eléctrica.

## Técnicas de recolección de Información

La observación dentro de este caso de estudio es indispensable, ya que el desarrollo del proyecto actúa sobre un área crítica en especial, es decir sobre el funcionamiento de un sistema en específico, por ende, las necesidades de observar cuando y sobre qué condiciones se presenta la falla, se ponen por encima de otros métodos de recolección de datos. Para aplicar el método de la observación de una manera ordenada y centrada en la información necesaria, se requiere seguir los siguientes pasos:

- Determinar el objeto de observación.
- Señalar los objetivos de la observación.
- Seleccionar los instrumentos (reportes, informes, registros).
- Observar metódica y críticamente.
- Registrar los datos.
- Analizar e interpretar la Información.

## Observación participante

Este tipo de observación reúne las características de cada uno de los métodos de observación, ya que al incluir una interacción social entre el investigador y los informantes del lugar donde se presenta el fenómeno de estudio, los datos recolectados se presentan de forma sistémica y organizada. Además de que resulta necesario la selección del escenario social, en este caso la central hidroeléctrica San Francisco.

- **La entrada en el campo:** Es necesario ingresar al campo de estudio de una forma pasiva, de tal manera que los informantes no recuerden que el investigador se encuentra en la búsqueda de información, la postura que se requiere llevar para encontrar los detalles de la investigación requiere de una interacción social natural, para este caso de investigación la interacción social comenzó por motivo de prácticas profesionales.



- **Negociación del propio rol:** Es necesario tomar una postura adecuada en el campo donde se ingrese directamente como investigador para no verse limitado a los detalles de los campos de estudio, y de esta manera la información no sea negada o bloqueada de cierta manera, además de que la idea de pertenecer al grupo no confunda las áreas en las que el investigador necesita prestar más atención en los detalles.
- **Establecer el rapport:** El rapport resulta ser indispensable, ya que conlleva establecer una relación de sintonía y comprensión con los informantes para que las preguntas que se planteen puedan ser solventadas con confianza y serenidad, para esto se requiere mostrar una actitud de ayuda y colaboración, debido a que la confianza merece el cumplimiento de favores con los demás, y sentir interés por las actividades que realizan, además de involucrarse en sus rutinas, inferir en sus hábitos, de tal manera que el investigador siempre se muestre sensato en el momento de realizar sus preguntas que simplemente buscan entender el punto de vista de los informantes.
- **Participación:** La participación debe ser de manera activa y enfocada en la recolección de información, la estrategia para la formulación de preguntas debe ser de una manera libre sin presión de responder ya que la información puede verse frustrada, el escenario social promueve las relaciones entre personas y conductas, es por esta causa que el investigador debe mostrarse humilde con la información que se requiere obtener y finalmente, una buena relación permitirá el libre acceso de la información necesaria, fortaleciendo la observación del investigador con documentación propia del objeto de estudio. Sanjuán (2019)

## Instrumentos de observación

La mayor parte de la información sobre el sistema de aire acondicionado se encuentra en los informes de fallas observadas y en los reportes de mantenimiento que realiza el personal técnico de la central hidroeléctrica San Francisco. El mantenimiento de este sistema se lo realiza desde diferentes ramas, es decir la parte mecánica, la parte Eléctrica y la parte electrónica. Gracias al departamento de mantenimiento eléctrico se encontraron datos sobre el reporte de fallas observadas del sistema desde el año 2022 hasta el año 2023. Así como las actividades que se realizan en los mantenimientos programados.

El personal de operación registra todos los imprevistos de los sistemas, para llevar una bitácora completa y poder analizar cómo se presentó una falla. Los datos de las variables como humedad y temperatura son tomados directamente desde la interfaz gráfica del tablero de control (TSAC) que trasmite la señal del sensor que se encuentra en el recinto de barra segura. Otros datos como las activaciones de los compresores y el conteo de horas de funcionamiento de los compresores son obtenidos mediante observación de campo e inspección visual.

**Tabla 3**

*Datos de Análisis*

<b>Tipo de Datos</b>	<b>Documentación</b>
Fechas de Falla de equipos	Informe de fallas
Horas de Trabajo de mantenimiento	Reporte de Ordenes de Trabajo
Tiempo entre mantenimientos	Programación de ordenes de trabajo
Tiempo de activación de compresores	Registro de conteo de horas en HMI

## Técnicas de análisis de datos

El análisis de datos se centra en parámetros como lo es el tiempo medio entre fallas MTBF y el MTTR o tiempo medio de reparación. Los cuales son de vital importancia para el

cálculo de confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, además estos datos solo pueden recopilarse de los tiempos de trabajo de los técnicos que realizan las distintas actividades de mantenimiento. Este análisis permite determinar qué tan confiable es un equipo, y que tan propenso a fallas resulta, además analizar datos como el tiempo de activación de los compresores y la temperatura a distintas horas del día, permite contrastar la programación del controlador lógico y mejorar su funcionamiento.

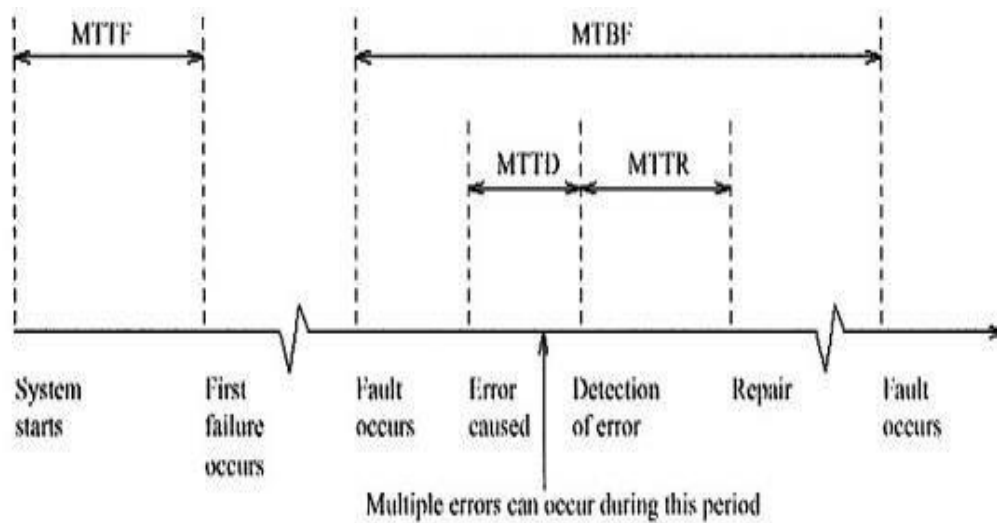
### **Técnicas de comprobación de hipótesis**

Los datos recolectados para comprobar la hipótesis de esta investigación se obtienen mediante el método de la revisión de registros, es decir mediante los informes de fallas y la ejecución de ordenes de trabajo programadas. La observación también resulta ser de gran utilidad para recolectar datos como activaciones de los motores, y rangos de temperatura y humedad. El análisis de mantenibilidad y confiabilidad debe ser calculado mediante los datos de tiempo obtenidos de los reportes de mantenimiento.

Mejorar el sistema de aire acondicionado contribuye directamente con la mantenibilidad y confiabilidad, es decir que, al tener un sistema de control rediseñado, los tiempos programados para hacer mantenimiento disminuyen y por ende aumenta el índice de mantenibilidad. Debido a que las variables más importantes para la demostración de mantenibilidad y confiabilidad resultan ser el tiempo medio de reparación MTTR y el tiempo medio entre fallas MTBF, es necesario entender el desarrollo de cada uno de estos momentos tan representativos dentro del análisis del proceso de vida útil de un equipo. La norma IEC60300-3-14 brinda recomendaciones generales para la gestión de la mantenibilidad y confiabilidad de los sistemas desde su diseño, también plantea el uso de diferentes métodos para obtener los índices de confiabilidad, basados en la recolección de datos históricos y cálculos de los indicadores de mantenibilidad.

**Figura 17**

Diagrama de ciclos de tiempo de la vida útil de un equipo.



Nota. Tomado de Fernández (2012)

Las ecuaciones principales, se definen de la siguiente forma:

$$\text{Mantenibilidad} = 1 - e^{-\frac{T}{MTTR}} \quad (1)$$

Donde:

T: Tiempo de ejecución de la reparación o mantenimiento.

MTTR: Tiempo medio de reparación

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTF: Tiempo medio desde el inicio del sistema

MTTD: Tiempo de diagnóstico de la falla

Mediante este método podemos obtener índices de mantenibilidad en función del tiempo, además de encontrar la línea de ciclo de vida de un equipo. El cálculo de la confiabilidad permite determinar qué tan confiable es el funcionamiento de un equipo y

contribuir con la disponibilidad de los sistemas, para lo cual es necesario que se interprete la siguiente formula:

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\left(\frac{T}{MTBF}\right)} \quad (2)$$

Como se puede observar la confiabilidad no presenta mayores cambios en la estructura de la ecuación, pero utiliza un parámetro diferente de la línea de tiempo de operación de un equipo. El tiempo medio entre fallas MTBF requiere de datos históricos para plantear un índice de confiabilidad, por esta razón se obtienen datos relevantes mediante el informe de fallas SFR-CSF-INF-02-1-11-2023 presentado por el área de mantenimiento eléctrico de la central hidroeléctrica San Francisco, el cual anexa las eventualidades ocurridas desde el año 2021.

**Tabla 4**

*Informe de fallas sistema de aire acondicionado SFR-CSF-INF-02-1-11-2023*

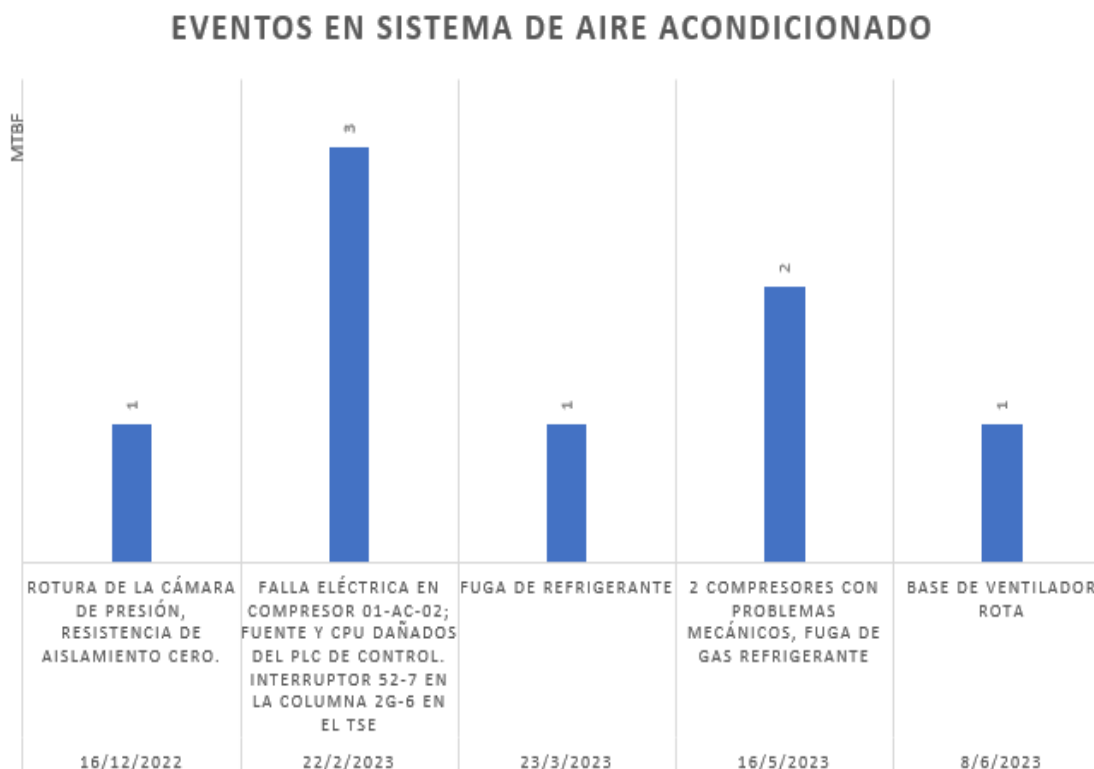
<b>ITEM</b>	<b>FECHA</b>	<b>EQUIPO EN FALLA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ODT</b>
1	14/4/2021	Compresor 01-AC-02	Rotura de la cámara de presión, Resistencia de aislamiento cero.	695925
2	16/6/2021	Tuberías 01- AC-01	Fuga de refrigerante	83427
3	15/9/2021	Supervisor de Voltaje TSAC	Falla eléctrica sobrevoltaje	58715
4	16/12/2022	Compresor 01-AC-02	Rotura de la cámara de presión, Resistencia de aislamiento Cero.	83427
5	22/1/2023	Compresor 01-AC-02	Falla Eléctrica en compresor 01-AC-02; Fuente y CPU dañados del PLC de control. Interruptor 52-7 en la columna 2G-6 en el TSE	8776
6	23/3/2023	Tuberías 01- AC-01	Fuga de refrigerante	89748
7	16/5/2023	Compresor 01-AC-02 y Compresor 01-AC-01	2 compresores con problemas mecánicos, fuga de gas refrigerante.	788543

*Nota.* La Tabla muestra los intervalos de tiempo entre fallas del sistema. Tomado de Revelo (2023).

Para estructurar una línea de tiempo de los eventos ocurridos en el sistema de aire acondicionado, se realiza un análisis de los intervalos MBTF, los cuales en este caso se miden por meses, y se han representado en el periodo de casi un año. Estos márgenes de tiempo son de vital importancia, para analizar los índices de confiabilidad y mantenibilidad que comprueben la veracidad de la hipótesis planteada.

**Figura 18**

*Línea de tiempo de eventos de falla.*



Una vez definido el valor del MTBF, es necesario recopilar datos del tiempo de ejecución de ordenes de mantenimiento para generar una base que permitan verificar la mejora del índice de mantenibilidad. Los datos recompilados se obtienen del software de mantenimiento IFS (Industrial Financial Systems), en el cual se programan las actividades de

mantenimiento, los tiempos de culminación para distintas tareas, y las solicitudes que requiera el trabajo que se ejecuta desde las distintas áreas de ingeniería. IFS(2021)

De esta manera se plantean los tiempos de MTTR los cuales serán comparados con los tiempos ocupados para las mismas tareas realizadas en el nuevo sistema de aire acondicionado. Comprobando de esta manera si la mantenibilidad mejoro su índice tras la propuesta planteada.

**Tabla 5**

*Actividades de mantenimiento con tiempo máximo de ejecución*

<b>Orden de trabajo en tablero central TSAC</b>	
<b>Descripción de actividades</b>	<b>Tiempo Max de Ejecución</b>
<i>Inspeccionar, Limpiar, ajustar conexiones y anclajes.</i>	<i>30min</i>
<i>Verificar Operación del equipo</i>	<i>30min</i>
<i>Inspeccionar: iluminación, calefacción y señalización</i>	<i>30min</i>
<i>Inspeccionar y limpiar borneras, carcasa, y soportes</i>	<i>30min</i>
<i>Medir voltajes de entrada y salida</i>	<i>30min</i>
<i>Verificar operación del acondicionador de aire</i>	<i>30min</i>
<b>Verificación de entradas y salidas de PLC</b>	<i>60min</i>
<b>Total</b>	<b>240min = 4h</b>

*Nota. Esta tabla muestra el tiempo máximo de ejecución de las actividades programadas dentro del mantenimiento.*

### **Relación de humedad y temperatura en función del tiempo**

Resulta de suma importancia mantener un control de las variables que gobiernan el sistema de aire acondicionado, la temperatura y la humedad deben ser estudiadas para obtener una curva de su comportamiento, de tal manera que se pueda apreciar los puntos más altos de temperatura durante un día y la máxima humedad relativa medida en este periodo de

tiempo. El método de recolección de datos para este propósito es la observación con ayuda del sensor de temperatura y humedad Novus RHT, el cual se encuentra en medición constante en el recinto de barra segura, y transmite los datos mediante comunicación Modbus hasta el tablero de control del aire acondicionado.

**Tabla 6**

*Datos de temperatura y humedad en el recinto de barra segura durante un día*

<b>TABLA COMPARATIVA DE TEMPERATURA y HUMEDAD</b>			
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA RH%</b>
13/1/2024	0:00	23	75
14/1/2024	1:00	22,9	70
14/1/2024	2:00	23	70
14/1/2024	3:00	23,2	60
14/1/2024	4:00	23,5	65
14/1/2024	5:00	23,9	60
14/1/2024	6:00	24,1	65
14/1/2024	7:00	23,8	65
14/1/2024	8:00	23,9	70
14/1/2024	9:00	23,9	60
14/1/2024	10:00	24,1	60
14/1/2024	11:00	24	55
14/1/2024	12:00	23,5	60
14/1/2024	13:00	25,2	65
14/1/2024	14:00	23,8	60
14/1/2024	15:00	23	55
14/1/2024	16:00	22,9	65
14/1/2024	17:00	23,2	65
14/1/2024	18:00	23,6	60
14/1/2024	19:00	24,1	65
14/1/2024	20:00	23,6	70
14/1/2024	21:00	23,7	70
14/1/2024	22:00	23,9	75
14/1/2024	23:00	23,6	70

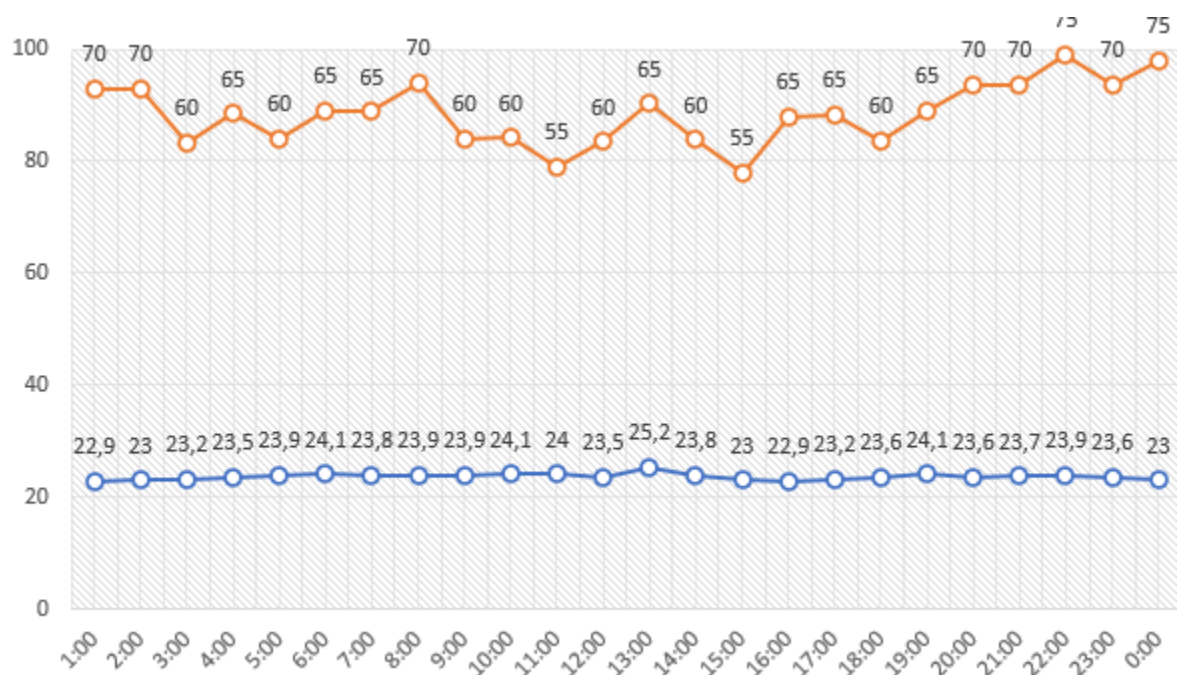
*Nota.* La tabla muestra los valores de temperatura y humedad relativa medidos cada hora durante un día.



Los datos de humedad y temperatura muestran puntos de crecimiento a lo largo del día, los cuales permiten identificar puntos donde deberían realizarse las activaciones de los compresores.

**Figura 19**

*Curva de comportamiento de la humedad y la temperatura.*



*Nota.* La figura muestra que el punto más alto de temperatura recae a la 13:00horas, mientras la humedad permanece cambiante en un rango entre 55 %y 75%.

## Capítulo IV

### Propuesta

#### Introducción

En el presente capítulo se pretende realizar el desalojo de los equipos obsoletos en base a un análisis previo de los requerimientos de sustitución, posteriormente el reacondicionamiento de los tableros intervenidos es de vital importancia para la implementación de los nuevos equipos seleccionados, el diseño CAD resulta ser indispensable para la correcta ubicación de los equipos siguiendo las recomendaciones de la normativa IEC 61439. El sistema de aire acondicionado consta de dos unidades modulares, que pueden ser alternadas para mantener siempre constante el flujo de aire acondicionado, mediante esta premisa la intervención de una de las unidades resulta factible ya que la otra puede seguir en funcionamiento. La parte posterior del tablero central resulta ser la primera en ser intervenida, tras la confirmación de medidas del diseño CAD, se procede a la fijación de las canaletas seleccionadas y el perfil DIN para la sujeción de los equipos de protección y seccionamiento. La selección de terminales y cableado se realiza en función de la corriente nominal de los equipos, información que se adquiere mediante la revisión de datos de placa, hojas de datos técnicos y catálogos de las unidades de aire acondicionado. Para las entradas y salidas de los voltajes de alimentación se requiere del uso de borneras que son seleccionadas en función del calibre del conductor y la corriente de alimentación, el uso de contactos auxiliares para obtener las señales de estado de los equipos resulta ser de vital importancia para el fortalecimiento del sistema de control. Con los circuitos de fuerza totalmente armados se pretende intervenir la unidad de aire acondicionado (AC-1) en la cual después de retirar todos los equipos obsoletos se estructura una bornera de paso para la alimentación de los compresores, las resistencias de calentamiento y el motor del ventilador principal. Para intervenir el circuito de control dentro del tablero principal se requiere primero que los circuitos de fuerza se encuentren totalmente señalizados, conectados y puestos a prueba, además de presentar un control provisional

totalmente independiente del circuito de control principal. La intervención del sistema de control requiere de una inspección minuciosa de las señales de comunicación que posee el tablero con otros sistemas de control, además de un análisis de la programación predecesora que brindara detalles sobre códigos de comunicación y señales de alerta o emergencia. Posterior al análisis antes mencionado se plantea la propuesta de control mediante la programación de un nuevo PLC, y se pone a prueba durante un periodo de tiempo, en el cual se realizan diversas modificaciones en función de los informes de necesidad. Tras la aprobación de los planos de control se procede al desalajo de los elementos innecesarios y obsoletos dentro del tablero de control y se realiza un reacondicionamiento del tablero incluyendo nuevas canaletas, borneras, cableado, señalética y disposición de los elementos de control. Para concluir con la migración tecnológica se implementa la nueva programación del controlador que se comunica con una interfaz gráfica ubicada en la puerta del tablero principal, y se envían señales del comportamiento del sistema hasta sala de operación para mejorar el control de este sistema. Finalmente se interviene la unidad (AC- 2), realizando las actividades de reacondicionamiento, cableado y montaje de la bornera de paso para alimentación de los equipos siguiendo la misma metodología de implementación que se presentó en la unidad (AC-1).

### **Datos informativos**

#### **Institución:**

Unidad de Negocio Hidroagoyán CELEC EP

#### **Beneficiarios:**

Central Hidroeléctrica San Francisco

Sistema de Aire acondicionado (SAC)

Tesista

#### **Ubicación:**

Provincia de Tungurahua, Cantón Baños, Parroquia Rio Negro.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

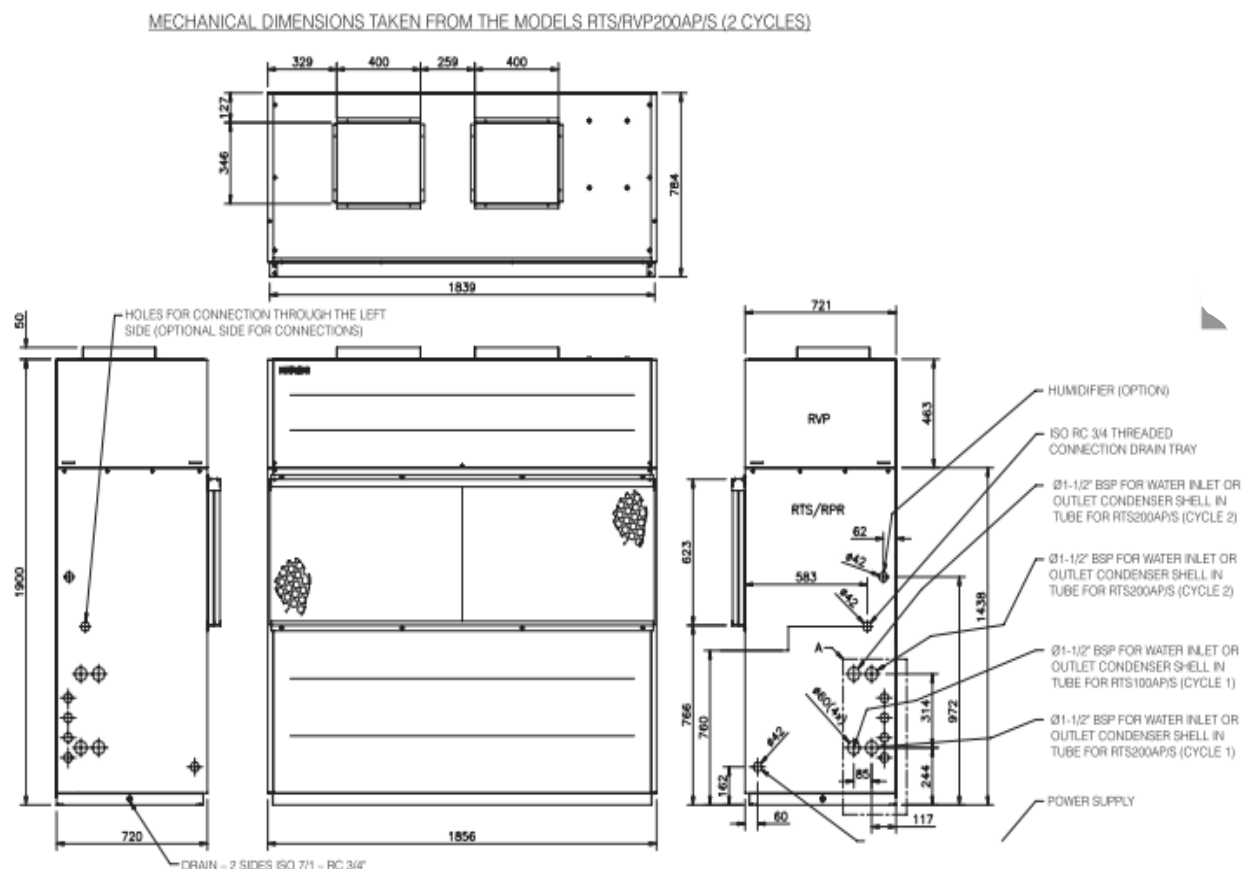
Rediseñar e implementar un nuevo sistema de control para el servicio de aire acondicionado procurando migrar la tecnología obsoleta presente en los circuitos de fuerza y control de la Central Hidroeléctrica San Francisco

### ***Objetivos Específicos***

- Rediseñar la estructura de los circuitos de fuerza y control mediante el uso de AutoCAD Eléctrico para presentar una propuesta de la disposición de los equipos en la parte posterior del tablero central.
- Seleccionar cada uno de los equipos de protección para los elementos contenidos en las unidades de aire acondicionado.
- Sustituir todos los elementos del circuito de fuerza y control con tecnología actual en el mercado, para mejorar la mantenibilidad del sistema.
- Diagnosticar el estado de la instrumentación asociada e implementar los sensores necesarios para obtener un mejor control.
- Programar un PLC Siemens S7-1200 con nueva lógica de control e interfaz gráfica humano-máquina, que permita visualizar las variables principales del sistema
- Enviar señales del estado del sistema a sala de control mediante protocolo de comunicación Modbus con RS-485

### **HVAC de la central hidroeléctrica San Francisco**

Para continuar con el desarrollo de la propuesta es necesario realizar un análisis de cada uno de los componentes que están contenidos en las unidades del sistema de aire acondicionado, además de su funcionamiento y características principales. Esta información es de vital importancia, para la selección los nuevos elementos de protección, seccionamiento y control, además contribuirá con el desarrollo de nuevo sistema de control.

**Figura 20***Sistema de aire acondicionado*

*Nota.* La figura muestra el plano del sistema de aire acondicionado Tomado de HITACHI (2004).

### Módulo de aire acondicionado HITACHI

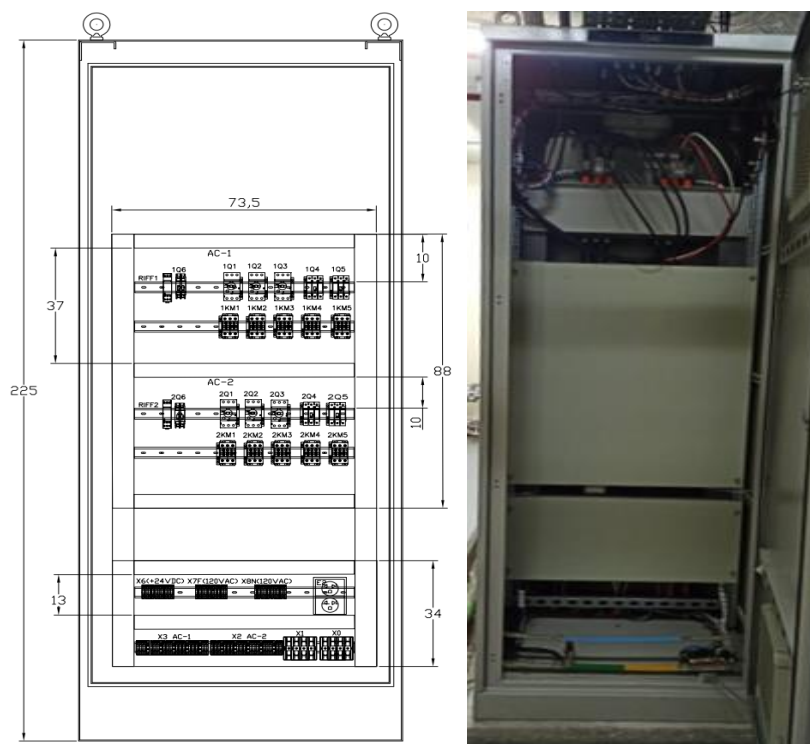
La unidad de aire acondicionado HITACHI posee un circuito de refrigeración compuesto por dos compresores de tipo caracol, un ventilador para el evaporador, un condensador refrigerado por agua y un par de resistencias de calentamiento, todo se encuentra contenido en un módulo de acero galvanizado con pintura electrostática y aislamiento de ruido. El sistema de aire acondicionado cuenta con dos unidades HITACHI las cuales abastecen a los pisos de sala de control y oficinas de producción, lugar donde se encuentran los equipos de barra segura y control digital. Según HITACHI (2004).

**Tabla 7***Elementos que conforman el módulo de aire acondicionado HITACHI*

ITEM	Elemento	UNIDADES DE AIRE		Total
		ACONDICIONADO		
		AC-1	AC-2	
1	Motor Ventilador MFE 3,7 KW 6.7A	1	1	2
2	Motor Compresor 1 CMC1 9KW 19.2 A	1	1	2
3	Motor Compresor 2 CMC2 9KW 19.2 A	1	1	2
4	Resistencias De Calentamiento 1 RH1 6KW 7.6A	1	1	2
5	Resistencias De Calentamiento 2 RH2 6KW 7.6A	1	1	2
<b>Total</b>		5	5	10

**Propuesta de diseño CAD circuito de fuerza y control.**

Realizar un análisis previo de la disposición de la nueva selección de elementos es sumamente necesaria para dar una imagen futura de lo que se requiere implementar, el software de diseño AutoCAD Eléctrico presenta muchas herramientas de utilidad para el desarrollo de planos eléctricos, diseño de tableros y una base de datos sobre los todos los elementos eléctricos que se pueden encontrar en la industria, referidos a marcas características y modelos. Mediante este apartado se trata de dar a conocer el modelo propuesto para la implementación de los circuitos de fuerza de las dos unidades de aire acondicionado, utilizando la parte posterior del tablero de control principal, ya que este posee características de doble fondo y es adecuado para el diseño que se desea implementar. La parte posterior del tablero posee una placa desmontable para mejorar la facilidad de la implementación de los elementos.

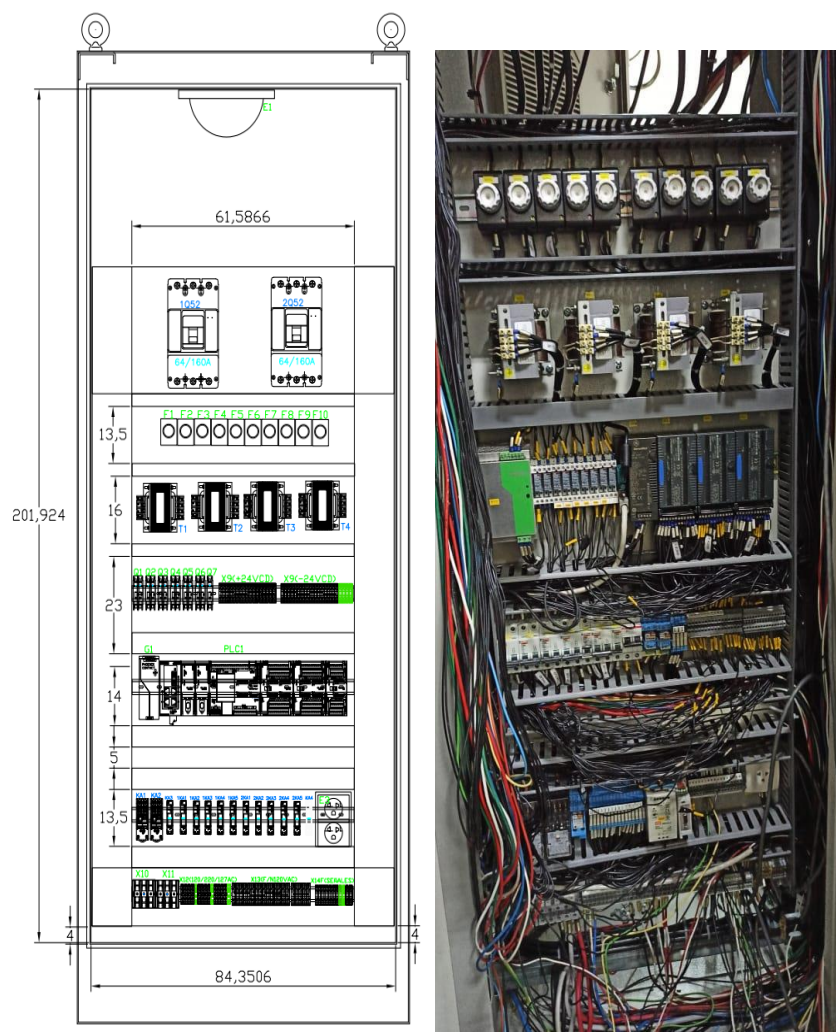
**Figura 21***Diseño circuito de fuerza AC1/AC2*

*Nota.* La figura muestra la parte posterior del tablero del sistema de aire acondicionado TSAC

El diseño también incluye la parte de control, es decir la parte frontal del tablero principal, en donde se necesita una intervención previa retirando cada uno de los elementos obsoletos y que ya no son incluidos en el nuevo diseño, así también el cableado que llega a cada una de las unidades de aire acondicionado AC-1/AC-2, y todo el cableado que se utiliza en el sistema de control para el PLC y los dispositivos asociados. Esta parte también requiere de un reacondicionamiento, es decir remover las canaletas deterioradas por el paso del tiempo y sustituirlas por otras en mejores condiciones, la limpieza de las superficies en contacto también es de vital importancia ya que la acumulación de polvo provoca la pérdida de refrigeración en los componentes eléctricos y la temperatura de estos aumenta ocasionando puntos calientes en los contactos de los dispositivos.

**Figura 22**

*Diseño circuito de control principal TSAC*



*Nota.* La figura muestra la parte frontal del tablero del sistema de aire acondicionado TSAC

### **Propuesta de sustitución para tableros autocontenidos**

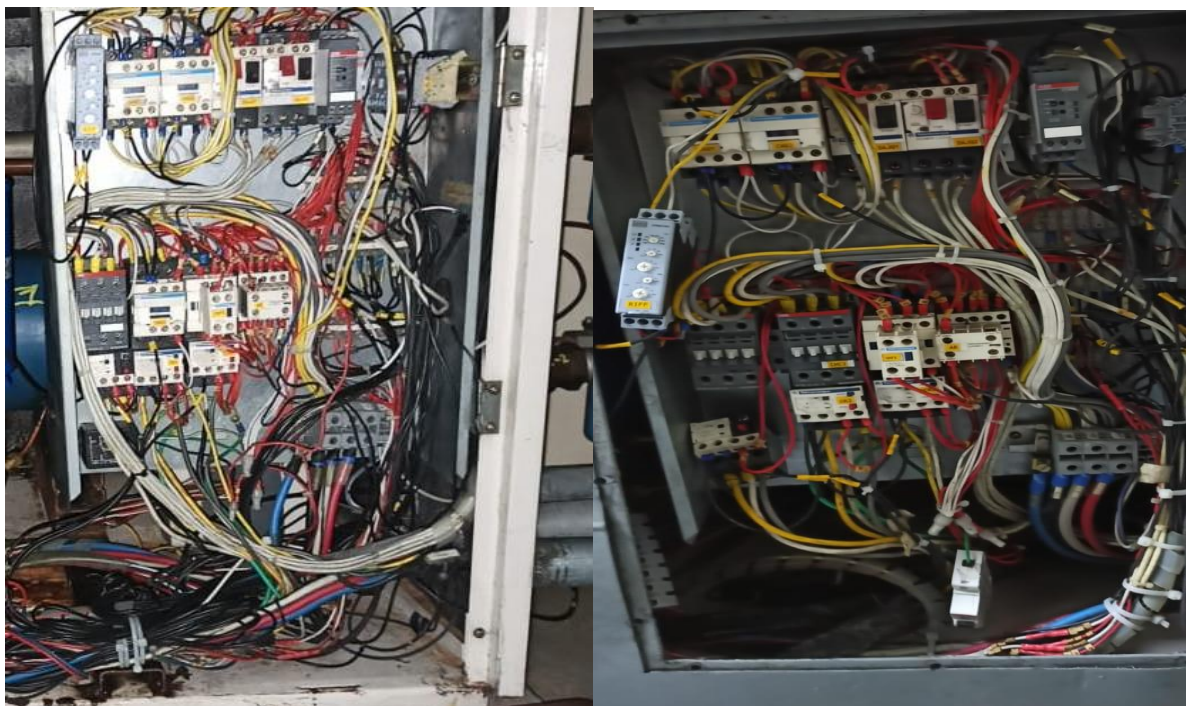
Cada unidad del sistema de aire acondicionado posee un tablero interno de control industrial con las protecciones necesarias, para cada uno de los componentes antes mencionados. Estos tableros resultan ser una de las principales razones para la migración tecnológica y la nueva disposición de los elementos, ya que su ubicación se encuentra expuesta a una extremada humedad, la corrosión y las fallas eléctricas pueden ser inevitables si no se realizan las correcciones necesarias. De esta manera la propuesta plantea sustituir



todos los elementos de protección reacondicionar el tablero donde se encuentran ubicados e implementar un perfil DIN con borneras de paso para la alimentación de equipos y la instrumentación contenida dentro de los módulos de acondicionamiento. Esta forma de resolver este problema se debe aplicar en las dos unidades HITACHI de aire acondicionado.

### Figura 23

*Tableros de protecciones, autocontenidos AC1/AC2*

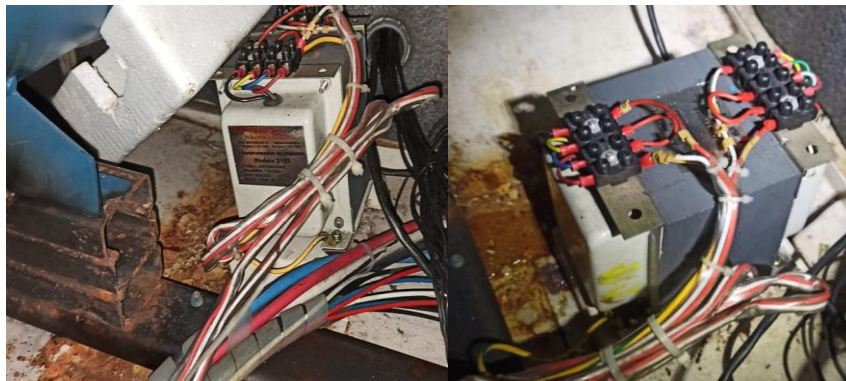


*Nota.* La figura muestra la corrosión, la mala disposición y el deterioro de los equipos de los tableros auto contenidos en los módulos de aire acondicionado.

Dentro del sistema eléctrico autocontenido de cada unidad se encuentra un transformador de 0.4kVA con reducción de 480/220V utilizado como señal para el control industrial y para alimentar las resistencias de calentamiento internas de los ventiladores, estos transformadores también se encuentran expuestos a la corrosión y las filtraciones de los destiladores del evaporador, por esta causa se plantea la reubicación o descarte del sistema.

**Figura 24**

*Transformadores, autocontenidos AC1/AC2*



*Nota.* La figura muestra la corrosión a la que se ven expuestos los transformadores.

**Selección de equipos*****Selección de elementos de protección***





La red de alimentación para el tablero de aire acondicionado empieza por el transformador de servicios auxiliares de 13800/480V y una potencia de 1000kVA, el cual es alimentado desde el generador de cada unidad. Aguas abajo se encuentra un esquema de barra simple con interruptor de transferencia denominado como el centro de carga de casa de máquinas (CCCM), de este sistema se alimentan 4 barras de 480V, dos de ellas corresponden a los tableros de servicios generales y de servicios esenciales, estos tableros proporcionan la alimentación de cada una de las unidades de aire acondicionado. De esta manera es como se alimentan los compresores y ventiladores de cada módulo, los cuales requieren de un correcto dimensionamiento del kit de arranque es por esto por lo que a continuación se presenta la selección de protecciones para cada motor del sistema de aire acondicionado.

***Selección de elementos de protección en ventiladores***

La presente selección se realizó para tener un control de activación del sistema mediante contactores y la acción de guardamotores en caso de falla por cortocircuito, sobrecarga o por compensación de temperatura, además de un contacto auxiliar para tener acción inmediata en caso de una señal de disparo por el guardamotor.

Tabla 8

*Tabla selección para ventiladores*

<b>ELEMENTO</b>	<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>MODELO</b>	<b>SELECCIÓN</b>
 <b>MOTOR</b> <b>VENTILADOR</b> <b>CMFE 3,7 KW</b> <b>6.7A</b>		CONTACTOR TRIPOLAR			
	1	600 VAC/9A, A1-A2: 24-500 V AC/DC		AF09-30	
		INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO PARA			
	1	MOTOR 690 VAC, IN: 6.3- 10A		MS132-10	
		CONTACTO AUXILIAR PARA INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO			
	1	1NA+1NC		SK1-11	





*Nota.* En la tabla se puede apreciar la selección de un contacto auxiliar para enviar señales de en caso de disparo, esta selección se realiza para todos los guardamotores.

### **Selección de elementos de protección en compresores**

Los compresores han sido seleccionados para realizar constantes activaciones durante un determinado tiempo en múltiples ocasiones durante toda su vida útil por lo cual requieren de un contactor un tanto robusto con contactos fuertes, por lo cual se decide dimensionarlo de un 30-35%. A demás de guardamotores como dispositivo de protección ante sobrecargas y cortocircuitos

Tabla 9

*Tabla selección para compresores*

<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>MODELO</b>	<b>SELECCIÓN</b>
	1	CONTACTOR		AF26-30	
		TRIPOLAR 600			
		VAC/26A, A1-A2: 24-500 V AC/DC			
<b>MOTOR</b> <b>COMPRESOR 1</b> <b>CMC1 9KW 19.2 A</b>	1	INTERRUPTOR		MS132-20	
		TERMOMAGNETICO			
		PARA MOTOR 690 VAC, IN: 16-20A			
		CONTACTOS		CAL4-11	
		AUXILIAR 1N, 1NC			
		PARA CONTACTOR			




*Nota.* En la tabla se puede observar que se utiliza un contacto auxiliar para tener señales del contactor enclavado.

### **Selección de elementos de protección en resistencias de recalentamiento**

Las resistencias de calentamiento son dispositivos de características eléctricas que no poseen una corriente de arranque como tal y por las condiciones de temperatura dentro de las instalaciones de casa de máquinas no pretenden tener múltiples activaciones, solo bajo ciertas condiciones especiales. Es por esta causa que los dispositivos de protección seleccionados para las resistencias de calentamiento son interruptores electromagnéticos tripolares.

Tabla 10

Tabla selección para resistencias de calentamiento

ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	MODELO	SELECCIÓN
 <p><b>RESISTENCIAS DE CALENTAMIENTO</b> 1 AQ1 6KW 7.6A</p>	1	<p>CONTACTOR TRIPOLAR 600 VAC/12A, A1-A2: 24- 500 V AC/DC</p>		AF12-30	
	1	<p>INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 690 VAC, IN:16A</p>		S203-C16	

*Nota.* En la tabla se puede observar que el fabricante es ABB como en tofo los casos anteriores.

### **Selección de supervisor de tensión y falta de fase**

Los fenómenos eléctricos siempre se encuentran presentes por cualquier eventualidad del sistema, es por esta causa que las subidas y bajadas de tensión o la falta de una fase se pueden presentar y ocasionar fallas en el sistema de aire acondicionado, para lo cual se

requiere un supervisor de tensión programable y con la capacidad de abrir y cerrar contactos en caso de anomalías detectadas.

**Tabla 11**

*Tabla selección para supervisor de tensión*

ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	MODELO	SELECCIÓN
 <b>MÓDULO HITACHI COMPLETO UNIDAD AC-1 60.3A</b>	1	SUPERVISOR DE TENSIÓN, INVERSIÓN Y FALTA DE FASE 600 VAC, 3P	SIEMENS	3UG4615	

*Nota.* En la tabla se puede observar un módulo Siemens para supervisar las perturbaciones en la alimentación de las unidades de aire acondicionado.

### **Selección de los elementos de control**

#### ***Controlador Lógico Programable PLC***

El sistema de aire acondicionado posee alrededor de 44 señales digitales, sobre el comportamiento del equipo, una proyección total de 6 entradas analógicas de 4-20mA y dos módulos de comunicación Modbus destinadas al sensor principal de temperatura-humedad y a la comunicación con sala de control, mediante protocolo RS485. Por estas razones la selección de PLC se inclina al Siemens S7-1200 1214C AC/DC/RLY, ya que posee una alta adaptabilidad con el mercado, dispositivos de comunicación de fácil instalación y módulos de expansión E/S digitales y analógicos.

**Tabla 12***PLC S7-1200 con Accesorios*

Equipo	Detalles
Versión firmware	V4.3
Tensión de alimentación	120VAC/230VAC
Entradas digitales	14
Interfaz	PROFINET
Grado de protección	IP20
Peso	455g
Modbus	SI

**Módulo CM1241 RS485**

El PLC requiere información del sensor de temperatura mediante comunicación Modbus, por lo cual requiere un módulo de comunicación con protocolo RS485, fácilmente acoplable y que permita ser designado como maestro o esclavo Modbus según se disponga. Debido a que la comunicación de las señales de estado para sala de control requiere de comunicación Modbus, se requiere de otro módulo de comunicación adicional.

**Tabla 13***Módulo de Comunicación CM1241***Especificaciones Generales**

<b>Tensión de Alimentación</b>	24volts
<b>Interfaces</b>	RS422 / RS485
<b>Longitud de cable Max.</b>	1000m
<b>Intensidad de entrada</b>	220mA
<b>RTU maestro Modbus</b>	1 a 49999 direccionamiento 247 disp. Max.
<b>RTU esclavo Modbus</b>	1 a 49999 direccionamiento estándar
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Peso</b>	155g

Nota. La tabla muestra las características del módulo que se requiere para la comunicación Modbus con el sensor de temperatura y las señales de estado que se dirigen a sala de control.

***Módulo de E/S SM1221***

El módulo de entradas y salidas digitales es sumamente importante ya que las entradas que posee el PLC en su módulo principal no son suficientes para el manejo de todas las señales que gobierna el comportamiento de la unidad de aire acondicionado. Debido a que son dos unidades de aire acondicionado se requieren de dos módulos de 16 entradas y 16 salidas digitales.



Tabla 14

*Características módulo SM1221***Especificaciones Generales**

<b>Tensión de alimentación</b>	24volts
<b>Intensidad de entrada</b>	130mA
<b>Entrada según</b>	IEC61131
<b>Alarmas de diagnostico</b>	disponibles
<b>Grado de Protección</b>	IP20
<b>Longitud de cable apantallado</b>	500m
<b>Longitud de cable sin apantallado</b>	300m
<b>Perdidas típicas</b>	2.5W
<b>Peso</b>	210 g

***Módulo de entradas analógicas SM1231***

Para convertir los datos enviados por los sensores analógicos se requiere de un módulo que reciba señales de 4 a 20mA o a su vez de 0 a 10V, además debe disponer de 8 canales para los 6 sensores que requiere para el sistema. Por estas causas se requiere implementar el módulo SM1231 que se acopla fácilmente al PLC S7-1200.

Tabla 15

*Módulo SM1231 de 8 entradas analógicas*



### Especificaciones Generales

<b>Tensión de alimentación</b>	24 volts
<b>Intensidad de entrada</b>	45mA
<b>N.º de entradas analógicas</b>	8 entradas I/V
<b>Intensidad de entrada límite Max.</b>	40mA
<b>Tensión de entrada admisible máx.</b>	35volts
<b>Resistencia de entrada (0 a 20 mA) 280 Ω</b>	280 Ω
<b>Alarma de diagnóstico</b>	Disponible
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Perdidas típicas</b>	1.5W
<b>Peso</b>	180g

### **Switch ethernet SCALANCE XB004-1**

La intercomunicación es sumamente necesaria en las redes industriales, tener un punto libre de acceso a la red Profinet es indispensable para obtener información de distintos equipos en distintas ubicaciones, la mejor forma de intercomunicar equipos es mediante un switch ethernet el cual permite que vario puntos se comuniquen a una misma red. En esta propuesta es utilizado para la comunicación entre interfaces gráficas y PLC.

**Tabla 16***Switch SCALANCE XB004-1***Características Generales**

<b>Diseño</b>	Interruptor Ethernet
<b>Número de puertos</b>	4
<b>Velocidad de datos</b>	10/100 Mbit / s
<b>Tipo de Cable</b>	Conector RJ45
<b>Montaje</b>	Riel DIN
<b>Perdidas típicas</b>	2.64W
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Profinet</b>	Clase A

***Pantalla 9" KTP BASIC 900***

La interfaz gráfica en un sistema de aire acondicionado resulta ser de gran apoyo para monitorear cada una de las variables que comprenden el proceso de acondicionamiento del aire. Para este sistema la selección de una pantalla Siemens de 9" pulgadas con conexión Profinet y 8 botones de selección, es la más adecuada para brindar un excelente control de datos, además de asegurar mayor tiempo de vida a los equipos.

Tabla 17

HMI KTP900 Basic



### Especificaciones Generales

<b>Resolución</b>	800x480 px.
<b>Control de elementos</b>	Pantalla Táctil
<b>Memoria de usuario</b>	4,5 – 5,5 V
<b>interfaces</b>	RJ45 Profinet o USB
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Tensión de Alimentación</b>	24 volts
<b>Software de configuración</b>	WinCC Confort
<b>Pantallas de procesos</b>	100

### ***Fuente de Alimentación Phoenix Contac 24VCC***

La alimentación de sensores, así como de las señales de control requieren de una fuente de alimentación de 24voltios en corriente continua, la cual proporciona la alimentación de los módulos del PLC y de las señales que viajan a través de las unidades de aire acondicionado para determinar el estado de su funcionamiento. La fuente debe alimentarse con 120VCA que provienen desde los tableros de barra segura para evitar su desconexión, y proporcionar una tensión de 24VDC con una corriente no menor a 5 amperios,

**Tabla 18***Fuente de Alimentación QUINT-PS***Especificaciones Generales**

<b>Rango Tensión de entrada</b>	85VAC.....265VAC
<b>Frecuencia</b>	Entre 50HZ y 60HZ
<b>Fusible entrada</b>	5 Amps
<b>Tensión de salida</b>	24VDC +/-1%
<b>Potencia de salida</b>	120W
<b>Protección contra sobretensión</b>	<35VDC
<b>Tensión de ajuste</b>	18VDC...29.5VDC
<b>Rendimiento</b>	>90%
<b>Conexión en Paralelo</b>	Sí para aumento de potencia

***Relé Biestable Artech***

La selección de este tipo de relés se basa en la necesidad de tener un modo manual de operación el cual sea utilizado también como modo de pruebas, es decir se requiere realizar una activación de la unidad de aire acondicionado sin parámetros que gobiernan el sistema como la temperatura y la humedad. Para lo cual se dispone de una señal de 24VDC que envía un pulso de corriente en función de la botonera de activación, provocando la conmutación del relé y permitiendo el paso de corriente a los contactores de los motores de las unidades. Es

necesario recordar que un relé biestable actúa solo con la necesidad de un pulso y no con flujo constante de corriente.

**Tabla 19**

*Relé Biestable BF-4 24VDC*



#### Especificaciones Generales

<b>Fabricante</b>	Arteche
<b>Modelo</b>	BF-4
<b>Tensión de entrada</b>	24VDC
<b>Normas Internacionales</b>	IEC 61000, IEC 60947, IEC 60255
<b>Posiciones estables</b>	2.
<b>Base</b>	Tipo F, largo empotrado

#### **Mini relés ABB 24VDC con led Indicador**

Este tipo de relé contribuye mucho para las salidas de los módulos del PLC, debido a que son salidas digitales es indispensable el uso de estos mini relés que proporcionan el paso de corriente para la activación de los contactores, este tipo de relés puede manejar tensiones hasta de 250VAC y una corriente de 8 A. Dentro del tablero de control estos mini relés actúan cada vez que se requiere del encendido de uno de los motores dentro de cada unidad, de igual

manera para las resistencias de calentamiento, además se utiliza un mini relé de las mismas características pero con una tensión de conmutación de 120VAC.

**Tabla 20**

*Mini Relé ABB 250VAC 8A*



#### Especificaciones Generales

<b>Fabricante</b>	ABB
<b>Tipo de relé</b>	De interfaz
<b>Configuración de contactos</b>	DPDT
<b>Tensión nominal del Inductor</b>	24VDC
<b>Montaje</b>	Riel DIN
<b>Peso</b>	57.57g
<b>Certificación</b>	RoHS

#### Selección de Instrumentación

##### ***Transmisor de caudal másico***

El agua que se usa como refrigerante para el condensador de las unidades de aire acondicionado proviene del sistema de agua de enfriamiento principal, el cual se divide en ramales de enfriamiento para las distintas maquinas dentro de la central. Para que el condensador nunca trabaje sin refrigeración es necesario controlar esta variable de manera adecuada por lo tanto se requiere de sensores de flujo analógicos (4-20mA) que solo permitan

el proceso de refrigeración cuando flujo en la tubería de ingreso y salida del líquido sea positivo y cumpla un flujo mínimo de 1.5m/s.

**Tabla 21**

*Transmisor de caudal SITRON CF420*



**Especificaciones Generales**

<b>Tensión de funcionamiento</b>	24VDC +/- 10%
<b>Consumo</b>	1VA Max.
<b>Salida</b>	4...20Ma y PNP (400mA)
<b>Rango de punto de ajuste</b>	0,2...2m/s (Agua)
<b>Precisión</b>	+/- 10%
<b>Indicador de Velocidad</b>	8LED's
<b>Aplicación</b>	Flujo de Líquidos

***Transmisor de Presión***

El ciclo de refrigeración que debe llevarse a cabo para el enfriamiento del aire requiere de un gas refrigerante que cumpla con los requisitos y condiciones ambientales del sistema, (R-407C) mismo que debe ingresar a las tuberías de cobre y mantenerse en una presión adecuada para que el sistema no deje de trabajar. Esta razón es la principal para monitorear la presión del gas de manera constante, por lo que se requiere de un transmisor de presión ideal para HVAC, y que envíe señales analógicas de 4 a 20mA.



**Tabla 22***Transmisor WINTERS LE1***Especificaciones Generales**

<b>Señal de salida</b>	(2 hilos) 4 a 20 mA
<b>Exactitud</b>	+/- 0.5%
<b>Temperatura admisible</b>	-40°C a 100°C
<b>Grado de protección</b>	IP65
<b>Consumo de corriente</b>	25Ma Max. (2 hilos)
<b>Vida operativa</b>	2M ciclos
<b>Tiempo de respuesta</b>	<10ms
<b>Presión de trabajo</b>	0...500psi

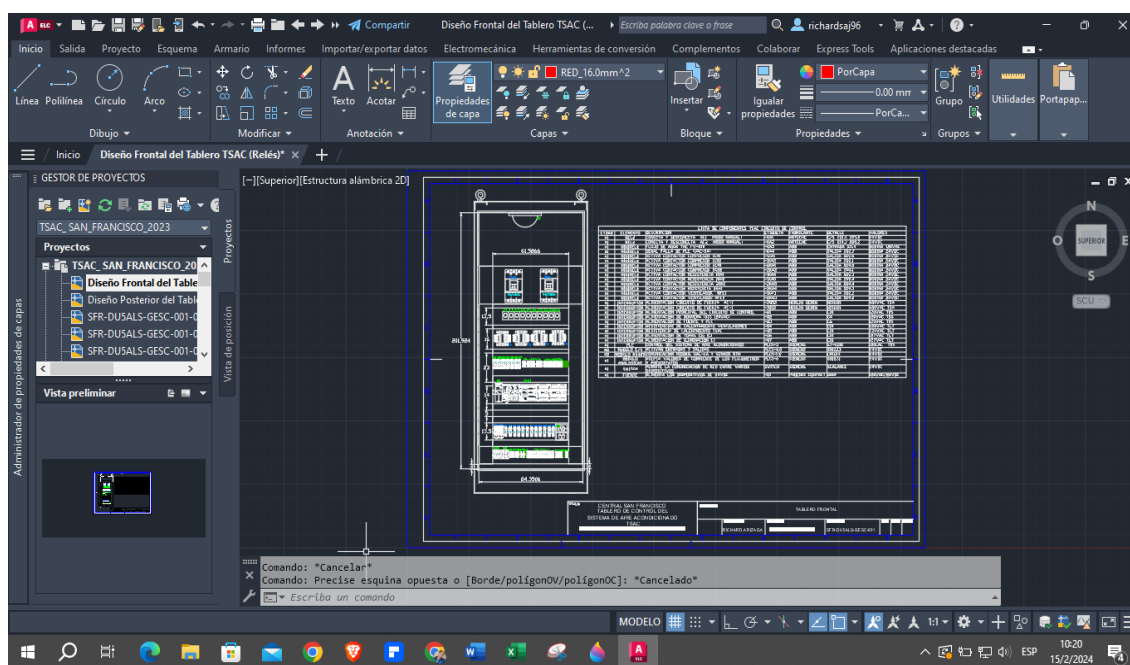
**Herramientas de diseño*****AutoCAD Electrical 2024***

El entorno de diseño de este software presenta muchas herramientas que permiten al usuario realizar un diseño de un tablero eléctrico, con múltiples opciones y librerías, que contienen la información de los equipos que se encuentran en el mercado actual, y con el bloque gráfico correspondiente, la aplicación de normas no presenta dificultad en el software, ya que solo depende de realizar la configuración necesaria en el dibujo actual. Darco (2017).

Todos los planos de la central hidroeléctrica San Francisco están plasmados en el software AutoCAD lo cual convierte a este programa en la opción principal para el desarrollo de planos eléctricos y diseño de tableros de control.

**Figura 25**

*Entorno de diseño de AutoCAD Electrical*



*Nota.* La fotografía muestra el entorno del software, durante el diseño del tablero de control TSAC en AutoCAD Electrical.

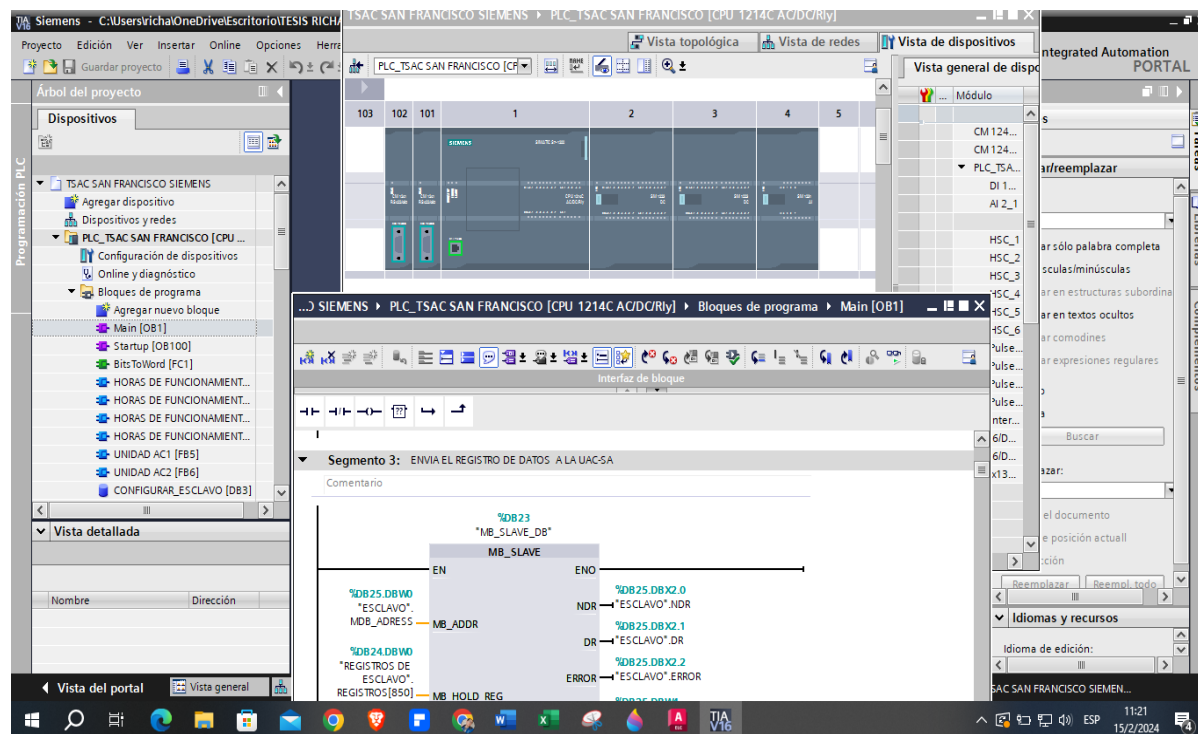
### **Totally Integrated Automation Portal V16**

Los controladores lógicos de la familia Siemens utilizan la plataforma de programación (TIA Portal) la cual permite cargar un modelo de sistema de control al PLC que se encuentra listo para ejecutar ordenes, además proporciona un entorno de diseño con múltiples herramientas y funciones para que la información vista en la pantalla se encuentre correctamente estructurada y organizada para una mejor interpretación al igual que en el desarrollo del sistema SCADA. La programación se realiza en lenguaje KOP o mejor conocido como Ladder, pero se integran bloques de función en lenguaje SCL para añadir funciones

especiales dentro del sistema. La interfaz gráfica también requiere del uso de este software para lograr mostrar la información necesaria y de manera estructurada.

**Figura 26**

*Interfaz gráfica de TIA portal*



*Nota.* La fotografía muestra el entorno del software TIA Portal, durante la programación de los bloques de comunicación.

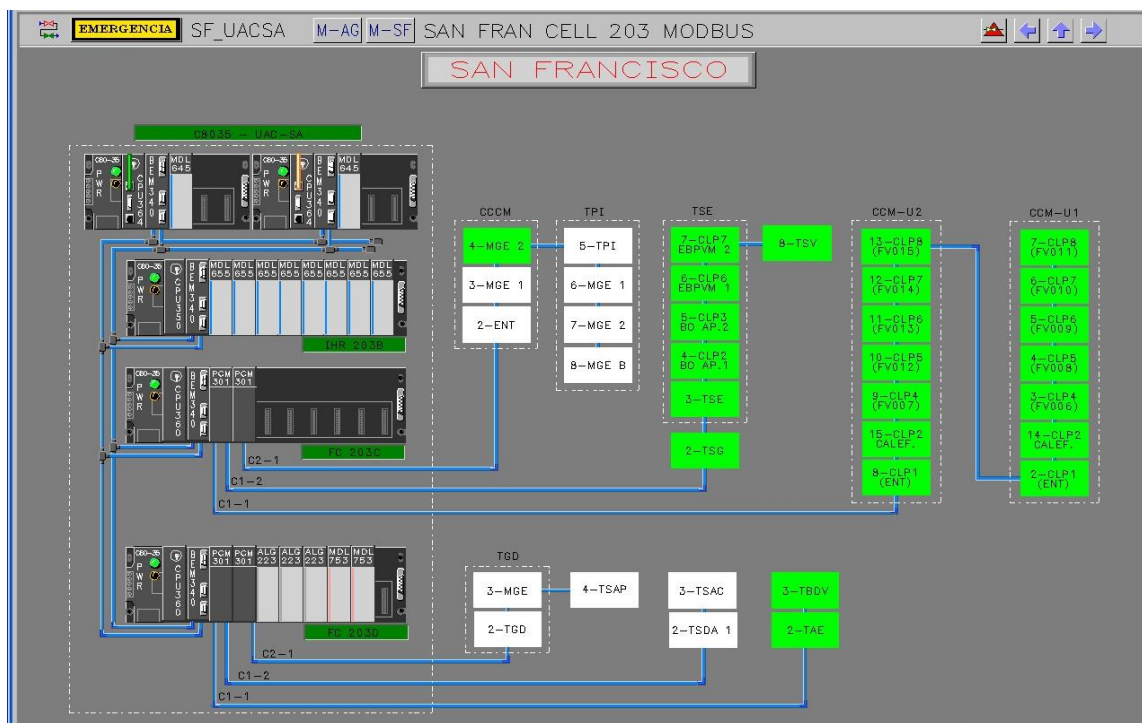
### **Modbus Slave como método de pruebas**

La comunicación entre el controlador del sistema de aire acondicionado con sala de control presenta un cambio de nivel cuando estas señales son interpretadas primero en la unidad de adquisición de datos de servicios auxiliares (UAC- SA) y después es enviada a sala de control, en donde los operadores pueden visualizar las señales de forma gráfica gracias al SCADA. Para realizar una prueba del estado de la red de comunicación se emplea el software Modbus Slave el cual provee de una comunicación rápida entre maestros y esclavos, siempre y cuando las direcciones estén correctamente configuradas. Es necesario entender que para

conectarse a la red de comunicación se requiere de un convertor serial RS-232 a RS-485 y cable de RS-232 a USB.

**Figura 27**

*Niveles de comunicación UAC-SA*



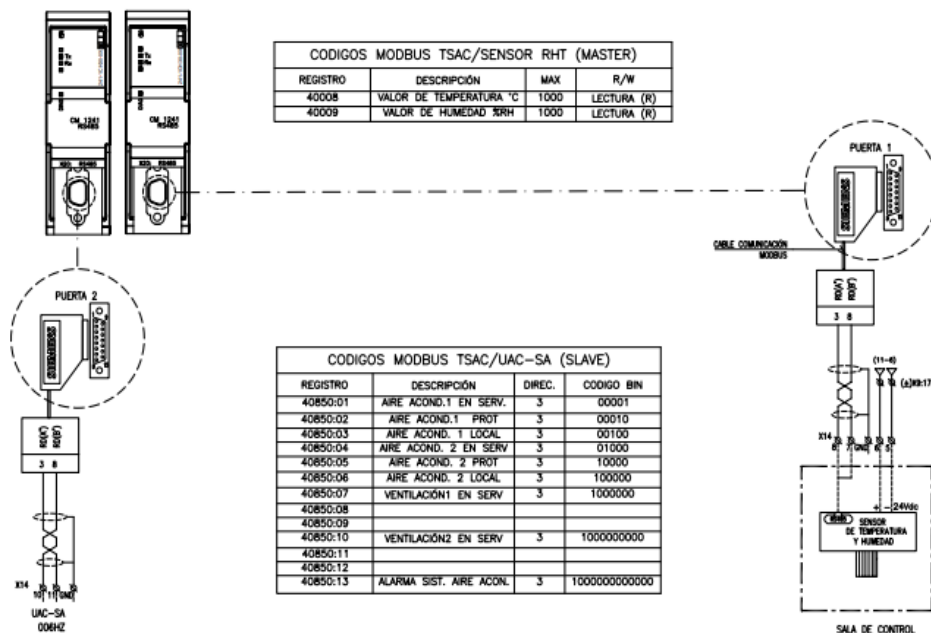
*Nota.* La figura muestra los sistemas conectados y desconectados de la unidad de adquisición de datos, además del nivel de control en el que se encuentran.

### **Esquema de comunicación**

El sistema de aire acondicionado requiere una conexión Modbus maestro para obtener los valores de temperatura y humedad que son adquiridos por el sensor NOVUS RHT y además se necesita otra conexión con protocolo RS-485 esta vez tomando el papel del esclavo, para enviar las señales de estado del sistema de aire acondicionado hasta la unidad de adquisición y finalmente a sala de control. Es necesario establecer las direcciones de los dispositivos para que exista una adecuada comunicación entre dispositivos.

Figura 28

Configuración del puerto RS485 en módulos CM1241



Nota. La Figura muestra el diagrama de conexiones de los dispositivos de comunicación, la dirección a la que tienen que ser dirigidos y los registros que deben ser escritos o leídos por los controladores asociados.

Con la propuesta de comunicación entre el controlador del sistema de aire acondicionado, la unidad de adquisición de datos (UAC-SA) y sala de control, se cumplen los objetivos planteados en esta propuesta.

## Capítulo V

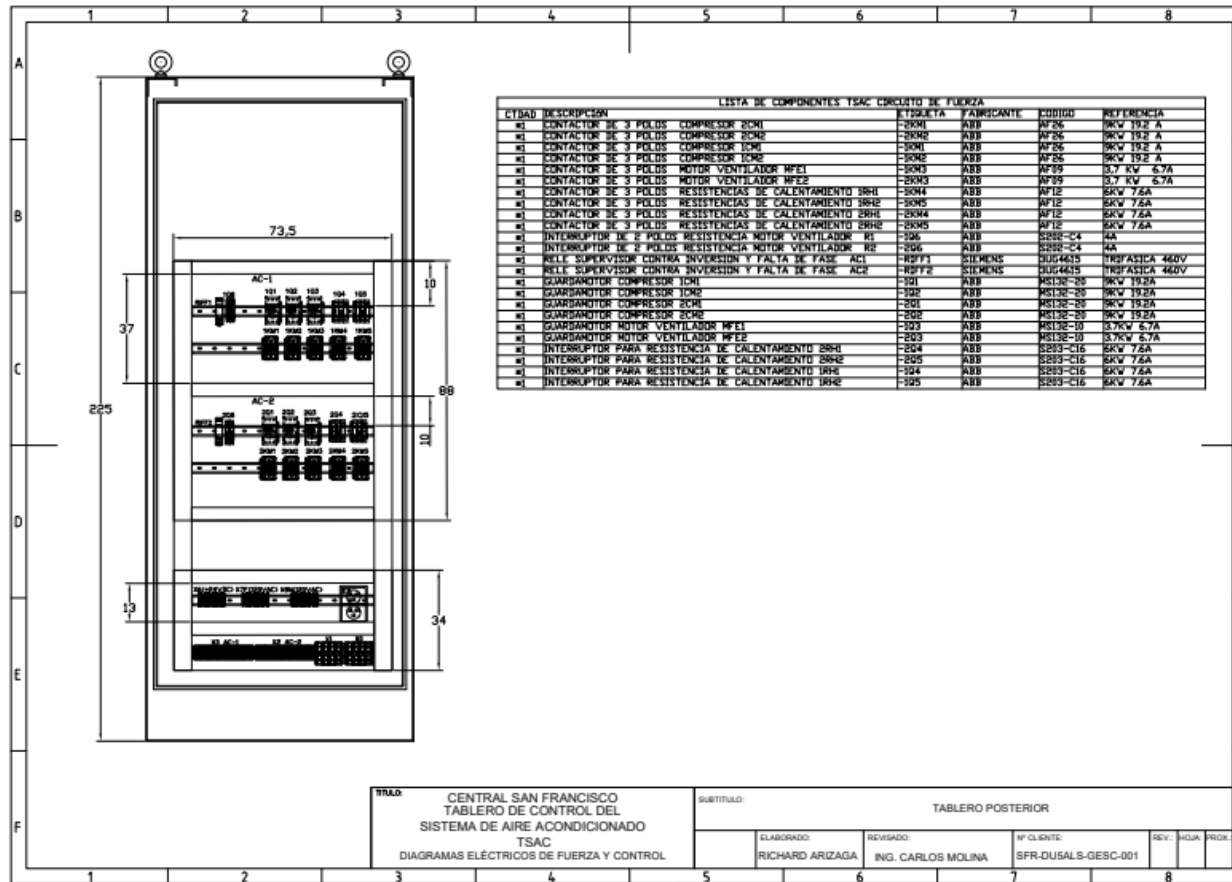
### Análisis de resultados

#### Análisis del objeto de estudio

El sistema de aire acondicionado se encuentra en funcionamiento en sus primeros avistamientos, pero presentando un control manual activado por relés y accionados por interruptores. Las constantes modificaciones por parte de mantenimiento no se reflejan en los planos del sistema. El sensor principal de temperatura y humedad NOVUS RHT por comunicación Modbus se encontraba deshabilitado y remplazado por un sensor provisional con un control semi independiente. Las señales de comunicación con otro sistema habían dejado de funcionar hace mucho tiempo y las condiciones físicas del cableado del sistema se encontraban deterioradas y mal ubicadas por las constantes modificaciones. Además, los tableros de fuerza y control presentaban dispositivos obsoletos que ya no cumplían ninguna función en el sistema de control de las unidades de aire acondicionado. Partiendo de este análisis de estado del sistema de aire acondicionado se ejecuta el plan de rediseño del sistema, el mismo que parte con una proyección de la nueva disposición de los circuitos de fuerza de las unidades de aire acondicionado AC-1 y AC-2, utilizando el espacio disponible en la parte posterior del tablero central TSAC. Utilizando las herramientas de AutoCAD Electrical se procede a obtener un modelo del tablero de control del aire acondicionado, tanto de su parte posterior y su parte frontal, las cuales son las principales áreas de influencia dentro del rediseño. La selección de los dispositivos necesarios para el circuito de fuerza y el circuito de control, también se muestran como un listado en cada una de las láminas desarrolladas para la aprobación del rediseño del tablero frontal y posterior del sistema las cuales se muestran a continuación.

Figura 29

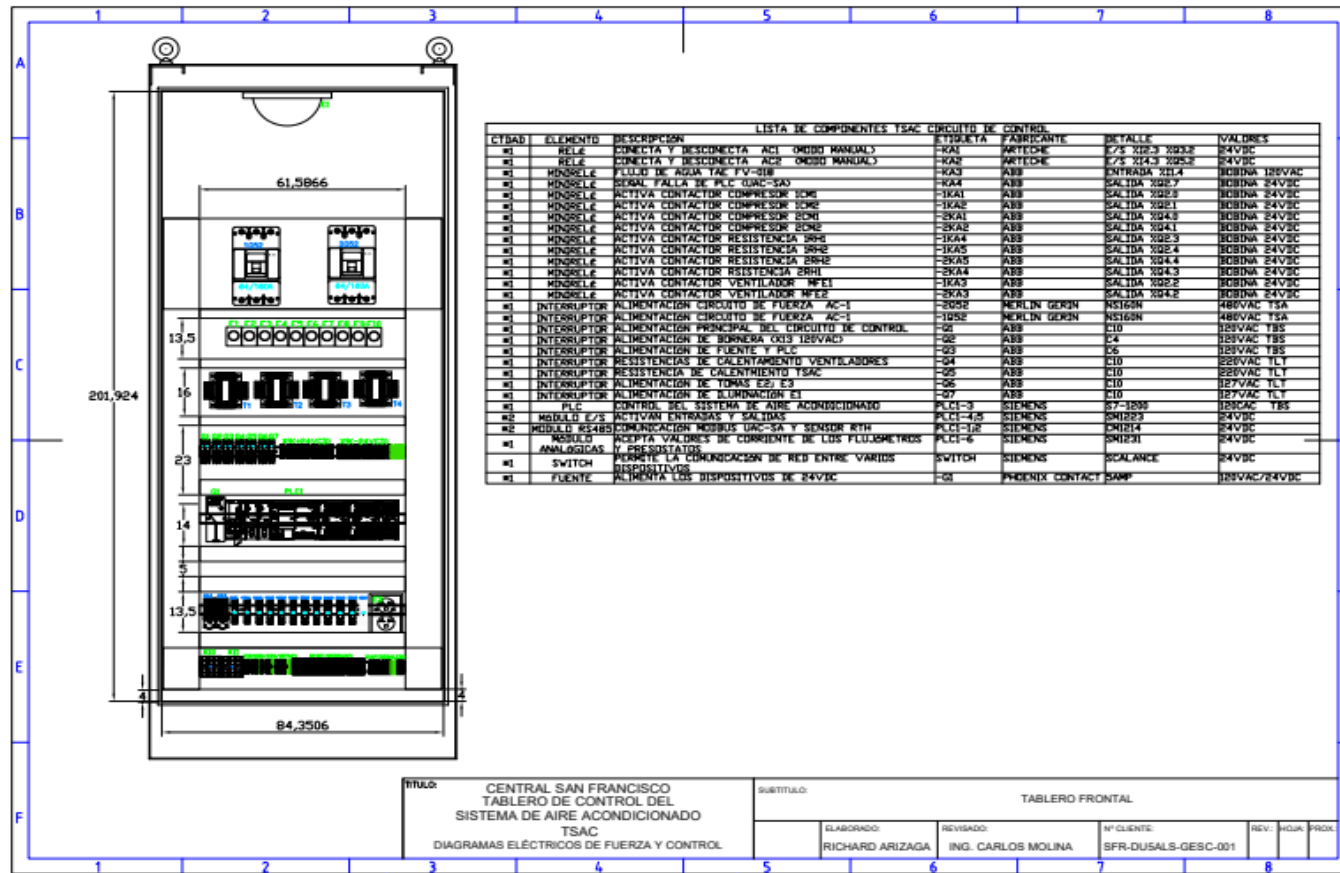
Diseño de Tablero para circuito de fuerza AC-1 / AC-2



Nota. La figura muestra el plano de disposición de los elementos de fuerza dentro de la parte posterior del tablero central TSAC.

Figura 30

Diseño de tablero para circuito de control



Nota. La figura muestra la tabla de los elementos que se requieren para el diseño del circuito de control y la disposición dentro del tablero.



### Resultado del diseño del circuito de fuerza.

La colocación de las canaletas correctamente proporciona una cantidad de espacio adecuada para colocar los dispositivos de arranque de cada uno de los componentes de la unidad de refrigeración, la mayoría de los dispositivos presentan bordes con sujeción para riel DIN, de tal manera que todas las piezas se cortan y se colocan de acuerdo con el plano de diseño. La sección del cable se basa en la corriente que requiere cada uno de los motores de las unidades de refrigeración, y el dimensionamiento de la canaleta se realiza en función del número de cables que van a pasar por ese lugar, el porcentaje de ocupación también debe tomarse en cuenta para futuras expansiones.

**Tabla 23**

*Conductores Utilizados en circuitos de fuerza*

Tipo de Conductor	Área con aislamiento (mm <sup>2</sup> )	Cantidad
<b>Conductor 10AWG THHN 30A</b>	15.28	3x2 circuitos
<b>Conductor encauchetado 4x12 AWG 30A</b>	186.02	5x2 circuitos
<b>Sección Total</b>	1951.88	

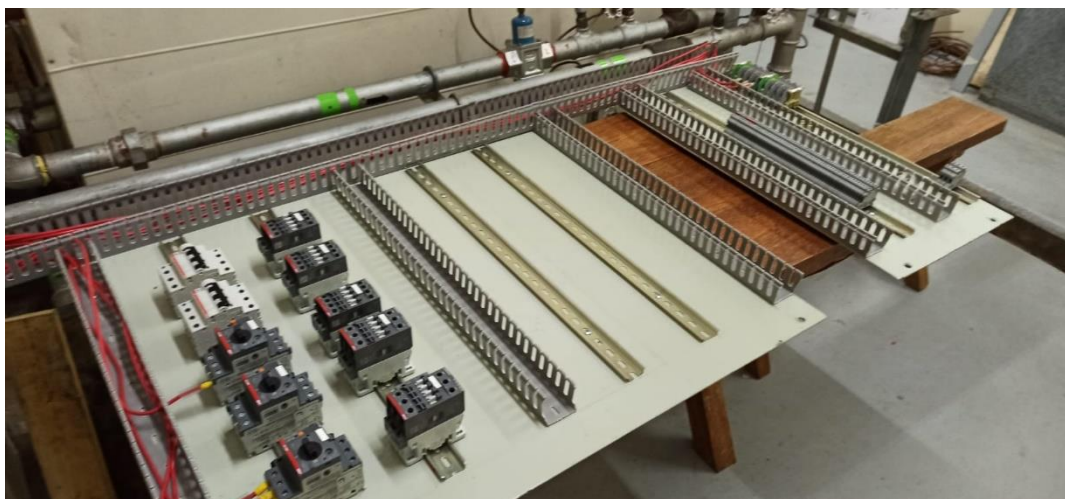
La canaleta es seleccionada con la sección total encontrada y procurando utilizar un factor de ocupación que permita que el conductor no se encuentre sumamente ajustado, y pueda ser manipulado. El factor de ocupación en este caso es 30% de la sección total obteniendo un valor para seleccionar canaleta de 2537.44mm<sup>2</sup> correspondiente a una canaleta cuadrada de 60x60mm con una sección circular de 2827 milímetros cuadrados, la canaleta es de PVC con ranuras para cables y de fácil sujeción contornillos autoperforantes.

### **Etiquetado y normalización.**

La norma IEC 1082-1 se encarga de la normalización de esquemas eléctricos, así como de la nominación que se le da a cada uno de los elementos disponibles, el etiquetado dentro de los estándares de la IEC permite el uso libre, por lo que etiquetas se las coloca en un plástico protector para evitar su pérdida. El proceso de construcción se puede apreciar a continuación.

### **Figura 31**

*Proceso de Construcción de los circuitos de fuerza*



*Nota.* La figura muestra la disposición de los equipos siendo instalados sobre el doble fondo del tablero de control TSAC

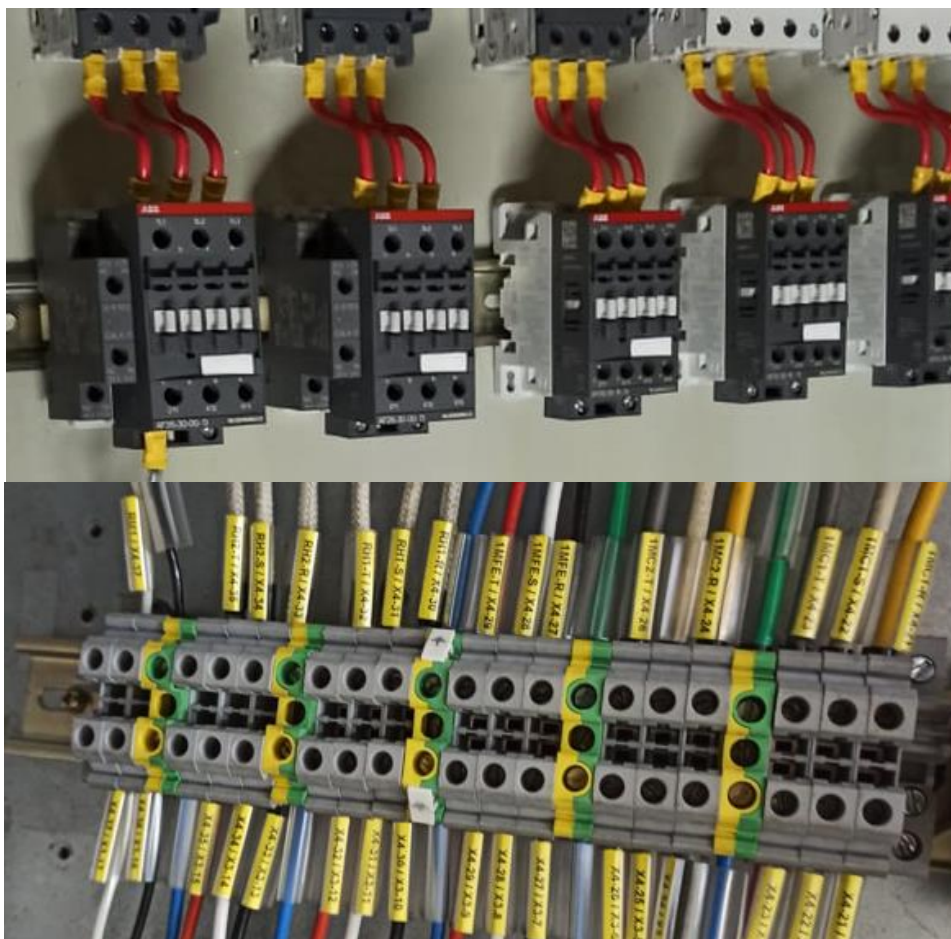
### **Regla de bornes y terminales de conexión**

El uso de bornes de conexión eléctrica es indispensable para que se produzca una correcta transmisión de corriente entre cables, además de procurar el uso de terminales que permitan una correcta sujeción de los hilos del conductor, obteniendo un excelente prensado en las reglas de bornes y los dispositivos utilizados. La selección de estos elementos se realiza en base a la sección del conductor que utilizamos, para este caso se utiliza los bornes de la marca Phoenix Contact en los modelos UK2.5 Y UT6 que permiten conductores de 2.5mm<sup>2</sup> hasta 6mm<sup>2</sup>. Las terminales también se eligen de la misma manera procurando que el tipo de

terminal permita un excelente prensado, para los dispositivos de protección se utilizó terminales tipo Horquilla y en los bornes punteras simples

### Figura 32

*Proceso de Etiquetado y conexión de terminales*



*Nota.* La figura muestra la regla de bornes de paso para alimentación de los motores de la unidad de aire acondicionado AC-1 y la conexión de los equipos de protección con terminales y etiquetas.

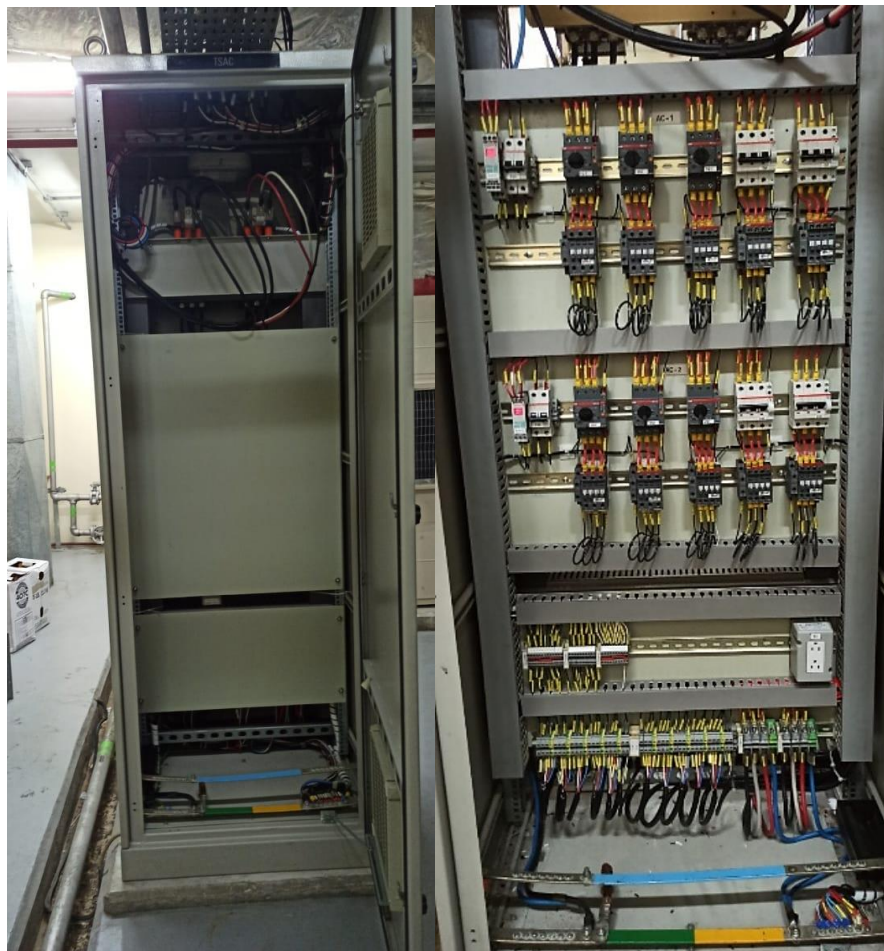
### Señales de control en los circuitos de fuerza

Utilizar la línea positiva de una fuente de alimentación como medio para obtener señales de activación de los distintos dispositivos de protección resulta ser la manera más adecuada de mostrarle al controlador lógico que el dispositivo está activado o resultó ser víctima de una falla. El conductor utilizado para transmitir una señal de +24V es de calibre

18AWG, estas líneas comienzan su recorrido en una regla de bornes de alimentación desde la parte frontal del tablero de control TSAC y termina en una regla de bornes de distribución en la parte posterior del tablero, continuando su camino hasta los contactos auxiliares de cada uno de los dispositivos de protección de los motores, y que finalmente llegan hasta el PLC para determinar la acción correspondiente. Con la conexión y etiquetado completo como se muestra en los planos desarrollados la parte posterior del tablero se presenta como se diseñó.

### Figura 33

*Tablero posterior de fuerza para las unidades AC-1 / AC-2*



*Nota.* La figura muestra el antes y el después del tablero posterior del sistema de aire acondicionado.

### Resultado del diseño del circuito de control.

El circuito de control a diferencia del circuito de fuerza resulta tener varias etapas, las cuales conforman la parte frontal del tablero TSAC, comenzando por los interruptores de caja moldeada Merlin Gerin de 64/160A, los cuales permiten el paso de corriente y la alimentación de los motores trifásicos a 480V desde el tablero de servicios generales TSG para la unidad AC-1 y desde el tablero de servicios esenciales TSE, para la unidad AC-2. Después desde la parte inferior del tablero existen reglas de bornes las cuales se utilizan para alimentar los circuitos de control, tomas e iluminación y resistencias de calentamiento, además de ser parte de las salidas de las señales de comunicación.

**Tabla 24**

*Cargas de sistema de aire acondicionado.*

<b>Elemento</b>	<b>Corriente nominal (A)</b>	<b>Corriente de arranque (A)</b>
<b>Motor de Ventilador</b>	6.7	7.2
<b>Resistencias de calentamiento</b>	7.6 x2	7.6 x2
<b>Compresores Copeland</b>	19.2 x2	20.5 x2
<b>Corriente Total</b>	60.3	63.4

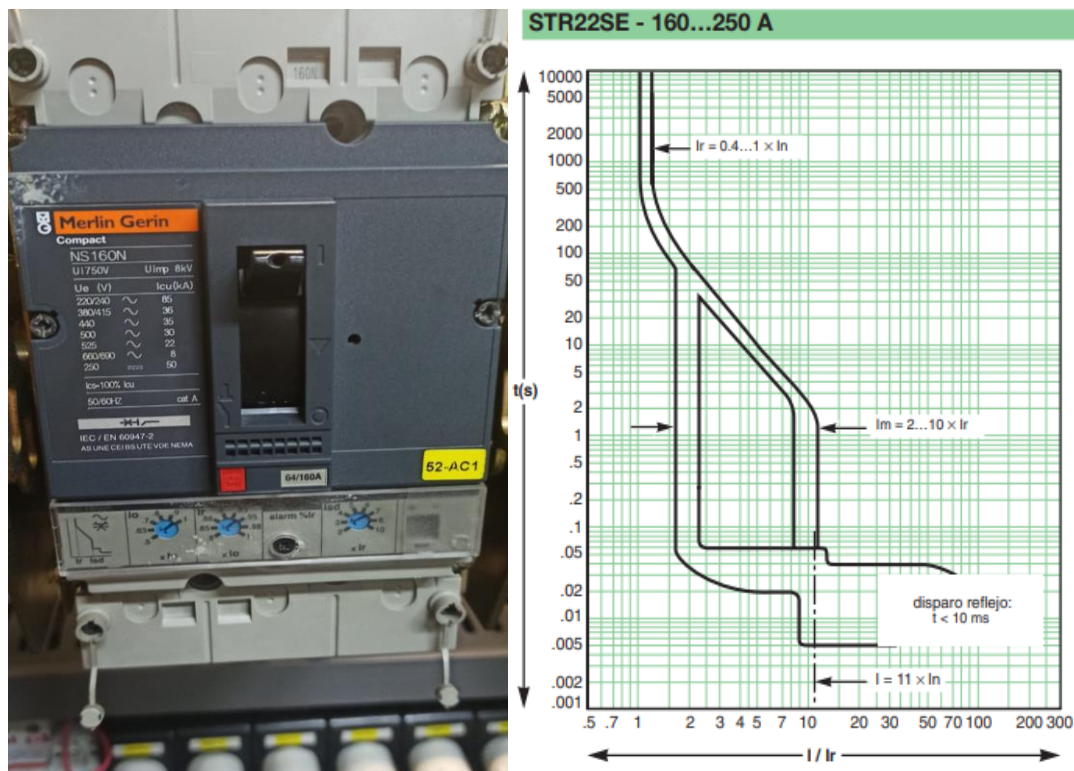
*Nota.* La Tabla muestra la sumatoria de corrientes nominales y de arranque de las unidades de aire acondicionado.

El ajuste de los interruptores de caja moldeada Merlin Gerin se basan en la corriente nominal de interruptor, la corriente de corto circuito y la corriente de sobrecarga lo que permite llegar a la activación del dispositivo en 64 amperios como corriente de sobrecarga, y mediante un ajuste a 128 amperios como corriente de cortocircuito. Para realizar los ajustes en el interruptor de caja moldeada se debería multiplicar la corriente nominal de interruptor (160A) por 0.5 para

ajustar una corriente de salida ( $I_o$ ) a 80 A y posteriormente multiplicar la corriente de salida por 0.8 para obtener 64 A como corriente de sobrecarga ( $I_r$ ).

**Figura 34**

*Proceso de Ajuste de Interruptor 52*



*Nota.* La figura muestra el interruptor de caja moldeada con su curva de activación. Tomado de SCHNEIDER (2007)

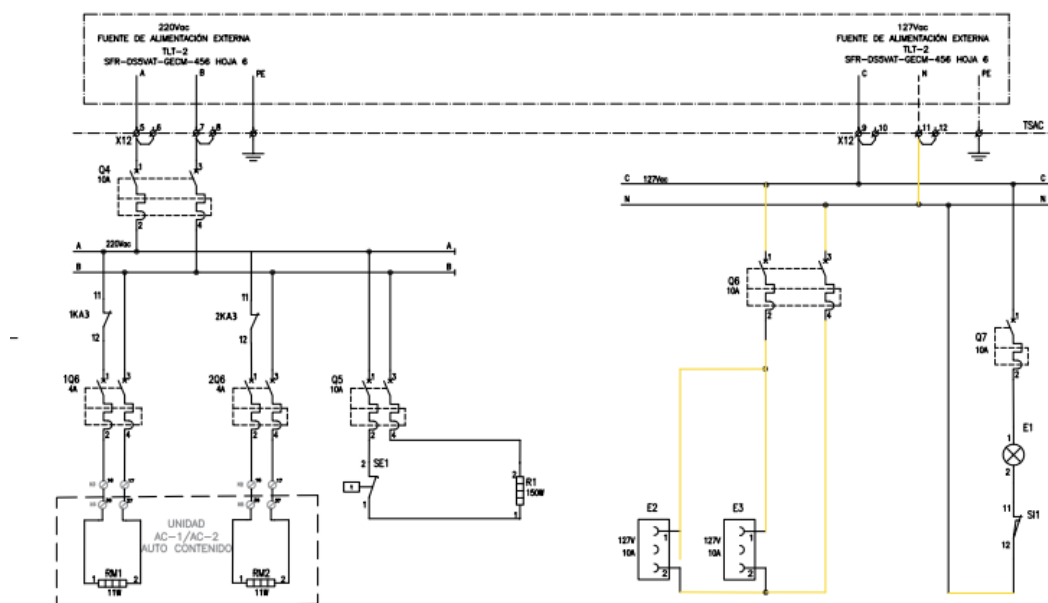
### Interruptores de protección, iluminación y calefacción

La alimentación de cada uno de los circuitos internos de control proviene de otros tableros de distribución que llegan al tablero TSAC mediante bandejas porta cables, las cuales llegan hasta la parte superior del tablero, en donde son dirigidas a la regla de borneras de alimentación, posteriormente pasan por interruptores de protección seleccionados para los circuitos de alimentación de la fuente, PLC, HMI, calefacción, tomas e iluminación del tablero. Del tablero de barra segura proviene un grupo de cables de alimentación de 120vac para alimentar principalmente el controlador y sus dispositivos adyacentes y dos grupos de cables

proviene del tablero de telecomunicaciones con una diferencia de potencial de 220vac y 127vac para los circuitos de iluminación y calefacción, esta disposición de tensión se realizó según el siguiente plano.

**Figura 35**

*Circuito de Iluminación y calefacción*



*Nota.* La figura muestra las conexiones realizadas para el circuito de tomacorrientes, iluminación y calefacción.

Una vez que los circuitos de iluminación y calefacción han quedado definidos se procede a presentar todos los equipos que se van a implementar en la parte frontal del tablero, en donde se empieza por la regla de bornes de alimentación utilizando 6 bornes UK35 para la alimentación principal de cada unidad y conjuntamente los bornes para la alimentación antes descrita, los relés para las salidas del PLC y mando manual, se encuentran un nivel mas arriba, hasta llegar al controlador lógico con todos sus módulos adyacentes y finalmente se encuentran los interruptores de protección y la regla de bornes de alimentación de +/- 24VCD. El proceso de implementación se muestra a continuación en la figura.

### Figura 36

*Proceso de construcción parte frontal del tablero de control TSAC*



*Nota.* La figura muestra los diferentes elementos utilizados en el sistema de control.

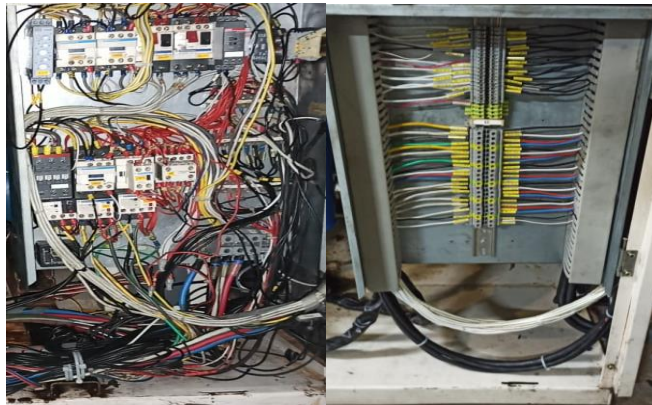
### Regla de bornes de paso en unidades AC-1 /AC-2

Los tableros que fueron desalojados en cada una de las unidades de aire acondicionado fueron reacondicionados de tal manera que estos se ocupen como bornes de alimentación para los motores, y además sean el paso de una línea de 24vdc que se utiliza para que el controlador se encuentre al tanto del estado de los sensores. Esta regla de bornes se incorpora con 17 bornes UT6 y alrededor de 20 bornes UK2.5 que se detallan en los planos desarrollados. Además de estos tableros, los transformadores que se encontraban expuestos a fallas fueron descartados en su totalidad ya que solo alimentaban la resistencia interna del motor del ventilador con 220V, alimentación que se obtuvo desde el tablero de telecomunicaciones.



**Figura 37**

*Proceso de reacondicionamiento para bornes de paso.*

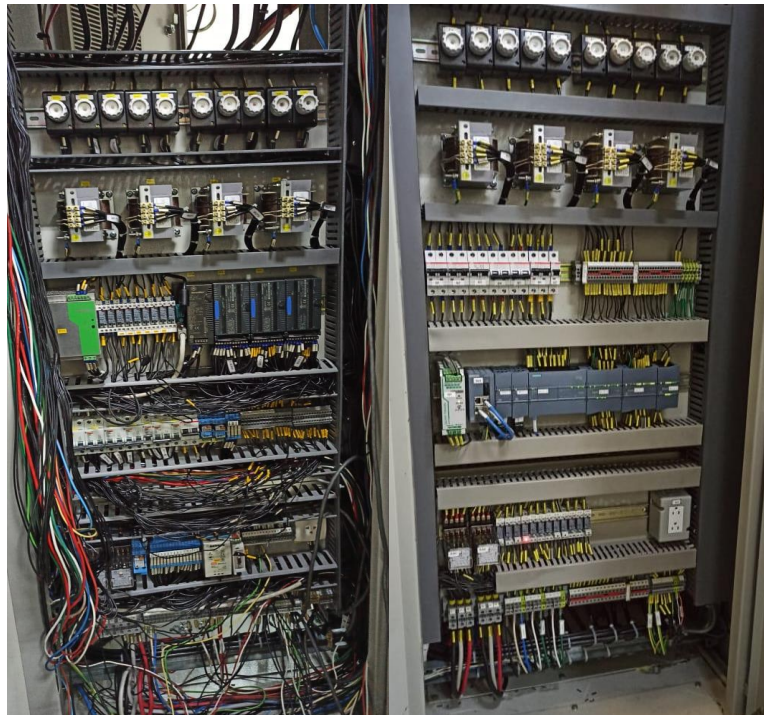


*Nota.* La figura muestra el antes y el después de los tableros autocontenidos en las unidades de aire acondicionado.

Finalmente se utiliza cable 18AWG para las conexiones del PLC y sus módulos y un cable flexible 12AWG para los circuitos de iluminación y calefacción, además de protectores para cable de tipo espiral para las conexiones en la puerta del tablero.

**Figura 38**

*Resultado del diseño de tablero de control (antes / después).*



*Nota.* La figura muestra el antes y el después del tablero de control en la parte frontal.

## **Filosofía de control**

Conocer la filosofía de control resulta ser una de las premisas principales para comenzar con la programación, el desarrollo de la filosofía de control del sistema de aire acondicionado está compuesto por varias secciones que multiplican las oportunidades de desarrollar una lógica de programación de una manera adecuada y optimizada.

## **Arquitectura de control**

En el sistema de aire acondicionado todos los sensores que están implementados, les corresponde el nivel cero de control precedidos por el controlador del sistema de aire acondicionado le correspondería el primer nivel de control, ya que la unidad de adquisición (UAC -SA) es la que le solicita los datos de estado del sistema para transmitirlos a el ultimo nivel de control que le corresponde al sistema digital de control y adquisición de datos.

## **Funciones del sistema**

Entre los principales objetivos que requiere cumplir el sistema de aire acondicionado se presentan los siguientes:

- El sistema debe garantizar el funcionamiento constante del acondicionador de aire, utilizando el sensor ubicado en el recinto de barra segura como señal principal de control.
- El sistema debe mantener siempre monitoreada las variables de temperatura y humedad relativa.
- Brindar la capacidad de detectar alarmas luminosas, facilitando el control del sistema.
- Contar con la capacidad de detectar alarmas y condiciones de emergencia. también resulta ser indispensable.
- Debe asegurar que todos los componentes de las unidades de aire acondicionado se encuentran trabajando eficazmente.

## **Modos de Operación**

El sistema de aire acondicionado mantiene dos modos de operación en donde el automático está regido por el sensor RHT, y el modo manual que no dispone de puntos de control, y sirve como modo de pruebas para los mantenimientos programados.

### ***Modo Automático***

Esta modalidad de trabajo del sistema empieza por revisar el estado de los equipos como protecciones de los motores antes de encender. Después de cumplir con todos los contactos de protección el sistema empieza por encender el ventilador para empezar el ciclo de acondicionamiento del aire, requisitos posteriores como sensores de flujo de aire y agua, habilitan la operación de los compresores para funcionar de forma alterna cuando un set point de temperatura marque los 23.5°centigrados, uno de los compresores se encenderá proporcionando la compresión necesaria del gas para seguir con el ciclo de refrigeración del aire. Un set point de 21°centigrados solicita desconectar el compresor por que el ambiente se encuentra refrigerado. Tras cualquier problema que presente uno de los compresores el otro compresor se encenderá, enviando los mensajes de alarma correspondientes. Es necesario también controlar el tiempo de operación de cada uno de los compresores y el número de activaciones que ha realizado. Por ultimo las resistencias de calentamiento solo se van a activar con las condiciones de humedad excesivamente altas y temperaturas sumamente bajas. Los ajustes para los puntos de control se encuentran dentro de la pantalla configuración en la interfaz gráfica (HMI).

### ***Modo Manual***

Esta modalidad se utiliza mediante el selector rotativo en la puerta del tablero, una vez que el sistema se ha apagado y seleccionado el modo manual, se puede seleccionar la unidad que se va a activar o en la que se van a realizar pruebas, si las protecciones eléctricas y los sensores no presentan problemas, se encenderá el ventilador de cualquiera de las unidades tras presionar el botón de conectar. Posteriormente se puede operar cualquiera de los

compresores de la unidad si este no presenta fallas en sus protecciones. De esta manera siempre que se desee volver al modo automático se requiere apagar todo o desconectarlo mediante las botoneras y proseguir con el modo automático. Como señal fundamental siempre debe estar activado el relé de flujo de agua del sistema de enfriamiento SAE.

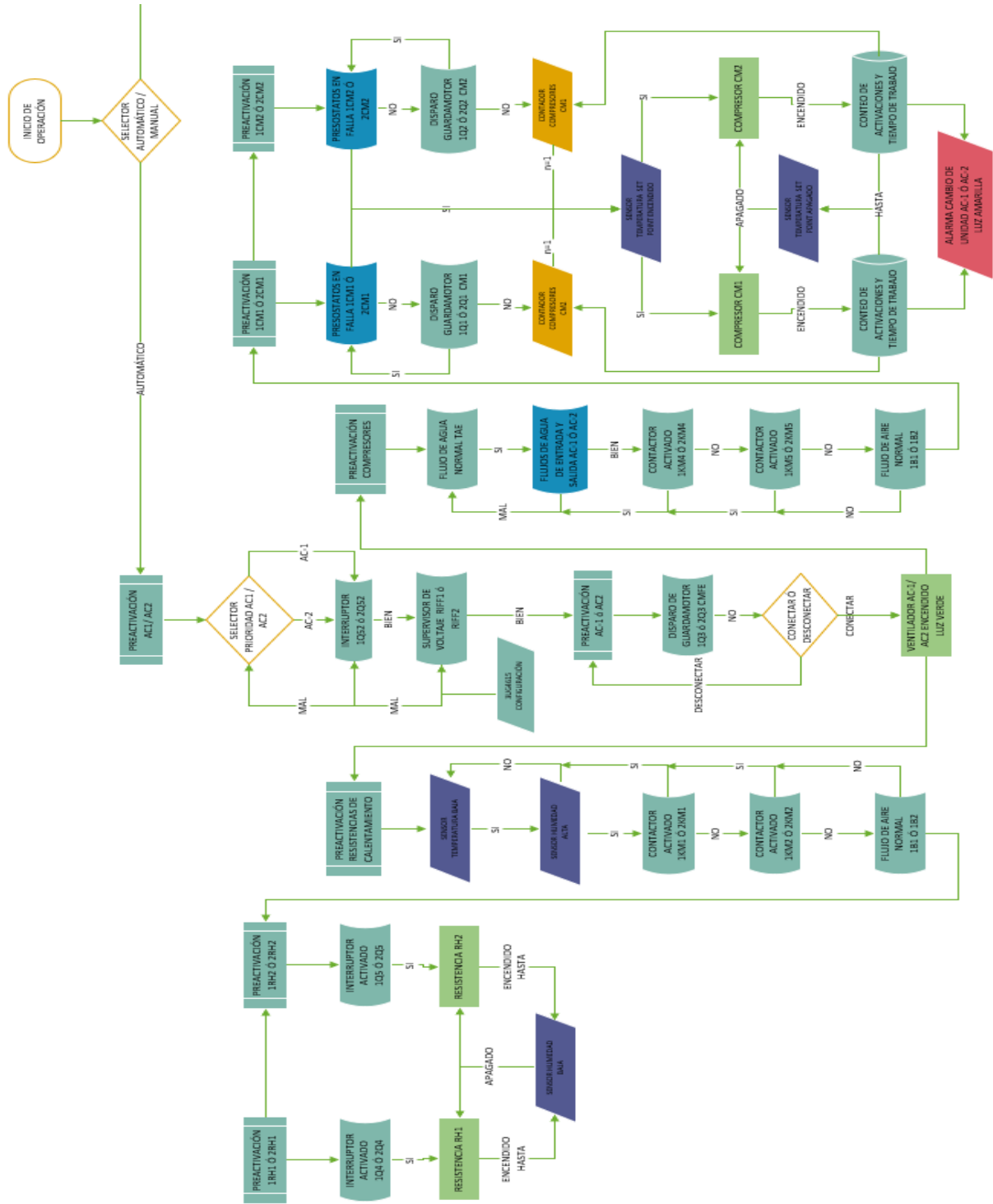
### ***Estrategias de control***

La mejor estrategia de control que se puede implementar es la alternabilidad de los compresores, para lo cual se debe utilizar contadores que permitan intercambiar el uso de los compresores para alargar su línea de vida. Cuando el sistema entra en funcionamiento si las protecciones generales del sistema no presentan anomalías el ventilador entra en funcionamiento, y posteriormente se habilitan las condiciones de funcionamiento de los compresores. Los cuales deben poseer la cantidad de gas refrigerante adecuada para funcionar, si no lo es así los sensores de presión baja se activarían, provocando un alertamiento al autómatas programable que el compresor no se encuentra en condiciones óptimas de trabajo y automáticamente se produce el cambio de la prioridad del compresor el cual funcionará cumpliendo los ciclos de activación según el sensor de temperatura RHT y hasta que los dos compresores se encuentren totalmente habilitados.

### ***Esquema de operación***

Para obtener una mejor comprensión de las etapas de programación se realiza un diagrama de flujo que permita explicar cada etapa de la programación y como esta va cumpliendo con la filosofía de control.

**Figura 39**  
*Esquema de control del sistema de aire acondicionado.*



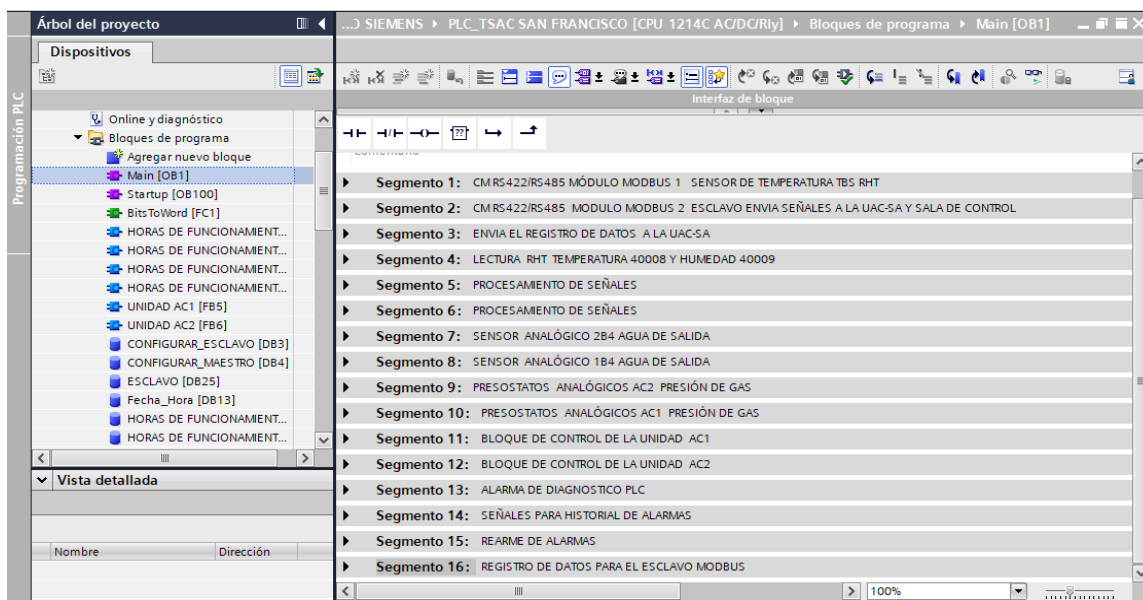
Nota. La figura muestra el diagrama de flujo de la selección automática del sistema de aire acondicionado.

## Estructura de programación para S7-1200

La programación principal del sistema se encuentra compuesta por dos bloques de organización (OB), el primero para las condiciones de arranque del controlador denominado Startup, el cual contiene el valor de los puntos de control por default y el segundo denominado Main el cual contiene 16 segmentos de programación los cuales manejan las partes de comunicación, procesamiento de señales analógicas y el llamado de los bloques del proceso general de las unidades AC-1 y AC-2. A demás de los bloques de organización existen 6 bloques de función (FB), los cuales pertenecen a los contadores de tiempo de cada compresor y a la estructura de programación de cada unidad AC-1 y AC-2. Finalmente existe un bloque de código, el cual permite la conversión de bits a una palabra Word, programa desarrollado para llevar las señales de comunicación hasta un registro de datos, para el esclavo Modbus. Los bloques de datos (DB), se incluyen para registrar datos importantes de cada uno de los bloques anteriores.

### Figura 40

*Estructura de programación y detalle de segmentos del bloque principal.*



*Nota.* La figura muestra el orden de los bloques de programación obtenidos.

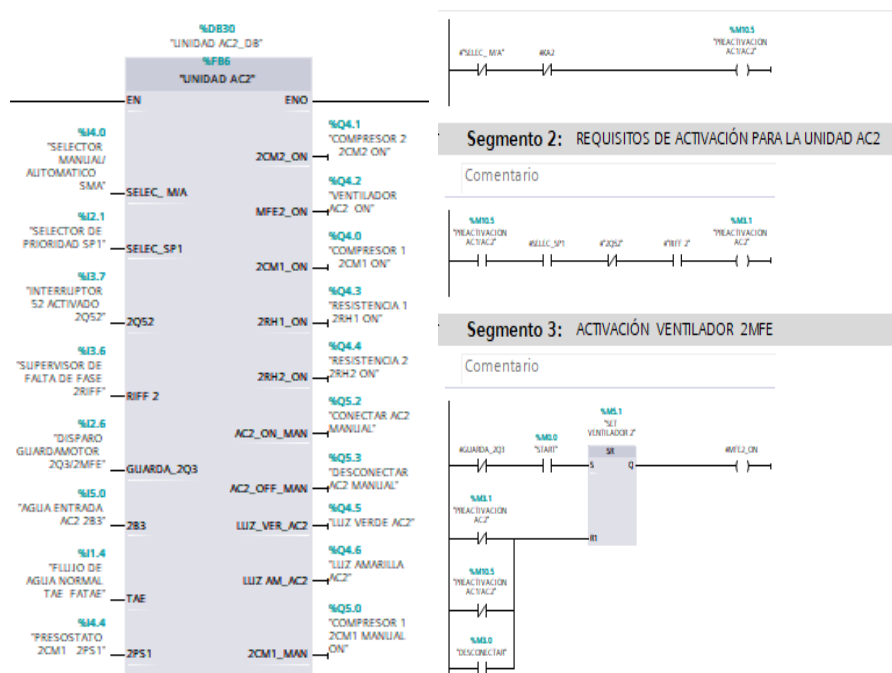
## Desarrollo de bloques de función

### Bloques de control de unidad AC -1 / AC-2

El desarrollo de estos bloques contiene las ordenes en lenguaje Ladder, con la característica especial de que son ejecutadas dentro de un bloque en donde las entradas y salidas se han definido previamente y solo pueden ser definidas dentro del bloque Main, esto se debe a que la lectura del autómatas se realiza en forma cíclica y debe tener un orden estructurado para evitar realizar ordenes que no deben ser ejecutadas al mismo tiempo.

**Figura 41**

*Bloque de función para control de unidades de acondicionamiento.*



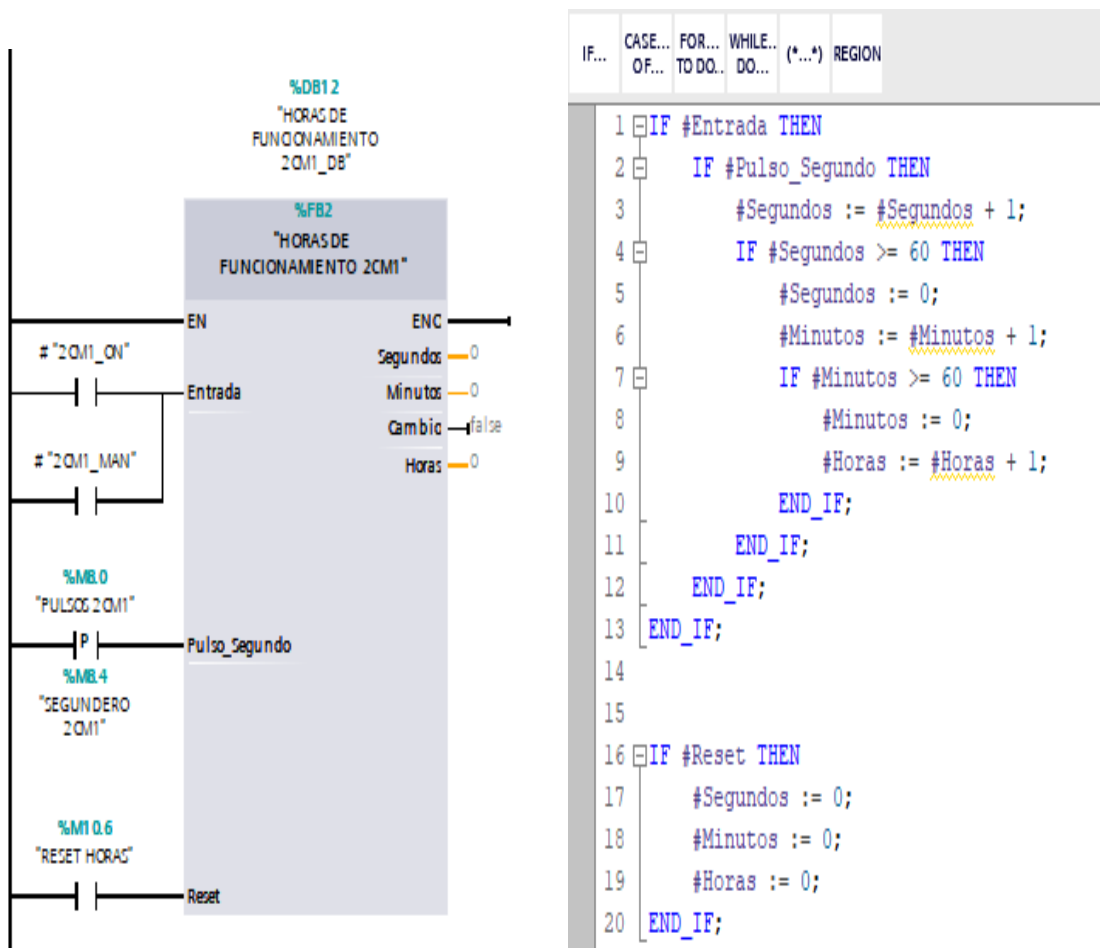
*Nota.* La figura muestra la estructura del nuevo bloque de función

### Bloques de función para control de tiempo

Existen necesidades de conteo de tiempo que el autómatas no trae incluido en su lista de funciones, pero si permite desarrollar la programación de la función que se necesite, es por esta causa que se desarrolla los bloques de función para conteo de tiempo durante la activación de cada compresor.

Figura 42

Bloque de función programado para medición del tiempo.



Nota. La figura muestra el programa que se ejecuta dentro del bloque de función.

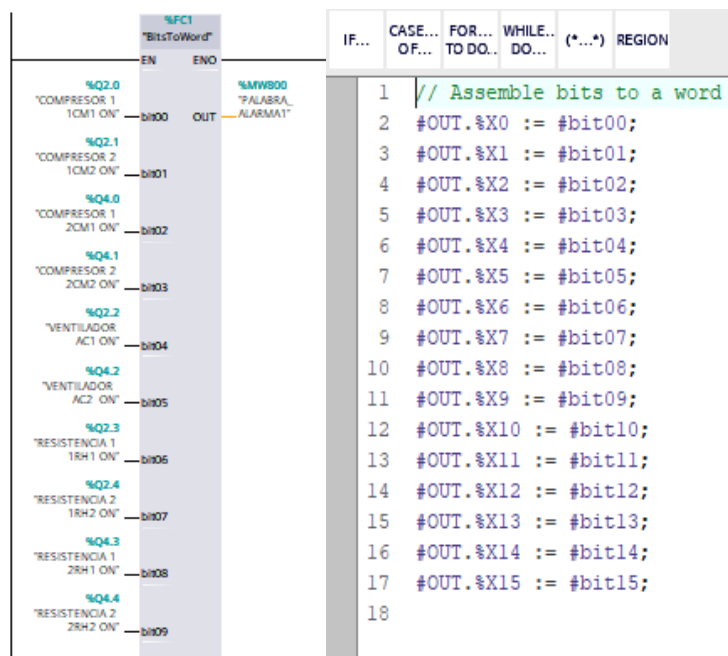
### Bloques de programación de bits a Word

Este tipo de bloques no poseen un bloque de datos de instancia, ya que se utilizan para funciones específicas de procesamiento de datos, pueden ser llamados desde un bloque de organización o un bloque de función sin problema, para este caso el bloque de función se programa con el afán de reunir un grupo de bits en una sola palabra Word y de esta manera sea fácil de leer para el controlador de la Unidad de Adquisición UAC-SA.



Figura 43

Estructura de programación dentro de un bloque de función.

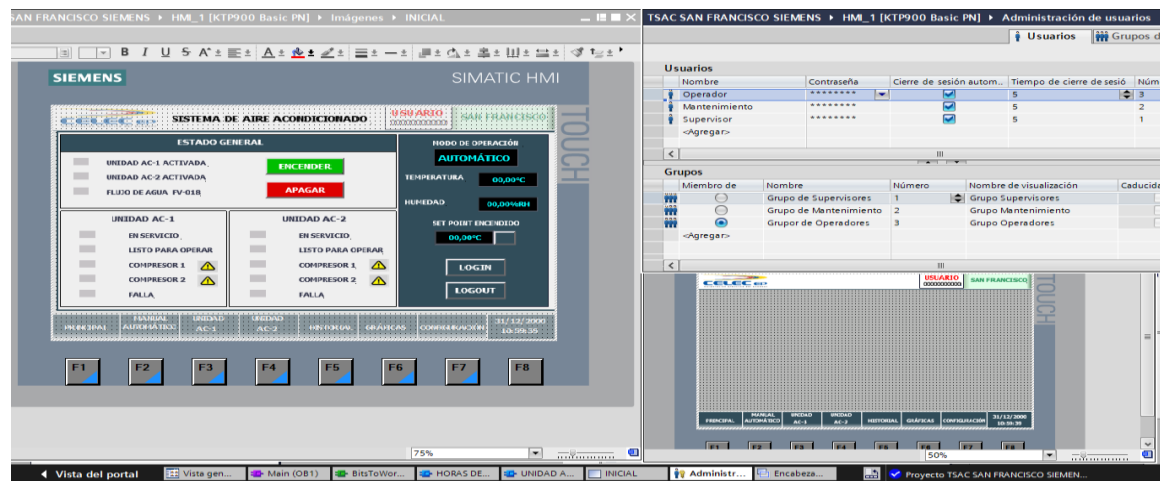


Nota. La figura muestra la programación del bloque de función.

### Programación de Interfaz

El software TIA Portal posee las herramientas necesarias para la creación de una interfaz gráfica que puede ser tan dinámica como el usuario desee, una vez realizada la conexión entre el PLC con el HMI, este empezará a dar lectura de sus variables, y crear un ambiente virtual que cumpla la función principal de brindar la información necesaria para que rápidamente el operador comprenda el estado funcional del equipo. Gracias a estas características del Portal de automatización, y mediante el uso de una interfaz gráfica KTP900Basics de Siemens, se procede a desarrollar las pantallas requeridas y la plantilla que se requiere para cumplir con el formato empresarial. A demás es necesario el uso de seguridad dentro de las aplicaciones de la interfaz para que solo personal calificado pueda modificar estas configuraciones, las cuales empiezan por el desarrollo de los controles y elementos de instrucciones.

**Figura 44**  
Diseño de Interfaz Gráfica



*Nota.* La figura muestra la implementación de la plantilla y los grupos de seguridad.

La norma ISA 101, la cual brinda recomendaciones para el correcto uso de colores, fondos e imágenes dentro de una interfaz gráfica que no dificulte la comprensión del operador, permiten desarrollar un modelo de HMI bastante adecuado a las necesidades del sistema y con las características más relevantes para determinar un diagnóstico de falla mucho más rápido.

### Selección de pantallas

El número de pantallas que disponga el HMI solo depende de cuanta información requiere el operador y de que tan dinámica prefiere la interfaz. Para este caso se requiere de 7 pantallas principales que abarquen las siguientes funciones:

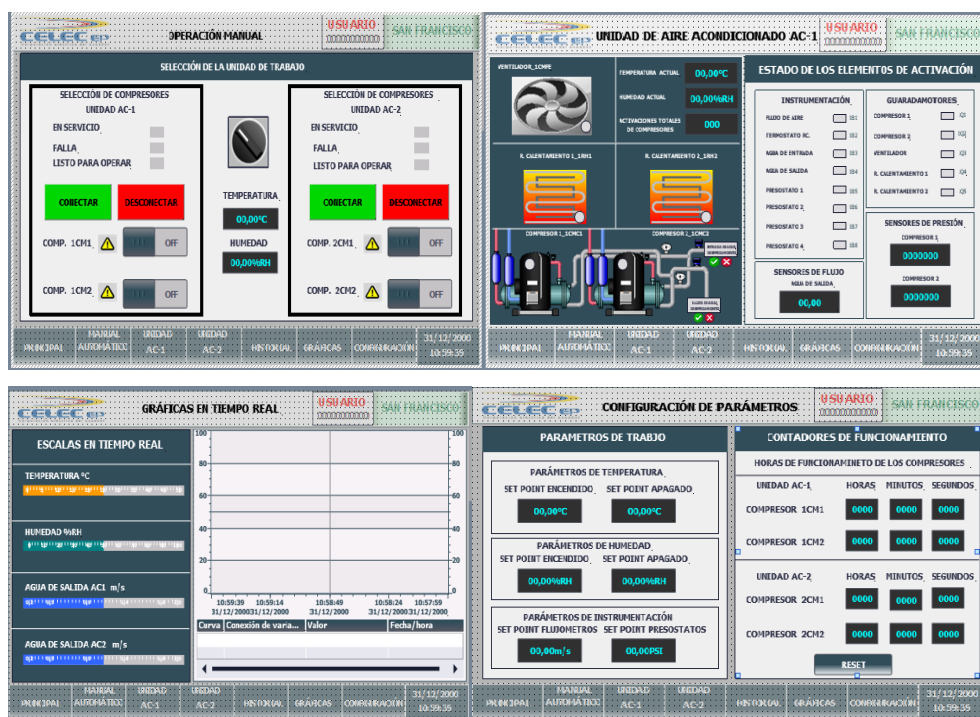
- Una pantalla principal donde se encuentren los datos más relevantes del sistema y el estado en tiempo real del mismo.
- Una pantalla que indique el uso del modo manual o modo de prueba de compresores.
- Dos pantallas para mostrar el funcionamiento de cada una de las unidades acondicionamiento
- Una pantalla de historial de eventos

- Una pantalla para graficas de sensores
- Una pantalla para configuraciones de puntos de ajuste.

De esta manera se desarrolla una interfaz que permite mostrar toda la información de una manera ordenada. Como se muestra a continuación.

**Figura 45**

*Pantallas de Interfaz Gráfica*



*Nota.* La figura muestra la pantalla de selección Manual, unidad de aire acondicionado AC-1, Gráficas y Configuración.

Para ingresar a la sesión de cualquier grupo de seguridad basta con presionar el botón de inicio (Login) en la pantalla principal o tratar de modificar cualquier entrada de datos, y automáticamente aparecerá una ventana emergente solicitando el usuario y contraseña de los grupos de seguridad registrados y para abandonar la sección basta con presionar el botón de cerrar sesión (Logout) en la pantalla principal.

## Resultados de mantenibilidad

El sistema de administración de mantenimiento registra los datos de tiempo que el personal técnico requiere para realizar todas las actividades programadas, por lo tanto, los datos que se presentan a continuación fueron medidos con el sistema anterior. Para obtener los nuevos tiempos de trabajo con el nuevo sistema se requiere que una persona experimentada realice las mismas actividades del mantenimiento en el nuevo sistema. El señor Mariano Alves técnico eléctrico con más de 10 años de experiencia en el mantenimiento de centrales hidroeléctricas, realiza un análisis de las actividades de mantenimiento que se requieren hacer y se procede a tomar los siguientes tiempos. Los cuales permitirán encontrar el índice de mantenibilidad y comprobar si la hipótesis planteada resulta ser correcta.

**Tabla 25**

*Programación de tiempos de ordenes de trabajo en IFS*

<b>Orden de trabajo en tablero central TSAC</b>	
<b>Descripción de actividades</b>	<b>Tiempo Max de Ejecución</b>
<i>Inspeccionar, Limpiar, ajustar conexiones y anclajes.</i>	<i>30min</i>
<i>Verificar Operación del equipo</i>	<i>30min</i>
<i>Inspeccionar: iluminación, calefacción y señalización</i>	<i>30min</i>
<i>Inspeccionar y limpiar borneras, carcasa, y soportes</i>	<i>30min</i>
<i>Medir voltajes de entrada y salida</i>	<i>30min</i>
<i>Verificar operación del acondicionador de aire</i>	<i>30min</i>
<i>Verificación de entradas y salidas de PLC</i>	<i>60min</i>
<b>Total</b>	<b>240min = 4h</b>

*Nota.* La Tabla muestra los tiempos de trabajo para realizar las actividades en el tablero central TSAC.

Tabla 26

## Programación de tiempos de ordenes de trabajo en IFS

**Ordenes de trabajo para cada unidad de acondicionamiento AC-1 /AC-2**

<b>Descripción de actividades</b>	<b>Tiempo Max de Ejecución</b>
<b>Inspeccionar y limpiar borneras, carcasa, y soportes de contactores</b>	<b>60min/ 0min</b>
Verificar Operación de Compresores	60min
Medir voltajes y corrientes de entrada y salida	60min
Medir resistencia Óhmica y de aislamiento para cada compresor.	60min
<b>Verificar operación del acondicionador de aire</b>	<b>60min / 0min</b>
Inspeccionar, Limpiar, ajustar conexiones y anclajes.	60min
<b>Total, por unidad de aire acondicionado.</b>	<b>360min = 6h</b>

Nota. La Tabla muestra los tiempos de trabajo para realizar las actividades en las unidades AC-1/AC-2.

Tras realizar las actividades de mantenimiento en el nuevo sistema se obtuvo un ahorro de aproximadamente 4 horas debido a dos características principales que se presentaron en las actividades de limpieza e inspección de contactores y en la verificación de operación del aire acondicionado. Esto debido a que la sustitución de contactores se realizó con el interés en fortalecer estos elementos con una mayor robustez en los contactos y así evitar desarmar estos para comprobarlo, además que gracias al conteo de las activaciones de los compresores se puede llevar el registro del número de activaciones que los contactores llevan actuando, por último la verificación del aire acondicionado resulta ser fácil de visualizar con la nueva interfaz gráfica que presenta el estado de cada uno de los elementos dentro de los módulos de aire acondicionado, puesto que antes todos los sensores de protección se encontraban conectados en serie y requería más tiempo desconectar cada uno de estos para verificar su condición.

### Cálculo de mantenibilidad

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores se procede a realizar una comparación de para comprobar si el índice de mantenibilidad aumentó gracias a las mejoras implementadas tras la migración tecnológica.

**Tabla 27**

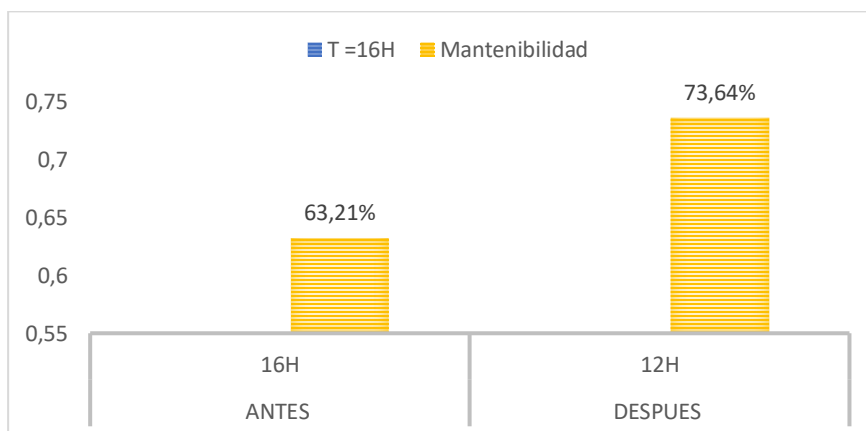
*Cálculo de Mantenibilidad*

	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>
<b>MTTR</b>	16H	12H
<b>=16horas</b>		
<b>Mantenibilidad</b>	<b>63,21%</b>	<b>73,64%</b>

*Nota.* La Tabla muestra el tiempo de ejecución de la reparación o mantenimiento (T), también se observa el tiempo medio de reparación (MTTR) antes y después.

**Figura 46**

*Aumento del índice de mantenibilidad*



El resultado obtenido tras la aplicación de la fórmula es positivo a la comprobación de la hipótesis planteada, con un 10.4% el índice de mantenibilidad ha mejorado gracias a la migración tecnológica de los circuitos de fuerza.

## Resultados de confiabilidad

Los datos obtenidos para este cálculo corresponden al informe de fallas que ya se había analizado anteriormente, para obtener un índice de confiabilidad con un análisis de todos los eventos suscitados en el informe de fallas, se requeriría tomar datos durante un año de funcionamiento del nuevo sistema. Pero para obtener un análisis acorde y en menor tiempo se encuentra factible analizar el tiempo de funcionamiento actual del equipo con utilizando el nuevo sistema de control y fuerza, para este caso en particular las pruebas de funcionamiento del equipo empezaron el miércoles 22 de noviembre del 2023 como corresponde en la actividad número 57 del cronograma de eventos de esta investigación. Tomando en cuenta la fecha señalada hasta el 22 de febrero del 2024 han transcurrido 4 meses aproximadamente, tiempo suficiente para poder obtener un resultado de confiabilidad coherente. Del informe de fallas se selecciona un periodo de 4 meses en donde se analiza los eventos suscitados.

**Tabla 28**

*Fallas suscitadas en un periodo de 4 meses (sistema antiguo)*

<b>FECHA</b>	<b>EQUIPO EN FALLA</b>	<b>CAUSA</b>
<b>15/9/2021</b>	<i>Supervisor de Voltaje TSAC</i>	<i>Falla eléctrica sobrevoltaje</i>
<b>16/12/2022</b>	<i>Compresor 01-AC-02</i>	<i>Rotura de la cámara de presión, Resistencia de aislamiento Cero.</i>
<b>22/1/2023</b>	<i>Compresor 01-AC-02</i>	<i>Falla Eléctrica en compresor 01-AC-02; Fuente y CPU dañados del PLC de control. Interruptor 52-7 en la columna 2G-6 en el TSE</i>

Dentro del periodo del mismo periodo de 4 meses del nuevo sistema solo se ha suscitado un evento de baja temperatura por encima del punto de control de tal manera que el compresor siguió funcionando hasta reiniciar el sistema. El suceso ocurrió el 15 de diciembre 2023 antes de cargar la última actualización de software.

## Cálculos de confiabilidad

El índice de mantenibilidad busca cuantificar la probabilidad de que el equipo funcione adecuadamente sin fallas durante un periodo de tiempo determinado. Para lo cual se requiere convertir los meses en horas y cuantificar el número de eventos suscitados en ese período de tiempo, como resultado de la relación entre el número de eventos y el tiempo donde se ocasionaron, se obtiene el MTBF, o tiempo promedio entre fallas, mediante la fórmula de la confiabilidad se obtienen los siguientes resultados.

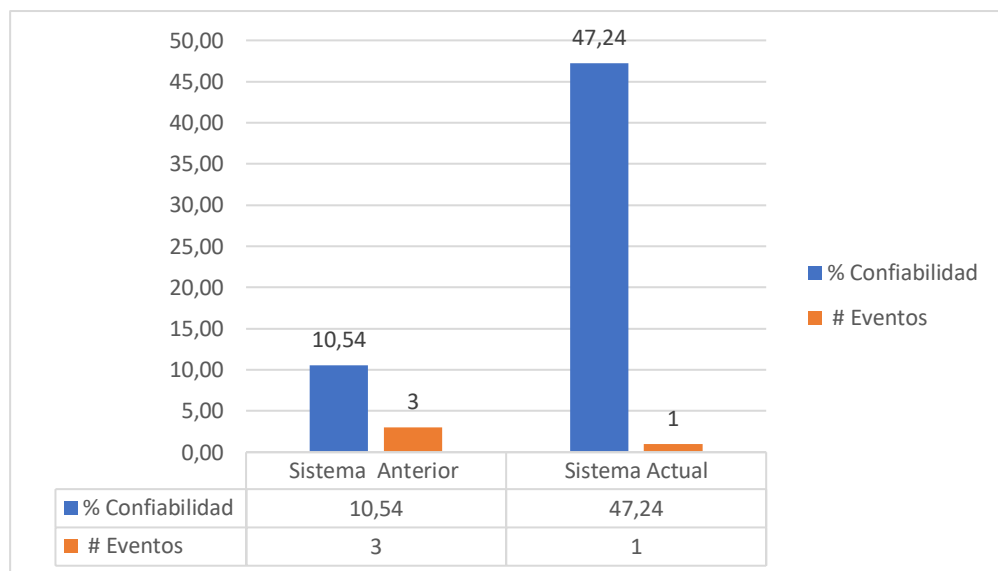
**Tabla 29**

*Confiabilidad para el sistema actual*

	N° Eventos (n)	Línea de Tiempo (t)	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Tiempo de proyección (T)	Confiabilidad $e^{-\left(\frac{T}{MTBF}\right)}$
<b>Sistema Anterior</b>	Evento 1 (15/9/2021)				
	Evento 2 (16/12/2022)	2880 horas 4 meses	$\frac{2880h}{3 \text{ eventos}}$	2160h 3 meses	<b>10.54%</b>
	Evento 3 (22/1/2023)				
<b>Sistema Actual</b>	Evento 1 (15/12/2023)	2880 horas 4 meses	$\frac{2880h}{1 \text{ evento}}$	2160h 3 meses	
$MTBF = \frac{t}{n}$			$Confiabilidad = e^{-\left(\frac{T}{MTBF}\right)}$		

*Nota.* La Tabla muestra las fechas de los eventos suscitados en cada caso, la duración del tiempo de análisis en horas y el tiempo de análisis de confiabilidad hasta el mantenimiento más cercano.



**Figura 47***Aumento del índice de confiabilidad*

Mediante el cálculo realizado las expectativas de mejorar la confiabilidad dan buen resultado, ya que el incremento del índice actual supera al anterior por más de 30% lo cual favorece a la comprobación de la hipótesis planteada y se presentan los resultados de mantenibilidad y confiabilidad en la tabla siguiente.

**Tabla 30**

Confiabilidad y Mantenibilidad para el sistema actual

	Tiempo entre fallas (MTBF)	Tiempo de reparación (MTTR)	Tiempo de confiabilidad proyectada (T)	Tiempo de Max de reparación	Confiabilidad	Mantenibilidad
<b>Sistema Anterior</b>	3/2880h	16h	2160horas 3 meses	<b>16h</b>	<b>10.54%</b>	<b>63.21%</b>
<b>Sistema Actual</b>	3/2880h	12h	2160horas 3 meses	<b>16h</b>	<b>47.23%</b>	<b>73.64%</b>

*Nota.* La Tabla muestra la comparación del aumento de la confiabilidad y mantenibilidad con el sistema actual.

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Tras el rediseño del sistema de aire acondicionado se concluye que la mejor forma de representar tableros eléctricos es mediante software CAD ya que presenta facilidades para realizar cambios y múltiples modificaciones, AutoCAD Electrical además posee una librería con la mayor parte de marcas y modelos de todos los elementos eléctricos que puedan necesitarse obteniendo un gran ahorro de tiempo y la facilidad de presentar un diseño muy aproximado a la realidad, posee los estándares necesarios para obtener planos de calidad con normas IEC y la capacidad de realizar informes con todos los equipos seleccionados y que se encuentran incluidos en el tablero.
- Se seleccionaron los elementos de protección para el arranque de los motores, concluyendo que la marca ABB posee los equipos con las mejores características del mercado actual, y que la corriente nominal de los motores es la mejor manera de seleccionar el conjunto de arranque para cada motor, el supervisor de voltaje presenta características indispensables para evitar daños por bajas tensiones, pérdida de fase, inversión de giro o picos de tensión.
- La evaluación de la función que cumplían los transformadores ubicados en los módulos de aire acondicionado dejó como conclusiones que la capacidad de estos transformador de 0.4 KVA es muy elevada para ser utilizada en el sistema de control del equipo, y la necesidad de una fuente de 220 VAC puede ser remplazada con la alimentación que proviene del tablero de telecomunicaciones, la misma que sirve para alimentar la resistencia de calentamiento interna que viene instalada en los motores WEG y la resistencia de calefacción que mantiene libre de humedad el tablero de control TSAC.
- Con la sustitución de los elementos de control y el remplazo de instrumentación obsoleta, se concluye que la instrumentación analógica permite obtener mayor información de la

variable de estudio y que los sensores de presión juegan un papel muy importante como protección del funcionamiento de cada uno de los compresores, además el sensor de flujo de agua valora una condición muy importante, ya que si el condensador no obtiene agua de refrigeración el gas eleva por mucho su presión y el presostato del lado de alta se activa y evitaría la activación de los compresores.

- Tras la ejecución de la programación de control para el sistema de aire acondicionado se concluye que el bloque de inicio startup resulta ser de gran importancia para el sistema de control, ya que sin este los valores de setpoint se vuelven cero tras cada desconexión que presenta el PLC. Además, el uso de bloques de función resulta ser necesario para utilizar el control del tiempo a favor de conocer mejor el estado de los equipos.
- El desarrollo de la interfaz gráfica permite concluir que las normas ISA 101 brindan la información necesaria para desarrollar pantallas de fácil comprensión, el uso de grupos de seguridad dentro del HMI obliga a que sea personal calificado el único que puede realizar cambios, pero excluye grupos en donde solo pueden modificar ciertos parámetros de control y no poseen acceso completo.
- Tras calcular la confiabilidad del nuevo sistema para un periodo de 3 meses se concluye que, gracias a la migración tecnológica del sistema de aire acondicionado, la confiabilidad aumento significativamente en un 36 % optimizando el uso del sistema y mejorando la mantenibilidad de este en un 10.54%, ya que, gracias a la sustitución del circuito de fuerza, ahora las actividades de reparación y mantenimiento se ejecutan en menor tiempo y con mayor facilidad.

## Recomendaciones

- Para realizar rediseños de tableros eléctricos se recomienda hacer las mediciones de cada uno de los elementos que se van a incluir dentro del tablero para que la falta de espacio no sea problema cuando se proceda con la implementación.
- Como un proyecto adicional se recomienda el uso del software Inventor de Autodesk para emitir una imagen en tres dimensiones, a partir del diseño en AutoCAD Electric, del tablero que pretenda ser diseñado.
- Se recomienda que para la selección de equipos de protección y de arranque, estos también presenten la disponibilidad de accesorios que pueden ser requeridos según la conexión de cada uno de ellos, los cuales en muchas ocasiones necesitan de contactos auxiliares para transmitir el estado de los equipos.
- La sustitución de los elementos de control deja como recomendaciones, analizar el funcionamiento de cada uno de los sensores que utiliza el sistema para obtener información real, además de un diagnóstico de la instrumentación que no está aportando señales correctas y pueden alterar el funcionamiento del sistema.
- Se recomienda analizar minuciosamente la configuración de los puertos de comunicación, así como los bloques de programa que se usan para determinar el tipo de información que se desea y evitar fallas de comunicación que pueden tornarse indetectables.
- Tras la programación de una interfaz gráfica se recomienda revisar cada una de las características del equipo, ya que existen modelos de la serie Basic que no presentan herramientas útiles como ventanas emergentes y mensajes multimedia, los cuales si se encuentran en la serie confort de Siemens.

## Bibliografía

ABB. (2023). *Products Detail* .

ACERNNR. (2020). *Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*.

Aldas, k. E. (11 de noviembre de 2017). Repositorio Digital - EPN. Obtenido de

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18908>

ALSTOM. (2003). *Introduction to Centralog Functions*.

ALSTOM. (2005). *Sistema de Telecontrol especificacion tecnica del SDSC de Agoyán*.

ANSI. (2011). *Standard For Maintenance Testing Specifications for Eléctrical Power Equipments and Systems*. InterNational Electrical Testing Association, United States Of América.

Apendizaje, S. N. (2013). *Mantenimiento de Caja de Velocidades*. Bogota.

ARCONEL. (2018). *Regulación No. ARCONEL 005/18*.

ASNT. (2020). *Introducción to nondestructive testing*. Obtenido de

[https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Introduction\\_to\\_Nondestructive\\_Testing.aspx](https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Introduction_to_Nondestructive_Testing.aspx)

Blender. (2023). *Acerca de Blender*. Obtenido de

[https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting\\_started/about/introduction.html#:~:text=Blender%20es%20una%20suite%20de%20creaci%C3%B3n%20de%20contenido%20D%20totalmente,y%20muchos%20tipos%20de%20Simulaciones](https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html#:~:text=Blender%20es%20una%20suite%20de%20creaci%C3%B3n%20de%20contenido%20D%20totalmente,y%20muchos%20tipos%20de%20Simulaciones).

BMP. (2021). *Zonas Geo y desactivación de Zona Azul – Drones DJI*. Santiago de Chile.

Brea. (2020). *Diagrama unifilar del SEP* . Obtenido de

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-unifilar-del-SEP-del-ejemplo-numerico\\_fig1\\_305172431](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-unifilar-del-SEP-del-ejemplo-numerico_fig1_305172431)

Carrera, E. F., & Guacho, J. I. (2018). *Inspección termográfica de líneas eléctricas y torres de*. Universidad de Guayaquil.

Cedeño, A. J. (marzo de 2017). *DSpaceESPOCH*. Obtenido de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6524>

- Chong, C. (2015). *Understanding infrared thermography reading 3 part 1 of 2*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/charliechong/understanding-infrared-thermography-reading-3-part-1-of-2>
- Corfopym. (2021). *Termografía aérea - Inspecciones técnicas* . Obtenido de [https://corfopym.com/ingenieria\\_drones\\_termografia\\_inspeccion\\_visual/](https://corfopym.com/ingenieria_drones_termografia_inspeccion_visual/)
- Darwin Santiago, N. M. (2018). *Automatización de las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará*.
- De Prada, I. (2021). La cámara termográfica: una fascinante visión de la física. *Revista Española de Física*, 22. Obtenido de <http://revistadefisica.es/index.php/ref/article/view/2710>
- DGAC. (2020). *Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)*.
- DJIFLYSAFE. (2023). *DJI FLYSAFE*. Obtenido de <https://fly-safe.dji.com/home>
- Editores SRL. (2014). *Fusibles de alta calidad de ruptura*. Obtenido de [https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie288\\_industrias\\_sica\\_fusibles\\_de\\_alta\\_calidad\\_de\\_ruptura.pdf](https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie288_industrias_sica_fusibles_de_alta_calidad_de_ruptura.pdf)
- ELEPCOSA. (2023). *Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)*. Obtenido de <https://elepcosa.com.ec/mapa-del-sitio/>
- Estefanía, B. S. (2021). *Optimización de procesos industriales mediante técnicas de mejoramiento*.
- Farias, A., & Fernández, B. (2021). *Análisis Termográfico del Alimentador N° 1 en media tensión de la Subestación Eléctrica San Rafael*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Fernández, A. F. (2021). *Análisis Termográfico del Alimentador N° 1 en media tensión de la Subestación Eléctrica San Rafael* . Universidad Técnica de Cotopaxi.
- FLIR. (2017). *FLIR Duo Pro R - Manual de usuario*. Wilsonville.

- FLUKE. (2009). *Introducción a los principios de la termografía*. American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation y The Snell Group.
- Fontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. Obtenido de [https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro\\_electromagnetico.pdf](https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagnetico.pdf)
- GallegoJaramillo, I. D. (2013). *Diseño de un tablero de potencia y control* .
- Gonzales, J. (2015). *Mantenimiento Predictivo en Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP)*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2623>
- GSL Industrias. (2021). *Transformador Eléctrico*. Obtenido de [https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/transformador\\_monofasico](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/transformador_monofasico)
- Guzmán, J. (2019). *Técnicas de Investigación de Campo*. UNAM-FCA-SUAYED. Obtenido de <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/0fec888-6a3f-4b31-b704-a2d94e3eed72/U000308176506/index.html>
- Hernández, E. (2020). *Cámaras termográficas (IR térmico)*. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21422>
- Hernandez, S. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. Mc Graw Hill.
- Herrera, W. P., & Toapanta Cunalata, O. G. (2019). *PRINCIPIOS DE TRIBOLOGÍA APLICADOS EN LA INGENIERIA MECANICA*. Ingenieria y Tecnologia. Alicante Espana: Area de Innovacion de y desarrollo.  
doi:<http://doi.org/10.17993/IngyTec.2019.57>
- INELDEC. (2020). *Transformador Trifasico Convencional 15 KVA Rymel Magnetron*. Obtenido de <https://ineldec.com/producto/transformador-trifasico-convencional-de-15-kva-rymel-magnetron/>
- Juárez, J. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. México: Sans Serif Editores.
- Luisyep. (2020). *El Espectro Electromagnético*. Obtenido de <https://ingenieriabasica.es/espectro-electromagnetico/>

- Luminotecnia. (2023). *SECCIONADOR FUSIBLE 27KV 100 A*. Obtenido de <https://www.luminotecnia.com.py/producto/4860/PROYECTOR-LED-30W-RGB-88-264V-IP65->
- Molina, G., & Ramos, M. (2018). *Diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Mourbray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Aladon LLC.
- Palella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. FEDUPEL.
- Perez, C. (2005). *Muestreo estadístico conceptos y problemas resueltos*. Madrid: Pearson.
- Platforms, G. I. (2016). *Technical information Programmable Coprocessor Module* . Obtenido de <http://www.qualitrol.com/files/pdf/IC693>
- Predictiva21. (2021). *Técnicas de mantenimiento predictivo*. Obtenido de <https://predictiva21.com/tecnicas-mantenimiento-predictivo/>
- Prototrans. (2021). *Transformador Monofásico Tipo Poste*. Obtenido de <https://portotransformadores.com/productos/transformador-monofasico-tipo-poste/>
- Rosa, J. M. (2022). *Modulo de instalaciones de Climatizacion* . En J. M. Rosa.
- SectorElectricidad. (2018). *Seccionadores*. Obtenido de <https://www.sectorelectricidad.com/20135/seccionadores/>
- SercePerú. (2018). *Mantenimiento de líneas de transmisión y distribución*. Obtenido de <https://serceperu.com/mantenimiento-de-lineas-de-transmision-y-distribucion/>
- Siemens. (2022). *Aparatos de monitoreo y mando*.
- SNTTC1A. (2020). *Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*. The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Udelar. (14 de Diciembre de 2020). *Etapas de la Investigación Bibliográfica*. Obtenido de Universidad de la República de Uruguay: <https://www.fenf.edu.uy/wp->



content/uploads/2020/12/14dediciembrede2020Etapasde-la-investigacionbibliografica-1.pdf

Vega, A. (2011). *Transformadores Trifásicos*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

VisionTir. (2017). *Termografía Infrarroja, Cámaras termográficas y termómetros infrarrojos*.

Obtenido de <https://visiontir.com/es/termografia-infrarroja-camaras-termografias-y-termometros-infrarrojos/>

WEG. (2021). *Fusible NH*. Obtenido de

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Protecci%C3%B3n-de-Circuitos/Fusibles/aR-%28Ultra-R%C3%A1pidos%29/Fusibles-Tipo-NH---aR/FUSIBLE-NH-aR-FNH000-20K-A/p/13735555>

Xunta de Galicia. (2012). *Seccionadores*. Obtenido de

[https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual/pluginfile.php/5725/mod\\_resource/content/0/Curso\\_Subestaciones.\\_Univ\\_Laboral\\_Haciadama\\_Parte2.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual/pluginfile.php/5725/mod_resource/content/0/Curso_Subestaciones._Univ_Laboral_Haciadama_Parte2.pdf)

**Anexos**