Sistema remoto de automatización para fuente "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)" en la empresa INDRACONTROLS SAS



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
Estudiantes
Yoiner David Castro Acuña
Laura Katherin Bautista Romero

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Tecnología en Electrónica Industrial , Ingeniería en Control y Automatización e Ingeniería Telecomunicaciones

Bogotá D.C. Abril, 2024

Sistema remoto de automatización para fuente "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)" en la empresa INDRACONTROLS SAS



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
Estudiantes
Yoiner David Castro Acuña, 20211673012, ydcastroa@udistrital.edu.co
Laura Katherin Bautista Romero, 20211673111, lkbautistar@udistrital.edu.co

INFORME FINAL DE PASANTÍA

Presentado para optar al título de: Tecnología en Electrónica Industrial
Director Interno
Miguel Ricardo Pérez Pereira

Director Externo
Jhon Fredy Daza Castañeda Jefe de Servicio Técnico

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Tecnología en Electrónica Industrial , Ingeniería en Control y Automatización e Ingeniería Telecomunicaciones

Bogotá D.C. Abril, 2024

Dedicatoria

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, hicieron posible la culminación exitosa de este proyecto. A mi familia y seres queridos, quienes con su apoyo y comprensión, me brindaron la fuerza y motivación necesarias para superar los obstáculos y continuar adelante. En especial a Kuma por dar su amor y cariño.

- *Laura Bautista*

Le agradezco todos los días a Dios, por darme esta buena oportunidad, por los que me han apoyado, gracias a mi mamá, a mi papá, a mi tía Piedad, a mis amigos de mi barrio. A todo el mundo que me apoyó; es una emoción muy grande... O sea, no me lo puedo entender aquí... No me lo puedo creer que un video se volvió viral y me volví famoso. Fui a grabar un día a una casa de una amiga que se llama Dory Mercado, que le agradezco todos los días a ella por sacarme a la fama...

- *Yoiner Castro*

Índice

Índice 2
Índice de Figuras 5
Índice de Tablas 8
Índice de Anexos 9
Resumen 9
1. Introducción 1
2. Presentación de la Empresa 1
2.1. Razón Social 2
2.2. Actividad a la que se dedica 2
2.3. Reseña Histórica 2
2.4. Misión 2
2.5. Visión 2
2.6. Descripción de la empresa 2
2.7. Estructura organizacional 2
2.8. Área o grupo de trabajo en el cual el estudiante desarrolló su pasantía 3
3. Planteamiento del problema en la Empresa 4
4. Justificación 5
5. Objetivos 6
5.1. Objetivo General 6
5.2. Objetivos específicos 6
6. Marco de referencia 7
6.1. Antecedentes 7
6.2. Marco Teórico 9
6.2.1. Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) 9
6.2.2. Lambda EMS 20-250 9
6.2.3. PLC 10
6.2.3.1. PLC Ctrl X CORE 10
6.2.4. Módulos PLC 11
6.2.4.1. Bus Coupler 11
6.2.4.2. Módulo de Salidas Digitales 11
6.2.4.3. Módulo Entradas Digitales 12
6.2.4.4. Módulo salidas Análogas 1 12
6.2.4.5. Módulo salidas Análogas 2 13
6.2.4.6. Módulo Entradas Análogas 14
6.2.5. Interfaz HMI Web IQ 14
6.2.6. Breaker 14
6.2.7. Relés 15
6.2.8. Contactores 15
6.2.9. Pulsadores y botón de emergencia 16

6.2.10. Fuente 24V....16
6.2.11. Selector 2 posiciones....16
6.2.12. Terminales Industriales de 6 pines y Enchufe industrial....17
6.2.13. Clavija Industrial 220 VAC....17
6.3. Marco Legal....18
6.3.1. Resolución 90708 del 30 agosto de 2013 RETIE....18
6.3.1.1. Artículo 3.17.8. Celdas y tableros....18
6.3.1.2. Artículo 3.17.20. Interruptores manuales de baja tensión....18
6.3.2. Norma IEEE 518....18
6.3.3. Norma ICONTEC NTC 2050-1....18
6.3.4. Norma AWG (American Wire Gauge)....18
6.3.5. Norma IEC 60617....18
7. Actividades realizadas durante la pasantía....19
7.1. Características técnicas y operativas....19
7.2. Control remoto de alimentación....20
7.3. Manual de usuario completo....20
7.4. Elaboración del Informe Final....20
8. Resultados....21
8.1. Características técnicas y operativas....21
8.1.1. Reconocimiento de las fuentes....21
8.1.2. Búsqueda y lectura de manuales....22
8.1.2.1. Fuente de corriente "Lambda EMS 20-250"....22
8.1.2.2. Fuente de Voltaje "Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)"....24
8.1.3. Pruebas iniciales con equipo de laboratorio....34
8.1.3.1. Fuente Lambda EMS 20-250....35
8.1.3.1.2. Prueba control mediante Voltaje....35
8.1.3.1.3. Control carga de salida On/Off....36
8.1.3.2. Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)....36
8.1.3.2.1. Prueba de control mediante comunicación RS-232....37
8.1.3.2.2. Prueba de Control mediante Resistencia....38
8.1.3.2.3. Prueba de Control mediante Voltaje....38
8.1.4. Fase de Selección de Hardware....39
8.1.5. Fase de Pruebas de Hardware....40
8.1.6. Fase Pruebas de Monitoreo....42
8.1.6.1. Monitoreo de la salida de corriente y voltaje de la fuente....42
8.1.6.2. Monitoreo estados de la fuente....43
8.1.7. Fase de Realimentación y Replanteamiento....43
8.2. Control remoto de alimentación....44
8.2.1. Fase de Implementación de Nuevos Equipos....44
8.2.1.1. Función PLC....44
8.2.1.2. Función Modulos....44

8.2.1.3. Función Breaker, Relés y Contactores..... 44
8.2.1.4. Funcionamiento pulsadores y botón de emergencia.....45
8.2.1.5. Funcionamiento Fuente 24V..... 45
8.2.1.6. Función Selector 2 posiciones.....45
8.2.1.7. Terminales Industriales de 6 pines..... 45
8.2.1.8. Clavija Industrial 220 VAC..... 45
8.2.2. Fase Prueba de Programación del PLC.....45
8.2.2.1. Prueba Fuente Lambda EMS 20-250..... 46
8.2.2.2. Prueba Fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)..... 48
8.2.3. Fase de Desarrollo de Esquemáticos y Planos.....49
8.2.4. Fase de Programación Final.....51
8.2.5. Fase de Desarrollo de la Interfaz HMI.....51
8.2.6. Fase de Montaje..... 53
8.2.7. Fase de Pruebas Finales..... 59
8.3. Manual de usuario completo..... 59
8.3.1. Entrega de Manual de Usuario.....59
8.3.2. Fase de capacitación..... 60
9. Conclusiones y Recomendaciones.....62
10. Referencias..... 63
11. Anexos..... 67

Índice de Figuras

Figura 1: Estructura organizacional IndraControls S.A.S. Fuente Autores..... 3
Figura 2: Área de servicio técnico [1]..... 3
Figura 3: Fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores..... 9
Figura 4: Fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores..... 9
Figura 5: PLC ctrlX CORE X3 [16]..... 10
Figura 6: Bus Coupler IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC [17]..... 11
Figura 7: R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC [18]..... 11
Figura 8: R-IB IL 24 DI 16-PAC [19]..... 12
Figura 9: R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC [20]..... 13
Figura 10: R-IB IL AO 2/U/BP-PAC [21]..... 13
Figura 11: R-IB IL AI 8/SF(-2MBD)-PAC [22]..... 14
Figura 12: Breaker NB1 - 63 C32, Fuente Autores..... 15
Figura 13: Relé 41 F - 024-10, Fuente Autores..... 15
Figura 14: contactor NC1 - 1810 [26]..... 15
Figura 15: Botones pulsadores [27]..... 16
Figura 16: Fuente conmutada de 10 A - 24 V, Fuente autores..... 16
Figura 17: selector industrial [28]..... 17
Figura 18: terminal hembra y macho [29]..... 17
Figura 19: Clavijas hembra y macho [30]..... 17
Figura 20: Diagrama de bloques actividades realizadas, Fuente Autores..... 19
Figura 21: Estado inicial de las fuentes, La fuente Lambda EMS 20-250 en la parte superior y la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) en la parte inferior, Fuente Autores..... 21
Figura 22: Modo local fuente Lambda EMS 20-250, Fuente autores..... 22
Figura 23: Configuración por Resistencias fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores..... 23
Figura 24: Configuración por Voltaje fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores..... 23
Figura 25: Configuración por Corriente fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores..... 24
Figura 26: Descripción de pines de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 24
Figura 27: Configuración panel SW1-8 fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 25
Figura 28: Configuración por resistencia para el voltaje de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 25
Figura 29: Configuración por resistencia para la corriente de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 26
Figura 30: Configuración por voltaje para el voltaje de salida de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 26
Figura 31: Configuración por voltaje para la corriente de salida de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 27
Figura 32: Conexiones entre pines para estar en modo local fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 27
Figura 33: Alimentación necesaria para modo remoto fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].. 28
Figura 34: Configurar el OVP, la corriente y el voltaje en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]..... 29

Figura 35: Configuración del voltaje en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....29
Figura 36: Configuración de la corriente en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....30
Figura 37: Configuración del OVP en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....30
Figura 38: Tercer método configurar el OVP, la corriente y el voltaje en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....31
Figura 39: activación del output en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....31
Figura 40: Pines para el monitoreo de los parámetros de salida fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....32
Figura 41: Conexiones señales para verificar el estado de salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13]....33
Figura 42: Comunicación RS-232C fuente Matsusada RE/REF/R [13]....33
Figura 43: Comunicación RS-485 fuente Matsusada RE/REF/R [13]....34
Figura 44: sintaxis de programación para comunicación fuente Matsusada RE/REF/R [13]....34
Figura 45: Prueba de control mediante Resistencia fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores....35
Figura 46: Prueba de control mediante voltaje para la fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores....35
Figura 47: Control carga de salida On/Off mediante relé fuente Lambda EMS 20-250 [13]....36
Figura 48: cable DB25 [36]....36
Figura 49: Módulo Conversor Adaptador Serial USB TTL CP2102 Arduino Pic [37]....37
Figura 50: Programa Hercules Setup Utility 3.2.8, Fuente Autores....37
Figura 51: CO-G32 Rear panel [13]....38
Figura 52: Prueba de Control mediante Resistencia fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores....38
Figura 53: Prueba de Control mediante Voltaje fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores....39
Figura 54: PinOut potenciómetro digital serie X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 [38]....39
Figura 55: módulo de relés con optoacopladores de 5V. [39]....40
Figura 56: Tarjeta ESP-32 [40]....40
Figura 57: Pruebas de potenciómetro digital , Fuente Autores....41
Figura 58: Montaje potenciómetro digital con ESP32, Fuente Autores....41
Figura 59: Gráfica y ecuación de la recta del monitoreo salida de voltaje fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores....43
Figura 60: Bloques que conforman el sistema remoto de automatización, Fuente autores....44
Figura 61: PLC Ctrl X CORE , Fuente Autores....47
Figura 62: Gráfica y ecuación de la recta de programación remota con voltaje externo mediando módulo de salida analógica fuente Lambda EMS 20-250" , Fuente Autores....48
Figura 63: Gráfica y ecuación de la recta de programación remota con voltaje externo mediando módulo de salida analógica fuente Lambda EMS 20-250", Fuente Autores....49
Figura 64: Diagrama de Arquitectura, Fuente Autores....50
Figura 65: Vista de banco, Fuente Autores....51

Figura 66: Tablero de montaje, Fuente Autores.....51
Figura 67: Diagrama de flujo , Fuente Autores..... 52
Figura 68: Interfaz HMI WebIQ Home ,Fuente Autores..... 53
Figura 69: Interfaz HMI WebIQ Lambda , Fuente Autores.....53
Figura 70: Interfaz HMI WebIQ Matsusada , Fuente Autores.....54
Figura 71: Fabricación del banco en acero galvanizado, Fuente Autores..... 54
Figura 72: instalación de las canaletas en la placa de control, Fuente Autores..... 55
Figura 73: instalación de rieles y equipos en el tablero de control, Fuente Autores..... 55
Figura 74: instalación de cable en el tablero TB17 fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores..... 56
Figura 75: Conector DB25 macho conectado con el tablero TB17 fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.....56
Figura 76: conector DB25 hembra conectado al tablero de control, Fuente Autores.....57
Figura 77: conector DB25 hembra conectado al tablero de control, Fuente Autores.....57
Figura 78: cableado de los componentes instalados en el tablero de control, Fuente Autores.....58
Figura 79: conexión de los cables en la salida de la fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores..... 58
Figura 80: conexión de los seis cables en el terminal fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.....58
Figura 81: conexión de los cables en la salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.....59
Figura 82: conexión de los cuatro cables en el terminal fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores..... 59
Figura 83: Vista superior del banco, Fuente Autores.....59
Figura 84: enchufe industrial hembra 4X32 instalado, Fuente Autores..... 60
Figura 85: Selector de 2 posiciones instalado, Fuente Autores..... 60
Figura 86: Portada Manual de Usuario, Fuente Autores.....61

Índice de Tablas

Tabla 1: Especificaciones fuente Matusada., Fuente Autores.....9
Tabla 2: Especificaciones fuente Lambda, Fuente Autores..... 10
Tabla 3: Especificaciones Bus Coupler IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC, Fuente Autores..... 11
Tabla 4: Especificaciones R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC, Fuente Autores.....12
Tabla 5: Especificaciones R-IB IL 24 DI 16-PAC, Fuente Autores.....12
Tabla 6: Especificaciones R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC, Fuente Autores..... 13
Tabla 7: Especificaciones R-IB IL AO 2/U/BP-PAC, Fuente Autores..... 13
Tabla 8: Especificaciones R-IB IL AI 8/SF(-2MBD)-PAC, Fuente Autores..... 14
Tabla 9: actividades realizadas durante la pasantía, Fuente autores..... 19
Tabla 10: Descripción Pines de la fuente Lambda EMS 20-250 [14].....22
Tabla 11: Señales para verificar el estado de salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].... 32
Tabla 12: características Comunicación fuente Matsusada RE/REF/R [13].....34
Tabla 13: Datos señales de voltaje de monitoreo Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores..... 42
Tabla 14: Datos prueba programación remota con voltaje externo con módulo Salida analógica fuente Lambda EMS 20-250 , Fuente autores.....47
Tabla 15: Datos prueba programación remota con voltaje externo con módulo Salida analógica fuente Lambda EMS 20-250 , Fuente Autores..... 48

Índice de Anexos

Anexo 1 Planos de Banco……..50
Anexo 2 Código PLC……51
Anexo 3 Interfas HMI WebIQ……..……53
Anexo 4 Manual de Usuario……..……60
Anexo 5 Capacitacion del Personal……...……..……..60

Resumen

En colaboración con INDRACONTROLS SAS, una empresa líder en ingeniería y distribución asociada con Bosch Rexroth, se desarrolló un proyecto de grado en modalidad de pasantías. Este proyecto aborda la gestión de las fuentes de alimentación "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)", el objetivo general es diseñar e implementar un sistema de control remoto para estas fuentes, permitiendo al operador manejar ambos dispositivos de forma segura a través de un PC.

Estas fuentes de alimentación son esenciales para suministrar corriente y voltaje elevados en diversas aplicaciones dentro de la empresa. Por lo tanto, la manipulación manual de ellas conlleva riesgos significativos tanto para la seguridad del usuario como para la integridad de los sistemas sometidos a pruebas, ya que estas fuentes tienen la capacidad de manejar entre 1.1 kW y 5 kW.

La solución implementada para abordar estos desafíos es la configuración remota mediante el uso de una interfaz remota, siguiendo las indicaciones detalladas en los manuales respectivos de las fuentes. La implementación se llevó a cabo mediante la utilización de un PLC de la serie ctrlX CORE junto con los drivers correspondientes, permitiendo así un control seguro y eficiente de las fuentes de alimentación de forma remota mediante un PC. Este enfoque no solo optimizo la seguridad del operador y la integridad de los sistemas, sino que también contribuyo a una mayor eficiencia en las operaciones diarias.

1. Introducción

La industria eléctrica requiere de dispositivos que puedan suministrar corriente y voltaje adecuados para diversas aplicaciones, sin embargo, el manejo de estos dispositivos implica ciertos riesgos y limitaciones que pueden afectar la seguridad y la eficiencia de las operaciones. Por esta razón, se plantea el diseño e implementación de un sistema de control remoto que permita al operador gestionar las fuentes de alimentación desde un PC, evitando así el contacto directo con las mismas. Este informe presenta el resultado de un proyecto de grado en modalidad de pasantías, realizado en colaboración con INDRACONTROLS SAS, una empresa líder en ingeniería y distribución asociada con Bosch Rexroth.

El proyecto se enfoca en dos fuentes de alimentación: “Lambda EMS 20-250” y “Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)”, las cuales tienen la capacidad de manejar entre 1.1 kW y 5 kW. Estas fuentes son utilizadas en diferentes aplicaciones dentro de la empresa, tales como pruebas de motores, generadores, transformadores, entre otros. Sin embargo, su manipulación manual presenta riesgos de electrocución, cortocircuitos y daños en los sistemas de prueba, la carencia de un control remoto dificulta la gestión eficiente del tiempo y recursos, mientras que la variación de voltaje y corriente es problemática. La Matsusada REH1000P-1.1-l(115C) tiene un rango de valores demasiado amplio, resultando en variaciones de voltaje demoradas, mientras que la Lambda EMS 20-250 es laboriosa debido a su corto recorrido en la variación de corriente. Se propone la implementación de un sistema de control remoto para mejorar la seguridad, eficiencia y precisión en la gestión de estas fuentes de alimentación, abordando así los desafíos identificados.

En este informe se describen los aspectos técnicos, metodológicos y prácticos del proyecto, así como los resultados obtenidos y las recomendaciones para futuras mejoras. Se espera que este informe sea de utilidad para la empresa y para futuros proyectos relacionados con el control remoto de dispositivos eléctricos.

2. Presentación de la Empresa

2.1. Razón Social

INDRACONTROLS S.A.S.
900.817.671-4.

2.2. Actividad a la que se dedica

3314 - Mantenimiento y reparación especializado de equipo eléctrico.
7490 - Otras actividades profesionales, científicas y técnicas n.c.p

2.3. Reseña Histórica

IndraControls S.A.S. es una empresa que se dedica a la reparación y mantenimiento especializado de equipos eléctricos. También es una empresa de ingeniería, representante de servicios y distribuidor autorizado de Bosch Rexroth AG en Colombia, con exclusividad en su línea de accionamientos y controles electrónicos. Fue fundada el 30 de enero de 2015 y desde entonces ha prestado servicios a la industria con más de trece (13) años de experiencia en el suministro de productos y soluciones de automatización y control.

2.4. Misión

Ser una empresa líder en venta, reparación, mantenimiento, puesta en marcha y actualización de aplicaciones orientadas a los accionamientos y controles eléctricos para la industria Colombiana, aplicando nuestra experiencia para brindar servicio de excelencia, satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes.

2.5. Visión

Para el 2022, ser una empresa reconocida como líder en suministro de soluciones integrales para los diferentes sectores industriales de Colombia. Fortaleciendo nuestro equipo de trabajo y alianzas estratégicas a nivel mundial, aplicando las mejores prácticas en el desarrollo de nuestras actividades.

2.6. Descripción de la empresa

Somos aliados idóneos y capacitados para mantenimientos, reparación, puesta en marcha y planeamiento de actualizaciones en productos Bosch Rexroth de la línea de Electric Drives and Controls. Ofrecemos un servicio profesional de calidad, con todos los estándares de implementación, venta de repuestos en tiempos ajustados con fábrica.

2.7. Estructura organizacional

En la *Figura 1* se puede observar la estructura organizacional de la empresa IndraControls S.A.S.

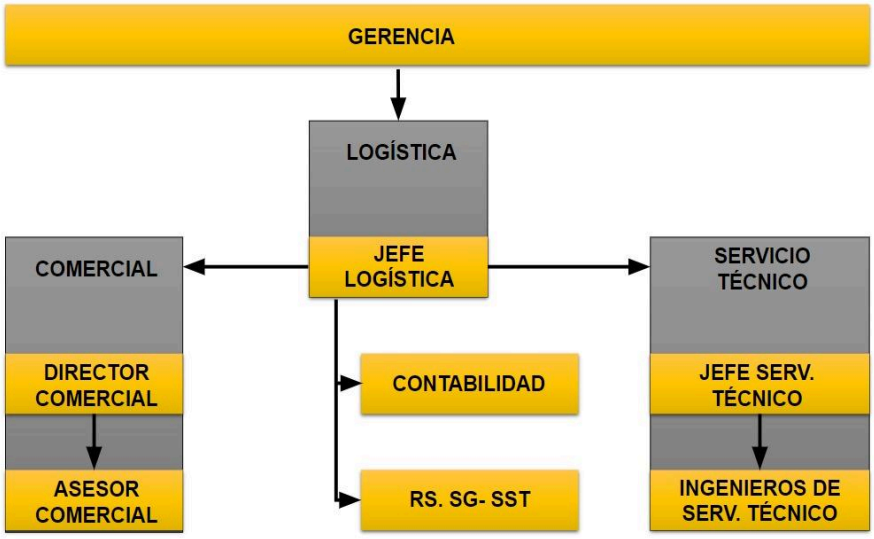


Figura 1: Estructura organizacional IndraControls S.A.S. Fuente Autores.

2.8. Área o grupo de trabajo en el cual el estudiante desarrolló su pasantía

La pasantía se llevó a cabo en el área de servicio técnico, donde se realizan actividades relacionadas con el mantenimiento y la reparación especializada de equipos eléctricos. Se dispone del único laboratorio autorizado por Bosch Rexroth AG para el diagnóstico, reparación, calibración, mantenimiento, ajuste y programación de todos los productos de su línea EDC (Electric Drives and Controls), con personal capacitado directamente en la casa matriz de Bosch Rexroth AG. Se realiza mantenimiento en una variedad de equipos industriales, centrándose principalmente en motores, servomotores y servodrives. La *Figura 2* muestra el laboratorio correspondiente al área de servicio técnico.



Figura 2: Área de servicio técnico [1].

3. Planteamiento del problema en la Empresa

Las fuentes de alimentación de alta potencia y tensión son dispositivos electrónicos diseñados para transformar la corriente alterna de la red eléctrica en un suministro constante de voltaje o corriente continua. Estos dispositivos son fundamentales en diversos campos de la industria, la ciencia y la tecnología, ya que posibilitan la realización de pruebas, mediciones, simulaciones y operaciones con precisión.

"La empresa INDRACONTROLS SAS utiliza dos modelos de fuentes de alimentación para sus aplicaciones: la fuente Lambda EMS 20-250 para corriente, con una potencia de 5 kW, y la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) para voltaje, con una potencia de 1.1 kW. Estas características las hacen adecuadas para aplicaciones que requieren tensiones o corrientes elevadas. Sin embargo, el manejo manual directo de estas fuentes de alimentación implica varios desafíos y riesgos para la empresa."

Uno de los principales problemas identificados es el riesgo de accidentes por electrocución y corto circuito debido a las altas tensiones y corrientes involucradas. El control manual para ajustar los parámetros resulta en una intervención lenta y propensa a errores, lo que conlleva a lesiones graves, así como daños irreparables a los equipos y sistemas sometidos a prueba. Siendo estos el principio de una serie de consecuencias tangibles e intangibles.

4. Justificación

Este proyecto se centra en mejorar la forma de manipulaciòn de las fuentes de alimentación "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)" en el entorno industrial de INDRACONTROLS SAS. Actualmente, la manipulación manual de estas fuentes implica riesgos tanto para el personal como para los sistemas sometidos a prueba, la implementación de un sistema remoto de automatización no solo mitigará estos riesgos, sino que también mejorará la eficiencia y el control del sistema de automatización.

Esta solución se alinea con los objetivos estratégicos de INDRACONTROLS SAS, que se centran en proporcionar soluciones innovadoras y seguras a sus clientes industriales, contribuirá significativamente a lograr una operación más eficiente y segura en el sector de la electrónica industrial, respaldando así el compromiso de la empresa con la excelencia y la seguridad.

Es importante destacar que la fuente de alimentación "Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)" es un regulador de voltaje con una potencia de salida de 1.1 kW, voltaje de 1 kV y corriente de 1.1 A. Por otro lado, la fuente de alimentación "Lambda EMS 20-250" es una fuente conmutable de alto rendimiento con una potencia de salida de 5 kW, voltaje de 20 V y corriente de 250 A.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de control y automatización remota para las fuentes "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)" de la empresa INDRACONTROLS SAS, que permita al operador el control de los dos dispositivos de forma segura por medio de un pc.

5.2. Objetivos específicos

- Investigar y analizar las características técnicas y operativas de las fuentes de alimentación "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)" para comprender sus especificaciones y requerimientos de control.

- Diseñar e implementar un sistema de control y automatización remota por medio de un pc, para las fuentes de alimentación mencionadas, y así lograr la manipulación de voltaje y corriente de manera segura.

- Desarrollar el manual de usuario que permita al operario controlar de forma adecuada todo el sistema desarrollado.

6. Marco de referencia

6.1. Antecedentes

En el ámbito de la automatización y control de fuentes de alimentación, diversas investigaciones y recursos han reunido valiosos conocimientos para comprender mejor los desafíos y soluciones en este campo. La electrónica ha experimentado un avance significativo en el área de la automatización gracias a la implementación de herramientas y tecnologías innovadoras como loT, LabVIEW, MATLAB, FPGA y PLC. Estas herramientas han permitido simplificar la interacción y el control de distintos sistemas, optimizando procesos y mejorando la eficiencia en diversas áreas.

LabVIEW, como se evidencia en el proyecto "Automatización de una fuente de corriente-voltaje y un osciloscopio digital en el entorno de programación LabView" de Moreno Martín, A. *[2]*, ofrece una interfaz amigable que facilita la comunicación entre equipos, simplificando las mediciones y el control. Similarmente, el proyecto "Automatización de un banco de pruebas experimentales, mediante software LabVIEW y hardware Arduino, destinado al estudio de la transferencia de calor en estado estacionario en paredes planas" de Aranguren Reyes , J.S. *[3]*, destaca la versatilidad de LabVIEW, el software se emplea para controlar el hardware Arduino, registrar datos de sensores de temperatura y realizar cálculos para determinar la conductividad térmica del material de la pared.

Herramientas como MATLAB y SCPI, como se observa en el proyecto "Automatización de fuente de alimentación modular sobre SCPI" de Omar Akoudad Muñoz *[4]*, permiten automatizar tareas de manera precisa y eficiente. En este caso, se utiliza MATLAB y SCPI para automatizar la fuente N6700 de Keysight, optimizando las pruebas y mejorando la precisión de los resultados. Por otro lado el proyecto “ Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Voltaje y Frecuencia de un Sistema Eléctrico de Potencia a Escala para la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca” de Lucero, J.,Ñauta, J., Carpio, M. *[5]*, utilizando un controlador PID y evaluando su desempeño en diferentes escenarios, se usa LabVIEW y se ofrece como herramienta para la enseñanza, el aprendizaje y la investigación futura.

En el campo de la automatización industrial, los PLCs (Controladores Lógicos Programables) son versátiles y eficientes para el control y la automatización de diversos procesos. Su capacidad para programar y modular sistemas mediante distintos módulos los convierte en elementos indispensables en una amplia gama de industrias.

La implementación de estos sistemas es indispensable y el campo de la educación no se queda atrás. Proyectos como "Actualización del PLC de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador" de Rodríguez, I. C. T., González, P. F. H., & Bautista, Z. I. *[6]*, son un claro ejemplo de ello. En este proyecto, se modernizó el CIM con el objetivo de mejorar la formación de los estudiantes de Ingeniería en Control y Automatización. Se migró el sistema que se tenía a otro incorporando un PLC avanzado usando interconexión mediante el protocolo EtherNet/IP. Esta iniciativa permitió una formación más práctica y acorde a las demandas actuales de la industria.

En el campo industrial se tiene por ejemplo la implementación de un PLC en el control de motores como se describe en el proyecto "Control de Velocidad de un Motor DC, Utilizando Controladores PID", desarrollado por Quinbita, C. D. *[7]*. En este , se implementa un controlador PID en un PLC Siemens S7-1200 para controlar la velocidad de un motor de corriente continua. Se lee la velocidad del motor y se ajusta la velocidad del motor respecto a esta referencia. Por otro lado el "proyecto de automatización con PLC Siemens y SCADA en Matlab mediante comunicación OPC para un sistema de mecanizado de piezas con control de velocidad de un motor de C.C." de Domínguez Belinchón *[8]*,donde se implementa un prototipo de laboratorio de una aplicación SCADA para el control y automatización de un motor y unidades mecánicas, se intercambia datos entre esta y un PLC lo cual permite en tiempo real modificar parámetro de control.

Caso similar, pero con el uso de otras herramientas junto al PLC, es el proyecto "Sistema HMI-PLC-ADF- Motor CA para control de velocidad" de Quezada-Quezada, J. C., Flores-García, E., González-Cadena, M., & Bautista-López, J.*[9]*. En este proyecto, se integra una interfaz hombre-máquina (HMI) para visualizar y controlar la velocidad del motor, además de un variador de frecuencia (ADF) para regular la potencia suministrada al motor.

Los tres proyectos demuestran la versatilidad de los PLCs en el control de motores, permitiendo una automatización precisa y eficiente de procesos industriales.Ejemplo adicional,Valencia-Henao, J. M., Solarte-Martínez, G. R., & Muñoz-Guerrero, L. E., en su proyecto "Análisis y Diseño de Interfaz para conexión de PLC basado en Arduino con PLC Allen Bradley a través de Ethernet" *[10]*, describe el diseño e implementación de una interfaz para conectar un PLC basado en Arduino con un PLC Allen Bradley a través de Ethernet. Donde demuestra la viabilidad de conectar diferentes tipos de PLCs para crear sistemas de control más complejos y flexibles.

En este sentido, la modernización de procesos industriales que involucran PLCs también es un área de interés. El proyecto "Modernización del proceso de diseño y fabricación de tableros eléctricos de baja tensión para sistemas de bombeo estándar en la empresa VARIADORES S.A.S." de Mancipe Bernal, C. A., & Ortiz Velasquez, J. E.*[11]*. En este proyecto, se modernizó el proceso de diseño y fabricación de tableros eléctricos de baja tensión para sistemas. La modernización se basó en la implementación de herramientas tecnológicas y metodologías de gestión de proyectos, lo que permitió mejorar la eficiencia y la calidad del proceso.

Adicionalmente, el diseño y la construcción de bancos de pruebas eléctricas también se benefician de la implementación de PLCs. Un ejemplo de ello es el proyecto "Diseño y construcción de banco de pruebas eléctricas en baja tensión para el área de asistencia técnica y calidad de FTC Energy Group S.A.S." de Guerrero Borda, Y. I., & Niño Zambrano, C. A. *[12]*. En este proyecto, se diseñó y construyó un banco de pruebas eléctricas en baja tensión para el área de asistencia técnica y calidad de una empresa colombiana. El banco de pruebas se implementó utilizando PLCs, lo que permitió automatizar las pruebas y mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de reparación de equipos eléctricos.

En conclusión, los PLCs se han convertido en herramientas fundamentales para la automatización industrial, la educación en este campo, la modernización de procesos industriales y el diseño y construcción de bancos de pruebas eléctricas. La amplia gama de aplicaciones y la versatilidad de estos dispositivos los convierten en una opción atractiva para el control y la optimización.

6.2. Marco Teórico

6.2.1. Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)

La fuente regulada de voltaje, diseñada para aplicaciones que demandan precisión y estabilidad, ofrece una capacidad de suministro de hasta 1000 voltios y 1.1 amperios, generando una potencia de hasta 1.1 kW. Esto la hace ideal para alimentar equipos con alto consumo energético. Además, cuenta con protección contra sobrecargas, cortocircuitos y protección térmica. La *Figura 3*, muestra la fuente.

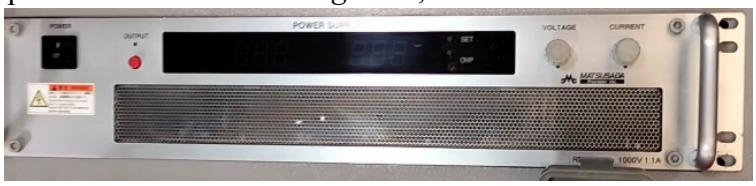


Figura 3: Fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

En la *Tabla 1*, se resumen las especificaciones técnicas de la fuente de voltaje.

Especificaciones de Salida	
Voltaje de salida	1000 V
Corriente de salida	1.1 A
Potencia de salida	1.1 kW
Especificaciones de Entrada	
Voltaje de entrada	110 VAC
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Corriente de entrada	12 A

Tabla 1: Especificaciones fuente Matusada., Fuente Autores.

Información tomada del manual "Instruction Manual (Model REH series)" descargado en la página oficial del fabricante *[13]*.

6.2.2. Lambda EMS 20-250

La fuente de alimentación de corriente conmutada, diseñada para aplicaciones industriales, ofrece una capacidad de suministro de 250 amperios y 20 voltios, siendo ideal para alimentar una amplia gama de dispositivos como motores, bombas y diversos equipos eléctricos. Además de su capacidad de suministro, cuenta con protección contra sobrecargas y cortocircuitos. La *Figura 4* observa la fuente.



Figura 4: Fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

En la *Tabla 2*, se relacionan las especificaciones técnicas de la fuente de corriente.

Especificaciones de Salida	
Voltaje de salida	20 V
Corriente de salida	250 A
Potencia de salida	5 kW
Especificaciones de Entrada	
Voltaje de entrada	220 VAC
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Corriente de entrada	23 A

Tabla 2: Especificaciones fuente Lambda, Fuente Autores.

Información tomada del manual "Lambda EMS 20-250 Operator 's Manual" descargado en la página oficial del fabricante *[14]*.

6.2.3. PLC

Un PLC, o Controlador Lógico Programable, es un dispositivo electrónico digital diseñado para la automatización de procesos. Su nombre deriva del inglés "Programmable Logic Controller". Son utilizados principalmente en entornos industriales ya que cuenta con flexibilidad a la hora de ser programado, siendo adaptable a una amplia variedad de tareas y aplicaciones, su diseño permite soportar ambientes exigentes, con polvo, movimiento y temperaturas variadas, también son muy adaptables al interactuar con diversos tipos de componentes como sensores, relés, actuadores y otros dispositivos, optimizando el control de procesos, mejorando la productividad y reduciendo costos *[15]*.

6.2.3.1. PLC Ctrl X CORE

Es un PLC fabricado por Bosch Rexroth. Funciona como un PLC tradicional pero cuenta con ciertas características que lo diferencian de los demás:

Cuenta con una plataforma de automatización abierta basada en Linux con una extensión, puede ejecutar otras aplicaciones a través de su sistema de aplicaciones, lo que le da más funcionalidad que un PLC tradicional y está diseñado para una fácil comunicación con otros dispositivos y sistemas, lo que lo convierte en una buena opción para aplicaciones IoT. En la *Figura 5*, se puede ver sus características físicas.



Figura 5: PLC ctrlX CORE X3 [16].

Información tomada del manual "Operating manual ctrlX CORE Controls" descargado en la página oficial del fabricante Bosch Rexroth *[16]*.

6.2.4. Módulos PLC

Los módulos son los que permiten establecer la conexión entre el PLC y los dispositivos del entorno externo, permitiendo el intercambio de información. Para la ejecución de diferentes proyectos, se puede encontrar varios tipos de módulos:

6.2.4.1. Bus Coupler

Es el que permite establecer un puente de comunicación entre el PLC y los demás módulos. La *Figura 6* hace referencia al aspecto físico del Bus Coupler.



Figura 6: Bus Coupler IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC [17].

La Tabla 3 contiene características del módulo IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC*[17]*.

Características Bus Coupler	
Tipo de Módulo	Inline, bus coupler, Modbus/TCP (UDP)
Tipo de Módulo	80 mm x 119,8 mm x 71,5 mm
Función	Conectar dispositivos en una red de control
# De salidas digitales	4 salidas digitales 24VDC a 500mA
# De entradas digitales	8 entradas digitales 24VDC
Velocidad de Transmisión	500 kbps / 2 Mbps

Tabla 3: Especificaciones Bus Coupler IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC, Fuente Autores.

6.2.4.2. Módulo de Salidas Digitales

Los módulos de salidas digitales envían señales a actuadores y dispositivos externos. En la *Figura 7* se representa el Módulo R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC.



Figura 7: R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC [18].

En la *Tabla 4*, se pueden observar las características del Módulo de Salidas R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC *[18]*.

Características Módulo de Salidas Digitales	
Tipo de Módulo	Digital outputs - Terminal Inline
Dimensiones de la carcasa	48.8 mm x 120 mm x 71.5 mm
Función	Salida de señales digitales
# De salidas digitales	16 salidas digitales
Corriente nominal	500 mA por salida
Corriente Total del Terminal	8 A

Tabla 4: Especificaciones R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC, Fuente Autores.

6.2.4.3. Módulo Entradas Digitales

El módulo de entradas digitales de *la Figura 8* permite monitorear y adquirir señales digitales de sensores, botones, interruptores, etc



Figura 8: R-IB IL 24 DI 16-PAC [19].

En la *Tabla 5*, se muestran las características del Módulo de Entradas R-IB IL 24 DI 16-PAC *[19]*.

Características Módulo de Entradas Digitales	
Tipo de Módulo	Digital inputs - Terminal Inline
Dimensiones de la carcasa	12 mm x 120 mm x 71.5 mm
Función	Adquisición de señales digitales de entrada
# De salidas digitales	16 entradas digitales
Corriente nominal	250 mA por entrada
Corriente Total del Terminal	4 A

Tabla 5: Especificaciones R-IB IL 24 DI 16-PAC, Fuente Autores.

6.2.4.4. Módulo salidas Análogas 1

El módulo R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC de la *Figura 9* se encarga de generar señales analógicas, puede ser utilizado en actuadores, transmisores, válvulas, etc.



Figura 9: R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC [20].

La *Tabla 6* resume las características del Módulo R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC *[20]*.

Características Módulo de de salidas análogas	
Tipo de Módulo	One analog output
Dimensiones de la carcasa	24.4 mm x 135 mm x 71.5 mm
Función	Salida análoga de 0 a 10V
# De salidas digitales	1 Salida análoga
Corriente nominal	20 mA

Tabla 6: Especificaciones R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC, Fuente Autores.

6.2.4.5. Módulo salidas Análogas 2

El módulo R-IB ILAO 2/U/BP-PAC de la *Figura 10*, dispone de 2 salidas analógicas, opera en rangos de 0 a ±10 V, utilizando tecnología de conexión de 2 conductores.

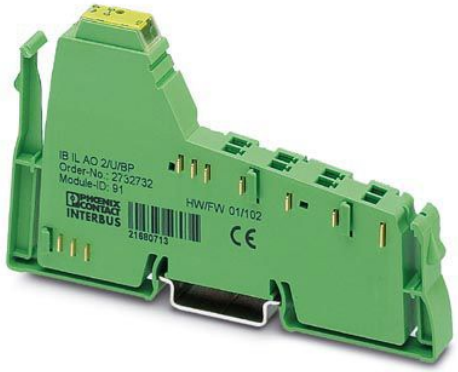


Figura 10: R-IB IL AO 2/U/BP-PAC [21].

La *Tabla 7* abarca las características del Módulo R-IB IL AO 2/U/BP-PAC *[21]*.

Características Módulo de de salidas análogas 2	
Tipo de Módulo	Two analog voltage output
Dimensiones de la carcasa	12.2 mm x 120 mm x 72 mm
Función	Salidas análogas 0 a ±10 V
# De salidas digitales	2 Salidas Análogas
Corriente nominal	20 mA

Tabla 7: Especificaciones R-IB IL AO 2/U/BP-PAC, Fuente Autores.

6.2.4.6. Módulo Entradas Análogas

El módulo R-IB IL AI 8/SF(-2 MBD)-PAC, representado en la Figura 11, está diseñado para el monitoreo de variables analógicas, así como para la medición de señales provenientes de sensores y transmisores.



Figura 11: R-IB IL AI 8/SF(-2MBD)-PAC [22].

En la *Tabla 8*, se muestran las características del Módulo de entradas análogas R-IB IL AI 8/SF(-2 MBD)-PAC *[22]*.

Características Módulo de de salidas análogas 2	
Tipo de Módulo	Analog Input Channels
Dimensiones de la carcasa	48.8 mm x 120 mm x 71.5 mm
Función	Entradas análogas V y A
# De entradas análogas	8 Entradas Análogas
# Entradas de V	4 Entradas de voltaje
# Entradas de A	4 Entradas de corriente
Corriente nominal	40mA

Tabla 8: Especificaciones R-IB IL AI 8/SF(-2MBD)-PAC, Fuente Autores.

6.2.5. Interfaz HMI Web IQ

Es un sistema HMI/SCADA basado en desarrollado web por Smart HMI. Permite la creación de interfaces de usuario industriales 100% basadas en tecnologías web, como HTML5, CSS y JavaScript *[23]*.

6.2.6. Breaker

Dispositivo de seguridad que se encarga de la protección contra sobrecargas en instalaciones eléctricas. En la *Figura 12* se refleja el breaker con la referencia NB1 - 63 C32 y las características de una intensidad nominal de 1 a 62 A *[24]*.

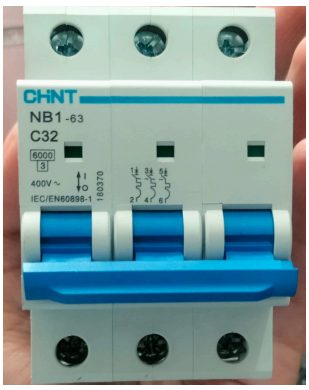


Figura 12: Breaker NB1 - 63 C32, Fuente Autores.

6.2.7. Relés

Encargados de permitir el paso de corriente en un circuito eléctrico, su funcionamiento consiste en crear un campo magnético a través de una bobina que abre o cierra los contactos del circuito. En la *Figura 13* se ilustra el relé con referencia 41 F-024-10. Voltaje de activación de 24VDC/AC, carga máx de 250VAC a 6 A *[25]*.

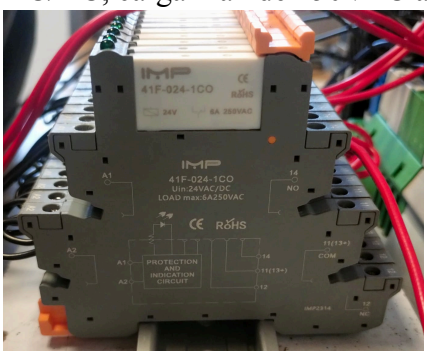


Figura 13: Relé 41 F - 024-10, Fuente Autores.

6.2.8. Contactores

Dispositivo que se encarga del control de energía eléctrica de un circuito a mayor escala y mayor potencia se puede observar el contactor. En la *Figura 14* se puede observar el contactor NC1 - 1810 perteneciente a la familia NC1 con las características de contar con un contactor NO y la capacidad de aguantar 25A y se maneja normalmente en 240v *[26]*.



Figura 14: contactor NC1 - 1810 [26].

6.2.9. Pulsadores y botón de emergencia

Usados para abrir o cerrar circuitos eléctricos cuando son pulsados, según el tipo retorna o no a su posición original, pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados dependiendo de la necesidad.

El botón de emergencia es un tipo de estos y es el encargado de interrumpir el proceso en cualquier momento en caso de algún tipo de emergencia *[27]*. pueden verse en la *Figura 15.*



Figura 15: Botones pulsadores [27].

6.2.10. Fuente 24V

Esta es la encargada de proporcionar energía a los demás dispositivos dentro del tablero. En la *Figura 16* se ilustra una fuente conmutada que proporciona salidas de 24V a 10A y tiene una entrada de 110 VAC o 240 VAC dependiendo de la necesidad.



Figura 16: Fuente conmutada de 10 A - 24 V, Fuente autores.

6.2.11. Selector 2 posiciones

Los selectores de 2 posiciones como el que se ve en la *Figura 17*, permite cambiar la conexión del circuito entre dos estados distintos, es normalmente usado en aplicaciones industriales para desviar el flujo de potencia del circuito *[28]*.



Figura 17: selector industrial [28].

6.2.12. Terminales Industriales de 6 pines y Enchufe industrial

En la *Figura 18* se muestran los terminales hembra y macho, encargados de garantizar una conexión segura a la hora de la transmisión de energía, hechos para ser capaces de soportar hasta 16A y 500V en condiciones exhaustivas dentro del entorno industrial *[29]*.



Figura 18: terminal hembra y macho [29].

6.2.13. Clavija Industrial 220 VAC

Encargada de soportar de manera segura la potencia de la fuente de energía, son más robustas que una clavija de hogar. Suelen tener entre tres y cuatro polos (fase, neutro y tierra). En la *Figura 19* se puede observar una clavija macho y hembra con las características de tener 4 pines y soportar 30A a 220/320V *[30]*.



Figura 19: Clavijas hembra y macho [30].

6.3. Marco Legal

6.3.1. Resolución 90708 del 30 agosto de 2013 RETIE

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) es un documento técnico-legal obligatorio para Colombia. Emitido por el Ministerio de Minas y Energía, el RETIE establece las exigencias y especificaciones para garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas Su objetivo es asegurar el buen funcionamiento, la confiabilidad, la calidad y la adecuada utilización de productos y equipos en dichas instalaciones *[31]*.

Dentro de este se encuentran artículos en relación como:

6.3.1.1. Artículo 3.17.8. Celdas y tableros

Se establecen las medidas necesarias para reducir el peligro de arco eléctrico en celdas y tableros. Las pautas abarcan desde el almacenamiento adecuado de los equipos hasta su instalación y conexión *[31]*.

6.3.1.2. Artículo 3.17.20. Interruptores manuales de baja tensión

Establece los requisitos para los interruptores manuales de baja tensión utilizados en instalaciones eléctricas, garantizando su seguridad y buen funcionamiento *[31]*.

6.3.2. Norma IEEE 518

La norma IEEE 518 es una guía para la instalación de equipos eléctricos para minimizar las entradas de ruido eléctrico para controladores desde fuentes externas. La norma establece pautas para la instalación de equipos eléctricos en entornos industriales, con el objetivo de minimizar el riesgo de interferencia electromagnética (EMI). La EMI puede causar una variedad de problemas en los sistemas de control, como errores en la operación, fallas en el hardware y accidentes *[32]*.

6.3.3. Norma ICONTEC NTC 2050-1

Esta norma establece los requisitos de seguridad para las fuentes de alimentación de potencia, incluyendo las fuentes de alto voltaje y alta corriente. La norma está basada en la norma internacional IEC 62368-1:2016, que es una norma de seguridad para los productos electrónicos de consumo *[33]*.

6.3.4. Norma AWG (American Wire Gauge)

Sistema estandarizado para clasificar los diámetros de cables eléctricos redondos, sólidos y no ferrosos. Según sea la aplicación el hilo conductor tiene una capacidad determinada que varía dependiendo del material aislante e hilo conductor *[34]*.

6.3.5. Norma IEC 60617

Establece los símbolos estándar para la representación gráfica de los elementos en diagramas eléctricos y electrónicos. Al ser una norma estándar permite que los circuitos diseñados sean compatibles entre sí *[35]*.

7. Actividades realizadas durante la pasantía

Las actividades realizadas durante la pasantía se describen a continuación y se puede observar el diagrama de Gantt correspondiente a dichas actividades en la *Tabla 9*.

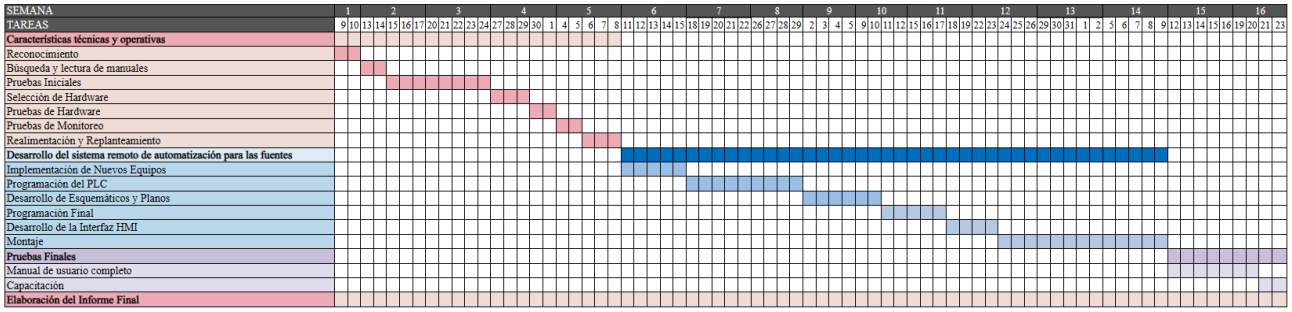


Tabla 9: actividades realizadas durante la pasantía, Fuente autores.

La *Figura 20* presenta un diagrama de bloques que proporciona una representación visual de las actividades llevadas a cabo durante el período de pasantías.

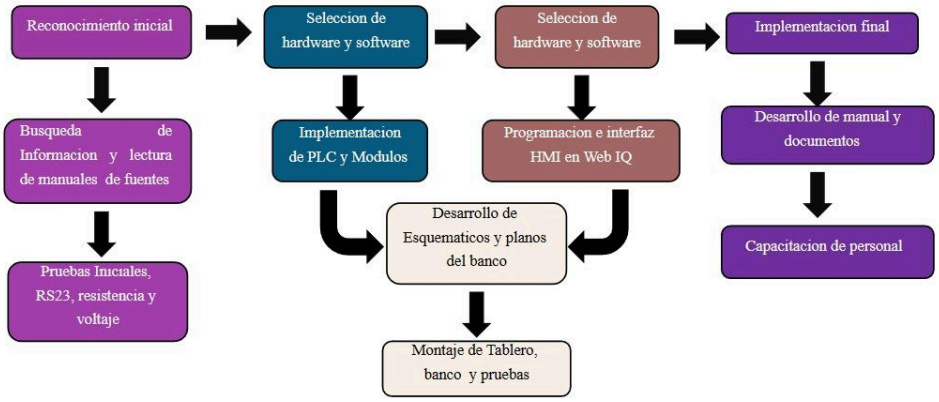


Figura 20: Diagrama de bloques actividades realizadas, Fuente Autores.

7.1. Características técnicas y operativas

Investigar y analizar las características técnicas y operativas de las fuentes de alimentación "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)" para comprender sus especificaciones y requerimientos de control.

7.1.1. Reconocimiento

Incluye el reconocimiento de las fuentes, sus características físicas y cualidades de funcionamiento.

7.1.2. Búsqueda y lectura de manuales

lectura de varias fuentes y manuales para obtener información sobre cómo controlar de manera remota las fuentes, así como para obtener detalles sobre el hardware y el software que cada fuente posee.

7.1.3. Pruebas Iniciales

Realización de pruebas físicas con las fuentes mediante equipo de laboratorio (pruebas mediante comunicación RS232, fuentes de voltaje, resistencias).

7.1.4. Selección de Hardware

Búsqueda de equipos esenciales para el control de las fuentes, variación de los parámetros de la fuente mediante potenciómetros digitales, incorporación de la tarjeta

RS232 para operaciones lógicas y la integración de relés para facilitar la transición entre los modos manual y remoto de las fuentes.

7.1.5. Pruebas de Hardware

Realización de pruebas físicas para variar los parámetros de las fuentes utilizando el hardware seleccionado.

7.1.6. Pruebas de Monitoreo

Obtención de datos de monitoreo del output de la fuente Matsusada mediante una señal de salida presente en el DB-25 que oscila entre 0-10V.

7.1.7. Realimentación y Replanteamiento

Realimentación de los resultados obtenidos en la empresa, toma de decisiones y replanteamiento del hardware utilizado.

7.2. Desarrollo del sistema remoto de automatización para las fuentes

Diseñar e implementar un sistema de control y automatización remota por medio de un pc, para las fuentes de alimentación mencionadas, y así lograr la manipulación de voltaje y corriente de manera segura.

7.2.1. Implementación de Nuevos Equipos

Se decide utilizar PLC de la serie ctrl X CORE de la marca Bosch Rexroth, con interfaz HMI de WEB IQ. Incluye la lectura de manuales para aprender a utilizar los nuevos equipos y herramientas, y la elaboración de la lista de materiales necesarios.

7.2.2. Programación del PLC

Programación de las variables de salida y entrada del PLC y pruebas físicas del PLC con las fuentes para determinar su comportamiento.

7.2.3. Desarrollo de Esquemáticos y Planos

Desarrollo de esquemáticos, planos de control y fuerza, y planos para el banco donde se realizará el montaje de las fuentes junto con su debido controlador, fuente de alimentación, bornas, módulos y canaletas.

7.2.4. Programación Final

Programación final en lazo cerrado del PLC, para el control y automatización de las dos fuentes.

7.2.5. Desarrollo de la Interfaz HMI

Desarrollo de la interfaz HMI en Web IQ.

7.2.6. Montaje

Montaje de los equipos en el banco previamente realizado.

7.2.7. Pruebas Finales

Realización de pruebas finales de funcionamiento.

7.3. Manual de usuario completo

Desarrollar el manual de usuario que permita al operario controlar de forma adecuada todo el sistema desarrollado.

7.3.1. Capacitación

Realización de explicación y funcionamiento de los equipos recomendaciones y datos a tener en cuenta para el correcto uso.

7.4. Elaboración del Informe Final

Elaboración del Informe Final de pasantías.

8. Resultados

La siguiente sección proporciona información detallada de los resultados obtenidos, producto de las actividades desarrolladas durante la pasantía. Incluye soportes visuales como fotografías, tablas, diagramas de flujo y esquemáticos.

8.1. Características técnicas y operativas

8.1.1. Reconocimiento de las fuentes

Como primera medida, se realizó la visita a la empresa INDRACONTROLS SAS para el reconocimiento de las fuentes de voltaje y corriente, se identificaron las referencias de cada fuente y se observó su modo de operación y funcionamiento. En la *Figura 21,* se muestra el estado inicial en el que se encontraron las fuentes.



Figura 21: Estado inicial de las fuentes, La fuente Lambda EMS 20-250 en la parte superior y la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) en la parte inferior, Fuente Autores.

La fuente de corriente 'Lambda EMS 20-250', está equipada con dos perillas de control, una para ajustar el voltaje y otra para la corriente. Sin embargo, se ha notado que su manejo resulta complicado debido a la sensibilidad de estas perillas. Incluso el más mínimo ajuste puede ocasionar un cambio significativo en la corriente de salida, lo que dificulta su uso y representa un riesgo potencial para el usuario.

Este problema se agrava cuando se superan los 100 amperios, ya que los cables de salida pueden sobrecalentarse, esto está directamente relacionado con la sensibilidad de las perillas; cualquier pequeño movimiento puede resultar en una corriente de salida que exceda la carga necesaria, lo que podría causar daños o incluso representar riesgos laborales.

En contraste, la fuente de voltaje 'Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)' también cuenta con dos perillas, diseñadas para ajustar el voltaje y la corriente respectivamente. Sin embargo, durante su manejo se ha observado que la fuente presenta cierta complejidad debido a su amplio rango de voltaje. Ajustar la salida desde el mínimo hasta el máximo resulta un proceso algo demorado y laborioso, lo cual puede afectar la eficiencia operativa de la fuente.

8.1.2. Búsqueda y lectura de manuales

Se realizó la búsqueda de los manuales respectivos de cada fuente mediante sus referencias, lo vital en estos manuales era encontrar métodos para el manejo de cada fuente de forma remota, hacer un reconocimiento detallado del funcionamiento de cada elemento alojado en la fuente, para encontrar las cosas que pudieran satisfacer nuestras necesidades en la elaboración del proyecto.

8.1.2.1. Fuente de corriente "Lambda EMS 20-250"

Para la fuente de corriente "Lambda EMS 20-250", se ha consultado el manual titulado "TDK-Lambda EMS Series Manual | ArtisanTG", el cual ha proporcionado la información completa y necesaria para comprender su funcionamiento. En una fase inicial, resultó crucial identificar un tablero situado en la parte posterior de la fuente, el cual está equipado con 17 pines. Cada uno de estos pines desempeña una función específica, y las descripciones detalladas se encuentran disponibles en la *Tabla 10*, extraída del manual:

PIN #	PIN DESCRIPTION
1	+ Voltage (+V)
2	+ Voltage Remote (+V REM)
3	Voltage Programming Current (V PROG I)
4	Voltage Amplifier (V AMP IN)
5	Voltage Programming Resistance (V PROG R)
6	Voltage Programming Resistance Common (V PROG R COM)
7	- Voltage Remote (-V REM)
8	- Voltage (-V)
9	Current Programming Current (I PROG I)
10	Current Amplifier (I AMP IN)
11	Current Programming Resistance (I PROG R)
12	- Shunt (-I)
13	Inverted I Amplifier In
14	+ Shunt (+I)
15 & 16	Remote Voltage Turn On (Remote V IN)
16 & 17	Remote Dry Contact Turn On (Remote SW)

Tabla 10: Descripción Pines de la fuente Lambda EMS 20-250 [14].

Para emplear la fuente tanto de manera remota como local, se requiere realizar conexiones específicas en el tablero de pines correspondiente. En el modo de programación local, que sirve como configuración base, se posibilita la manipulación de la fuente a través de las perillas ubicadas en el panel frontal. Las conexiones detalladas para este modo se presentan en la *Figura 22*.

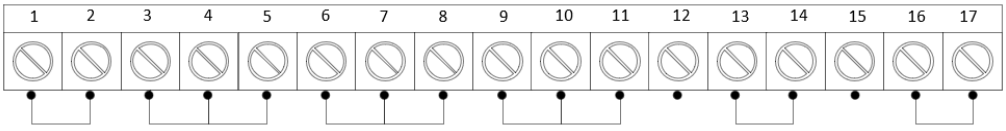


Figura 22: Modo local fuente Lambda EMS 20-250, Fuente autores.

Para la programación remota de la fuente, el manual especifica tres métodos posibles para controlar tanto la variación de voltaje como la de corriente. Estos métodos son:

8.1.2.1.1.1. Resistencia Externa

En este modo, la potencia de salida puede ajustarse mediante el uso de una resistencia variable de 0 a 5k ohmios conectada desde los terminales 3 hasta el 8 para variar el voltaje, y otra resistencia de 0 a 100 ohmios conectada desde los terminales 9 hasta el 12 para variar la corriente, tal como se evidencia en la *Figura 23*. La resistencia desempeña la función de un divisor de tensión, permitiendo que la fuente ajuste la potencia de salida en función de la resistencia conectada.

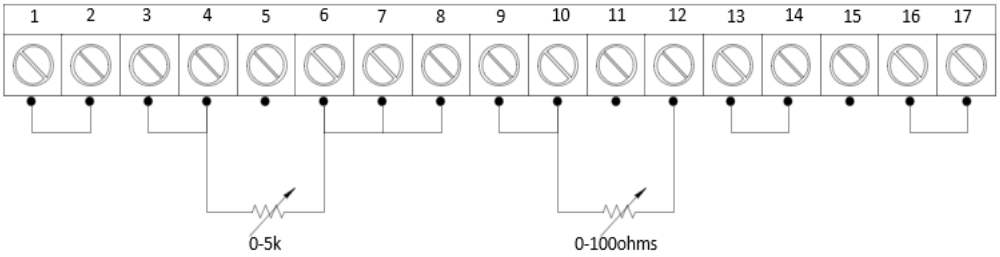


Figura 23: Configuración por Resistencias fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

8.1.2.1.1.2. Voltaje DC Externo

En este modo, el establecimiento de la tensión de salida se logra mediante el uso de una señal de voltaje externo de 0 a 10V, aplica tanto para la variación de corriente como para el voltaje, como se visualiza en la Figura 24.

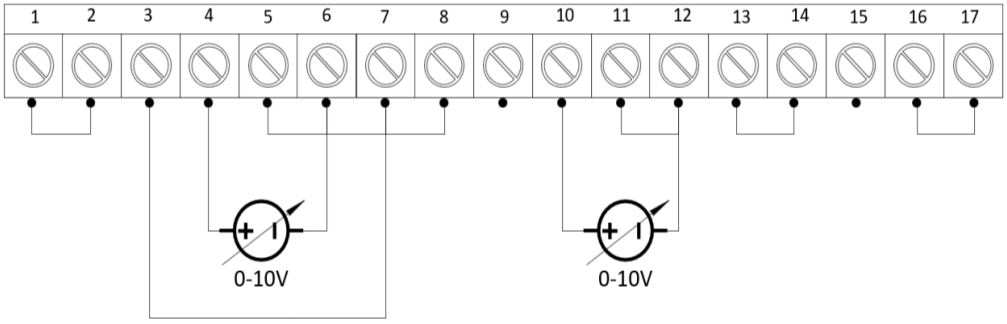


Figura 24: Configuración por Voltaje fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

La fuente ajusta su potencia de salida de acuerdo al nivel de voltaje aplicado en los terminales.

8.1.2.1.1.3. Corriente AC Externa

En este modo, se puede ajustar la corriente de salida por medio de una corriente externa de 0 – 1mA para voltaje y una corriente de 0 – 1mA para la corriente, tal y como se puede observar en la *Figura 25*.

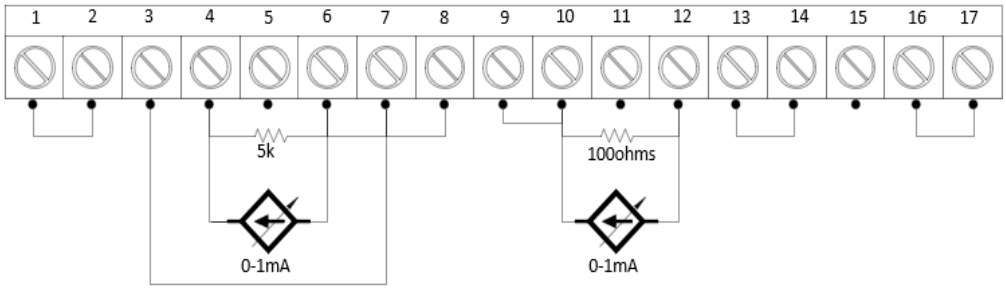


Figura 25: Configuración por Corriente fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

La fuente ajusta su potencia de salida en función de la señal de corriente aplicada

8.1.2.2. Fuente de Voltaje "Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)"

Para la fuente de Voltaje "Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)" se encontró el manual "Instruction Manual (Model REH series)", dedicado específicamente a la serie REH, y un segundo manual "Instruction Manual RE/REH/ RF series " dedicado a los diferentes modelos del mismo fabricante.

En primera instancia, fue vital el reconocimiento de un conector DB25 ubicado en la parte posterior de la fuente, el cual cuenta con 25 pines, cada uno cumple una función específica, las cuales se evidencian en la *Figura 26*, sacada del manual:

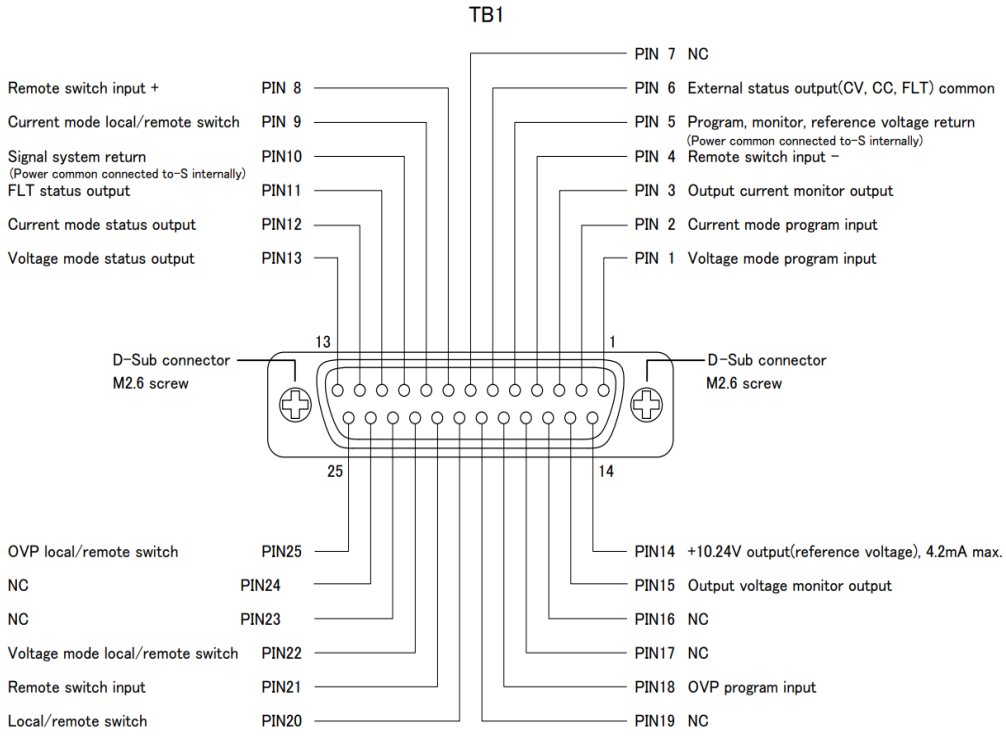


Figura 26: Descripción de pines de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En segunda instancia, también es crucial reconocer un panel equipado con una serie de 8 interruptores conmutables de dos estados. Comprender el funcionamiento de este panel es fundamental, ya que a través de él se realiza la configuración de las diversas protecciones de la fuente, así como la configuración para los diferentes métodos de programación remota. La *Figura 27* exhibe el panel (SW1-8) en su configuración inicial.

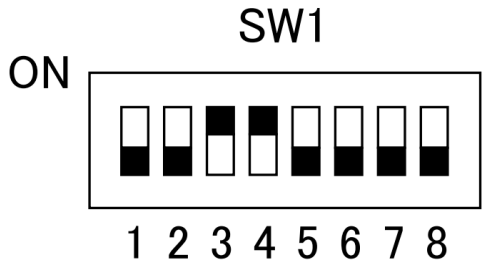


Figura 27: Configuración panel SW1-8 fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En el primer manual, se han identificado dos métodos para programar de forma remota la fuente: variación mediante resistencia y voltaje. Además, proporciona instrucciones detalladas paso a paso para configurar la fuente desde el modo local al modo remoto, como se detalla a continuación:

8.1.2.2.1. Programación remota con resistencia externa

Según las indicaciones del manual, para realizar ajustes remotos en el voltaje y la corriente de la fuente, se debe aplicar una impedancia entre pines que fluctúa entre 0-10 k ohmios. Este proceso se realiza de manera independiente tanto para la variación de la corriente como para la del voltaje.

En la *Figura 28* se presenta la configuración específica para la programación remota mediante resistencia, destinada a modificar el voltaje de salida de la fuente, junto con los ajustes necesarios en el interruptor SW1-8.

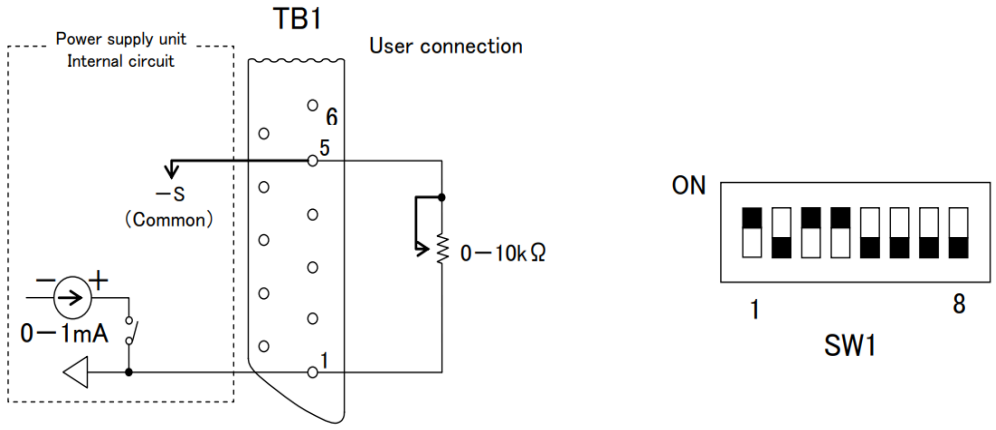


Figura 28: Configuración por resistencia para el voltaje de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

Además, en la *Figura 29* se ilustra la configuración correspondiente a la programación remota mediante resistencia para variar la corriente de salida de la fuente, junto con las configuraciones requeridas en el interruptor SW1-8.

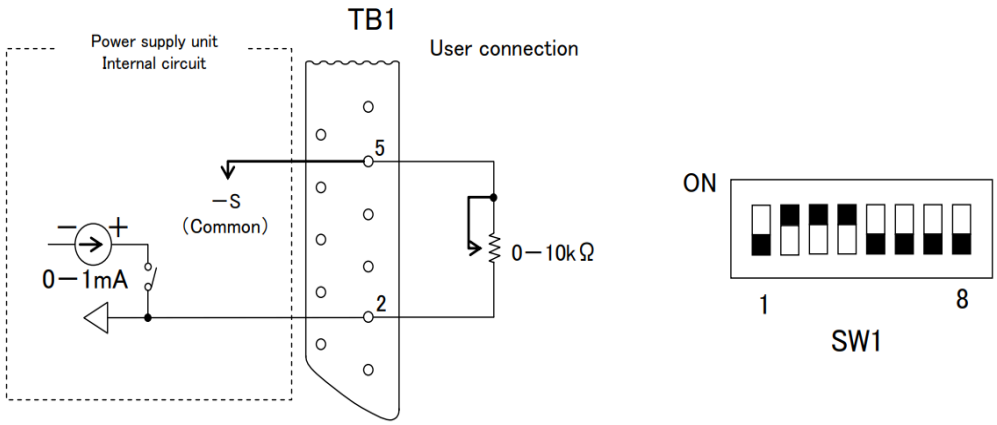


Figura 29: Configuración por resistencia para la corriente de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.2. Programación remota con Voltaje externo

Conforme a las indicaciones del manual, para efectuar ajustes remotos en el voltaje y la corriente de la fuente, se requiere que la fuente reciba una señal de voltaje externo en un rango de 0 a 10 voltios. Este procedimiento se realiza de manera independiente tanto para la variación de la corriente como para la del voltaje.

En la *Figura 30*, se observa la configuración específica para la programación remota mediante voltaje, diseñada para modificar el voltaje de salida de la fuente, junto con las configuraciones necesarias en el interruptor SW1-8.

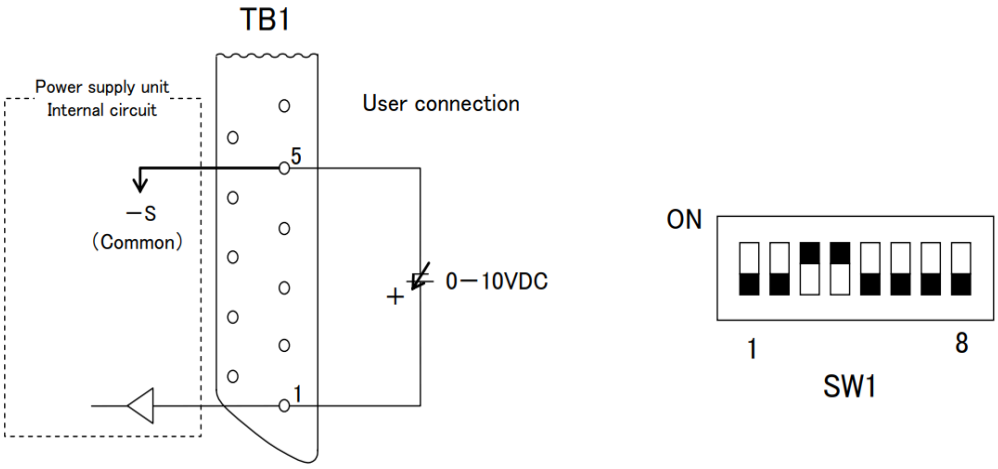


Figura 30: Configuración por voltaje para el voltaje de salida de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En la *Figura 31*, se refleja la configuración correspondiente a la programación remota mediante resistencia para variar la corriente de salida de la fuente, junto con las configuraciones requeridas en el interruptor SW1-8.

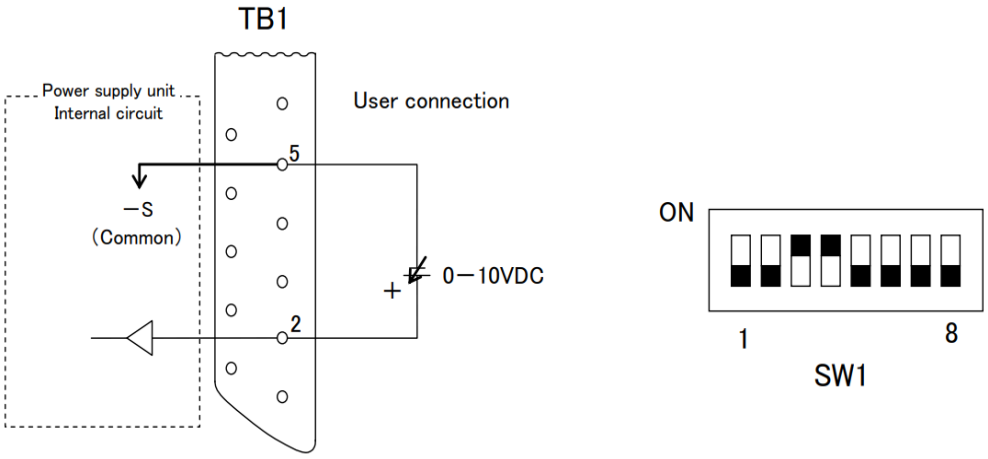


Figura 31: Configuración por voltaje para la corriente de salida de fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.3. Conexiones entre pines para habilitar en modo local

Para permitir la manipulación local de la fuente de voltaje Matsusada REH, es necesario establecer una conexión entre dos pines específicos: el pin 10 y el pin 21. Mediante esta conexión sencilla, se habilita la salida de potencia de la fuente. La *Figura 32*, proporciona una representación visual de esta conexión.

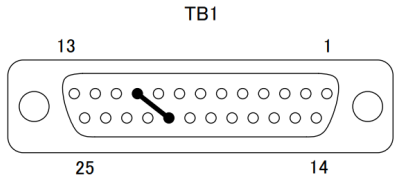


Figura 32: Conexiones entre pines para estar en modo local fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.4. Conexiones entre pines para habilitar modo remoto

Para cambiar la fuente del modo local al modo remoto, es necesario establecer las siguientes conexiones de manera jerárquica y en un orden específico.

8.1.2.2.4.1. Alimentación con una fuente de voltaje externo

El primer requisito consiste en conectar una fuente de voltaje fija de 10 voltios entre los pines 5 y 18, como se ilustra en la *Figura 33*

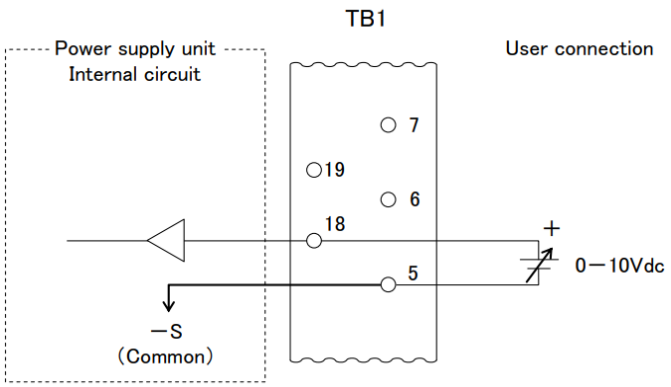


Figura 33: Alimentación necesaria para modo remoto fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.4.2. Activación modo EXT

Para el siguiente paso, es necesario realizar conexiones entre una serie de pines, lo cual activará en el tablero de la fuente un indicativo con las letras "EXT". Cuando este indicativo se activa, indica que la fuente está lista para ser programada de forma remota. El manual indica dos métodos diferentes para activar este modo, los cuales se presentarán a continuación, seguidos de un tercer método que resultó ser el más eficaz tras una serie de pruebas.

Estas configuraciones se pueden llevar a cabo mediante señales TTL o mediante el uso de un relé externo que habilite y deshabilite las conexiones. En todas las conexiones, es esencial tener en cuenta las siguientes instrucciones, ya sea al utilizar una señal TTL o un relé externo:

- TTL LOW = (Voltage, Current or OVP) setting: remote mode
- TTL HIGH = (Voltage, Current or OVP) setting. local mode
- External relay CLOSED = (Voltage, Current or OVP) setting: remote mode
- External relay OPEN = (Voltage, Current or OVP) setting. local mode

En la *Figura 34*, se puede observar el método número 1 para configurar el OVP, la corriente y el voltaje en modo de programación remota.

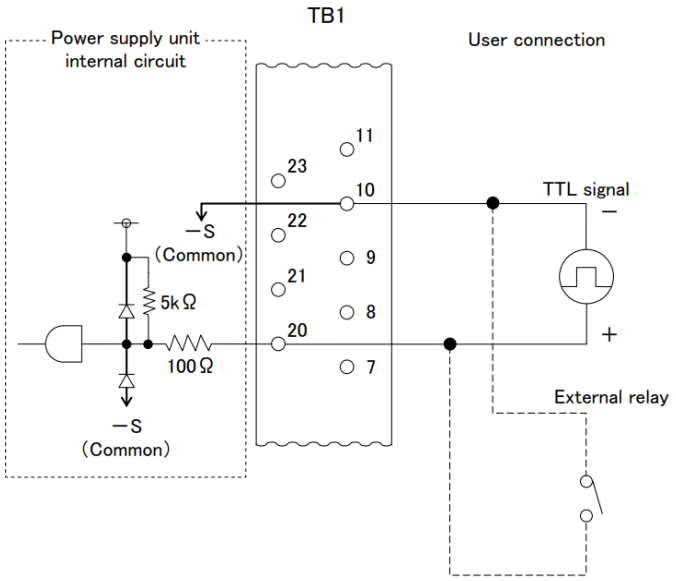


Figura 34: Configurar el OVP, la corriente y el voltaje en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En las *Figuras 35, 36 y 37,* se puede observar el método número 2 para configurar el OVP, la corriente y el voltaje en modo de programación remota de forma individual, cada una con un pin diferente. Este segundo método es necesario en el caso de que se desee programar de forma remota solo uno de los parámetros, es decir, tener control del voltaje de forma remota mientras que la corriente se maneja de forma local, o viceversa.

En primera instancia, está la configuración del voltaje en modo de programación remota exhibida en la *Figura 35.*

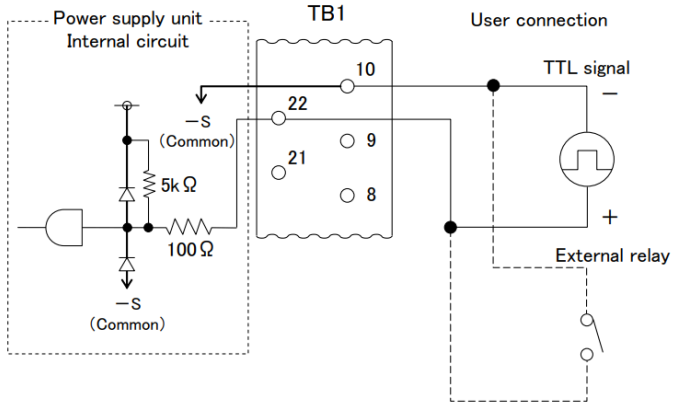


Figura 35: Configuración del voltaje en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En segunda instancia, está la configuración de la corriente en modo de programación remota plasmada en la *Figura 36.*

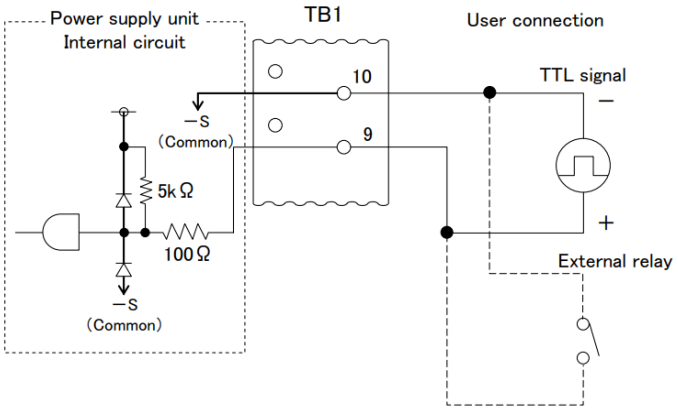


Figura 36: Configuración de la corriente en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En tercera instancia, está la configuración del OVP en modo de programación remota, la cual se puede visualizar en la *Figura 37.*

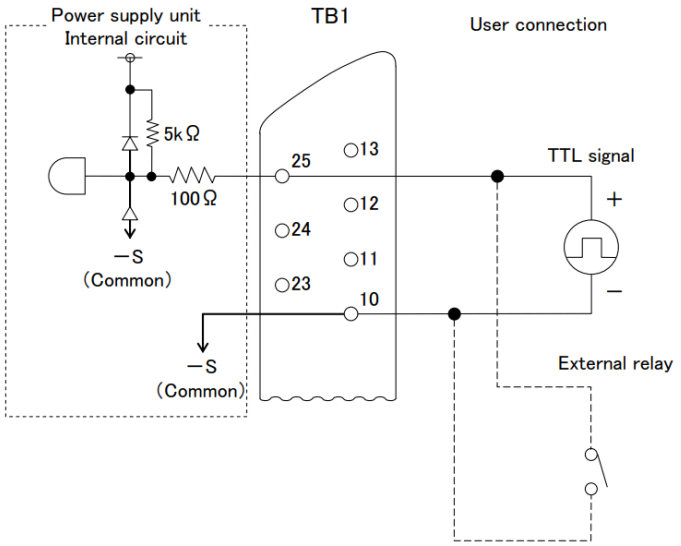


Figura 37: Configuración del OVP en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

El último método, que demostró ser el más eficaz para activar el modo remoto, implica la unión de los pines 9, 20 y 22 en un solo nodo. Este nodo puede estar conectado a un relé externo o a una señal TTL, similar a los métodos anteriores. La *Figura 38,* representa de forma gráfica la conexión necesaria.

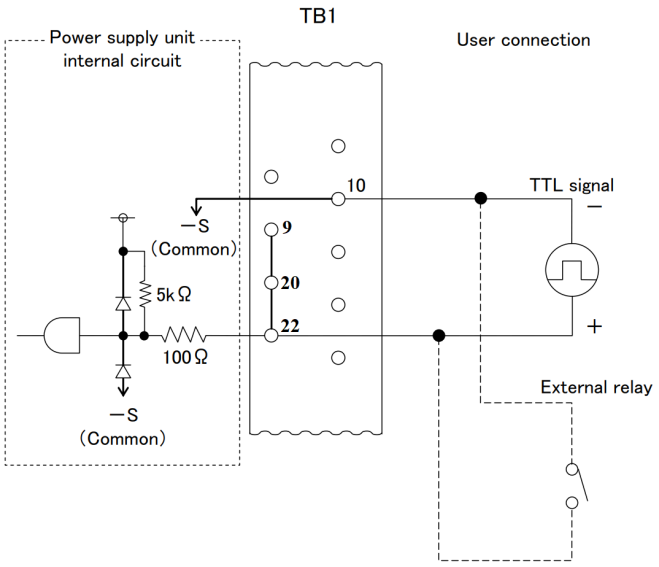


Figura 38: Tercer método configurar el OVP, la corriente y el voltaje en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.4.3. Activación del método de variación de parámetros.

En este momento, es necesario configurar cualquiera de los dos métodos previamente mencionados para ajustar los parámetros de voltaje y corriente de la fuente, ya sea mediante señales de voltaje o de resistencia, como se detalló anteriormente.

8.1.2.2.4.4. Activación del output

Se debe realizar la conexión entre los pines 10 y 21 para activar la salida de la fuente según lo establecido en el paso anterior. Para activar o desactivar la salida de la fuente, se ofrece la opción de utilizar una señal TTL o un relé externo. Cuando la salida esté desactivada, se mostrará la señal "LD" en el panel frontal. Al activar la salida, esta señal desaparecerá, indicando que el interruptor remoto está encendido. La *Figura 39*, ilustra la conexión necesaria.

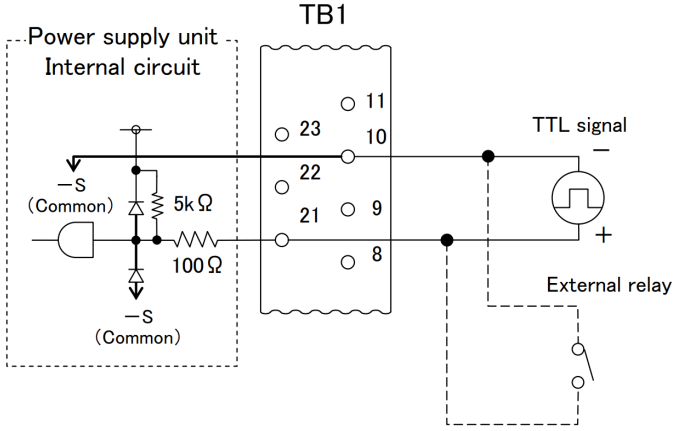


Figura 39: activación del output en modo de programación remota fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.5. Monitoreo de los parámetros de salida

Entre los pines 3, 5 y 15 se ubica una señal de salida que varía entre 0 y 10 voltios, funcionando como una señal de monitoreo para el voltaje y la corriente presentes en la salida de la fuente. La conexión esencial para la lectura de estas señales de monitoreo, junto con la posición del interruptor SW1-8, se presenta en la *Figura 40*.

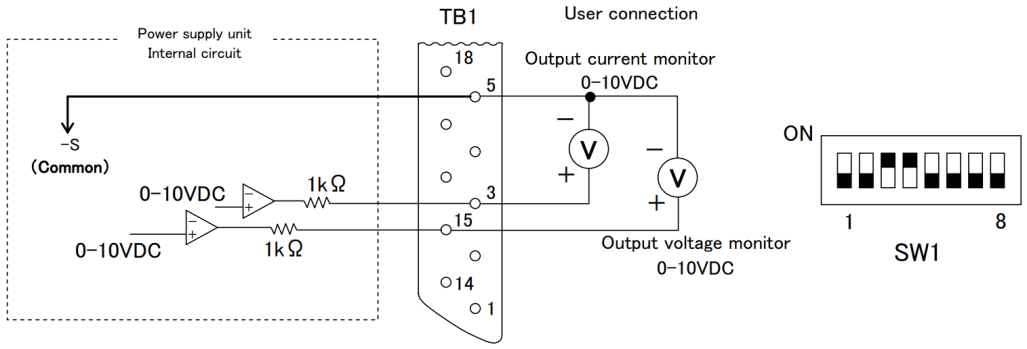


Figura 40: Pines para el monitoreo de los parámetros de salida fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.6. Señales para verificar el estado de salida de la fuente.

La fuente dispone de tres pines destinados a la verificación del estado de la salida, abordando aspectos como fallas, cortocircuitos, aumentos de temperatura y el estado general de la salida (encendido/apagado). En la *Tabla 1,* se detallan los pines correspondientes y sus respectivos elementos asociados.

Items		TB1 connector pin	
		Output	Common
⚠ Status output CAUTION (open-collector output) Use according to the following conditions: Resistance to voltage : 30V Sink current : 50mA or less	CV	13	6
	CC	12	
	FLT (OVP OTP (over-temperature protection) AC fault (AC voltage drop))	11	

Tabla 11: Señales para verificar el estado de salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

En la *Figura 41,* se pueden observar las recomendaciones de conexión destinadas a verificar los estados de la fuente.

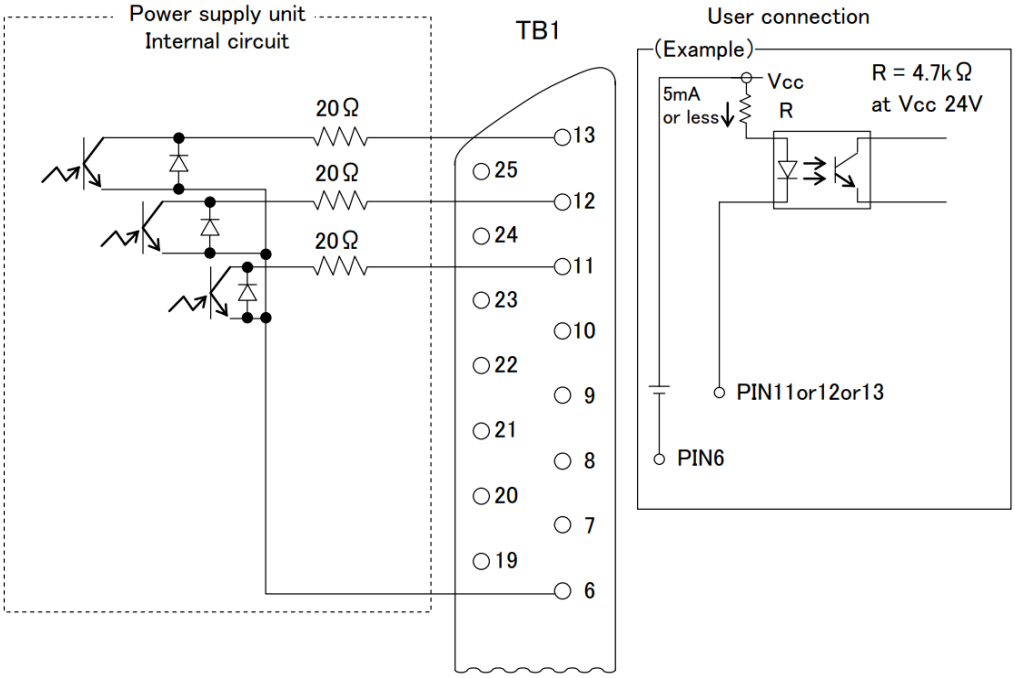
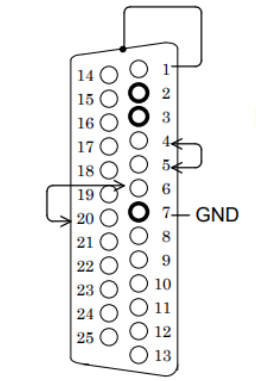


Figura 41: Conexiones señales para verificar el estado de salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) [13].

8.1.2.2.7. Programación remota mediante comunicación RS-232C y RS-485

En el segundo manual mencionado anteriormente se indica la forma de programar remotamente la fuente mediante dos tipos de comunicación:RS-232C y RS-485, las cuales se muestran en la *Figura 42 y 43*, tomadas del manual.

Comunicación RS-232C



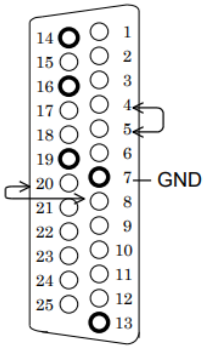
GPNET opt-23s pin assignment
(D-Sub25 pin MALE)

Pin 4 and 5, 6 and 20 are tied together inside.

Pin # \ Data Direction	Change Switch	
	DTE	DCE
2	RxD (input)	TxD (output)
3	TxD (output)	RxD (input)
7	GND	

Figura 42: Comunicación RS-232C fuente Matsusada RE/REF/R [13].

Comunicación RS-485



Pin 4 and 5, 8 and 20 are tied together inside.

Pin #	Data direction
13	TxD+ (output)
14	TxD- (output)
16	RxD+ (input)
19	RxD- (input)
7	GND

GPNET opt-485 pin assignment
(D-Sub 25 pin MALE)

Figura 43: Comunicación RS-485 fuente Matsusada RE/REF/R [13].

Los métodos de comunicación poseen características específicas que se encuentran detalladas en la *Tabla 12*.

Baud Rate	:	asynchronous 9600 [bps] (fixed)
Data Length	:	8 [bit]
Stop Bit	:	1 [bit]
Parity	:	None
Flow control	:	None

Tabla 12: características Comunicación fuente Matsusada RE/REF/R [13].

La programación sigue la siguiente sintaxis. En el ejemplo de la *Figura 44*, se realiza la configuración del equipo para alcanzar el voltaje máximo.

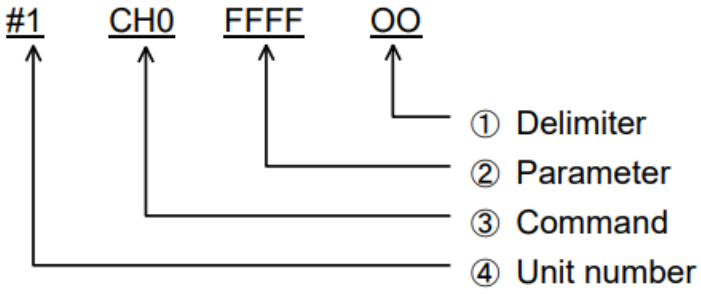


Figura 44: sintaxis de programación para comunicación fuente Matsusada RE/REF/R [13].

8.1.3. Pruebas iniciales con equipo de laboratorio

En esta fase, después de analizar detenidamente los manuales, se llevaron a cabo pruebas para verificar la correcta manipulación de las fuentes siguiendo las indicaciones albergadas en los manuales. De esta manera, se llegó a la conclusión de cuál método sería el más óptimo para alcanzar los resultados requeridos en la empresa. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada fuente.

8.1.3.1. Fuente Lambda EMS 20-250

En la fuente de corriente Lambda EMS 20-250, se decidió realizar pruebas con los dos primeros métodos: control mediante una resistencia externa y mediante un voltaje externo, siguiendo los patrones de conexión previamente revisados en los manuales.

8.1.3.1.1. Prueba control mediante Resistencia

La primera prueba, utilizando variación de resistencia, se llevó a cabo mediante dos potenciómetros: uno de 5k ohmios y otro de 100 ohmios, para ajustar el voltaje y la corriente respectivamente. En la *Figura 45*, se muestra la configuración realizada en la fuente.

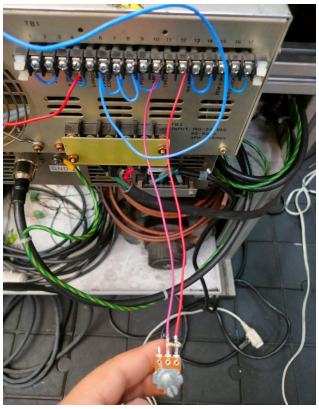


Figura 45: Prueba de control mediante Resistencia fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

Con este método, la fuente demostró una variación efectiva en sus parámetros. La salida de la fuente respondió adecuadamente a los ajustes realizados con los potenciómetros.

8.1.3.1.2. Prueba control mediante Voltaje

Para la segunda prueba, se emplearon dos fuentes de voltaje variable con la intención de ajustar el voltaje de 0 a 10 voltios, con el propósito de variar tanto el voltaje como la corriente de la fuente, conforme a las indicaciones del manual. En la *Figura 46*, se muestra la conexión utilizada para esta prueba.

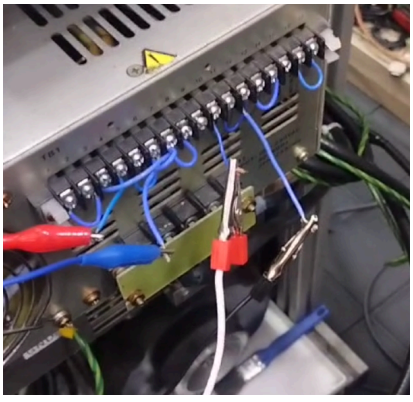


Figura 46: Prueba de control mediante voltaje para la fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

Mediante este segundo método, se obtuvieron resultados ineficientes, ya que la fuente no se comportó conforme a las indicaciones del manual. Al cambiar el voltaje de la fuente variable a 1V para ajustar la corriente de salida de la fuente Lambda, la corriente experimentó un salto significativo, alcanzando el valor máximo de 250 amperios. Al reducir la escala a 100mV, que es el valor mínimo proporcionado por la fuente de voltaje variable, la corriente de salida de la fuente de corriente Lambda superó los 100 amperios. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que la resolución de control es muy baja y se necesitaba una precisión alta. Este resultado indica que la fuente de corriente no está funcionando acorde a lo que indica el manual, ya que los rangos de voltaje para el control de los parámetros de la fuente no coinciden.

8.1.3.1.3. Control carga de salida On/Off

Finalmente, se decidió activar y desactivar la salida de potencia de la fuente mediante la colocación de un relé entre la conexión de los pines 16 y 17. Al controlar la conexión entre ambos pines, se logra cambiar el estado de la salida de fuente (ON/OFF). En la *Figura 47,* se puede observar la asignación del Relé.

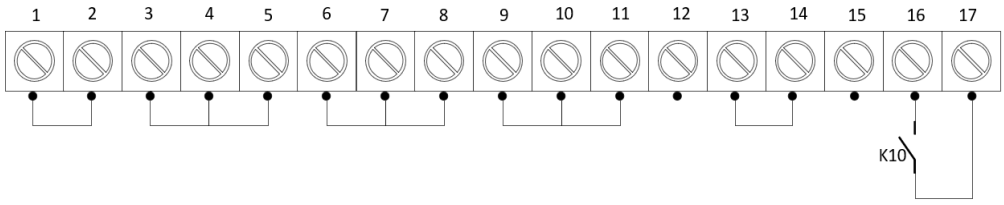


Figura 47: Control carga de salida On/Off mediante relé fuente Lambda EMS 20-250 [13].

8.1.3.2. Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C)

En la fuente de voltaje Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), se optó por llevar a cabo pruebas con los tres métodos disponibles: control mediante comunicación RS-232, resistencia externa y voltaje externo. Estas pruebas se realizaron siguiendo los patrones de conexión previamente revisados en los manuales correspondientes.

Para facilitar la realización de las pruebas, se empleó un cable DB25, similar al que se ilustra en la *Figura 48*.



Figura 48: cable DB25 [36].

8.1.3.2.1. Prueba de control mediante comunicación RS-232

En este paso, se empleó un Módulo Conversor Adaptador Serial USB TTL CP2102 Arduino Pic, el cual se conecta a un PC a través de USB. Simultáneamente, los pines utilizados en la comunicación RS-232 (TX, RX, Ground) se conectaron a la fuente en sus respectivos pines designados. La *Figura 49*, ilustra el módulo conversor utilizado en esta configuración.



Figura 49: Módulo Conversor Adaptador Serial USB TTL CP2102 Arduino Pic [37].

La comunicación se llevó a cabo utilizando el programa Hercules Setup Utility 3.2.8, el cual fue configurado según las especificaciones de comunicación previamente mencionadas en el manual: una velocidad de 9600 Baudios, 8 bits en el tamaño de datos y sin paridad. La *Figura 50*, Presenta tanto el programa utilizado como la configuración establecida.

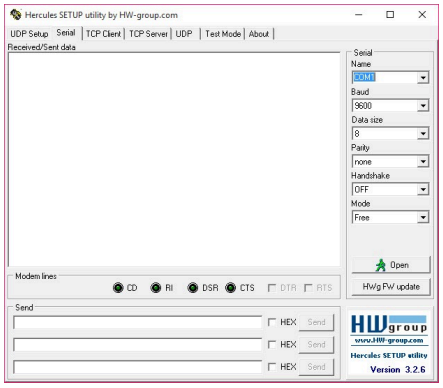


Figura 50: Programa Hercules Setup Utility 3.2.8, Fuente Autores.

Después de realizar diversas pruebas y seguir meticulosamente las instrucciones detalladas en el manual, no fue posible establecer ningún tipo de comunicación con la fuente, ya sea en el envío o la recepción de datos. Se llevaron a cabo pruebas variando la velocidad de la comunicación y se descartaron posibles problemas que podrían haber surgido. Como conclusión, se determinó que para lograr la comunicación con el equipo, sería necesario adquirir el dispositivo específico de la misma marca diseñado exclusivamente para esa tarea de conexión remota, el cual se presenta en la *Figura 51*.

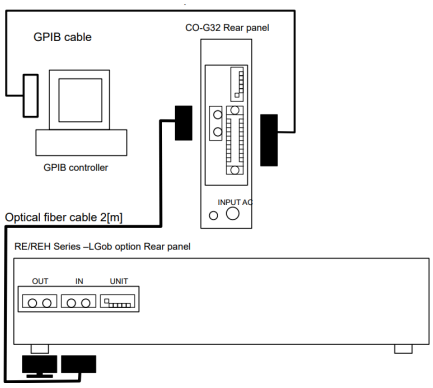


Figura 51: CO-G32 Rear panel [13].

8.1.3.2.2. Prueba de Control mediante Resistencia

En la segunda prueba, donde se exploró la variación de los parámetros mediante resistencia, se utilizaron dos potenciómetros de 10k ohmios. Estos se emplearon para ajustar tanto el voltaje como la corriente.

Un extremo del cable DB-25 se conectó al puerto DB-25 de la fuente, mientras que en el otro extremo se retiró el conector para extraer los cables. Estos cables se posicionaron en una protoboard para realizar las conexiones necesarias, según se indicaba en los pasos anteriores para cambiar del modo local al modo remoto, incluyendo la conexión de los potenciómetros. La *Figura 52*, muestra la configuración utilizada para controlar la salida de la fuente mediante un potenciómetro.

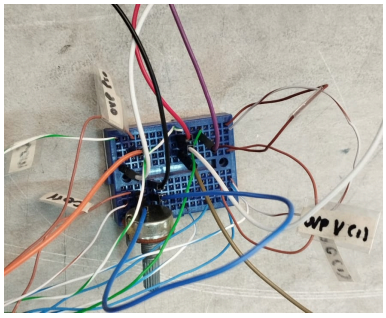


Figura 52: Prueba de Control mediante Resistencia fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

Con este método, la fuente demostró una variación efectiva en sus parámetros. La salida de la fuente respondió adecuadamente a los ajustes realizados con los potenciómetros.

8.1.3.2.3. Prueba de Control mediante Voltaje

Para la segunda prueba, se emplearon dos fuentes de voltaje variable con la intención de ajustar el voltaje de 0 a 10 voltios, con el propósito de variar tanto el voltaje como la corriente de la fuente, conforme a las indicaciones del manual.

Un extremo del cable DB-25 se conectó al puerto DB-25 de la fuente, mientras que en el otro extremo se retiró el conector para extraer los cables. Estos cables se posicionaron en una protoboard para realizar las conexiones necesarias, según se indicaba en los pasos anteriores para cambiar del modo local al modo remoto, incluyendo la conexión de las fuentes de voltaje. La *Figura 53* muestra la configuración utilizada para controlar la salida de la fuente mediante fuentes de voltaje.

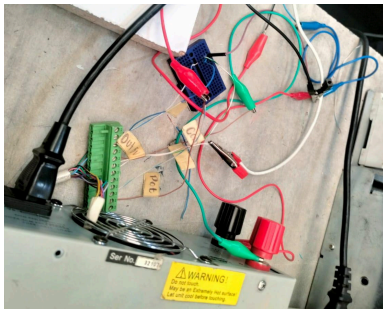


Figura 53: Prueba de Control mediante Voltaje fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

Mediante este segundo método, se obtuvieron resultados eficientes, la fuente se comportó conforme a las indicaciones del manual.

8.1.4. Fase de Selección de Hardware

En la búsqueda del equipo esencial para el control de las fuentes, se tomó la decisión de realizar la variación mediante resistencia luego de realizar las pruebas de variación de parámetros con las fuentes. Se identificó que la fuente de corriente Lambda EMS 20-250 presentaba dificultades al intentar manipularla mediante voltaje. Para la variación de los valores de la resistencia de forma digital, se seleccionaron los potenciómetros digitales de la serie X9C102 y X9C103, con valores de 1k ohm y 10k ohm respectivamente. Estos potenciómetros operan mediante pulsos de subida y bajada, y su PinOut se puede observar en la *Figura 54*.

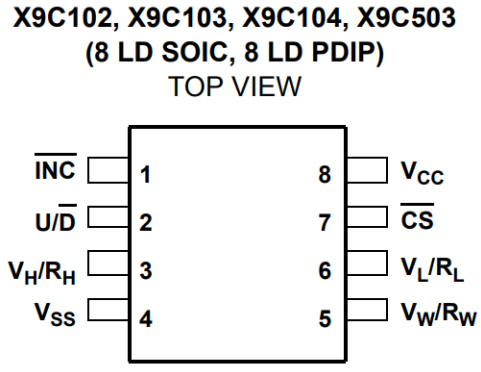


Figura 54: PinOut potenciómetro digital serie X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 [38].

A continuación, se debe proceder con la manipulación e intercambio en las conexiones de los pines para cambiar del modo remoto al modo manual. En este contexto, se sugiere

emplear un módulo de relés con optoacopladores de 5V, diseñado para una fácil integración con un microcontrolador. El módulo seleccionado para esta tarea se presenta en la *Figura 55*.

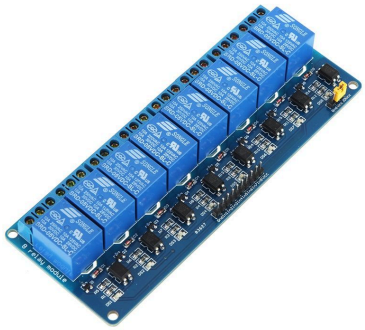


Figura 55: módulo de relés con optoacopladores de 5V. [39]

Con los dos componentes mencionados previamente establecidos, el siguiente paso consiste en seleccionar el microcontrolador adecuado para la parte del control lógico del sistema. En este contexto, se ha considerado la opción de utilizar la Tarjeta ESP-32 con CPU de 32 bits. Esta tarjeta ofrece 32 entradas/salidas digitales, así como pines que pueden ser utilizados como DAC y ADC. Además, se puede programar a través de Python con implementación en MicroPython. Estas características hacen de la Tarjeta ESP32 una opción apta para cumplir con los requerimientos del proyecto. En la *Figura 56*, se visualiza una imagen de la tarjeta.

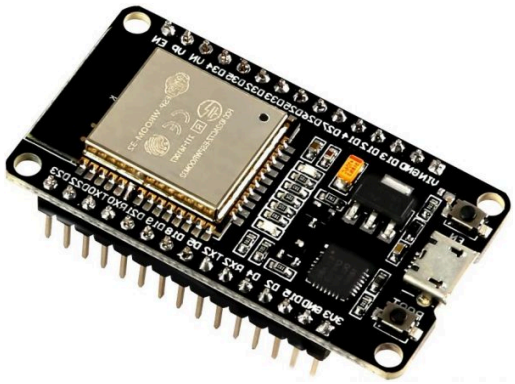


Figura 56: Tarjeta ESP-32 [40]

8.1.5. Fase de Pruebas de Hardware

En esta fase, resultó crucial comprender el funcionamiento del potenciómetro digital para su implementación en el sistema de control de las fuentes. Un aspecto destacado de este componente es su capacidad para ofrecer hasta 100 variaciones de resistencias, denominadas pasos. En el caso del potenciómetro de la serie X9C102, su rango abarca de 0 a 1k ohm, con 100 pasos, cada uno con una diferencia de 10 ohmios. Por otro lado, el potenciómetro de la serie X9C103 tiene un rango de 0 a 10k ohm, con pasos de 100 ohmios. La manipulación de estos pasos, ya sea de incremento o decremento, se realiza a través del Pin 1 del integrado mediante pulsos, donde cada pulso representa un paso. La dirección del incremento o decremento está determinada por la señal presente en el Pin 2 del integrado, que puede ser 1 o 0.

Como se exhibe en la *Figura 57*, se realizaron pruebas iniciales con los potenciómetros, controlándolos mediante la programación de la ESP-32. Este paso inicial permitió validar la comunicación y correcto funcionamiento de los potenciómetros en el contexto del sistema de control.



Figura 57: Pruebas de potenciómetro digital , Fuente Autores.

En la *Figura 58*, se presenta el montaje realizado para el funcionamiento del potenciómetro digital controlado con la ESP32.

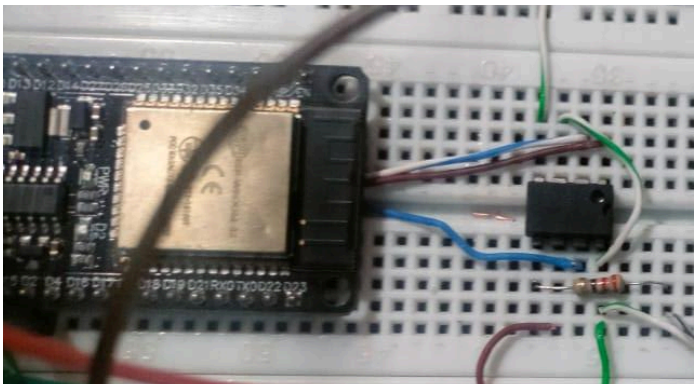


Figura 58: Montaje potenciómetro digital con ESP32, Fuente Autores.

Después de verificar el correcto funcionamiento del potenciómetro, se procedió a realizar pruebas e implementarlos en las fuentes. Para la fuente de corriente Lambda EMS 20-250, se ubicaron dos potenciómetros de la serie X9C102, destinados a ajustar tanto el voltaje como la corriente de la fuente. Se observó una variación fluida de los parámetros de la fuente al cambiar la resistencia del potenciómetro digital, logrando una variación de 0 a 110 amperios sin dificultades, cumpliendo con los requerimientos de la empresa.

En cuanto a la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), se necesitaron dos potenciómetros de la serie X9C102 y dos de la serie X9C103, uno de cada serie para cada parámetro de la fuente (voltaje y corriente). Fue necesario poner en serie dos potenciómetros, de 1k ohm y 10k ohm, respectivamente, para aumentar la resolución de la impedancia total a la que se someterán los pines dedicados a la variación de voltaje y corriente de la fuente. Esta configuración permitió un manejo adecuado de la fuente,

considerando su amplio rango de voltaje de 0 a 1000 voltios. Las pruebas demostraron un control eficiente de la fuente con esta configuración.

8.1.6. Fase Pruebas de Monitoreo

Con el objetivo de obtener datos de monitoreo del output de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), se implementó la lectura de dos señales de salida presente en el conector DB-25, las cuales oscilan entre 0 y 10V. Después de confirmar el correcto funcionamiento en la variación de parámetros de la fuente, se avanzó a esta fase para establecer un control inteligente, evitar riesgos y daños potenciales, y utilizar la fuente de manera óptima. Esta fase consta de dos pasos: la lectura de los pines dedicados al monitoreo de la corriente y el voltaje de salida, y la lectura de las señales que indican el estado actual de la fuente.

8.1.6.1. Monitoreo de la salida de corriente y voltaje de la fuente

La fuente de voltaje Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) dispone de 3 pines para el monitoreo de la salida de corriente y voltaje. El Pin 5 actúa como común, mientras que los pines 3 y 15 transmiten señales analógicas que varían en un rango de 0 a 10 voltios para representar los valores de salida de la corriente y el voltaje, respectivamente.

Ambas salidas de monitoreo se conectaron a un multímetro para registrar los valores y determinar la relación entre las señales de monitoreo con los valores de salida de la fuente. El objetivo era analizar la linealidad de la relación y derivar la ecuación que permitiría trabajar con estas salidas como variables. En la *Tabla 13*, se presentan los datos de 33 muestras obtenidas en la señal de monitoreo del voltaje y su relación con el voltaje de salida de la fuente.

MONITOREO SALIDA DE VOLTAJE		
Muestra	VOLTAJE (voltios)	
	SALIDA MONITOR	SALIDA FUENTE
1	0,00	0
2	0,10	10
3	0,20	20
4	0,30	30
5	0,40	40
6	0,50	50
7	0,60	60
8	0,70	70
9	0,80	80
10	0,90	90
11	1,00	100
12	1,10	110
13	1,20	120
14	1,40	140
15	1,80	180
16	2,10	210
17	2,30	230
18	2,80	280
19	3,60	360
20	3,90	390
21	4,00	400
22	4,30	430
23	5,10	510
24	5,50	550
25	6,00	600
26	6,60	660
27	7,10	710
28	8,10	810
29	8,60	860
30	9,10	910
31	9,30	930
32	9,70	970
33	10,00	1000

Tabla 13: Datos señales de voltaje de monitoreo Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

Después de recopilar los datos, se procedió a graficarlos para determinar el tipo de función y así poder generar la ecuación de la recta. En este caso, se identificó que la gráfica representa una función lineal, cuya ecuación es y = 100X+2E-13. Esta conclusión se puede verificar en la *Figura 59*.

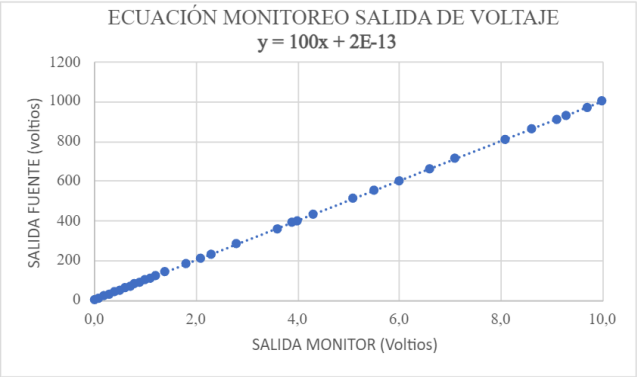


Figura 59: Gráfica y ecuación de la recta del monitoreo salida de voltaje fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

La señal de monitoreo de la salida de corriente se mantuvo en un nivel de 0 unidades debido a la falta de conexión de carga en la Fuente Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C). Sin embargo, al conocer el comportamiento de la señal de monitoreo de voltaje, es plausible aplicar la misma fórmula o metodología para estimar la señal de monitoreo de corriente.

8.1.6.2. Monitoreo estados de la fuente

La fuente de voltaje Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) cuenta con 4 pines dedicados a conocer el estado de la fuente, como la presencia de fallas o variaciones en la corriente y el voltaje. El Pin 6 actúa como común, mientras que el Pin 13 indica el estado de CV, el Pin 12 señala el estado de CC y el Pin 11 indica el estado FLT. Lamentablemente, tras realizar varias pruebas, no se observaron cambios o variaciones en los estados de estos pines. No respondieron a los cambios de estado de la fuente, por lo que fue necesario descartar su uso en la implementación.

8.1.7. Fase de Realimentación y Replanteamiento

Después de completar los pasos anteriores, se llevó a cabo una presentación de resultados ante el jefe del área de servicios. Durante esta presentación, se proporcionó retroalimentación para identificar los aspectos positivos y los avances logrados hasta el momento, así como para detectar los aspectos negativos y buscar soluciones para evitar posibles problemas en el futuro. Tras esta evaluación, se llegó a la conclusión de que el hardware utilizado hasta ese momento no era adecuado para entornos industriales. Aunque resultó útil para las pruebas iniciales, no era una opción viable para la entrega del producto final.

Por lo tanto, se decidió replantear tanto el hardware como el software utilizados. Para satisfacer las necesidades industriales de la empresa, se acordó utilizar un PLC de la serie ctrl X CORE de la marca Bosch Rexroth, con interfaz HMI de WEB IQ. Este PLC cuenta con módulos de salida de voltaje analógico de -10V a 10V con una resolución de hasta 13

bits, lo que lo convierte en el equipo ideal para controlar las fuentes mediante voltaje, gracias a su alta resolución. Además, cuenta con módulos de lectura de voltaje analógico de 0 a 10 voltios, perfectos para la lectura de los pines de monitoreo de la Fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C). También dispone de módulos de salida capaces de controlar relés, lo que facilita la configuración del cableado de los pines de las fuentes.

Considerando estas características, el replanteamiento del software y hardware resultaría beneficioso para la entrega de un sistema óptimo e industrial, capaz de satisfacer las necesidades de la empresa.

8.2. Desarrollo del sistema remoto de automatización para las fuentes

En esta sección se aborda exhaustivamente el diseño y desarrollo del sistema remoto de automatización, incluyendo la descripción de los equipos empleados y sus funciones dentro del sistema, su comportamiento durante el control de las fuentes, la elaboración de planos y esquemáticos, la programación para el control de los dispositivos, la creación de la interfaz HMI y el proceso de montaje del Banco de control. La *Figura 60* proporciona una representación visual de los bloques que conforman el desarrollo del sistema remoto de automatización.

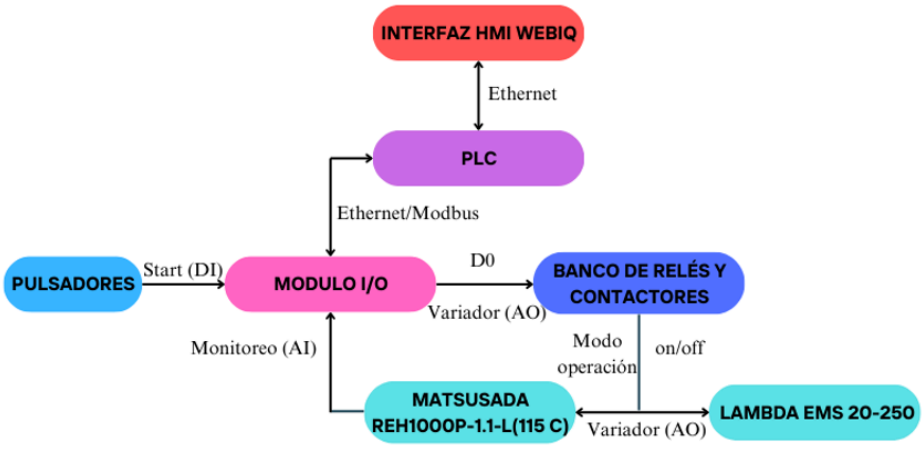


Figura 60: Bloques que conforman el sistema remoto de automatización, Fuente autores.

A continuación se describen las fases que permitieron el desarrollo de estos bloques.

8.2.1. Fase de Implementación de Nuevos Equipos

Después de replantear el proyecto, se procedió a adquirir los dispositivos y componentes necesarios. A continuación, se dan detalles de los equipos utilizados en el sistema remoto de automatización y sus funciones en el sistema.

8.2.1.1. Función PLC

El PLC de la serie ctrl X CORE de Bosch Rexroth [16] es el dispositivo principal, robusto y capaz de interactuar con diferentes interfaces y módulos, siendo crucial para el desarrollo del proyecto.

8.2.1.2. Función Modulos

- El Módulo Bus Coupler IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC [17] actúa como puente de comunicación entre los módulos y el PLC.
- Los módulos de salida digital R-IB IL 24 DO 16 (-2MBD)-PAC [18] activan los relés 41 F - 024-10.
- El Módulo de Entradas Digitales R-IB IL 24 DI 16-PAC [19] lee el estado de los pulsadores y el botón de emergencia.
- Los módulos de salidas análogicas R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC [20] y R-IB IL AO 2/U/BP-PAC [21] permiten la variación de parámetros de las fuentes.
- El Módulo de Entradas Análogas R-IB IL AI 8/SF(-2 MBD)-PAC [22] lee las señales de monitoreo de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C).

8.2.1.3. Función Breaker, Relés y Contactores

- El breaker NB1 - 63 C32 [24] corta la corriente eléctrica en caso de superar un umbral predefinido.
- Los relés 41 F - 024-10 [25] se utilizan para las conexiones de las fuentes y para activar contactores.
- Para controlar el funcionamiento de las fuentes en cada etapa del proceso, se requiere un dispositivo que pueda encender y apagar la corriente. En este caso, se optó por utilizar contactores NC1 - 1810 [26], diseñados para operar con un voltaje de activación de 220 voltios. Cuentan con una capacidad de hasta 25A y 240V, los suficiente para alimentar las fuentes.

8.2.1.4. Funcionamiento pulsadores y botón de emergencia

Se propuso utilizar dos pulsadores Normally Open (NA) para activar la carga de salida de las fuentes eléctricas, garantizando la seguridad del operario. El sistema requiere que el operario presione ambos pulsadores con cada mano para activar la fuente seleccionada, evitando así posibles accidentes por error humano. Además, se implementa un botón de parada de emergencia para detener el sistema en caso de una situación imprevista *[27]*.

8.2.1.5. Funcionamiento Fuente 24V

Una fuente de 24V a 10A alimenta el PLC, el convertidor Moxa, los módulos y los relés.

8.2.1.6. Función Selector 2 posiciones

El selector de dos posiciones interrumpe el paso del voltaje a la placa de control, conectándose desde la clavija industrial de 220VAC al breaker del tablero.

8.2.1.7. Terminales Industriales de 6 pines

Se emplea el terminal hembra y macho [29] para conectar las salidas de potencia de las fuentes. Cada pin puede soportar hasta 16 amperios, lo que permite distribuir la carga entre los pines. Esto facilita el uso tanto de la fuente Lambda EMS 20-250 como de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C) sin ningún problema. El terminal hembra está integrado en el banco, mientras que el conector macho se encuentra conectado a un cable diseñado para diversas pruebas.

8.2.1.8. Clavija Industrial 220 VAC

Una clavija industrial de 220 VAC [30] de 4 pines, capaz de soportar 30A a 220/320V, alimenta todo el sistema.

8.2.2. Fase Prueba de Programación del PLC

Durante la adquisición del PLC y los módulos, se realizaron pruebas adicionales con las fuentes. El objetivo principal fue la programación remota de los parámetros de las fuentes mediante el PLC y un módulo de salidas analógicas. En el caso específico de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C), se buscó leer sus señales de monitoreo de los parámetros de salida utilizando un módulo de entradas analógicas.

Para lograr la variación del módulo de salidas analógicas, se empleó el programa ctrlX PLC Engineering. A continuación, se muestra el código donde se realizó la asignación de las variables de lectura-escritura:

```
// Señales_Analógicas
fbAnalogSignals(
   wChannelCmdSent := %IW10,
   wChannelValue := %IW12,
   rCmdAO_0 := HMI.rFuenteCorrientePar_1,
   rCmdAO_1 := HMI.rFuenteCorrientePar_2,
   rCmdAO_2 := HMI.rFuenteVoltajePar_1,
   rCmdAO_3 := HMI.rFuenteVoltajePar_2,
   bError => bErrorAnalog,
   strMessageStatus => sStatusAnalog,
   wChannelCmd2Send => %QW2,
   wChannelConfig => %QW5,
   wSetAO_0 => %QW6,
   wSetAO_1 => %QW8,
   wSetAO_2 => %QW10,
   wSetAO_3 => %QW12,
   rReadChannel_0 => HMI.rFB_FuenteCorrientePar_1,
   rReadChannel_1 => HMI.rFB_FuenteCorrientePar_2,
   rReadChannel_2 => HMI.rFB_FuenteVoltajePar_1,
   rReadChannel_3 => HMI.rFB_FuenteVoltajePar_2,
   rReadChannel_4 => ,
   rReadChannel_5 => ,
   rReadChannel_6 => ,
   rReadChannel_7 => ;
```

En la *Figura 61*, se pueden observar los equipos utilizados al momento de realizar las pruebas de programación.



Figura 61: PLC Ctrl X CORE , Fuente Autores.

8.2.2.1. Prueba Fuente Lambda EMS 20-250

Las pruebas realizadas con la fuente de corriente Lambda EMS 20-250 son exitosas. Se logra una programación remota exitosa utilizando voltaje externo gracias a la alta resolución y estabilidad del módulo de salida analógica. De este modo, se puede controlar la fuente de corriente en un rango desde 0 hasta 250 amperios.

Además, se demuestra que la información proporcionada en el manual no es completamente precisa, ya que el para controlar todo el recorrido de la fuente solo es necesario aplicar un voltaje en un rango de 0 a 500 mV. Los datos recopilados de 36 muestras se presentan en la *Tabla 14*, donde se muestran los resultados tanto de los módulos de salida analógica como de la salida de la fuente.

PROGRAMACIÓN REMOTA CON VOLTAJE EXTERNO				
MUESTRA	MÓDULO DE SALIDA ANALÓGICA		FUENTE LAMBDA EMS 20-250	
	CONTROL VOLTAJE (Porcentaje 10V)	CONTROL CORRIENTE (Porcentaje 10V)	VOLTAJE (voltios)	CORRIENTE (amperios)
1	0,035	0,035	0,1	1
2	0,053	0,053	0,1	2
3	0,075	0,075	0,1	3
4	0,095	0,095	0,1	4
5	0,115	0,115	0,1	5
6	0,135	0,135	0,1	6
7	0,155	0,155	0,1	7
8	0,175	0,175	0,1	8
9	0,195	0,195	0,1	9
10	0,215	0,215	0,1	10
11	0,315	0,315	0,1	15
12	0,408	0,408	0,2	20
13	0,578	0,578	0,3	30
14	0,75	0,75	1,4	40
15	0,920272727	0,920272727	2,964285714	50
16	1,092090909	1,092090909	3,784285714	60
17	1,178	1,178	4,194285714	65
18	1,263909091	1,263909091	4,604285714	70
19	1,435727273	1,435727273	5,424285714	80
20	1,607545455	1,607545455	6,244285714	90
21	1,779363636	1,779363636	7,064285714	100
22	1,951181818	1,951181818	7,884285714	110
23	2,123	2,123	8,704285714	120
24	2,294818182	2,294818182	9,524285714	130
25	2,466636364	2,466636364	10,34428571	140
26	2,638454545	2,638454545	11,16428571	150
27	2,810272727	2,810272727	11,98428571	160
28	2,982090909	2,982090909	12,80428571	170
29	3,153909091	3,153909091	13,62428571	180
30	3,325727273	3,325727273	14,44428571	190
31	3,497545455	3,497545455	15,26428571	200
32	3,669363636	3,669363636	16,08428571	210
33	3,841181818	3,841181818	16,90428571	220
34	4,013	4,013	17,72428571	230
35	4,184818182	4,184818182	18,54428571	240
36	4,356636364	4,356636364	19,36428571	250

Tabla 14: Datos prueba programación remota con voltaje externo con módulo Salida analógica fuente Lambda EMS 20-250 , Fuente autores.

Después de recopilar los datos, se procedió a graficarlos para determinar el tipo de función y así poder generar la ecuación de la recta. En este caso, se identificó que la gráfica representa una función lineal, cuya ecuación es y = 100X+2E-13. Esta conclusión se puede verificar en la *Figura 62*.

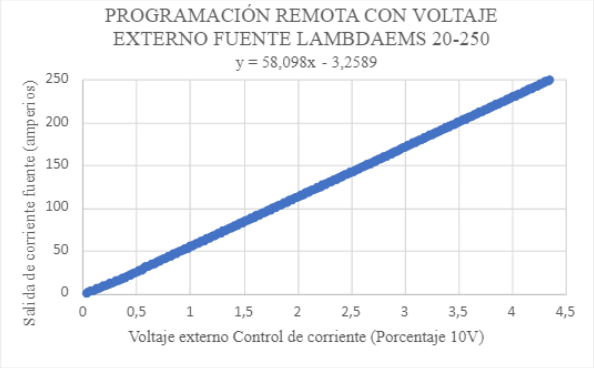


Figura 62: Gráfica y ecuación de la recta de programación remota con voltaje externo mediando módulo de salida analógica fuente Lambda EMS 20-250" , Fuente Autores.

Como se evidencia en la *Tabla 14*, la relación entre la programación remota utilizando voltaje externo para controlar tanto el voltaje como la corriente de la fuente es idéntica. Por ende, únicamente se requiere una representación gráfica y una ecuación para gestionar ambos parámetros.

8.2.2.2. Prueba Fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C).

Las pruebas realizadas en la fuente Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C) fueron exitosas, confirmando lo observado en pasos anteriores. Esta fuente no presenta ningún inconveniente al realizar la programación remota con voltaje externo. Por lo tanto, es posible controlar la salida de voltaje de la fuente en el rango de 0 a 1000 voltios utilizando el módulo de salida analógica de voltaje, que opera en un rango de salida de 0 a 10 voltios. Los datos recopilados de 33 muestras se presentan en la *Tabla 15.*

PROGRAMACIÓN REMOTA CON VOLTAJE EXTERNO		
	MÓDULO DE SALIDA ANALÓGICA	FUENTE MATSUSADA REH1000P-1.1-l(115 C).
MUESTRA	ENTRADA FUENTE (Procentaje 10V)	SALIDA VOLTAJE FUENTE (voltios)
1	0	0
2	1	10
3	2	20
4	3	30
5	4	40
6	5	50
7	6	60
8	7	70
9	8	80
10	9	90
11	10	100
12	11	110
13	12	120
14	14	140
15	18	180
16	21	210
17	23	230
18	28	280
19	36	360
20	39	390
21	40	400
22	43	430
23	51	510
24	55	550
25	60	600
26	66	660
27	71	710
28	81	810
29	86	860
30	91	910
31	93	930
32	97	970
33	100	1000

Tabla 15: Datos prueba programación remota con voltaje externo con módulo Salida analógica fuente Lambda EMS 20-250 , Fuente Autores

Dado que los dos pines de programación remota con voltaje externo de la fuente funcionan de manera idéntica y lineal, se optó por unificar los pines 1 y 2 en un solo nodo. En este nodo se inyecta el voltaje proveniente del módulo de salida analógica para controlar la salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C).

Después de recopilar los datos, se procedió a graficarlos para determinar el tipo de función y así poder generar la ecuación de la recta. En este caso, se identificó que la gráfica representa una función lineal, cuya ecuación es y = 10x. Esta conclusión se puede verificar en la *Figura 63*.

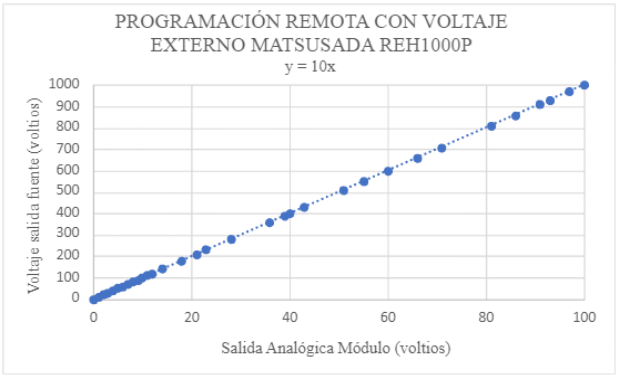


Figura 63: Gráfica y ecuación de la recta de programación remota con voltaje externo mediando módulo de salida analógica fuente Lambda EMS 20-250", Fuente Autores.

Como se mencionó anteriormente, se realizó un nodo para la variación de los parámetros de la fuente, por lo tanto, es factible utilizar la misma tabla, gráfica y ecuación para ambas señales.

8.2.3. Fase de Desarrollo de Esquemáticos y Planos

En esta fase, se empleó el programa Microsoft Visio para crear los esquemáticos y planos eléctricos de los circuitos de control y fuerza, así como el tablero de montaje y vistas del banco. Antes de elaborar los planos detallados, se realizó el diagrama de arquitectura (*Figura 64)*, que muestra de manera general las especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento del proyecto.

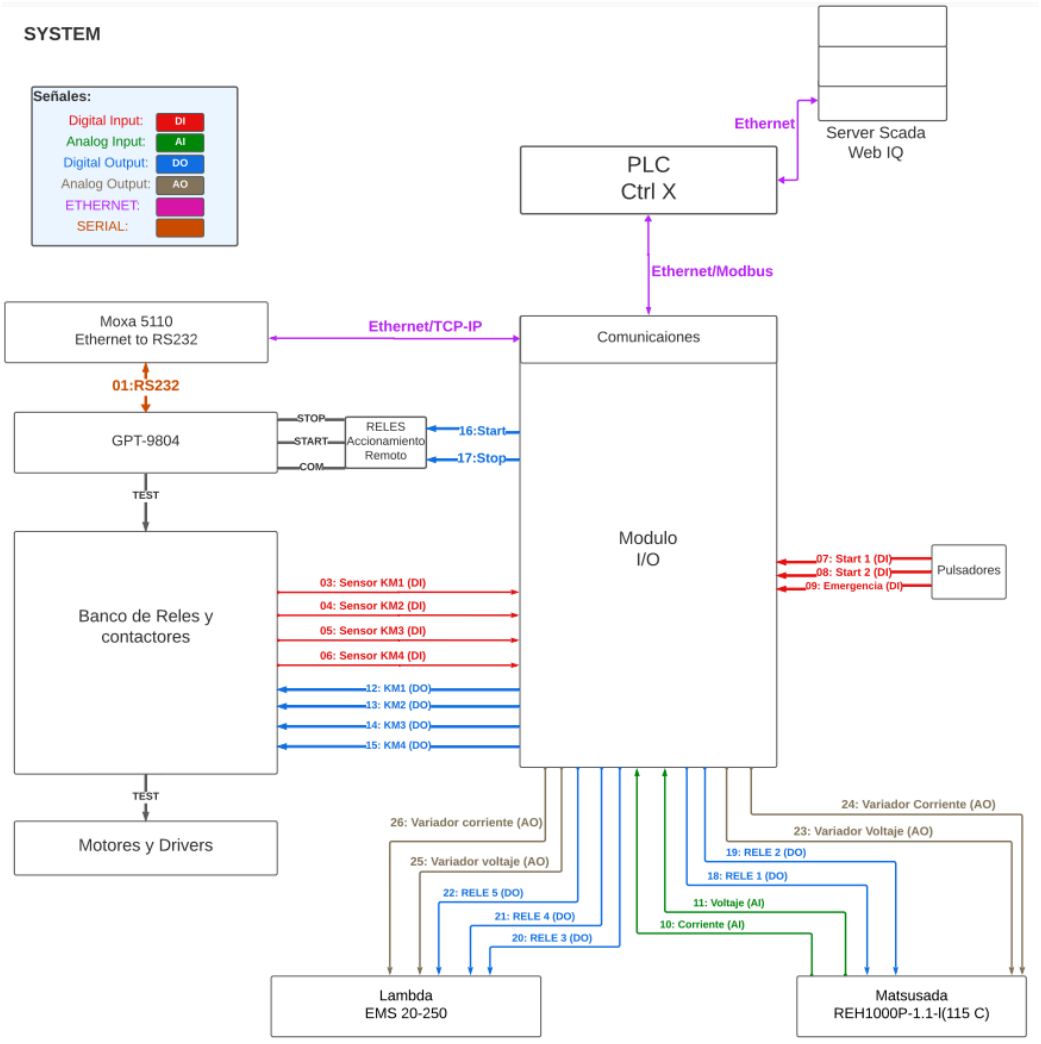


Figura 64: Diagrama de Arquitectura, Fuente Autores.

En la *Figura 65* y *Figura 66* se puede observar el plano de las perspectivas superior y lateral derecha del banco, así mismo la ubicación de los distintos elementos que hacen parte de la placa de montaje y del banco en general.

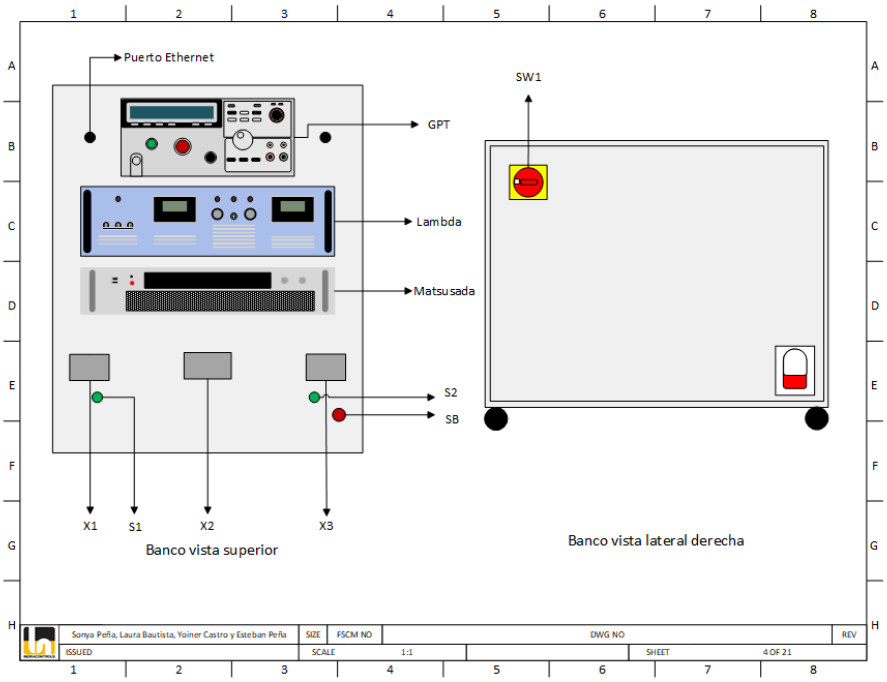


Figura 65: Vista de banco, Fuente Autores.

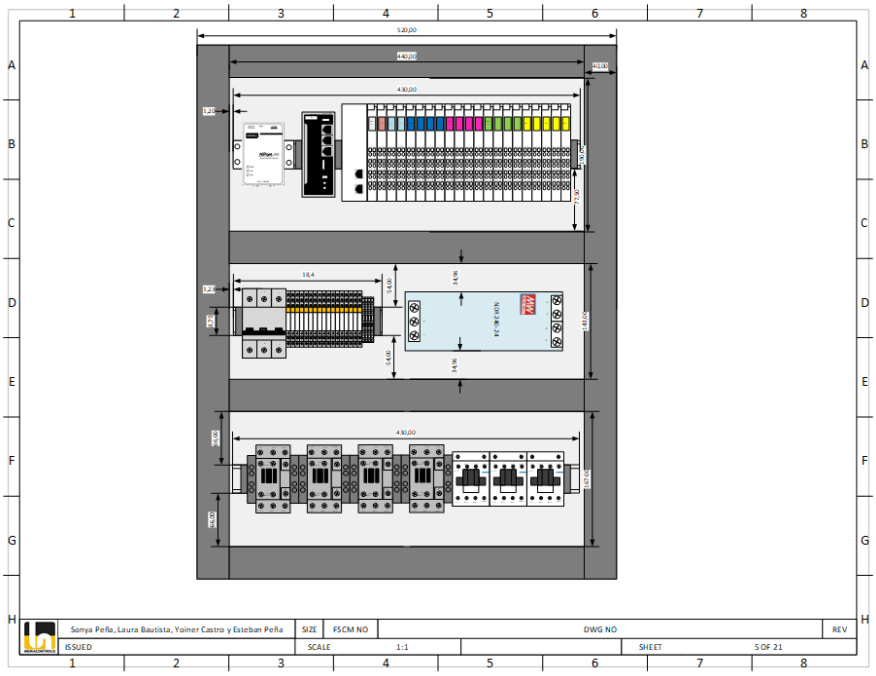


Figura 66: Tablero de montaje, Fuente Autores.

Los planos restantes de potencia, entradas y salidas se pueden observar en el *Anexo 1*.

8.2.4. Fase de Programación Final

La programación en lazo cerrado del PLC permite el control y la automatización de las dos fuentes de manera eficiente. El proceso se simplifica para una mejor comprensión, y

se proporciona un diagrama de flujo en la *Figura 67* para visualizar la estructura del programa.

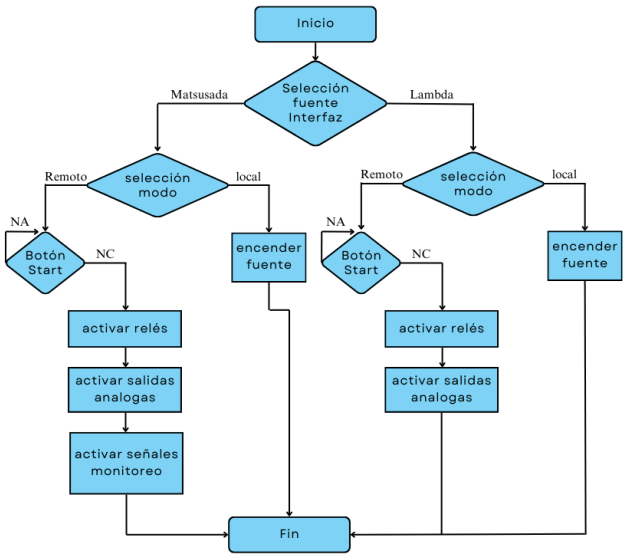


Figura 67: Diagrama de flujo , Fuente Autores.

El código realizado podrá ser encontrado en el *Anexo 2*.

8.2.5. Fase de Desarrollo de la Interfaz HMI

Mediante el entorno de programación WebIQ, se ha desarrollado una interfaz HMI (Interfaz Humano-Máquina) que se integra de manera eficiente con el programa CtrlX WORKS para el control del PLC. En este proceso, se ha creado una interfaz que vincula variables creadas en CtrlX PLC Engineering, lo que permite implementar todos los elementos necesarios para el control y monitoreo del sistema.

En la interfaz desarrollada, los usuarios tienen la capacidad de realizar diversas acciones, como seleccionar la fuente que desean utilizar (solo es posible activar una fuente a la vez), elegir entre el modo de funcionamiento local o remoto, ajustar el valor de salida de la carga en el modo remoto, activar o desactivar la carga de salida de la fuente a través de un interruptor, y en el caso específico de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C), acceder al sistema de monitoreo de la salida de la fuente.

En las *Figuras 68, 69 y 70* se plasman los diferentes espacios a los que los usuarios pueden acceder en la interfaz, lo que facilita la interacción y el control del sistema de forma intuitiva.

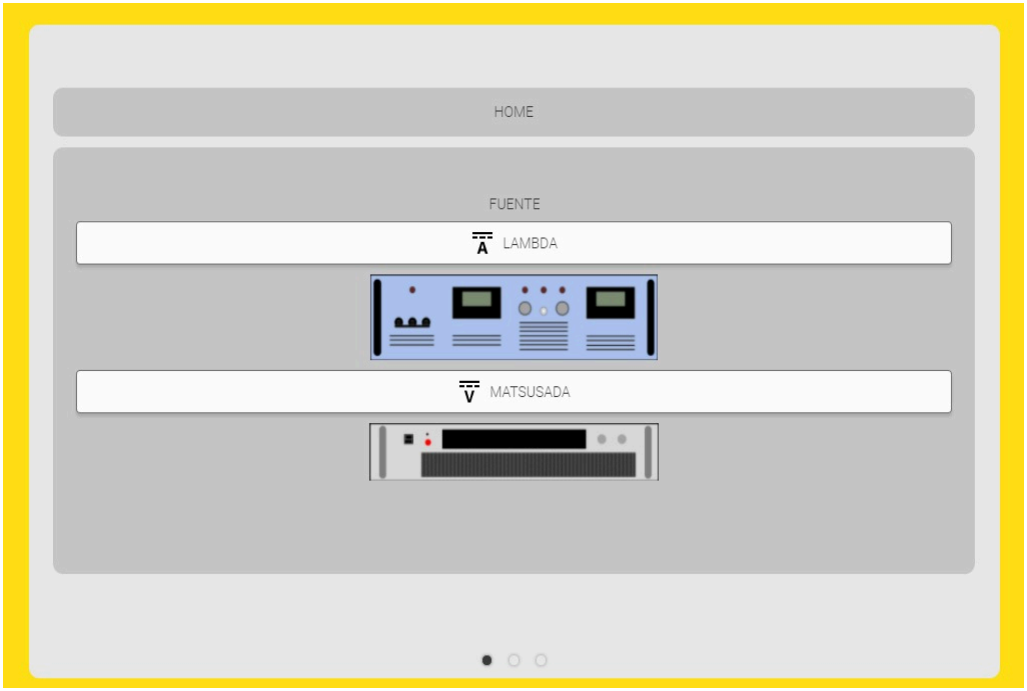


Figura 68: Interfaz HMI WebIQ Home, Fuente Autores.

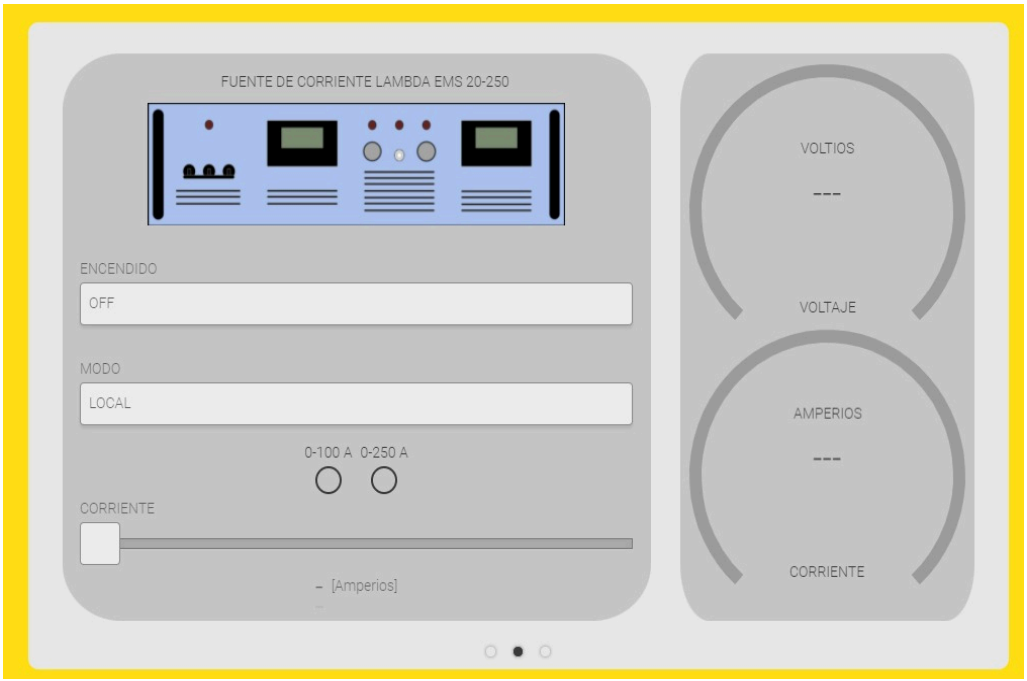


Figura 69: Interfaz HMI WebIQ Lambda , Fuente Autores.

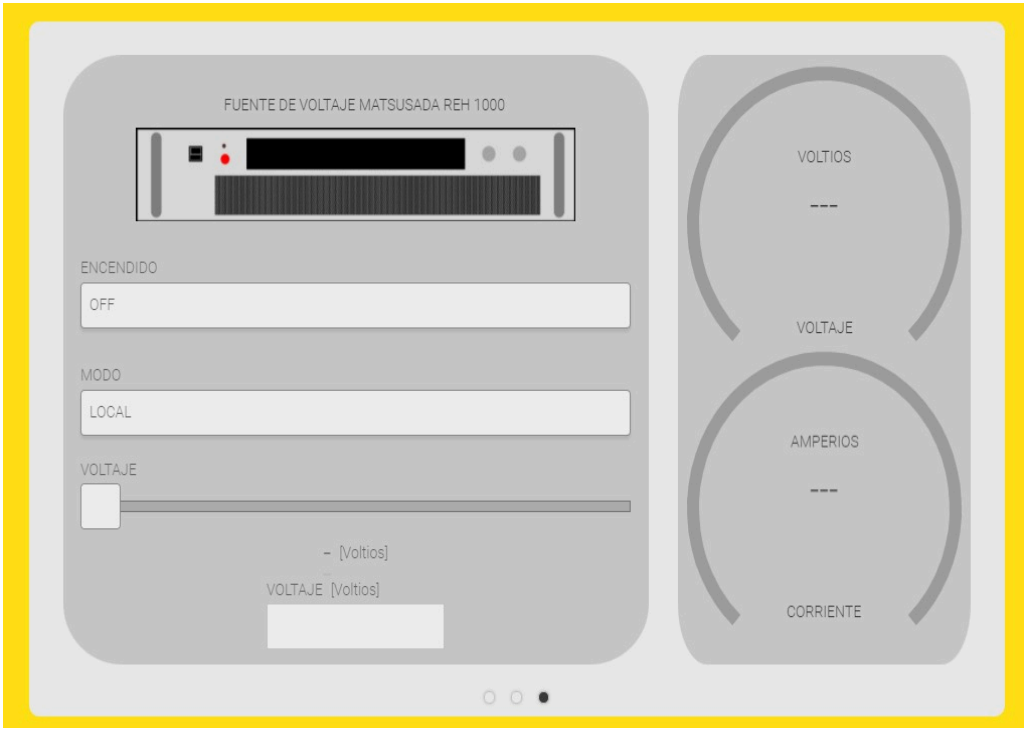


Figura 70: Interfaz HMI WebIQ Matsusada , Fuente Autores.

La interfaz HMI realizada en WebIQ reside en el *Anexo 3*.

8.2.6. Fase de Montaje

Después de completar todos los planos necesarios y elaborar la lista de materiales requeridos, se procede al montaje de los equipos en el banco fabricado. Inicialmente, los planos del banco fueron enviados a un fabricante especializado en acero galvanizado, quien se encargó del montaje del banco según las especificaciones. En la *Figura 71* se visualiza el resultado final del banco.



Figura 71: Fabricación del banco en acero galvanizado, Fuente Autores.

El siguiente paso consistió en el montaje del tablero de control, el cual requiere un orden específico de armado. Primero, se procedió a cortar e instalar adecuadamente las canaletas previamente seleccionadas, asegurando que tuvieran la capacidad necesaria para contener la cantidad estimada de cables. En la *Figura 72*, se puede observar el proceso de instalación de las canaletas en el tablero de control.



Figura 72: instalación de las canaletas en la placa de control, Fuente Autores.

Luego de instalar las canaletas, se procedió a colocar los rieles de montaje. Luego, en el siguiente paso, se ubicaron los equipos necesarios, que incluyen convertidor Moxa, PLC Ctrl X CORE, bus coupler, módulos, relés, breaker, fuente de 24V y contactores. La *Figura 73* muestra todos estos elementos ya colocados y dispuestos según el diseño previsto.



Figura 73: instalación de rieles y equipos en el tablero de control, Fuente Autores.

Para proseguir con el cableado, se llevó a cabo la elaboración de los cables que conectan las fuentes al tablero de control. Para la fuente de corriente Lambda EMS 20-250, se diseñaron dos cables específicos:

1. Un cable cuyo trayecto va desde el tablero TB17 de la fuente hasta un conector DB25 macho.

2. Otro cable cuyo recorrido va desde el tablero de control hasta un conector DB25 hembra, el cual debe ser empalmado con el mencionado anteriormente.

En la *Figura 74* se ilustra el cableado realizado en el tablero de la fuente Lambda EMS 20-250, donde estos cables han sido adecuadamente conectados y dispuestos según las especificaciones.

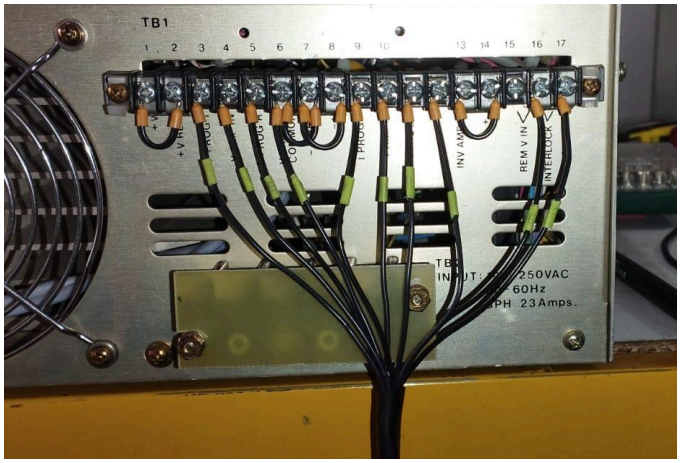


Figura 74: instalación de cable en el tablero TB17 fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

En la *Figura 75*, se puede evidenciar el primer conector DB25 macho que está conectado con el tablero TB17 de la fuente Lambda EMS 20-250.



Figura 75: Conector DB25 macho conectado con el tablero TB17 fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

En la *Figura 76*, se puede observar el segundo conector DB25 hembra que está conectado al tablero de control.



Figura 76: conector DB25 hembra conectado al tablero de control, Fuente Autores.

En el caso de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C), únicamente se requiere la elaboración de un cable. Este cable tiene un recorrido que va desde el tablero de control hasta un conector DB25 macho, el cual se conecta directamente a la fuente. La *Figura 77* muestra el cable mencionado, el cual ha sido adecuadamente colocado y conectado según las especificaciones del diseño.

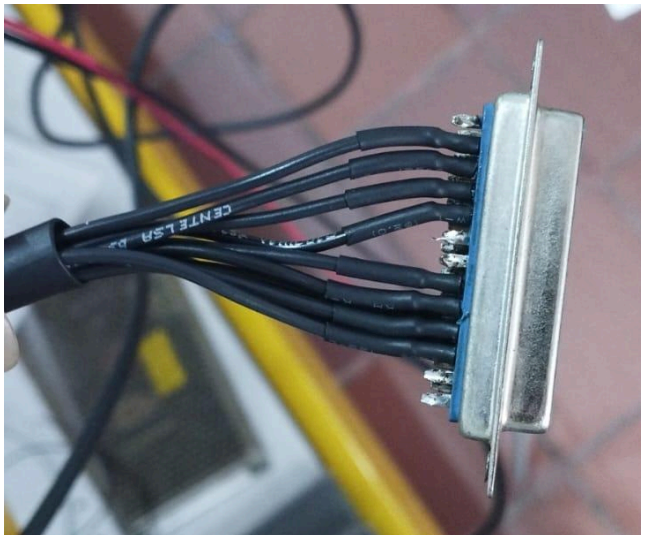


Figura 77: conector DB25 hembra conectado al tablero de control, Fuente Autores.

Después de la instalación de los cables para el control de las fuentes, se procedió a realizar el cableado restante de los equipos instalados en el tablero de control. En la *Figura 78*, se visualiza el cableado de los componentes instalados en el tablero de control, donde se han realizado las conexiones necesarias para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema.

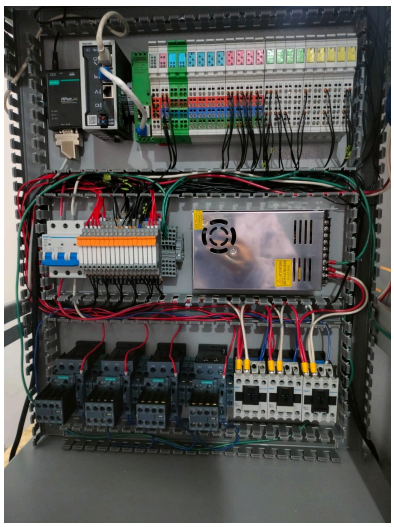


Figura 78: cableado de los componentes instalados en el tablero de control, Fuente Autores.

Luego, se realizaron los cables que van desde la salida de las fuentes hasta los terminales del banco. Para la fuente de corriente Lambda EMS 20-250, fueron necesarios tres cables de calibre 10 para el polo negativo y otros tres cables para el polo positivo. En la *Figura 79*, se puede apreciar la conexión de los cables en la salida de la fuente.

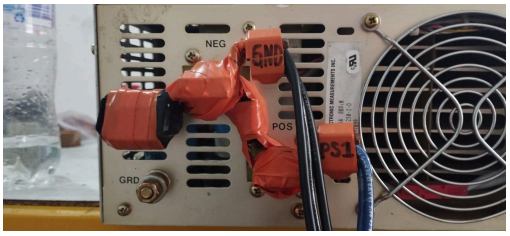


Figura 79: conexión de los cables en la salida de la fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

En la *Figura 80*, se muestran la conexión de los seis cables en el terminal ubicado en el banco. Los tres cables del polo positivo están marcados con termoencogible rojo y se encuentran en la parte superior del terminal, mientras que los cables del polo negativo están identificados con termoencogible negro y se encuentran en la parte inferior del terminal.

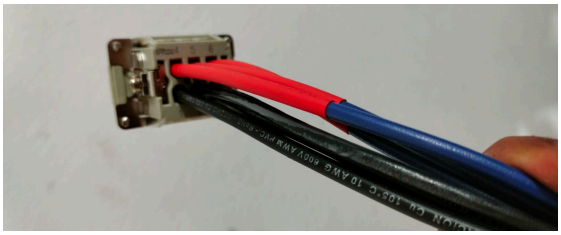


Figura 80: conexión de los seis cables en el terminal fuente Lambda EMS 20-250, Fuente Autores.

Para la fuente de voltaje Matsusada REH1000P-1.1-L(115 C), fue necesario un cable conectado a la salida de la fuente, del cual salen dos cables para el polo negativo de la

carga y otros dos para el polo positivo de la carga. Esto se muestra en la *Figura 81*, donde se puede observar el cable conectado a la salida de la fuente.

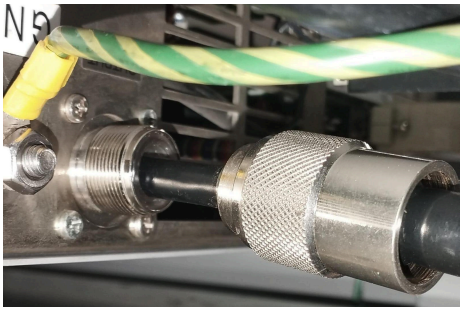


Figura 81: conexión de los cables en la salida de la fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

En la *Figura 82*, se presentan los cables conectados al terminal del banco. La conexión del polo positivo, marcada con termoencogible rojo, se realizó en el lado izquierdo del terminal, mientras que la conexión del polo negativo, identificada con termoencogible azul, se encuentra en el lado derecho del terminal. Esta disposición se ha llevado a cabo con el propósito de mantener ambos polos lo más separados posible y así evitar el riesgo de arco eléctrico.

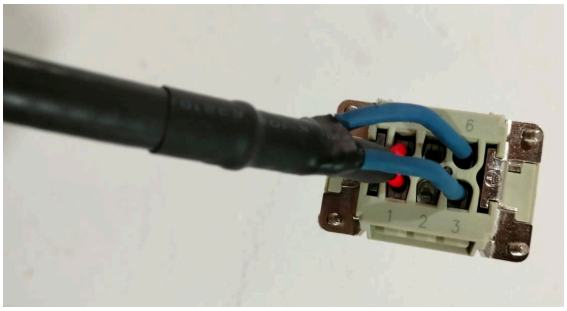


Figura 82: conexión de los cuatro cables en el terminal fuente Matsusada REH1000P-1.1-l(115 C), Fuente Autores.

En la parte superior del banco se encuentran los terminales de las salidas de potencia de la fuente, así como también los paneles frontales de las fuentes, los pulsadores y el botón de emergencia, tal y como se exhibe en la *Figura 83*.



Figura 83: Vista superior del banco, Fuente Autores.

Dentro de los últimos elementos necesarios para el funcionamiento del banco, es fundamental instalar un enchufe industrial hembra 4X32 380VAC, el cual alimenta todo el panel de control. En la *Figura 84*, se refleja el enchufe instalado en el banco.



Figura 84: enchufe industrial hembra 4X32 instalado, Fuente Autores.

Para finalizar, se realizó la instalación del Selector de 2 posiciones. Su entrada está conectada al enchufe industrial, y su salida está conectada al breaker del panel de control. En la *Figura 85*, se puede observar el selector de dos posiciones instalado en el banco.



Figura 85: Selector de 2 posiciones instalado, Fuente Autores.

8.2.7. Fase de Pruebas Finales

Con el banco de control completo, el código finalizado y la interfaz lista, se llevaron a cabo las pruebas finales para verificar el funcionamiento conjunto de todos los componentes. Durante este proceso, se realizaron correcciones, calibraciones y pruebas de testeo. Finalmente, se confirmó el correcto funcionamiento del sistema, cumpliendo de manera satisfactoria con el control remoto de las fuentes.

8.3. Manual de usuario completo.

8.3.1. Entrega de Manual de Usuario

Entrega del manual de usuario, documento donde se presenta una guía detallada de la configuración de las fuentes, operación básica y funcionamiento avanzado, se hacen recomendaciones en cuanto a seguridad y mantenimiento. En la *Figura 86* se muestra portada de Manual de Usuario.



Figura 86: Portada Manual de Usuario, Fuente Autores.

El Manual de Usuario completo puede ser encontrado en el *Anexo 4.*

8.3.2. Fase de capacitación

Capacitación por la cual se hace la explicación y funcionamiento claro y preciso de los equipos al personal del área de servicio técnico de Indracontrols SAS, se exponen recomendaciones y datos a tener en cuenta para el correcto uso del banco de pruebas.

En el *Anexo 5* se evidencian imágenes y videos de esta capacitación

9. Conclusiones y Recomendaciones

En virtud de la investigación exhaustiva y la aplicación de conceptos técnicos, se ha logrado la materialización de un sistema de control remoto que cumple con los objetivos establecidos. Este logro no solo representa un avance significativo en la automatización industrial, sino que también

refleja la capacidad de la tecnología para fusionar la eficiencia operativa con la seguridad, pavimentado el camino hacia un futuro donde el control remoto de dispositivos eléctricos es no solo una posibilidad, sino una realidad fiable y segura.

La investigación detallada de las especificaciones técnicas de las fuentes "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)" ha servido como base fundamental para el diseño del sistema de control remoto. Esta exploración ha permitido comprender plenamente las capacidades de los dispositivos, facilitando su integración en el entorno de control remoto. Además, ha dado lugar a la creación de una guía que consolida información valiosa de los equipos investigados, ofreciendo correcciones, comprobaciones y nuevos métodos para una manipulación más eficiente, combinando lo teórico con lo práctico.

A través del despliegue estratégico de tecnologías y la aplicación de metodologías de diseño, se ha desarrollado un sistema de control y automatización remota que satisface las necesidades de control de voltaje y corriente de las fuentes "Lambda EMS 20-250" y "Matsusada REH1000P-1.1-l(115C)". En este sistema se ilustra la capacidad de la tecnología para facilitar el control remoto seguro y eficiente de dispositivos eléctricos, permitiendo una mayor eficiencia operativa y seguridad en entornos industriales.

El desarrollo de un manual de usuario detallado y accesible ha sido esencial para asegurar una implementación efectiva del sistema de control remoto. Este recurso ofrece una guía clara y concisa para los operarios, permitiéndoles aprovechar al máximo las capacidades del sistema y garantizando un funcionamiento seguro y eficiente en todo momento. La comunicación efectiva de procedimientos y prácticas recomendadas ha fortalecido la capacidad de los usuarios para interactuar con el sistema de manera confiable y sin problemas. Además, proporciona la posibilidad de realizar cambios en el futuro que beneficien la mejora de los procesos, aumenten la eficiencia, impulsen el crecimiento de la productividad y faciliten la implementación de nuevos métodos o funciones.

10. Referencias

[1]. IndraControls. https://indracontrols.com/

[2]. Moreno, M. A. (2019). Automatización de una fuente de corriente-voltaje y un osciloscopio digital en el entorno de programación LabView [Resumen extendido de Proyecto fin de carrera]. Universidad Carlos III Madrid, Madrid. Accedido el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/8db21a32-acf8-414e-bc3c-1a6af956115f/content

[3]. Aranguren Reyes , J.S., (2021). "Automatización de un banco de pruebas experimentales, mediante software LabVIEW y hardware Arduino, destinado al estudio de la transferencia de calor en estado estacionario en paredes planas" ,Tesis de grado, Accedido el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/21077/2023_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[4]. Akoudad Muñoz, O.(2021), "Automatización de fuente de alimentación modular sobre SCPI",Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla,Accedido el 15 de noviembre de 2023. [En línea].Disponible: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/94060/fichero/TFG-4060+Akoudad+Muñoz.pdf

[5]. Lucero, J., Ñauta, J., Carpio, M. (2017), " Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Voltaje y Frecuencia de un Sistema Eléctrico de Potencia a Escala para la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca", Articulo Cientifico, Accedido el 15 de noviembre de 2023. [En línea].Disponible: https://www.redalyc.org/journal/5055/505554801008/505554801008.pdf

[6]. Rodríguez, I. C. T., González, P. F. H., & Bautista, Z. I. (2018). "Actualización del PLC de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador" .Accedido el 2 de Diciembre de 2023. *RISTI*, *27*, 18-35. [En línea]. ISSN 1646-9895. DOI: 10.17013/risti.27.18-35. Disponible: c6b53547efc802004665a600f2e680ae0bb6.pdf (semanticscholar.org)

[7]. Quezada-Quezada, J. C., Flores García, E., González Cadena, M., & Bautista-López, J. (2018). Sistema HMI-PLC-ADF-Motor CA para control de velocidad. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 19(4), e040. Accedido el 2 de diciembre de 2023, [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.040

[8]. Domínguez Belinchón, D. (2018-2019). Proyecto de automatización con PLC Siemens y SCADA en Matlab mediante comunicación OPC para un sistema de mecanizado de piezas con control de velocidad de un motor de C.C. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/124501/04632017R_TFG_1562062018947230597032043647343 3.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[9]. Quinbita, C. D.,(2018) “Control de Velocidad de un Motor DC, Utilizando Controladores PID”, Trabajo Previo a la Obtención de Título,, Escuela Politécnica Nacional, Accedido el 2 de Diciembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20089/1/CD-9530.pdf

[10]. Valencia-Henao, J. M., Solarte-Martínez, G. R., & Muñoz-Guerrero, L. E. (2019). “Análisis y Diseño de Interfaz para conexión de PLC basado en Arduino con PLC Allen Bradley a través de Ethernet”. Scientia Et Technica, 24(3), 504-511. Universidad Tecnológica de Pereira. Accedido el 2 de diciembre de 2023.Disponible: 84961239019.pdf (redalyc.org)

[11]. Mancipe Bernal, C. A., & Ortiz Velasquez, J. E. (2019). “Modernización del proceso de diseño y fabricación de tableros eléctricos de baja tensión para sistemas de bombeo estándar en la empresa VARIADORES S.A.S”. Universidad Distrital Francisco José De Caldas . Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería . Bogotá, Colombia . Agosto de 2019. Accedido el 10 de diciembre de 2023 Disponible: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/8347/ParraAlem%E1nStephany.2016.pdf?sequence=1

[12]. Guerrero Borda, Y. I., & Niño Zambrano, C. A. (2019). “Diseño y construcción de banco de pruebas eléctricas en baja tensión para el área de asistencia técnica y calidad de FTC Energy Group S.A.S”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22335/Ni%C3%B1oZambranoCamiloAndres2019.pdf?sequence=18

[13]. Matsusada Precision Inc., "Instruction Manual (Model REH series)". Descargado en: DC Power Supplies | REH series | Matsusada Precision

[14]. Lambda. "Lambda EMS 20-250 Operator's Manual". [83-473-000 Revision J], Lambda, manualslib,[Enlínea].Disponible: https://www.manualslib.com/products/Lambda-Ems-20-250-8987442.html

[15]. Autycom. “¿Para qué sirve un PLC?”, Accedido el 1 de enero de 2024, Recuperado de https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/.

[16]. ctrlX AUTOMATION – Product information, Accedido el 1 de enero del 2024, Recuperado de ctrlX CORE Runtime, Application Manual - Bosch Rexroth Product Information Portal

[17]. Phoenix Contact. Inline, Bus coupler, IL ETH BK DI8 DO4 2TX-PAC. Descargado de https://www.phoenixcontact.com/en-us/products/io-component-il-eth-bk-di8-do4-2tx-pac-2703981

[18]. Phoenix Contact. IB IL 24 DO16-2MBD-PAC - Digital module. Descargado de https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/inline-terminal-ib-il-24-do16-2mbd-pac-2862013

[19]. Phoenix Contact. IB IL 24 DI 16-PAC - Digital module. Descargado de https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/inline-terminal-ib-il-24-di-16-pac-2861250

[20]. Phoenix Contact. R-IB IL AO 1/SF(/CN)-PAC - Analog module. Descargado de https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/inline-terminal-ib-il-ao-1-sf-xc-pac-2701219

[21]. Phoenix Contact. IB IL AO 2/U/BP-PAC - Analog module. Descargado de https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/inline-terminal-ib-il-ao-2-u-bp-pac-2861467

[22]. Phoenix Contact. IB IL AI 8/SF-2MBD-PAC - Analog module. Descargado de https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/inline-terminal-ib-il-ai-8-sf-pac-2861412

[23]. Smart HMI (Beijer Electronics). WebIQ: Herramientas de Configuración y Monitoreo para Automatización Industrial1. Accedido el 20 en enero de 2024 ▷ WebIQ y SCADA WEB | Aplicaciones HMI en entorno web | ELION

[24]. Chint. (2024). Interruptores automáticos magnetotérmicos serie NB1. Descargado de www.chint.eu/es/material-electrico/aparamenta-modular/interruptores-automaticos-magnetotermicos/serie-nb1

[25]. alldatasheet.com. 41F-1Z-C2-1 Datasheet(PDF). Hongfa Technology. Descargado de https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/193642/HONGFA/41F-1Z-C2-1.html

[26]. CHINT Electrics. Soluciones para la industria - Contactores Industriales Serie NC1. Descargado, de https://www.chint.eu/es/material-electrico/soluciones-para-la-industria/contactores-industriales/serie-nc1#nav-tabs-downloads

[27]. Electricidad básica. (2024, 20 febrero). Botones pulsadores: funciones, tipos y aplicaciones. Electricidad Básica. Accedido el 23 de agosto del 2023. Recuperado de https://electricidad-basica.com/dispositivos-electricos/botones-pulsadores/

[28]. Interruptor de Levas de Seguridad, 3X16A, 2 Posiciones (0-1), IP54/IP20 https://automaq.pe/producto/4345/interruptor-de-levas-de-seguridad-3x16a-2-posiciones-0-1-ip54ip20

[29]. Conector industrial multipolar 6 pines, base para atornillar. (n.d.). Cuotas Sin Interés. https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-802042233-conector-industrial-multipolar-6-pines-base-para-atornillar-_JM

[30]. Clavija y Conector Industrial 4 Pines 32a 220/340v Rojo – LedShop.Mx. (n.d.). https://ledshop.mx/producto/clavija-y-conector-industrial-4-pines-32a-220-340v-rojo/

[31]. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. Disponible en:. https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/

[32]. Ieee Std 519-2014 Español.pdf [jlkqqq2o60l5]. (2014).Disponible en: https://idoc.pub/documents/ieee-std-519-2014-espaolpdf-jlkqqq2o60l5

[33]. Admin. (2020, November 12). NTC 2050 Segunda actualización. Onicert. Disponible en: https://www.onicert.com/ntc-2050-segunda-actualizacion/

[34]. Cable, Z. (2024, January 16). Calibre de Cables Eléctricos según Norma AWG. ZMS CABLE. Disponible en: https://zmscable.es/calibre-cables-norma-awg/

[35]. García, D. *Simbología eléctrica Norma UNE-EN 60617 (IEC 60617) - InfoPLC*. https://www.infoplc.net/documentacion/236-esquemas-electricos/2161-simbologia-electrica-norma-une-en-60617

[36] Omega Store. (2023, July 6). Cable Serial 25Macho a 25 Hembra de 7 Mtr | Omega Store. https://www.omega-store.co/producto/cable-serial-macho-a-hembra/

[37] Conversor CP2102 tipo USB A serial TTL UART | Envío a todo Chile. (2024, March 15). MechatronicStore.Disponible en https://www.mechatronicstore.cl/conversor-tipo-usb-a-serial/

[38] POTENCIÓMETRO DIGITAL DE. SSDIELECT ELECTRONICA SAS. Disponible en: https://ssdielect.com/potenciometros-digitales/2270-x9cxxxp.html

[39] Fortor. Copyright © 2007 Programlama IdeaSoft Akıllı E-Ticaret. Disponible en: https://www.turnafor.com/urun/ar-182-8kanal-5volt-role-karti

[40] ESP-32 - Sigma Electrónica. (2024, April 15). Sigma Electrónica. Disponible en: https://www.sigmaelectronica.net/producto/esp-32/

11. Anexos

[1]. Anexo 1 Planos
https://udistritaleduco-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/lkbautistar_udistrital_edu_co/EjTrQXqkIR5EqBhE-y2T46UB3J-kikbqMIEZxnd0Y0418g?e=IBXn9J

[2]. Anexo 2 Código PLC
https://udistritaleduco-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/lkbautistar_udistrital_edu_co/EiLsgSMUaRhCkUoarQzPXooBiss5i5BP_39W0H2b8AmA8w?e=Y6xBXN

[3]. Anexo 3 Interfas HMI WebIQ
https://udistritaleduco-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/lkbautistar_udistrital_edu_co/Eg_c4k3UtzNKupseGJ8XUJkBB7i5AZS42-N-T-UdKz37Nw?e=tWrGlM

[4]. Anexo 3 Manual de Usuario
https://udistritaleduco-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/lkbautistar_udistrital_edu_co/EquZI7lJonlHlfwM1dR9vGsBFYFERV-mEbLJ1CBmmwWY4w?e=QabeUK

[5]. Anexo 5 Capacitación Indracontrol S.A.S
https://udistritaleduco-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/lkbautistar_udistrital_edu_co/EveaMWTmdQlPjnQyk06dKVwBuZ5Divndj0jDcrdS3BUKeg?e=qu9cn0