

UNIVERSIDAD HISPANOAMÉRICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**«PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE
CONTROL Y MONITOREO REMOTO POR
ETHERNET CON CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE Y ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA TRANSFERENCIAS AUTOMÁTICAS DE
SUMINISTRO ELÉCTRICO EN UN COMPLEJO
TURÍSTICO EN GUANACASTE, 2022».**

Sustentante:

Mario Humberto Gamboa Mora

Tutor:

Ing. José Alejandro Rojas López

Octubre, 2023

Índice de contenidos

Índice de contenidos	II
Índice de figuras	VI
Índice de tablas	VII
Declaración jurada	VIII
Carta del tutor	IX
Carta del lector	X
Carta de aprobación del contacto de la empresa	XI
Carta de autorización de los autores	XII
Dedicatorias	XIII
Agradecimientos.....	XIV
Abreviaturas	XV
Resumen	XVII
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	1
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
1.1.1. Antecedentes del contexto de la empresa	2
Organización de la empresa	4
Misión.....	7
Visión.....	7
Valores.....	7
1.2. Justificación del problema	8
1.2.1. Definición del problema	8
1.3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3.1. Objetivo General	11
1.3.2. Objetivos Específicos.....	11
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	12
1.4.1. Alcances	12
1.4.2. Limitaciones	13
CAPÍTULO II.....	14
MARCO TEÓRICO.....	14

2.1. TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR.....	15
2.1.1. Suministro eléctrico.....	15
2.1.2. Suministro eléctrico normal.....	15
2.1.3. Suministro eléctrico emergencia.....	15
2.1.4. Transferencia automática.....	15
2.1.5. Panel de control eléctrico.....	18
2.2. CONTEXTO TEÓRICO.....	19
2.2.1. PLC.....	19
2.2.2. Sensor de voltaje.....	20
2.2.3. Switch de red.....	21
2.2.4. Temporizador.....	22
2.2.5. Contactor de control.....	23
2.2.6. Fuente de poder.....	24
2.2.7. Transformador de control.....	25
2.2.8. Enrutador.....	26
CAPÍTULO III.....	28
MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1.1. Enfoque de la Investigación.....	29
3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	32
3.2.1. Fuentes Primarias.....	32
Tabla 1. Fuentes primarias.....	32
3.2.2. Fuentes Secundarias.....	32
Tabla 2. Fuentes secundarias.....	32
3.2.3. Sujetos de Información.....	33
Tabla 3. Sujetos de información.....	34
3.2.4. Criterios de inclusión.....	34
3.2.5. Criterios de exclusión.....	34
3.3. TÉCNICAS Y HERRAMINETAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.3.1. Observación.....	35
3.3.2. Entrevista.....	35
3.3.3. Lista de Actividades.....	36

3.4. VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.4.1. Definición de variables.....	37
Tabla 4. Operacionalización de las variables.....	37
3.4.2. Diseño de la investigación	39
Tabla 5. Diseño de la investigación.....	40
Tabla 6. Cronograma de implementación.....	41
Tabla 7. Cronograma de documentación.....	42
CAPÍTULO IV.....	44
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	44
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	45
Tabla 8. Listado de sitios.....	45
4.2. RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS.....	46
4.2.1. Instrumento para la recolección de datos	47
4.2.2. Entrevista semiestructurada	47
4.2.3. Observación.....	49
Tabla 9. Listado de observación.....	49
4.4. DESARROYO DEL PROYECTO	52
4.4.1. PROPUESTA DEL PROYECTO.....	52
CAPÍTULO V.....	54
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	54
5.1. ASPECTOS DE DISEÑO	55
5.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	55
5.2.1. Conectividad de red.....	76
5.1.3. Implementación de software SCADA.....	78
5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO	80
5.3. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	84
5.4. ANÁLISIS DE COSTOS	86
5.4.1. Costos por tablero.....	86
Tabla 10. Precio costo por panel de control sin IVA.....	86
5.4.2. Costos totales	87
Tabla 11. Precio global del proyecto sin IVA.....	87
5.4.3. Ganancia del proyecto	88

Tabla 12. Ganancia del proyecto sin IVA.	88
5.4.4. Beneficios	89
Tabla 13. Gasto diario por fallas.....	89
Tabla 14. Proyección de ahorro mensual.....	90
CAPÍTULO VI.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
6.1. CONCLUSIONES.....	92
6.2. RECOMENDACIONES	94
Bibliografía	95
GLOSARIO	97
Anexo	98
Lista de anexos	98

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación física de ELECTRUM S.A.	3
Figura 2. Logo de la empresa ELECTRUM S.A.	3
Figura 3. Taller de ensamble de ELECTRUM S.A.	5
Figura 4. Diagrama de Ishikawa.	9
Figura 5. PLC.	20
Figura 6. Sensor de voltaje.	21
Figura 7. Switch de red.	22
Figura 8. Temporizador.	23
Figura 9. Contactor de control CAD32.	24
Figura 10. Fuente de poder.	25
Figura 11. Transformador de control.	26
Figura 12. Enrutador.	27
Figura 13. Lista de actividades.	36
Figura 14. Etapas del proyecto.	52
Figura 15. Diagrama de bloques de prototipo.	57
Figura 16. Distribución fondo falso.	57
Figura 17. Fondo falso metálico.	58
Figura 18. Diagrama de potencia.	60
Figura 19. Diagrama de control.	61
Figura 20. Primera sección de control.	62
Figura 21. Conexión de control.	63
Figura 22. Conexiones al PLC.	64
Figura 23. Panel alambrado.	65
Figura 24. Diagrama de flujo PLC.	66
Figura 25. Entradas y salidas de PLC.	67
Figura 26. Software de programación.	68
Figura 27. Direccionamiento de memorias PLC.	69
Figura 28. PTAR La Marina.	70
Figura 29. PTAR Prieta.	71
Figura 30. PTAR Nacascolo.	72

Figura 31. EBAR Prieta Collection.....	73
Figura 32. Base 3.	74
Figura 33. Base 1.	75
Figura 34. Edificio de operaciones.	76
Figura 35. Conectividad remota.....	77
Figura 36. SCADA Ignition.....	78
Figura 37. SCADA pantalla principal.	79
Figura 38. SCADA Monitoreo de estación.....	80
Figura 39. Control remoto.....	81
Figura 40. SCADA Historial.	82
Figura 41. Información descargada en Excel.	83
Figura 42. Alerta en dispositivo móvil.	84
Figura 43. Diagrama de funcionamiento.....	85

Índice de tablas

Tabla 1. Fuentes primarias.....	32
Tabla 2. Fuentes secundarias.	32
Tabla 3. Sujetos de información.	34
Tabla 4. Operacionalización de las variables.	37
Tabla 5. Diseño de la investigación.	40
Tabla 6. Cronograma de implementación.....	41
Tabla 7. Cronograma de documentación.	42
Tabla 8. Listado de sitios.....	45
Tabla 9. Listado de observación.....	49
Tabla 10. Precio costo por panel de control sin IVA.	86
Tabla 11. Precio global del proyecto sin IVA.	87
Tabla 12. Ganancia del proyecto sin IVA.	88
Tabla 13. Gasto diario por fallas.....	89
Tabla 14. Proyección de ahorro mensual.....	90

Declaración jurada

Yo Mario Humberto Gamboa Mora, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1427-0994 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: ***PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO POR ETHERNET CON CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA TRANSFERENCIAS AUTOMÁTICAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EN UN COMPLEJO TURÍSTICO EN GUANACASTE, 2022***, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los veinticinco días del mes de octubre del año dos mil veintitrés.



Firma del estudiante

Cédula: 1 1427 0994

Carta del tutor



San José, 16 de octubre del 2023

CARTA DEL TUTOR

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante **Mario Humberto Gamboa Mora**, cédula de identidad número **1-1427-0994**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Puesta en marcha de un sistema de control y monitoreo remoto por ethernet con controlador lógico programable y adquisición de datos para transferencias automáticas de suministro eléctrico en un complejo turístico en guanacaste, 2022"**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	18
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	94

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. José Alejandro Rojas López
Cédula de identidad: 1 1079 0035
Carné Colegio Profesional: N° IEL-15888

Carta del lector



CARTA DEL LECTOR

San José, 01 de enero, del 2024

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Mario Humberto Gamboa Mora**, cédula de identidad número **1-1427-0994**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO POR ETHERNET CON CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA TRANSFERENCIAS AUTOMÁTICAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EN UN COMPLEJO TURÍSTICO EN GUANACASTE, 2022."**, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

DANIEL
HUMBERTO
VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
DANIEL HUMBERTO
VALVERDE RAMIREZ
(FIRMA)
Fecha: 2024.01.01
21:53:32 -06'00'

Ing. Daniel Valverde Ramírez
Cédula de identidad: 3-03490012
Carné colegio profesional: IEL-10109

Carta de aprobación del contacto de la empresa



San José, 20 de octubre del 2023

Señores,

Universidad Hispanoamericana

Muy estimados

Yo Giuseppe Daniele, cédula 138000129116, ingeniero eléctrico, vecino de Moravia, Los Colegios, gerente técnico de la empresa ELECTRUM S.A. cuya dirección es 50 metros sur del Pollo Granjero, detrás del Lincoln Plaza, Los colegios, Moravia, San José, hago constar que el proyecto titulado: **«PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO POR ETHERNET CON CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA TRANSFERENCIAS AUTOMÁTICAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EN UN COMPLEJO TURÍSTICO EN GUANACASTE»** fue ejecutado por el estudiante Mario Humberto Gamboa Mora con cédula 1-1427-0994 en el tercer cuatrimestre del 2023.

No omito indicar que, el proyecto se ejecutó satisfactoriamente, de acuerdo con los alcances que esta gerencia había sugerido en la fase exploratoria. Además, durante el proceso de pruebas que nos llevó hasta octubre del 2023, el estudiante demostró el compromiso, la dedicación y esmero para desarrollar las pruebas que fueron necesarias, tales como capacitar al personal de mantenimiento y dejar en óptimas condiciones la implementación de la solución del control y monitoreo local y remoto de las transferencias automáticas del complejo turístico.

Atento a cualquier consulta,

Ing. Giuseppe Daniele

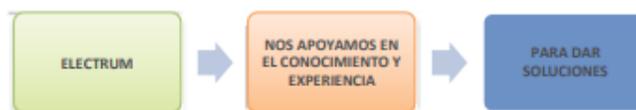
ELECTRUM S.A.

Gerente Técnico

IE 3915, IEEE Membership, IEEE Power & Energy Society Membership

Tel Cel. 8315 4407

gerentetecnico@electrumcr.com



Para más información visite nuestro sitio

WWW.ELECTRUMCR.COM

Contáctenos a los correos: gerentetecnico@electrumcr.com / comunicaciones@electrumcr.com

Carta de autorización de los autores

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 05 de enero del 2024

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Mario Humberto Gamboa Mora con número de identificación 1-1427-0994 autor (a) del trabajo de graduación titulado **PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO POR ETHERNET CON CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA TRANSFERENCIAS AUTOMÁTICAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EN UN COMPLEJO TURÍSTICO EN GUANACASTE, 2022** presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar por el título de Bachillerato; (SI) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,


114270994
Firma y Documento de Identidad

Dedicatorias

Dedicada a mis padres y a mi hermano que siempre han estado apoyándome.

Agradecimientos

Le agradezco a mis familiares, profesores y compañeros que, de una u otra forma, me apoyaron y ayudaron durante este proceso de formación académica. También, me agradezco a mí mismo por no rendirme, avanzar y seguir intentándolo todos los días, sobre todo esos días que cuestan más.

Abreviaturas

PLC: Programming Logic Controller (Controlador Lógico Programable).

HMI: Human Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina).

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

ATS: Automatic Transfer Switch (Transferencia Automática).

IP: Internet Protocol (Protocolo de Internet).

TCP/IP: Transfer Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de control de transferencia/Protocolo de internet).

VPN: Virtual Private Network (Red Privada Virtual).

LAN: Local Area Network (Red de Área Local).

VLAN: Virtual Local Area Network (Red Virtual de Área Local).

APN: Access Point Name (Nombre del Punto de Acceso).

NFPA: National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra incendios)

MODBUS: Modicon Bus. Protocolo de comunicación industrial creado por la empresa Modicon. Marca registrada por Schneider Electric.

RTU: Remote Terminal Unit (Unidad de Terminal Remota).

I/O: Input/Output (Entrada/Salida).

RIO: Remote I/O (Entradas/Salidas Remotas).

AC: Alternate Current (Corriente Alterna).

DC: Direct Current (Corriente Directa).

USB: Universal Serial Bus (Bus de Serie Universal).

OPC UA: Open Platform Communications United Architecture (Plataforma de Comunicaciones Abierta Arquitectura Unida).

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

EBAR: Estación de Bombeo de Aguas Residuales.

IoT: Internet of the Things (Internet de las Cosas).

TI: Tecnologías de Información.

NEC: National Electrical Code (Código Eléctrico Nacional).

Resumen

El departamento de servicios generales es el encargado de mantener en correcta operación y entregar los servicios básicos como telefonía, internet, televisión por cable y suministro eléctrico en una empresa o en este caso, en un complejo turístico.

Cuando hay un déficit de energía eléctrica en algún punto, como respaldo, se utiliza un generador de electricidad que funciona con combustible fósil y se debe de realizar una maniobra de cambio entre la alimentación eléctrica que llega desde el poste y la del generador, ya que ambas no pueden entrar en contacto o causarían daños al personal e incluso la muerte y daños materiales muy graves.

En este caso se utilizan sistemas de transferencia que realizan el cambio (conmutación) ya sea de manera manual por un operario calificado o automáticamente con la ayuda de un controlador electrónico.

En el apogeo de la cuarta revolución industrial (industria 4.0) se obliga a que las empresas inviertan en tecnología para competir en el mercado global y así producir o dar servicios de manera eficiente.

Sin embargo, esto no solo aplica para la industria de manufactura, sino también a la industria turística y hotelera la cuál ha ido creciendo de manera exponencial y que es de suma importancia para la economía costarricense.

Vivimos una nueva era tecnológica tanto a nivel personal como a nivel industrial donde todos los dispositivos electrónicos se encuentran conectados a la nube y es muy fácil acceder a la información desde cualquier parte del mundo, siendo esto es de gran ayuda a la hora de gerenciar una empresa.

Sin embargo, para llevar una empresa a ser parte de esta nueva revolución industrial, se requiere de tiempo y de varios pasos antes de llegar a la conectividad y la adquisición de datos, los cuales, ayudarán a darnos cuenta de lo que realmente pasa dentro de la empresa.

El departamento de servicios generales de un complejo turístico ubicado en Guanacaste requiere de un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos para administrar de manera eficiente a once estaciones que dan suministro eléctrico a diferentes puntos clave dentro de la propiedad.

Estos puntos necesitan una actualización a su conjunto de elementos físicos (hardware), que sea compatible con tecnología capaz de conectarse a una red de comunicación utilizando el internet de las cosas (IoT) usando los datos obtenidos para la toma de decisiones que ayuden a mejorar la operación y el mantenimiento predictivo de los dispositivos.

CAPÍTULO I.
PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. Antecedentes del contexto de la empresa

ELECTRUM S.A. es fundada en marzo de 1990 por su actual dueño Giuseppe Daniele de nacionalidad italiana, quien llegó al país en la década de 1980 con una empresa multinacional dedicada al diseño y construcción de plantas procesadoras de aluminio en todo el mundo.

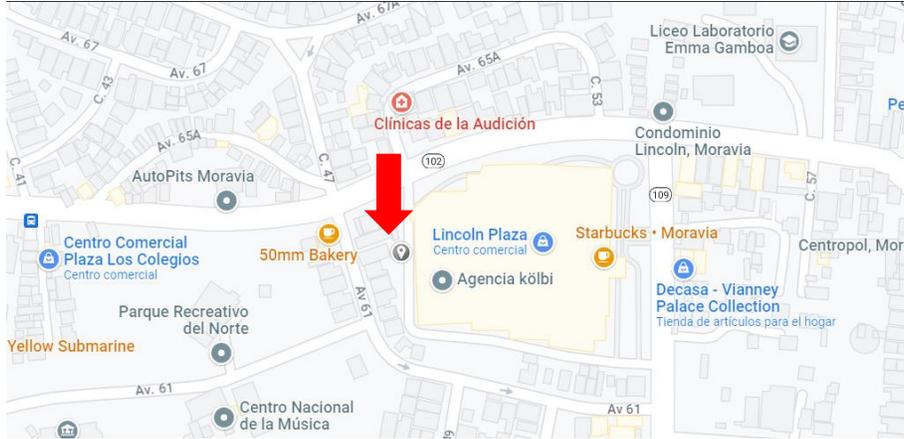
Luego de haber ocupado una gerencia en la empresa Schneider Electric, el señor Daniele decide emprender en su propia empresa de ingeniería eléctrica, primeramente, ubicada en su casa de habitación en San José, Tibás y creciendo hasta transformarse en lo que es hoy en día.

ELECTRUM S.A. es una empresa integrada por ingenieros y técnicos altamente especializados, quienes desde el inicio han enfocado sus conocimientos y experiencias a la solución de problemas y necesidades de la industria en general, brindándole sus servicios de diseño, instalación, mantenimiento, asesoría, supervisión y capacitación en temas relacionados con la Ingeniería Eléctrica y la Automatización Avanzada.

Su sede principal se encuentra ubicada actualmente, en San Vicente de Moravia, Los Colegios y cuenta con una sucursal en Liberia, Guanacaste, donde se encuentra gran parte de su cartera de clientes.

Figura 1.

Ubicación física de ELECTRUM S.A.



Nota. Google maps (2022).

La sucursal en Liberia cuenta con un amplio inventario de material eléctrico y electromecánico y, además, funciona como punto estratégico de reunión y de reabastecimiento de materiales para el personal de servicio de campo.

Figura 2.

Logo de la empresa ELECTRUM S.A.



Nota. ELECTRUM S.A. (2022).

Organización de la empresa

Departamento de consultoría, diseño y servicios de ELECTRUM S.A., encargado de levantamiento de planos unifilares de plantas industriales, diseño de sistemas eléctricos, evaluación de capacidad de carga en transformadores, evaluación de balance de cargas en tableros eléctricos, evaluación de estado de equipos eléctricos en subestaciones para cumplir con el código eléctrico nacional y los estándares internacionales, programa de seguridad eléctrica industrial para cumplimiento de NFPA75E, eficiencia energética.

Departamento de Automatización de procesos

Es un departamento que se enfoca en automatización de procesos industriales, brindando la posibilidad a las industrias nacionales e internacionales de hacer más eficiente su producción y, por ende, mejorar la rentabilidad y la calidad de producto final.

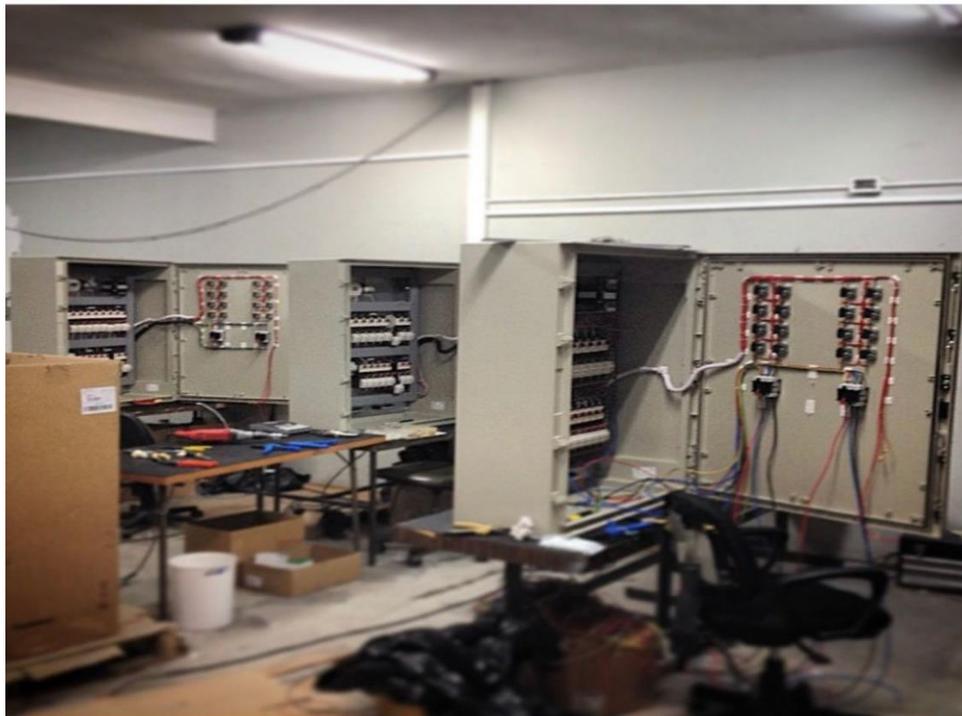
Encargado de la optimización del funcionamiento de los equipos en sitio con el uso de sensores, conectividad a la nube y software de análisis, control Inteligente utilizando protocolos de comunicación industrial que facilitan la integración entre diferentes dispositivos y las máquinas para alcanzar una producción más eficiente y flexible, realidad aumentada y conectividad para aumentar la productividad mejorando la operabilidad en sitio, diseño de sistemas de control automatizados e integración de sistemas.

Departamento de servicio técnico

Encargado de dar mantenimiento eléctrico (tradicional y monitoreo remoto), prevención y predicción de posibles averías en los sistemas eléctricos, subestaciones y transformadores, sistemas eléctricos de baja tensión de potencia y distribución. Construcción e instalación de bancos de capacitores, transferencias automáticas, centro de control de motores, variadores y arrancadores electrónicos, tableros de control y automatización, sistemas de puesta a tierra y pararrayos, sistemas especializados como los hospitalarios, antiexplosivos, solares. Taller especializado de ensamble.

Figura 3.

Taller de ensamble de ELECTRUM S.A.



Nota. Elaboración propia (2022).

Cada cliente de ELECTRUM S.A. tiene un trato personalizado debido a que cada uno cuenta con necesidades diferentes y únicas según su sector de operación, ya sea a nivel industrial o comercial.

Si bien, hay un estándar para algunos sistemas de control como sistemas de bombeo, iluminación, entre otros, en su mayoría cada aplicación es distinta, por esta razón, el servicio al cliente debe de ser especial para cada cliente.

Departamento de capacitación

ELECTRUM S.A. Academy tiene el objetivo de actualizar la formación profesional del personal técnico dentro la rama eléctrica y de automatización, trasladando los conocimientos del especialista al cliente impartiendo capacitaciones de automatización industrial, potencia y control eléctrico.

ELECTRUM S.A. se pone el objetivo de actualizar la formación profesional del personal técnico dentro la rama eléctrica y de automatización, trasladando los conocimientos del especialista al cliente. Los cursos impartidos son dedicados a profesionales del área de automatización, potencia y control eléctrico y se imparten una vez al mes. Debido al estado de pandemia actual, se han realizado capacitaciones virtuales al personal.

Filosofía de la empresa ELECTRUM S.A.

Para ELECTRUM S.A., la necesidad de cada cliente es única, por lo que la solución que se ofrece es diseñar a la medida según los requerimientos específicos. La permanencia y pertenencia de ELECTRUM S.A. en el mercado nacional durante tantos

años, se debe al gran conocimiento técnico en ingeniería eléctrica y de los productos Schneider Electric.

Además, sus colaboradores cuentan con el criterio técnico necesario para asesorar a cualquier cliente en la compra de productos de ingeniería eléctrica y desarrollo de proyectos para la industria.

Misión

Brindar soluciones integrales en el campo de la Ingeniería Eléctrica, a través del recurso humano comprometido y capacitado, para lograr satisfacer las necesidades de nuestros clientes y así lograr un liderazgo en el país, incrementando la rentabilidad y contribuyendo al crecimiento de nuestros asociados comerciales.

Visión

Ser una empresa líder en suministrar soluciones integrales en el campo de la ingeniería eléctrica a nivel nacional.

Valores

- Respeto
- Trabajo en Equipo
- Integridad
- Liderazgo

1.2. Justificación del problema

Dentro de los clientes de ELECTRUM S.A. se encuentran centros de actividades turísticas como hoteles y proyectos de urbanización de lujo en diferentes sectores del país.

Uno de sus clientes tiene problemas de control y capacidad de monitoreo de averías y atención de emergencias en puntos clave de su propiedad que afectan de manera negativa la administración del proyecto.

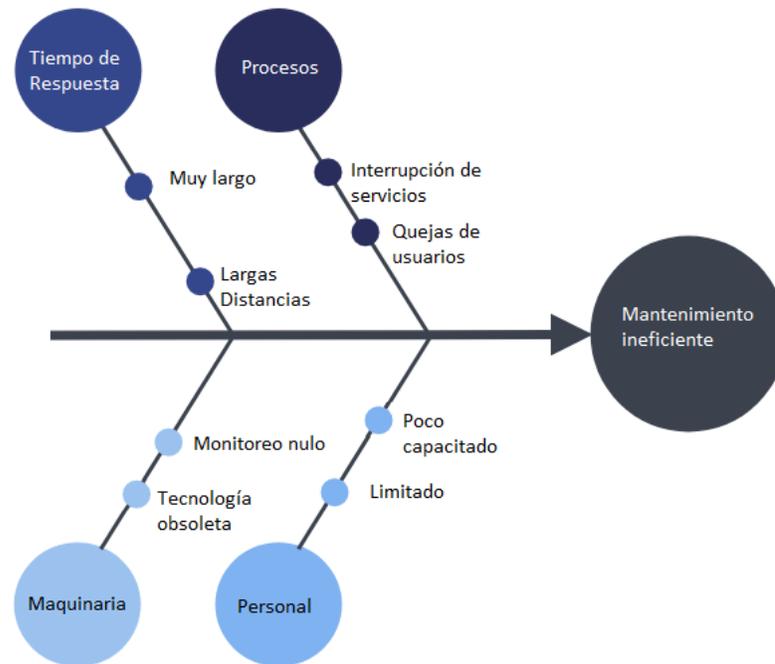
Se requiere de un sistema que funcione de manera automática y que, además, pueda ser controlado y monitoreado de forma remota desde un servidor y que a su vez pueda ser accedido mediante un dispositivo móvil para facilidad del usuario.

1.2.1. Definición del problema

Se utiliza un diagrama de Ishikawa para los problemas identificados al no contar con sistemas de control automatizados y de monitoreo remoto.

El siguiente diagrama de Ishikawa describe las principales carencias del departamento de mantenimiento para poder dar un servicio eficiente y de igual manera, se evidencia la problemática que se genera al no contar con sistemas de control automatizados y monitoreo remoto.

Figura 4.
Diagrama de Ishikawa.



Nota. Elaboración propia (2022).

1. **Tiempo de respuesta:** Las fallas no se detectan a tiempo. Pueden pasar horas antes de que alguien se entere que hay un problema y para desplazarse al sitio, deben de recorrer grandes distancias a una velocidad limitada de máximo 40km/h por reglas internas, causando tiempos de respuesta muy largos.

2. **Procesos:** Los procesos más interrumpidos por falta de suministro eléctrico son las plantas de tratamiento del complejo, generando rebalses de tanques con aguas negras, malos olores y quejas de los usuarios.

3. **Maquinaria:** Los equipos instalados están obsoletos y carecen de mantenimiento por lo que están muy propensos a fallar y su monitoreo es muy aislado, prácticamente son supervisados cada vez que se detecta una falla.

4. **Personal:** La mayoría de las fallas se dan por la noche. El personal rota en dos turnos, diurno y nocturno, siendo este último tomado por una sola persona encargada de monitorear cada punto con una baja o carente capacitación para resolver problemas.

¿Será posible lograr concretar un centro de control y monitoreo remoto de manera que se pueda tener acceso a la información y alarmas de los diferentes procesos industriales en tiempo real para dar un mantenimiento predictivo que garantice alargar la vida útil de los equipos?

1.3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1.Objetivo General

Implementar un sistema de control automatizado que pueda ser supervisado de manera remota por el personal de mantenimiento desde un centro de control y, además, desde cualquier dispositivo móvil con tecnología actualizada que disminuya los tiempos de respuesta ante fallas y recopile información que pueda procesarse para un mantenimiento predictivo eficiente en el departamento de servicios generales de la empresa.

1.3.2.Objetivos Específicos

1. Estudiar cómo funciona una transferencia automática para suministro eléctrico, así como sus etapas de funcionamiento y cuidados necesarios para evitar daños a equipos o personal involucrado en su operación y mantenimiento.
2. Seleccionar dispositivos de automatización de última tecnología que se adecúen de manera correcta para el control óptimo del sistema según el requerimiento del cliente final e integrarlos en un diseño funcional.
3. Realizar una configuración de red de comunicación ethernet adecuada para la infraestructura actual del cliente, por donde se transmitirán los datos que serán posteriormente recolectados y almacenados para su respectivo estudio y serán de ayuda en toma de decisiones.
4. Implementar una lógica de funcionamiento sobre control para el controlador lógico programable (PLC) que pueda interactuar con el sistema de control y adquisición de datos propuesto.

5. Configurar la aplicación en ambiente SCADA para integrar cada uno de los puntos y equipos a monitorear.

6. Establecer una conexión remota para el monitoreo del sistema desde un centro de control lejano al complejo turístico enviando los datos por internet para su respectivo análisis.

7. Establecer el costo monetario del proyecto en su totalidad además de un estudio costo beneficio generado por las mejoras realizadas en los distintos puntos de control.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. Alcances

El diseño, ensamble, programación y puesta en funcionamiento para las transferencias de suministro eléctrico requeridas con equipo capaz de conectarse a una red de comunicación mediante puerto ethernet.

Implementar dos centros de monitoreo escalables. Uno localizado en Guanacaste que pueda ser accesado por el cliente final y otro en San José que funcione como plan piloto de supervisión remota y que ambos puedan integrar la mayor cantidad de equipos de control posibles a futuro.

La adquisición de datos de manera remota permitirá la documentación de eventos y se podrán generar reportes para su respectiva valoración con el departamento de servicios generales, contribuyendo con el mantenimiento predictivo y preventivo de los equipos.

1.4.2. Limitaciones

Por temas de presupuesto, se van a integrar solamente siete de los once puntos en esta primera etapa, contemplando solamente las transferencias automáticas diseñadas en este proyecto, dejando de lado los demás equipos de control ya instalados en cada sitio.

Por solicitud directa del cliente, debido a la base instalada en la mayoría de sus centros de control, se ha limitado que la marca de los equipos de automatización a utilizar para el diseño e implementación del sistema sea específicamente Schneider Electric.

Al ser utilizada la red interna del cliente y no poder realizar ningún cambio por nuestra cuenta, se requieren permisos del departamento de tecnologías de información (TI) del complejo, por lo que el tiempo de respuesta no es el óptimo y esto genera retrasos en la puesta en marcha.

Por temas de distancia y regulaciones internas del complejo turístico, por ejemplo, la directriz de tener como velocidad máxima 40km/h dentro de las instalaciones, en caso de requerir asesoría o intervención directa por motivo de alguna falla en sitio, se complica la logística de transporte de personal y aumenta el tiempo respuesta para atender la emergencia.

CAPÍTULO II.
MARCO TEÓRICO

2.1. TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR

2.1.1. Suministro eléctrico

Se refiere al conjunto de elementos requeridos para llevar la energía eléctrica desde su origen (estación de generación), hasta el usuario final (edificio, planta industrial, vivienda, etc.) que la requiera utilizar.

2.1.2. Suministro eléctrico normal

También llamada “alimentación de calle” se refiere a la alimentación eléctrica entregada por la compañía de servicios de electricidad local, en este caso, el Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.). Este tipo de suministro eléctrico se mantiene constante, pero se puede ver afectado por agentes externos y generar fallas en los abonados.

2.1.3. Suministro eléctrico emergencia

Se refiere a la alimentación eléctrica generada por una fuente alternativa, en este caso, un generador eléctrico, propulsado por combustible fósil y que es instalado y administrado por el usuario final.

2.1.4. Transferencia automática

Se refiere al equipo eléctrico controlado por un microcontrolador que se encarga de monitorear el suministro eléctrico, tanto el normal como el de emergencia, y administra

el tipo de alimentación eléctrica requerida ejecutando una secuencia que permite el cambio entre normal y emergencia.

Existen 4 tipos de transferencia de suministro eléctrico, clasificados según su uso.

a. **Tipo abierta:** Se refiere al tipo de transferencia donde se realiza un corte de alimentación del suministro eléctrico durante la conmutación. La alimentación de calle o normal y la alimentación de generador o emergencia no pueden estar conectadas al mismo punto al mismo tiempo, por lo que se deben seccionar de manera individual y evitar su unión al momento de volver a la normalidad ya que esto puede generar graves daños a nivel de hardware o humano, es el más utilizado a nivel comercial e industrial.

b. **Tipo cerrada:** Los cortes en el suministro eléctrico son impredecibles en la mayoría de las ocasiones, la carga siempre se verá afectada por ese corte y quedará sin alimentación eléctrica hasta que entre en funcionamiento la alimentación de emergencia.

Con una transferencia tipo abierta, también hay un corte de alimentación eléctrica al momento de volver al estado normal ya que tiene que abrir ambos seccionadores por un instante antes de hacer el cambio respectivo.

La transferencia del tipo cerrada cuenta con generadores que se sincronizan con la red eléctrica de calle, de manera que pueden estar habilitados al mismo tiempo que están conectados al mismo punto sin tener ninguna complicación. Lo que hace que, al momento de realizar el cambio al suministro normal nuevamente, no se vea afectada la carga con un nuevo corte eléctrico.

Se utiliza para sitios críticos como hospitales o sitios que cuenten con UPS modular donde los cortes de alimentación eléctrica pueden generar daños o disminución de la vida útil de equipo sensible.

c. **Tipo carga suave:** Este tipo de transferencia cuenta con un control sobre los generadores de emergencia que hace que el suministro entregado no se realice de un solo golpe, sino que se controla el paso de la energía de manera escalonada o progresiva seleccionada previamente por el usuario, eliminando así las fluctuaciones que puedan afectar equipo crítico como en data centers o equipo médico especializado.

d. **Tipo esclava:** Se refiere al tipo de transferencia que no opera de manera autónoma, sino que depende de la señal de control de otra transferencia de cualquiera de los tipos descritos anteriormente (abierta, cerrada, carga suave).

Sin esa señal de comando, la transferencia esclava queda inactiva (seccionadores en posición de abierto) esperando de manera perpetua la confirmación para realizar el cambio a posición normal o emergencia.

Además, se puede clasificar la conmutación del neutro en una transferencia de suministro eléctrico de la siguiente manera:

- a. **Neutro sólido:** Se realiza la conmutación entre las fases de alimentación eléctrica mientras que el neutro permanece siempre conectado sin cambio alguno ya que se mantienen unidos el neutro de la alimentación normal de calle y el neutro del generador eléctrico en una barra de cobre común.
- b. **Neutro conmutado:** Se realiza la conmutación entre las fases de alimentación y también se realiza conmutación del neutro, de manera que se mantiene aislada la línea de neutro de la alimentación eléctrica normal y el del generador de emergencia.
- c. **Neutro traslapado:** La conmutación entre fases se realiza de manera normal pero el neutro aislado de cada una de las fuentes, entra después que se estabilizó la

carga, quedando libre de energía por inducción generada por la carga mecánica en movimiento de la máquina.

2.1.5. Panel de control eléctrico

Según artículo 409 del NEC 2020, los paneles de control industriales se definen como “un conjunto de disposiciones estándar y sistemáticas de más de un componente de control” (pp.70-276).

El panel de control eléctrico contiene todos los dispositivos necesarios para controlar un proceso deseado, componiéndose de dos zonas principales, la parte interior que alberga todos los equipos eléctricos y electrónicos y la parte exterior que contiene los dispositivos de monitoreo y visualización.

El diseño de un panel eléctrico va de la mano con el proceso a controlar y la cantidad de equipos requeridos, puede ser un panel de control pequeño para administrar el uso de un solo motor por ejemplo o un panel grande compuesto de varios cuerpos para controlar toda una planta industrial y todos sus procesos.

El panel de control es personalizado al gusto y necesidad de la aplicación, aunque también existe la posibilidad de estandarizar algunos paneles utilizados procesos que son de uso común como sistemas de bombeo y transferencias automáticas.

2.2. CONTEXTO TEÓRICO

2.2.1. PLC

El PLC (Programming Logic Controller) es un dispositivo electrónico que puede ser programado y que es utilizado para controlar procesos industriales automáticos de alto rendimiento y que requieren alto grado de precisión.

El PLC se compone básicamente de una memoria y un microcontrolador interno que puede ser programado mediante un software en una computadora y parametrizado según el requerimiento del sistema.

Posee una sección con entradas donde llegan las señales externas que le indican el estado del proceso. Y otra sección de salidas que son las que manejan los dispositivos de control. Estas entradas y salidas pueden ser digitales o analógicas según la configuración que se requiera para el proceso a controlar.

Las entradas y salidas digitales son señales que solo tienen dos estados posibles, 1 o 0, donde 1 representa que existe presencia verdadera o existencia de voltaje en ese punto. Por otra parte, las entradas y salidas analógicas son señales cuyo valor varía en el tiempo, son utilizadas por ejemplo para medir valores físicos como presión, temperatura o caudal.

Para este proyecto se utilizará el PLC M221 de la marca Schneider Electric el cual cuenta con 14 entradas digitales y 10 salidas digitales y cuenta además con la capacidad de expandirse con 14 módulos de ampliación si fuera necesario.

Figura 5.
PLC.



Nota. Schneider Electric (2022).

2.2.2. Sensor de voltaje

El sensor de voltaje es un dispositivo electrónico que se encarga de monitorear el estado de cada una de las líneas que alimentan el sistema y dan un aviso con ayuda de una señal digital si se genera una perturbación como, por ejemplo, presencia o no de voltaje, sub y sobre voltaje, pérdida de alguna línea.

El sensor seleccionado es el RM17TE00 de la marca Schneider Electric. Este equipo será utilizado en este proyecto para poder monitorear tanto la alimentación eléctrica de normal como la de emergencia y poder ejecutar la transferencia en el momento oportuno.

Figura 6.

Sensor de voltaje.



Nota. Schneider Electric (2022).

2.2.3. Switch de red

El switch de red es un dispositivo electrónico que se utiliza para conectar equipos a una red de comunicación mediante el protocolo de internet (IP) ayudando a entregar paquetes de información entre todos los dispositivos que se encuentran conectados a él.

Para seleccionar el switch correcto para la aplicación requerida, es necesario saber si se necesita administrable (para administrar múltiples redes) o no administrable (para trabajar en una red local sencilla) y la cantidad de equipos a conectar.

Para este proyecto se selecciona un switch no administrable ya que solamente tendrá la función de entregar y recibir paquetes con datos y que tenga 5 puertos para conectar un máximo de 5 equipos, dado que no se requieren más por el momento. Por tanto, se elige el switch TCSEU053FN0 de la marca Schneider Electric.

Figura 7.

Switch de red



Nota. Schneider Electric (2022).

2.2.4. Temporizador

Un temporizador es un dispositivo electromecánico que se utiliza cuando se requiere un retardo en la activación o desactivación en un momento dado. Consiste en la energización de una bobina que cambia el estado de sus contactos internos transcurrido un tiempo seleccionado por el usuario con una perilla o selector.

Al retardo en la activación se le conoce como TON y trabaja con la siguiente secuencia:

1. Se energiza la bobina.
2. Empieza a transcurrir el tiempo seleccionado.
3. Una vez superado el tiempo seleccionado, cambia la posición de los contactos.

Al retardo tras la desactivación se le conoce como TOFF y trabaja con la siguiente secuencia:

1. Se desenergiza la bobina.
2. Empieza a transcurrir el tiempo seleccionado.
3. Una vez superado el tiempo seleccionado, cambia la posición de los contactos.

Para este proyecto se selecciona el temporizador LADR2 de la marca Schneider Electric. La bobina de este dispositivo es la de un relé de control que también se requiere para poder controlar el sistema.

Figura 8.

Temporizador.



Nota. Schneider Electric (2022).

2.2.5. Contactor de control

Este dispositivo electromagnético que asemeja un interruptor y se compone de una bobina que, al activarse, genera un campo electromagnético, cambiando la posición de una serie de contactos metálicos, de manera que cuando sus contactos están cerrados, permiten el paso de la corriente eléctrica entre ellos y de forma contraria, cuando se abren, detienen el paso del flujo de corriente.

Para este proyecto se requiere del contactor de control CAD32 de la marca Schneider Electric al cual se le adicionará su accesorio temporizador LADR2 para poder controlar el encendido y apagado del generador de emergencia en el caso que se dé una afectación en el servicio eléctrico normal.

Figura 9.

Contactor de control CAD32.



Nota. Schneider Electric (2022).

2.2.6. Fuente de poder

La fuente de poder es un dispositivo que permite hacer cambios de voltaje para la alimentación de ciertos equipos específicos que trabajan con una diferencia de potencial distinta a la que suministra la alimentación principal.

La fuente cuenta con un pequeño transformador y un rectificador con la capacidad de disminuir el voltaje y cambiar el tipo de corriente a entregar a los diferentes equipos, por ejemplo, los dispositivos que trabajan a 24Vdc cuando la alimentación disponible es de 120Vac.

Para este proyecto se requiere de una fuente que convierta de 120Vac a 24Vdc para alimentar las entradas del PLC, el switch de red y previstas para señales de campo y sensores que se utilizarán en el futuro.

Se utilizará la fuente de poder HDR-60-5 de la marca Mean Well que cuenta con la capacidad de convertir un voltaje de entrada en un rango entre los 100Vac y los 240Vac a un voltaje estable de salida de 24Vdc.

Figura 10.
Fuente de poder.



Nota. Mean Well (2022).

2.2.7. Transformador de control

El transformador es un dispositivo eléctrico que tiene la capacidad de modificar el valor del voltaje en su entrada aumentándolo o disminuyéndolo en su salida dependiendo de la aplicación requerida manteniendo la misma potencia en corriente alterna.

En algunos de los sitios a intervenir el voltaje disponible es de 480Vac lo que no es compatible con la alimentación requerida para los equipos de control, por lo que se requiere de un transformador que pueda disminuir ese voltaje a 120Vdc y de esta manera utilizar todos los dispositivos sin peligro de daño.

Figura 11. Transformador de control.



Nota. ELLICOM (2022).

2.2.8. Enrutador

Un enrutador, es un dispositivo electrónico que se encarga de conectar una red local con otra u otras redes externas a través del internet creando una ruta de transmisión de datos sobre Ethernet.

En este caso, se selecciona un enrutador capaz de crear una línea directa de comunicación entre la red del cliente y una computadora de monitoreo remoto que se encuentra lejos del complejo, encriptando la información y que se puede acceder de manera rápida y segura.

Figura 12.
Enrutador.



Nota. Tosibox, 2022.

CAPÍTULO III.
MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque de la Investigación

Este proyecto está basado en el enfoque cuantitativo. Según Rodríguez (2010, p.32), señala que “este se centra en hechos o causas del fenómeno social, con escaso interés por los estados subjetivos del individuo”.

Dicho método utiliza el cuestionario, inventarios y análisis demográficos que producen números, los cuales pueden ser analizados estadísticamente para verificar, aprobar o rechazar las relaciones entre las variables definidas operacionalmente, además regularmente los resultados de estudios cuantitativos vienen sustentados con tablas estadísticas, gráficas y un análisis numérico.

Este enfoque establece una hipótesis que se genera a partir del problema y con ello se crean las variables que más adelante serán probadas y medidas. Los resultados de las mediciones serán analizados con la finalidad de monitorear su funcionamiento y llegar a tomar la mejor decisión en base a los resultados obtenidos.

1. Finalidad de la Investigación

En las investigaciones la finalidad toma un papel importante según los aportes generados en el tema de estudio.

Son dos tipos de enfoques que tiene la finalidad: la aplicada y la teórica. Para esta investigación la finalidad se basará en ser aplicada, dicho esto, este trabajo buscará resolver un problema evidente ocurrido durante el segundo cuatrimestre del 2022.

Es de suma importancia entender el concepto de finalidad aplicada y “La investigación aplicada: su finalidad es la solución de problemas prácticos para transformar las condiciones de un hecho que nos preocupa” (Barrantes, 2013, p.64).

2. Dimensión Temporal

La presente investigación está delimitada a un alcance transversal correlacional puesto que se define un lapso en el cual se desarrollará el estudio debido a que la universidad cuenta con una modalidad de cursos cuatrimestral para la presentación de resultados: “estudia aspectos del desarrollo de los sujetos y de los temas en un momento dado” (Barrantes, 2013, p.64). La investigación pretende establecer si es posible desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo remoto durante el segundo cuatrimestre del 2022.

3. Marco de la Investigación

“Una investigación es mega cuando se realiza un estudio nacional acerca de condiciones socioeconómicas y, para esto se aplica un censo en todo el país o, cuando se plantea analizar una temática amplia y compleja. La macro, en cambio, refiere al estudio que se realiza en una parte o fragmento de lo mega y finalmente, el espacio micro de la investigación refiere a una parte, un elemento, un subtema o un microespacio, acerca del cual el investigador hará su investigación” (González, 2018, p.26).

La presente investigación estudia un espacio micro puesto que se refiere a una muestra muy específica de una sola empresa cliente.

El proyecto en desarrollo contará con una muestra de trabajadores del departamento de desarrollo de mantenimiento e ingeniería.

4. Naturaleza de la Investigación

Según su naturaleza, las investigaciones se pueden orientar en cuantitativas cualitativas o mixtas. Los enfoques cuantitativos tienen la necesidad de medir magnitudes de los problemas a investigar. Y por otro lado el enfoque cualitativo utiliza recolección y

análisis de los datos para interrogantes del proceso de investigación. A todo esto, el mixto contiene de los dos enfoques.

La orientación de esta investigación es de carácter cuantitativo.

“En una investigación cuantitativa se intenta generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento (muestra) a una colectividad mayor (universo o población)” (Sampieri et al., 2014, p.39).

Dicho esto, la técnica de analizar los datos estadísticos es la base para definir esta investigación como cuantitativa puesto que recaba datos, cifras, cantidades numéricas que respaldan la prueba.

5. Carácter de la Investigación

La presente investigación tiene una perspectiva correlacional, ya que pretende encontrar respuestas o información con base a dos o más variables, en cierta medida tiene un valor explicativo, aunque parcial, ya que el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan aporta cierta información explícita.

En el libro “Metodología de la investigación” se afirma que:

Este tipo de estudios “tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables” (Sampieri et al., 2014, p.93).

Es importante indicar que por lo general las mediciones correlacionales se hacen en las mismas personas o participantes, no es común que las relaciones de una variable sean comparadas con las de otros participantes.

3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

3.2.1. Fuentes Primarias

Como fuentes primarias se utilizaron manuales de control eléctrico y guías de usuario de dispositivos electrónicos que ayudaron a suministrar información clave y específica para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 1. Fuentes primarias.

Autor o autores	Organización	País	Año
Schneider Electric	Schneider Electric	Francia	2018
Tosibox	Tosibox	Finlandia	2021
Inductive Automation	Inductive Automation	Estados Unidos	2021
NFPA70	National Electric Code	Estados Unidos	2020

Nota. Elaboración propia (2022).

3.2.2. Fuentes Secundarias

Como fuentes secundarias se utilizaron páginas web que ayudaron a complementar la información obtenida y detallar tanto el proceso de diseño del sistema como la implementación del proyecto.

Tabla 2. Fuentes secundarias.

Clasificación (artículo/libros relacionados)	Nombre	Año de publicación
Página web/artículo	https://www.infoplcn.net	2022
Página web/artículo	https://www.forosdeelectronica.cr	2022
Página web/artículo	https://revistaempresarial.com/	2019

Página web/documentos	http://uhispano.kohahosting.info.uh/	2016
Documentos técnicos	FAO Documento Técnico de Tosibox	2021

Nota. Elaboración propia (2022).

3.2.3. Sujetos de Información

Se pueden definir los sujetos de información como “la población: conjunto de elementos que tienen características en común...Pueden ser finitas o infinitas” (Barrantes, 2005, p.135).

Se especifican los elementos del universo o conjunto de individuos en los cuales se miden o estudian las variables o tópicos de interés de la investigación, se debe especificar:

Margen de error: Se refiere a la cantidad de error aleatorio resultante de una encuesta, define el nivel de confianza obtenido de los resultados de una investigación a menor margen de error mayor confianza en sus resultados. En la investigación en curso, el error se reduce al ser la muestra pequeña.

Nivel de confianza: Es la probabilidad máxima en que podríamos asegurar que un parámetro se encuentra entre los intervalos establecidos, se espera tener entre un 95% y un 98% de confianza al ser el universo de muestra uno relativamente pequeño.

Tamaño del universo: Es el conjunto de elementos definidos con una o más características que posee los elementos que lo conforman. En este caso el universo se enfoca en los colaboradores de la empresa que están en contacto directo con el desarrollo de proyectos tecnológicos.

Tabla 3. Sujetos de información.

Puesto laboral	Profesión u oficio	Experiencia	Relación con el tema
Supervisor de mantenimiento	Ingeniero electromecánico	Más de 20 años	Directa
Operario	Técnico eléctrico	5 años	Directa

Nota. Elaboración propia (2022).

3.2.4. Criterios de inclusión

La muestra se toma de la unidad de análisis, en esta muestra está incluida la muestra de colaboradores que trabajan en el área de mantenimiento, tales como:

- Personal de mantenimiento.
- Departamento de ingeniería.
- Personal de operación.

3.2.5. Criterios de exclusión

Quedan excluidos el resto del personal que no forman parte del grupo de mantenimiento, tales como:

- Personal administrativo.
- Misceláneos.
- Oficiales de seguridad.
- Personal de bodega.

3.3. TÉCNICAS Y HERRAMINETAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Observación

Para recolectar información de la operación y funcionamiento de los equipos, se puede utilizar el método de observación en cada uno de los puntos para determinar la mejor manera de integrar los equipos y cuáles son las variables de monitoreo más críticas.

3.3.2. Entrevista

Para recolectar información se puede realizar por medio de cuestionarios con preguntas cerradas o preguntas abiertas. “En fenómenos sociales, tal vez el instrumento más utilizado para recolectar los datos es el cuestionario. Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir” (Chasteauneuf, 2009, p.71).

Para la presente investigación el instrumento para la recolección de datos consistirá en una entrevista semiestructurada. Un instrumento adecuado, es decir, pertinente, cuando recoge los datos que reflejan bien la realidad estudiada. Y para esto hay que considerar lo siguiente:

1. La aplicación del instrumento.
2. El análisis de las observaciones y mediciones.

La entrevista semi-estructurada de investigación “es un instrumento capaz de adaptarse a las diversas personalidades de cada sujeto, en la cual se trabaja con las palabras del entrevistado y con sus formas de sentir, no siendo una técnica que conduce

simplemente a recabar datos acerca de una persona, sino que intenta hacer hablar a ese sujeto, para entenderlo desde dentro” (Corbetta,2003, pp.72-73).

De manera que la entrevista se realiza de forma adaptada para el entendimiento total del entrevistado y dentro de los temas puntuales para la correcta recopilación de información de la manera más acertada posible.

3.3.3.Lista de Actividades

Se puede definir como “la lista de actividades de un proyecto es una herramienta de gestión de proyectos que muestra el listado de tareas necesarias para realizar un proyecto en orden cronológico” (Talbert, 2022, p.1).

De manera que una lista de actividades nos permite ordenar y tener más claro el proceder en la investigación y esto nos va a ayudar a obtener información valiosa de los equipos en campo para estudiar y proyectar el trabajo a realizar, tomando datos importantes que ayuden a lograr los alcances propuestos y que sirvan como guía para el desarrollo y la planificación acertada del proyecto en diferentes aspectos como los que se definen en la siguiente tabla:

Figura 13. Lista de actividades.

Actividad
Toma de datos (entrevista y visita a campo)
Cálculo del presupuesto requerido para el proyecto
Propuesta de diseño de control
Desarrollo de software de los PLC
Reunión entrega de diseño propuesto
Compra de material faltante

Trabajo de montaje en taller
Alambrado de control
Pruebas en taller antes de la instalación
Contratación de personal en campo
Modificaciones en tableros existentes
Instalación de nuevos fondos falsos
Cableado eléctrico y señales de control
Pruebas de funcionamiento con carga
Configuración del sistema SCADA
Pruebas de comunicación con la red del cliente
Pruebas de funcionamiento reales con carga
Capacitación de personal
Reunión para entrega final del proyecto

Nota. Elaboración propia (2022).

3.4. VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Definición de variables.

Tabla 4. Operacionalización de las variables.

Objetivo Específico	Variable	Definición Conceptual
Estudiar cómo funciona una transferencia automática, así como sus etapas	Transferencias automáticas	Analizar el funcionamiento correcto de una transferencia automática y su operación para reducir las fallas al mínimo.
Seleccionar dispositivos	Dispositivos para monitoreo de voltaje	Elegir los equipos con el menor margen de error para evitar errores de medición y activación.

que se adecúen para el control del sistema.	y accionamiento eléctrico	
Establecer el costo monetario del proyecto en su totalidad.	Presupuesto	Incluir un presupuesto global del proyecto en etapas de ejecución.
Realizar una configuración de red adecuada para la infraestructura actual.	Desarrollo de red	Proponer la configuración de red apropiada que integre a la red actual del cliente.
Diseñar un sistema de transferencia automático con los elementos seleccionados previamente.	Material eléctrico	Proponer los equipos de control adecuados para poder integrar la sección de potencia actual.
Crear un código de programación sobre control para el controlador lógico programable (PLC).	Lógica de funcionamiento	Desarrollar la configuración de los controladores para el correcto funcionamiento del sistema.

Configurar la aplicación en ambiente SCADA para integrar los equipos a monitorear.	Monitoreo	Desarrollar la configuración del sistema S para el correcto monitoreo del sistema.
Establecer una conexión remota para el monitoreo desde otra provincia del país.	Comunicación remota	Proponer el equipo adecuado para crear entre los puntos remotos.

Nota. Elaboración propia (2022).

3.4.2. Diseño de la investigación

Se puede definir que el diseño de una investigación como: “Es el plan y la estructura de una investigación concebidas para obtener respuestas a las preguntas de un estudio” (Kerlinger, 2002, p.81) de manera que, se necesita conceptualizar el problema de la investigación y estructurarlo de forma que funcione como guía para recopilar y analizar datos.

Se utiliza la siguiente tabla para estructurar la investigación en curso:

Tabla 5. Diseño de la investigación.

Pregunta de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de investigación	Técnicas y herramientas
¿Será posible lograr concretar un centro de control y monitoreo remoto de manera que se pueda tener acceso a la información y alarmas de los diferentes procesos industriales en tiempo real para dar un mantenimiento predictivo que garantice alargar la vida útil de los equipos?	Implementar un sistema de control automatizado que pueda ser supervisado de manera remota por el personal de mantenimiento desde un centro de control y, además, desde cualquier dispositivo móvil con tecnología actualizada que disminuya los tiempos de respuesta ante fallas y recopile información que pueda procesarse para un mantenimiento predictivo eficiente en el departamento de servicios generales de la empresa.	Estudiar cómo funciona una transferencia automática para suministro eléctrico, así como sus etapas de funcionamiento y cuidados necesarios para evitar daños a equipos o personal involucrado en su operación y mantenimiento.	Necesidades y requerimientos del sistema	Método descriptivo	Observación Entrevista
		Seleccionar dispositivos de automatización de última tecnología que se adecúen de manera correcta para el control óptimo del sistema según el requerimiento del cliente final e integrarlos en un diseño funcional.	La tecnología para el desarrollo del proyecto	Método descriptivo	Observación Entrevista
		Realizar una configuración de red de comunicación ethernet adecuada para la infraestructura actual del cliente, por donde se transmitirán los datos que serán posteriormente recolectados y almacenados para su respectivo estudio y serán de ayuda en toma de decisiones.	Diseño del proyecto	Método descriptivo	Observación Entrevista

Final labores ensamble	vie. 2-sep-22					•				
Inicio labores de campo	lun. 5-sep-22					•				
Contratación de personal	mie. 21-sep-22	lun. 28-oct-22								
Modificaciones en tableros	mie. 21-sep-22	mie. 5-oct-22								
Instalación de paneles	mie. 21-sep-22	mie. 5-oct-22								
Cableado eléctrico	mie. 21-sep-22	mie. 5-oct-22								
Pruebas de funcionamiento	mie. 5-oct-22	vie. 7-oct-22								
Final labores de campo	vie. 7-oct-22									
Inicio desarrollo SCADA	lun. 10-oct-22									
Configuración del sistema	lun. 10-oct-22	vie. 28-oct-22								
Pruebas de comunicación	lun. 31-oct-22	mie. 2-nov-22								
Pruebas de funcionamiento	lun. 7-nov-22	vie. 11-nov-22								
Final desarrollo SCADA	vie. 11-nov-22									
Capacitación de personal	mie. 16-dic-22	jue. 17-dic-22								
Entrega de proyecto	mie. 11-ene-23									•

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 7. Cronograma de documentación.

Fase	Fecha inicio	Fecha término	2023						
			May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
Inicio del documento	lun. 29-may-23		•						
Recopilación de datos	lun. 29-may-23	vie. 2-jun-23							
Consulta de fuentes primarias	lun. 29-may-23	vie. 8-jun-23							
Capítulos I y II	lun. 12-jun-23	vie. 23-jun-23							

Consulta de fuentes secundarias	lun. 26-jun-23 vie. 30-jun-23							
Capítulo III	lun. 3-jul-23 vie. 14-jul-23							
Capítulo IV	lun. 17-jul-23 mie. 2-ago-23							
Capítulo V	lun. 14-ago-23 vie. 1-sep-23							
Capítulo VI	lun. 4-sep-23 lun. 25-sep-23							
Revisión general del documento	lun. 25-sep-23 mar. 10-oct-23							
Final del documento	mar. 10-oct-23							•
Entrega del documento	vie. 10-nov-23							•

Nota. Elaboración propia (2022).

CAPÍTULO IV.
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La empresa ELECTRUM S.A. cuenta con una gran cartera de clientes en el país y en el área latinoamericana, comprendiendo principalmente los sectores industrial, comercial, hotelero y residencial.

Uno de sus clientes, que se podría definir como residencial-comercial, dado que es un proyecto donde se encuentran residencias de lujo y hoteles muy reconocidos a nivel mundial, requiere una solución tecnológica para poder monitorear y controlar la alimentación eléctrica de sitios estratégicos dentro del complejo en donde, para una primera etapa, se monitorearán 11 puntos específicos, de los cuales, solo se integrarán 7 en este proyecto.

Dichos puntos se distribuyen entre plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), estaciones de bombeo de aguas residuales (EBAR), edificios administrativos y casetas de seguridad o entradas de personal y turistas.

Las PTAR son estaciones donde se procesan las aguas negras de manera que entra el agua sucia y sale limpia y lista para ser devuelta a la naturaleza sin causar ningún tipo de daño al medio ambiente.

Las EBAR son estaciones que reciben aguas negras y las envían a la PTAR. En estas plantas no hay proceso de tratamiento de agua, solamente recolectan el líquido y lo envían en tractos para ser tratado.

Los puntos que se van a intervenir se definen en la siguiente tabla:

Tabla 8. Listado de sitios

Nombre clave	Tipo	Notas adicionales
La Marina	PTAR	NA
Nacascolo	PTAR	NA

Prieta	PTAR	NA
Prieta Collection	EBAR	NA
Base 1	Entrada Turistas	NA
Base 3	Edificio administrativo	Cuenta con 1 esclava
Edificio de operaciones	Edificio administrativo	Cuenta con 2 esclavas y 2 generadores

Nota. Elaboración propia (2022).

El cliente cuenta con transferencias automáticas muy simples para el control de cada punto, las cuales no permiten ningún tipo de monitoreo remoto, todo tiene que ser visualizado en el sitio teniendo como consecuencia que, en caso de algún evento, el encargado de mantenimiento se da cuenta horas después de sucedido.

Cada sitio está muy alejado del otro y la velocidad máxima permitida dentro del complejo es de 40km/h por lo que desplazarse de un lugar a otro es un poco complicado y se tarda mucho tiempo en atender una emergencia.

Esto genera muchos reclamos por parte de los visitantes, retrasos al momento de atender averías, daños por poco o nulo mantenimiento y no se lleva ningún tipo de trazabilidad del funcionamiento de los sistemas en cuestión.

4.2. RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS

Toda la información que se recopilará va a permitir realizar la proyección del diseño del proyecto en cuestión, sin embargo, para obtenerla de la manera más apropiada y

certera, se requiere de la implementación de herramientas de recolección de datos para que posteriormente sean analizados y validados por el investigador.

4.2.1. Instrumento para la recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron 2 herramientas, las cuales permitieron recopilar la información necesaria para diseñar e implementar el proyecto, las cuales son la entrevista estructurada al personal de mantenimiento eléctrico y la observación de cada uno de los equipos instalados en campo.

4.2.2. Entrevista semiestructurada

Se realizó la entrevista con el superintendente de mantenimiento y el operario de campo quienes son los que se encargan de manipular y monitorear los sistemas de servicios generales del complejo turístico, siendo las personas idóneas para la recopilación de la información requerida (ver anexo 1, p.94, opción 1).

De acuerdo con la entrevista realizada, se obtuvieron los siguientes datos:

Equipos:

- Antiguos (en obsolescencia).
- Fallas habituales.
- Mantenimiento ineficiente.
- Monitoreo y registro nulo de eventos

Datos técnicos:

- Voltajes de operación (220Vac a 3 fases y 1 fase y 480Vac a 3 fases).
- Tipo de dispositivos instalados.
- Tipo de neutro existente en cada estación.
- Espacio suficiente para albergar los nuevos equipos.

Personal:

- Capacitación (muy básica)
- Cantidad (1 persona por turno laboral).
- Desplazamiento entre sitios (Largas distancias y velocidad baja).
- Gastos excesivos de tiempos extra de trabajo.
- Contratación de personal externo por emergencias.

Dentro de los datos obtenidos, lo que más se recalca es la necesidad de actualización de tecnología que ayude a mejorar la calidad del servicio brindado, además de dar seguridad en la operación y el mantenimiento predictivo de los equipos de control automático.

Al no tener un sistema de monitoreo confiable que alerte las averías de manera oportuna, se pierde tiempo valioso y se genera molestia para los vecinos, horas de trabajo exhaustivo para el personal del complejo turístico y daños al ambiente cuando se liberan residuos de aguas contaminadas durante una falla en las plantas de tratamiento.

También existe un deseo de minimizar los costos de operación y atención de averías, dado que usualmente los periodos de tiempo donde se reportan la mayor incidencia de averías son los más complicados, en (horario nocturno y días festivos).

No se cuenta con un registro histórico de la cantidad de eventos por pérdida de alimentación eléctrica que se presentan al día, cantidad de eventos por activación de los generadores de emergencia, si se activan o no tras una fluctuación de voltaje, lo que hace difícil saber, por ejemplo, cuando cambiar el aceite del generador o reportar averías a la compañía que suministra el servicio eléctrico.

4.2.3. Observación

Para apoyar la observación, se genera un listado de control o check list, que es una “herramienta en un formato (impreso o digital) que se utiliza para recolectar datos sobre la situación de un proceso o actividad” (Zambelli, 2023, p.1).

Por medio de la herramienta de la observación, se puede generar un listado de control de la información de cada uno de los puntos a intervenir y así tomar decisiones a la hora del desarrollo del diseño del sistema, como se aprecia en la tabla 6.

Tabla 9. Listado de observación

Nombre clave	Tipo	Espacio disponible alto x ancho	Voltaje de operación	Tipo disyuntor	Notas adicionales
La Marina	Master	50x40cm	480V, 3f	Breaker con motor giratorio	Motor opera a 240Vac, panel intemperie, no hay cable de red en panel.

Nacascolo	Master	80x50cm	480V, 3f	Breaker con motor giratorio	Motor opera a 240Vac, panel intemperie, no hay cable de red en panel.
Prieta	Master	100x60cm	480V, 3f	Breaker con motor giratorio	Motor opera a 240Vac, no hay cable de red en panel.
Prieta Collection	Master	160x60cm	480V, 3f	Breaker con motor giratorio	Motor opera a 240Vac
Base 1	Master	80x50cm	240V, 3f	Breaker con motor giratorio	Motor opera a 240Vac
Base 3	Master	80x50cm	240V, 3f	Mecanismo de resorte	Cuenta con 1 esclava, Motor opera a 120Vac, instalación en fin de semana, no hay cable de red en panel.
Edificio de operaciones	Master	180x60cm	480V, 3f	Schneider Electric	Cuenta con 2 esclavas y 2 generadores, Motor opera a 120Vac

Nota. Elaboración propia (2022).

El primer instrumento a utilizarse en esta etapa corresponde a la observación, de acuerdo con varias visitas realizadas al complejo turístico para visualizar el proceso operativo y el funcionamiento de cada sistema de control instalado en sitio. Se realiza una inspección de los diferentes equipos que lo conforman y se verifican los puntos que requieren atención y mejoras, así como, las características y condiciones en las que se encuentran los elementos.

De las observaciones realizadas al espacio físico dentro de los tableros donde se ubica cada transferencia actual, se determinó que el mismo es el adecuado en la mayoría de los casos, ya que, de los 7 puntos a intervenir, en uno de ellos se requiere un diseño distinto porque cuenta con poco espacio interno.

El funcionamiento en todos los puntos es muy similar, solo existen 2 sitios que deben contar con transferencias esclavas que alimentan otras cargas aparte de las principales, por ejemplo, con la alimentación eléctrica principal de Base 3 que es un edificio administrativo también se alimenta la clínica que se encuentra cerca.

De la misma manera se observa que la mayoría de los sitios cuenta con un punto de conexión a la red de la empresa por lo que realizar la conectividad entre todos los equipos y el sistema de monitoreo es factible, pero se debe realizar canalización de líneas de cable de red nuevas.

Con relación al centro de monitoreo u oficina central, se encuentra que el cliente final no cuenta con un equipo servidor adecuado para realizar la labor requerida por lo que será un punto a tomar en cuenta dentro del listado de materiales del proyecto.

Por otro lado, se observa el estado del conmutador de potencia y los componentes internos de control de donde se puede determinar que la parte de potencia se encuentra en buen estado con excepción de un sitio, Edificio de operaciones, donde se deberá reemplazar la etapa de potencia.

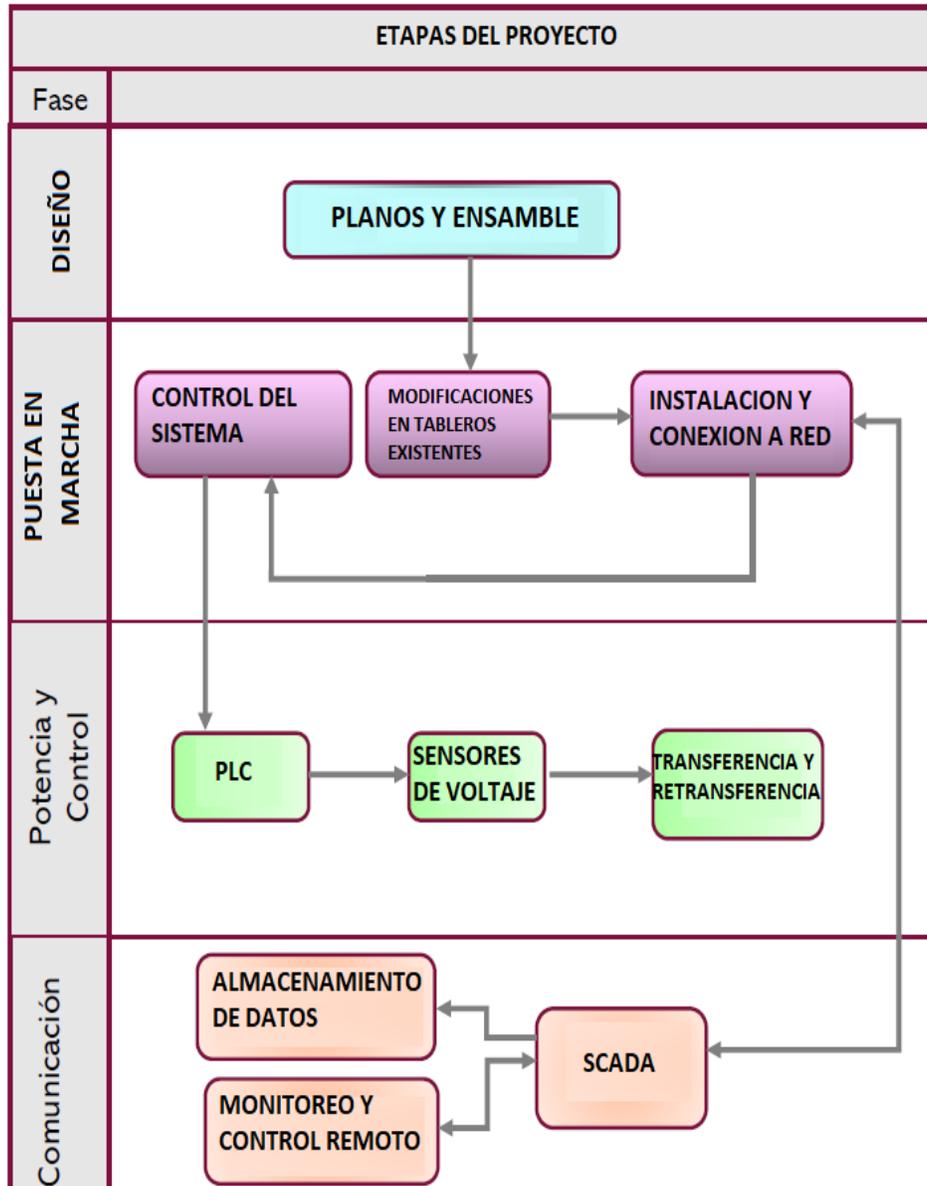
La etapa de control sí se tendrá que cambiar en todos los tableros ya que los equipos instalados se encuentran muy deteriorados por el paso de los años y además que no son compatibles con el tipo de conectividad que se requiere implementar en el proyecto.

4.4. DESARROJO DEL PROYECTO

4.4.1. PROPUESTA DEL PROYECTO.

Figura 14.

Etapas del proyecto.



Nota. Elaboración propia (2022).

Las etapas representadas en el diagrama anterior indican como se llevará a cabo el proyecto:

La etapa de diseño contempla desde que se realizaron las visitas de observación donde se tomaron medidas del espacio interno de los gabinetes y se anotaron datos para seleccionar los materiales a utilizar. Toda esta información es de utilidad para realizar el diseño eléctrico y confección de planos de conexión, los cuales serán la base para ensamblar cada panel de control de transferencia automática.

La etapa de puesta en marcha requiere de modificaciones físicas en los tableros donde se van a alojar los nuevos equipos de control eliminando los componentes antiguos y dejando espacio para la instalación de los componentes nuevos y la conexión a la red de la empresa.

En la etapa de potencia y control, se realiza la programación de los PLC para controlar los nuevos tableros y el cableado con los disyuntores los cuales tienen conectada la potencia de cada sistema. También se realiza la configuración de tiempos para realizar la transferencia de la carga a la alimentación de emergencia en caso de falla y la re-transferencia o restablecimiento de la alimentación normal de la carga.

La etapa de comunicación comprende el direccionamiento de los equipos para interconectarse a la red del cliente y la configuración del sistema SCADA que se encargará del almacenamiento de datos, monitoreo y control remoto del sistema.

CAPÍTULO V.
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. ASPECTOS DE DISEÑO

La propuesta se basa en la automatización, monitoreo y control remoto de transferencias agilizando el proceso de manera que se pueda llevar un historial de eventos y fallas y a su vez disminuir los tiempos de respuesta ante posibles eventos, además de buscar reutilizar el espacio disponible dentro de los gabinetes y reciclar también su unidad de potencia o conmutador para disminuir los costos de inversión.

Se adiciona un sistema SCADA para control remoto de cada uno de los puntos, con el cual no se tendrá que desplazar al sitio en caso de requerir una operación manual y ayudar a tener un mantenimiento predictivo de los equipos.

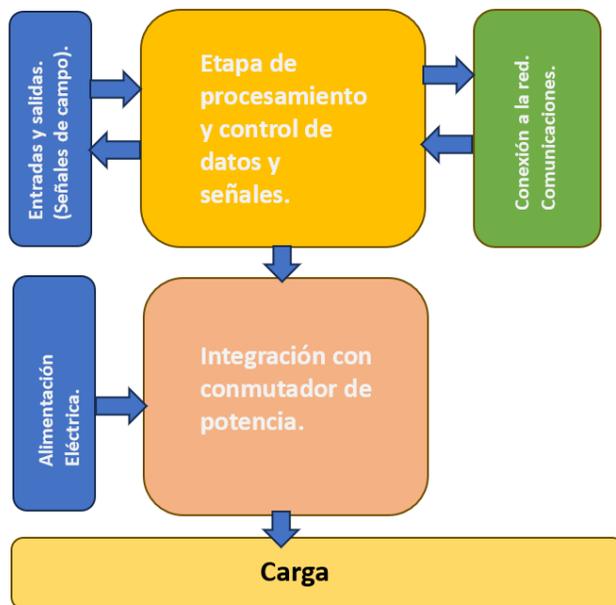
5.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Con la observación en campo y la recopilación de datos de cada tablero, se inicia con el diseño de los fondos falsos que soportarán los componentes requeridos eléctricos necesarios para el control de cada transferencia.

En primera instancia, se genera un diagrama de bloques de los componentes generales que deberá contener el diseño de control para asegurar el funcionamiento correcto del sistema, como se muestra en la figura 14.

Figura 15.

Diagrama de bloques del prototipo.

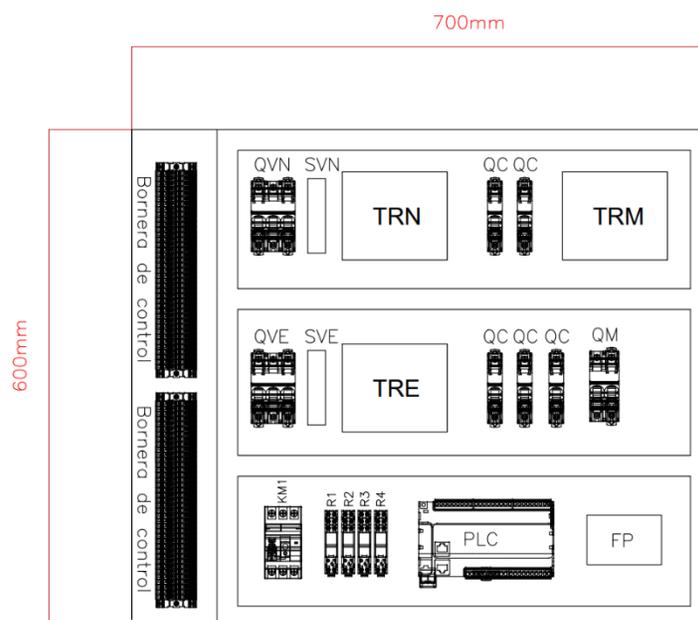


Nota. Elaboración propia (2022).

Se prosigue con una plantilla de las medidas tomadas en campo para sobreponer los componentes eléctricos y confirmar de manera visual la distribución de los mismos y que esta no entre en conflicto con ningún elemento existente en el tablero.

Al realizar una distribución de equipo eléctrico, con ayuda del software de dibujo técnico, Auto CAD, se debe de tomar en cuenta que los elementos que generan más calor se deben colocar en la parte más alta del fondo falso para evitar que se les transmita calor a los demás componentes. En este caso los elementos que se calientan más son los transformadores de control llamados TRN, TRE y TRM.

Figura 16.
Distribución fondo falso.

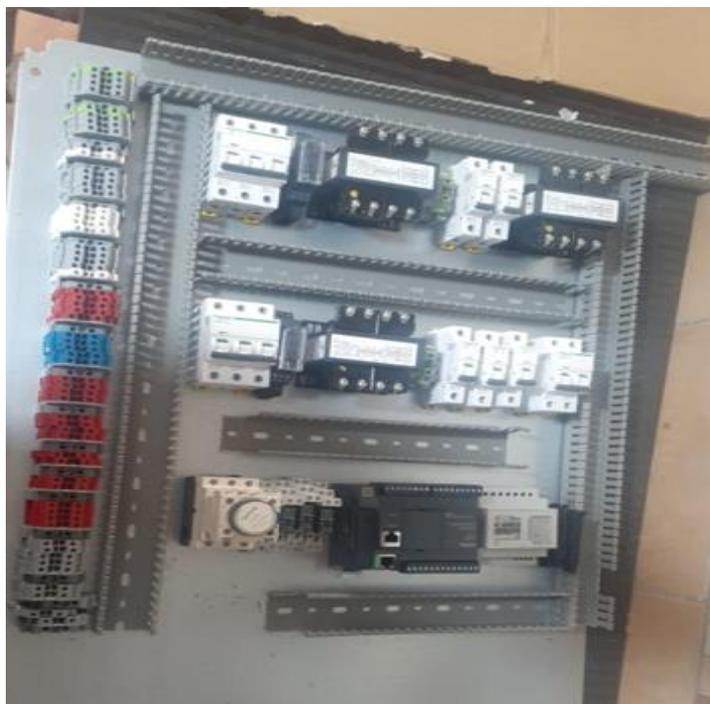


Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 15 se puede apreciar cómo se decide distribuir el fondo falso dejando las borneras para conexiones remotas de manera horizontal en el paramento lateral izquierdo y no en la parte inferior como se acostumbra a hacer, dado que como en todos los tableros a intervenir las puertas abren hacia la derecha, se facilita la canalización del cableado de control.

Luego de comprobar que los elementos se ajustan al espacio físico disponible, se procede a colocar todos los elementos sobre el fondo falso metálico que será instalado posteriormente en la parte interior de cada puerta de los gabinetes.

Figura 17.
Fondo falso metálico.



Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 16, pueden observarse los elementos de control eléctrico sobre el fondo falso de metal donde serán fijados con tornillería y se agrega el ducto ranurado que será la manera de canalizar los cables de control que interconectarán los componentes.

El paso siguiente es la confección de los planos de control con los que se guían las conexiones entre componentes y también cumplen la función de orientación en caso de futuras fallas, correcciones o ampliaciones que se requieran realizar a los tableros.

Se deben tomar en cuenta tres cuidados primordiales para el diseño de un circuito de control para una transferencia automática:

1. La alimentación de Normal y Emergencia vienen de distintas fuentes y no son compatibles entre sí, por lo que se debe asegurar que en ningún momento el breaker de normal y el de emergencia puedan estar cerrados al mismo tiempo, debido a que la salida, donde se conecta la carga, es compartida (ver figura 17 como referencia).

2. La alimentación del control es a 120V y se tiene que recordar que cuando el suministro eléctrico falla, se pierde la energía y los equipos se apagan, por lo que se requiere de un accionador que active el generador sin necesidad de electricidad.

3. Cuando se activa el generador y tenemos electricidad en el lado de emergencia se alimentará el circuito de control por medio de esa energía, por lo que también se debe asegurar que esa energía eléctrica, cuya fuente es la planta de emergencia, no entre en conflicto con la energía eléctrica de normal cuando esta vuelva a la normalidad.

Para solucionar el primer punto se puede proceder de tres maneras diferentes:

1. Bloqueo mecánico: Este tipo de bloqueo es, básicamente, una pieza que bloquea el breaker cuando el contrario se encuentra cerrado, de manera que solo puede haber uno cerrado a la vez. Este tipo de pieza de bloqueo puede estar integrada dentro del mismo kit de ensamble o puede ser un seccionador que solo tiene un sentido de giro, lo que no permite que ambos breakers se activen a la vez.

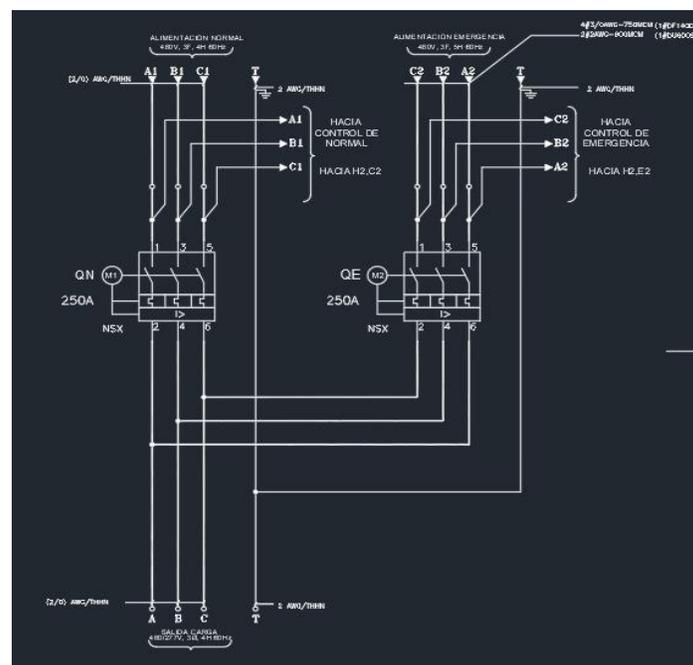
2. Bloqueo eléctrico: Este tipo de bloqueo se basa en utilizar los interruptores internos de cada breaker que indican el estado del equipo (abierto o cerrado) e integrarlos al circuito de control para evitar que se puedan activar ambos disyuntores al mismo tiempo.

3. Bloqueo virtual: Se refiere al bloqueo que se hace mediante software en el PLC que va a controlar el sistema, asegurando que no se van a cerrar ambos breakers (disyuntor termomagnético) al mismo tiempo.

Para este proyecto se decide utilizar las tres formas de bloqueo de manera simultánea para asegurar el funcionamiento correcto del sistema y la integridad física de los componentes y la carga que será conectada.

Figura 18.

Diagrama de potencia.

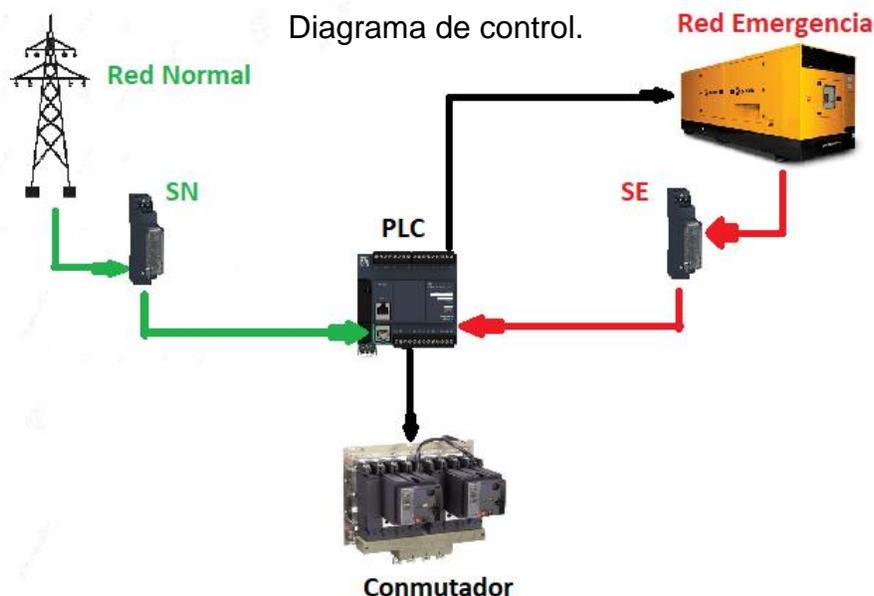


Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 17, puede observarse el diseño de conexión de potencia para los disyuntores eléctricos en donde QN representa el breaker de normal y QE el de

emergencia y en la sección baja se encuentra interconectada la salida de ambos en un punto común donde se conectará la carga.

Figura 19.



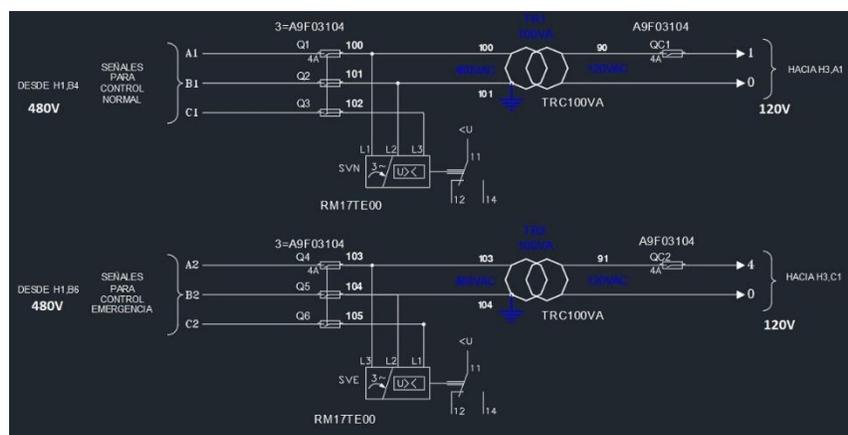
Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 18, puede observarse el diagrama de bloques básico de funcionamiento propuesto para el diseño del control eléctrico de cada transferencia automática donde el PLC recibe las señales de estado de Normal y de Emergencia y con base en esas señales controlará la posición del conmutador de potencia y mantendrá encendido el generador eléctrico o lo enviará a apagar.

Para la sección de alimentación del control, como se manejan dos fuentes distintas de energía, se requiere separar el voltaje de control utilizando transformadores y sensores de voltaje individuales para que no entren en conflicto.

Figura 20.

Primera sección de control.



Nota. Elaboración propia (2022).

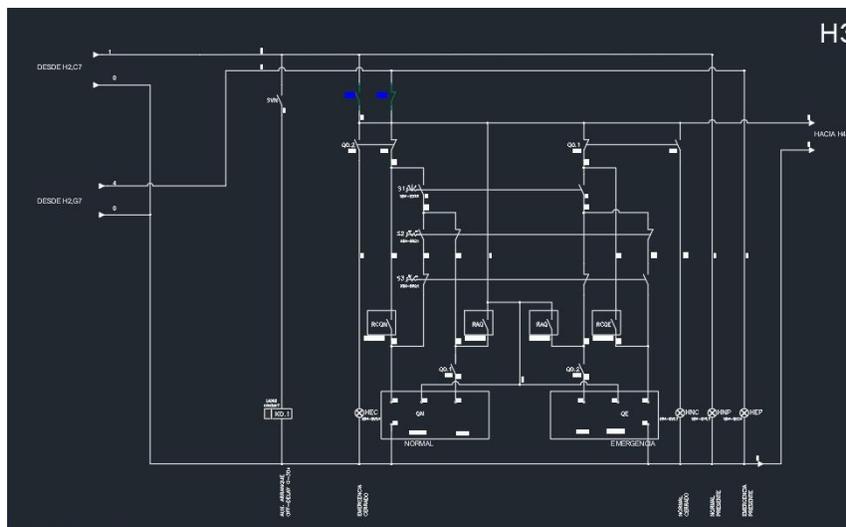
En la figura 19, se puede apreciar el cambio de voltaje de cada alimentación eléctrica para control de 480V a 120V mediante el uso de transformadores (TR1 para normal y TR2 para emergencia) y también se aprecia la conexión de los sensores de voltaje SVN para normal y SVE para emergencia.

A continuación, se realiza el diseño de la etapa de control tomando en consideración la advertencia número dos antes interpuesta, donde debe asegurarse que tanto el voltaje proveniente de la alimentación normal y la que llega de emergencia no pueden entrar en contacto mutuo.

Para llevar a cabo esta parte se utilizará un relé cuya bobina será alimentada con el voltaje de normal cambiando de esta manera el estado de sus contactos, actuando como un interruptor automático, así que se puede seleccionar de cuál alimentación se va a energizar el circuito de control (cuando normal está presente, se alimenta de normal y cuando normal no está presente y emergencia está presente, se alimenta de emergencia)

y en ningún momento entrarán en conflicto ya que se utilizan contactos contrarios (normalmente abierto para normal y normalmente cerrado para emergencia).

Figura 21.
Conexión de control.

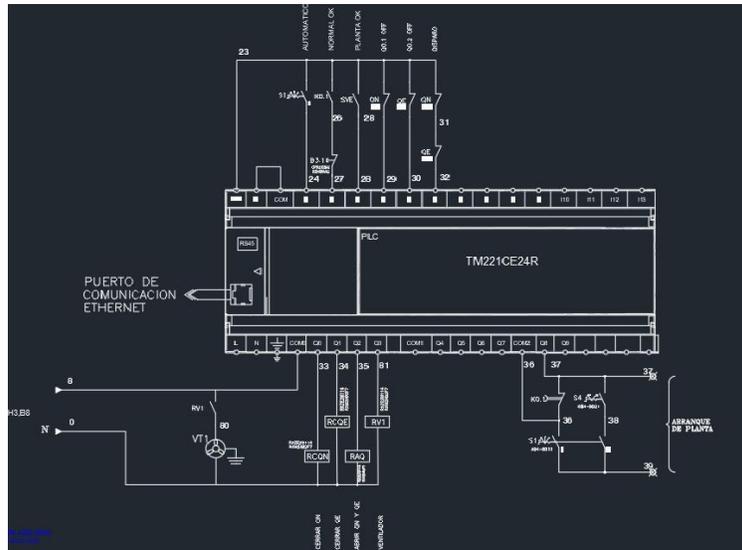


Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 20, se muestra el diagrama de conexiones de control donde se unifica el comando de los disyuntores y el circuito de señalización (luces piloto) que le indica al operario de campo el estado del equipo sin que tenga la necesidad de abrir la puerta del tablero para verificarlo.

Se realiza el diseño de conexiones del PLC con el que se va a controlar el sistema seleccionando las entradas y salidas necesarias para su correcto funcionamiento donde las entradas al controlador en este caso son ser señales digitales alimentadas a 24Vdc y las salidas son contactos libres de potencial cuyo valor seleccionado es de 120Vac para ser compatible con el voltaje de operación de los disyuntores.

Figura 22.
Conexiones al PLC.



Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 21, pueden observarse las conexiones del PLC el cuál será conectado a la red del cliente final para ser manipulado y monitoreado de manera remota por un sistema SCADA, pero primero debe ser programado para que pueda realizar el trabajo requerido.

Una vez terminado el diseño del sistema, se procede con el alambrado de los componentes involucrados atornillados al fondo falso y de esta manera proceder seguidamente con el montaje en campo.

Figura 23.
Panel alambrado.

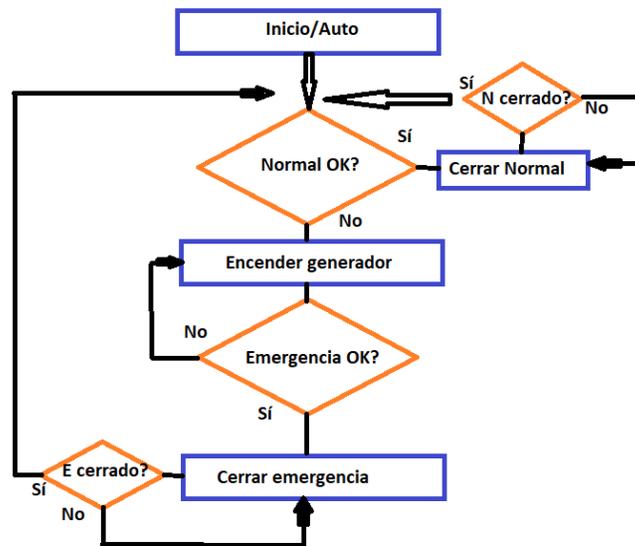


Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 22, se puede apreciar uno de los fondos falsos ya alambrados e instalados, listo para ser programado y poder realizar pruebas de funcionamiento en campo y su conectividad a la red de la empresa.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo para visualizar el funcionamiento del sistema de manera gráfica y así tener mayor claridad de cómo se debe de programar el PLC.

Figura 24.
Diagrama de flujo PLC.



Nota. Elaboración propia (2022).

En la figura 23, se representa el diagrama de flujo de cómo se debe comportar el programa del PLC para el funcionamiento de la transferencia, donde se aprecia que la prioridad siempre la va a tener la conexión de normal.

En un inicio, se verifica si normal está presente, si lo está, se envía la señal para cerrar el breaker QN, en caso contrario, se envía a encender el generador para habilitar la alimentación de emergencia y si esta alimentación se encuentra presente, se realiza el cambio de acometida (transferencia).

Para el caso contrario, cuando vuelve a estar habilitada la alimentación normal, se espera un tiempo prudencial antes de realizar el cambio que sería, abrir QE y cerrar QN y eliminando la señal para arrancar el generador de electricidad, aunque este queda

encendido para realizar un enfriamiento de la unidad durante 15min ya seleccionados por el usuario en la programación del equipo.

Para la configuración del PLC se utiliza el software Ecostruxure Machine Expert Basic de Schneider Electric donde el lenguaje de programación es escalera (Ladder) o lenguaje de contactos.

Se inicia con la distribución de las entradas y salidas del PLC descritas en la siguiente figura:

Figura 25.

Entradas y salidas de PLC.

Entrada	Descripción
I0.0	Automático
I0.1	Normal OK
I0.2	Emergencia OK
I0.3	Normal Cerrado
	Emergencia
I0.4	Cerrado
I0.5	Disparo
Salida	Descripción
Q0.0	Cerrar QN
Q0.1	Cerrar QE
Q0.2	Abrir QN y QE
Q0.8	Generador

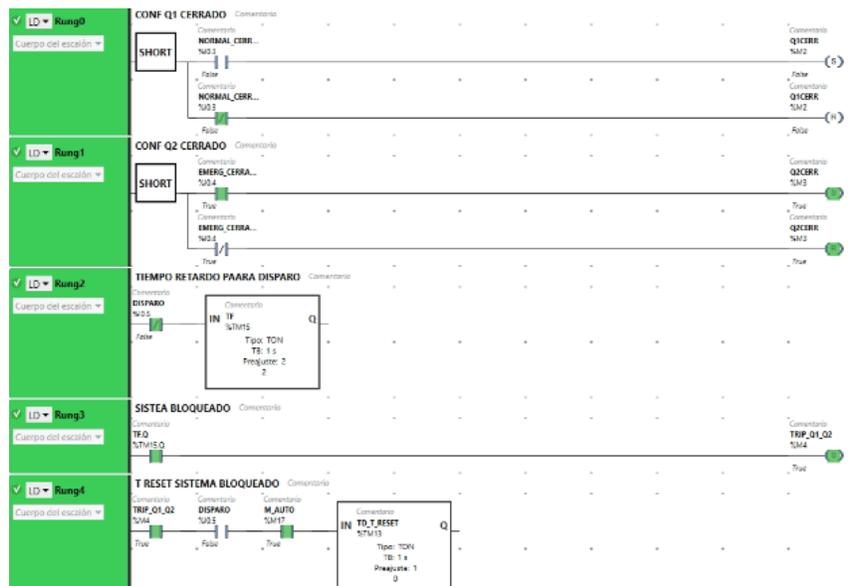
Nota. Elaboración propia (2022).

Una vez realizada la distribución de entradas y salidas del PLC se procede a iniciar la programación en primer lugar declarando las variables a utilizar y luego se estructura el comportamiento del PLC con base en sus señales de entrada.

Se continúa con el desarrollo del programa para lograr las secuencias requeridas de transferencia y re-transferencia, además de agregar dentro del programa las líneas para realizar control remoto y recopilar información del equipo.

Figura 26.

Software de programación.



Nota. Elaboración propia (2022).

Para el monitoreo remoto se crea una sección de programa donde concurren todas las señales a gestionar, a cada una se le asigna una dirección de memoria la cuál será su identificación en protocolo modbus TCP/IP.

Modbus (Modicon Bus) es un protocolo de comunicación industrial desarrollado primeramente por la empresa Modicon, creadores del primer PLC, y contemporáneamente con la adquisición de esta empresa por parte de Schneider

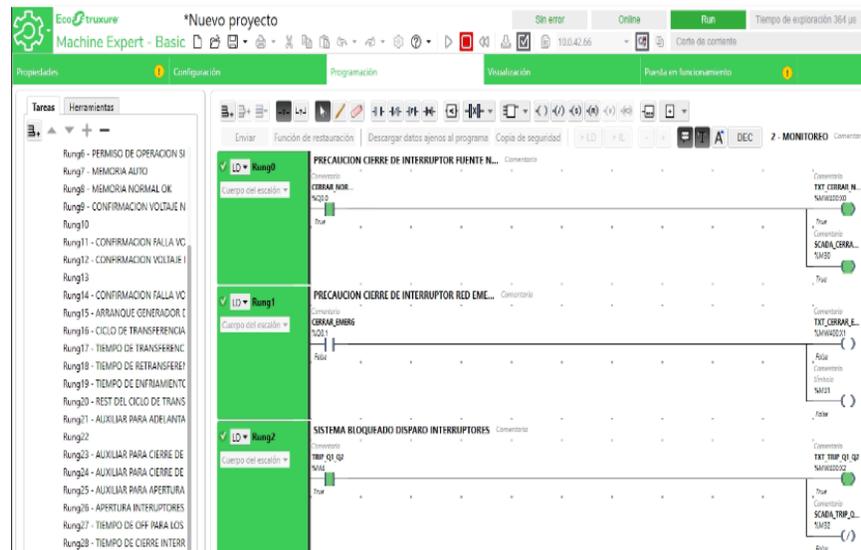
Electric, se convierte en el protocolo por defecto de la mayoría de equipos industriales de la marca.

Se basa en la comunicación Maestro-Esclavo donde el maestro es el equipo que solicita y recibe información y el esclavo es el equipo que solo responde a la solicitud de la información y la envía por la red.

Se utiliza Modbus sobre protocolo de internet para poder tener más de un maestro en la red y mitigar los choques de jerarquía y pérdida de información mientras se realizan las comunicaciones entre los equipos y además de tener conectividad a internet.

Figura 27.

Direccionamiento de memorias PLC.

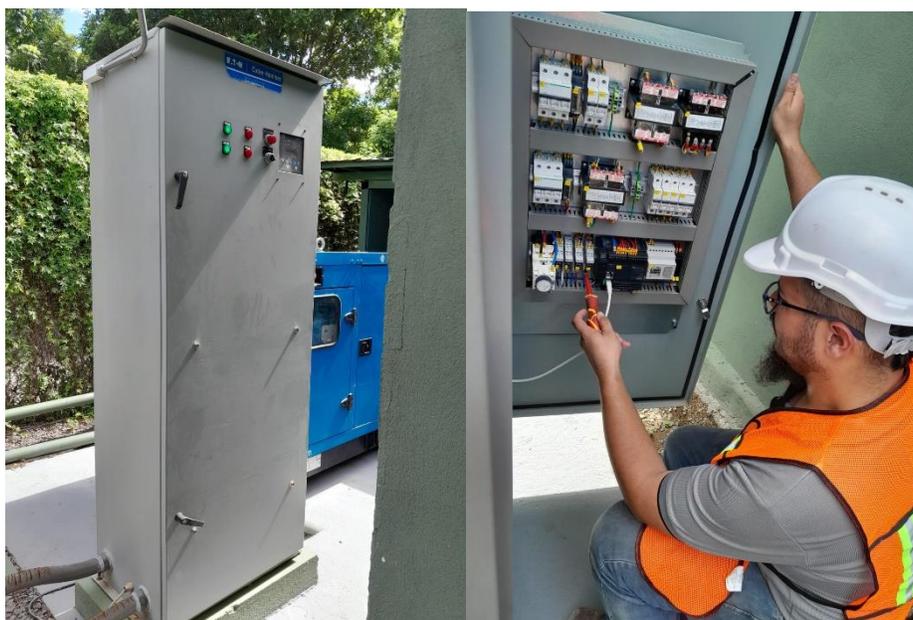


Nota. Elaboración propia (2022).

Por ejemplo, se direcciona el estado de la señal “Normal OK” a la memoria del PLC llamada M33, y esta a su vez será la misma dirección que deberá acceder el SCADA para procesar la información como la dirección número 33.

Figura 28.

PTAR La Marina.



Nota. Elaboración propia (2022).

Para el panel de la planta de tratamiento de aguas residuales La Marina se colocaron las luces de indicación en la tapa exterior del panel a solicitud del cliente, como el panel se encuentra a la intemperie, se colocaron empaques de hule para mantener el grado de protección del tablero.

Una vez finalizadas todas las etapas anteriores, se debe realizar el montaje mecánico, conexiones eléctricas, programación y puesta en marcha en campo con cada uno de los tableros.

Figura 29.
PTAR Prieta.



Nota. Elaboración propia (2022).

El panel de la transferencia de la planta de tratamiento de aguas residuales Prieta, cuenta con dos disyuntores y motor operador de la marca BTS con un solo sentido de giro para realizar la conmutación.

El nuevo panel de control asegura el funcionamiento continuo de la planta y previene fallos como desbordes de aguas residuales y la interrupción de los diferentes procesos de tratamiento de agua.

Figura 30.
PTAR Nacascolo.



Nota. Elaboración propia (2022).

El panel de control de la planta de tratamiento de aguas residuales Nacascolo quedó instalado a la intemperie, reutilizando un gabinete de poliéster resistente al agua y al sol para la protección de los dispositivos internos.

Las botoneras de control manual y las luces piloto para monitoreo del sistema se instalaron en la parte interna del panel para no afectar el grado de protección del gabinete con perforaciones en su paramento frontal, de manera que, si se necesita manipular de manera manual, se debe de abrir la puerta del panel.

Figura 31.
EBAR Prieta Collection.



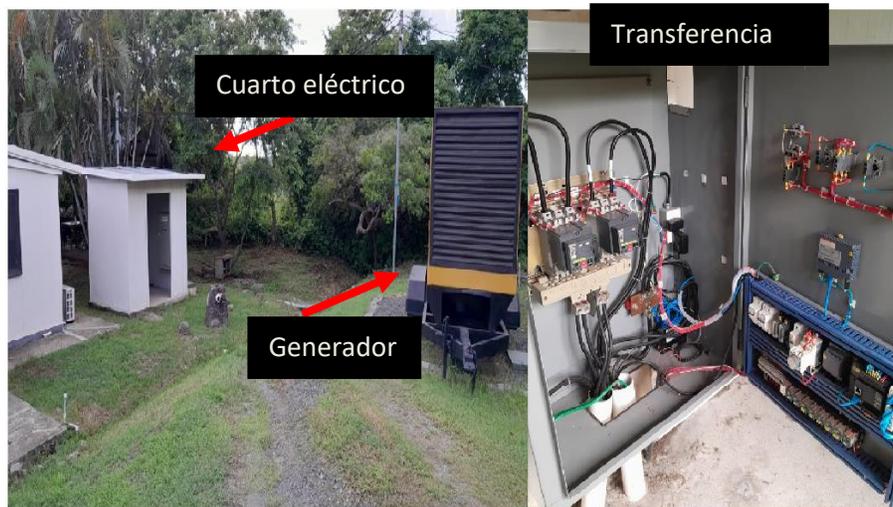
Nota. Elaboración propia (2022).

En la estación de bombeo de aguas residuales Prieta Collection se reutilizó el espacio interno del panel de control de la planta y se colocó en la puerta de la celda izquierda y las luces y selectores se instalaron en la parte superior de la puerta.

En cuanto al generador de energía eléctrica, se encontraba en un estado de abandono, por lo que no funcionaba de manera correcta, de manera que se le realizó un mantenimiento correctivo para habilitarlo nuevamente y correr un protocolo pruebas del equipo.

Figura 32.

Base 3.



Nota. Elaboración propia (2022).

En la transferencia del edificio administrativo Base 3 se reutilizó la sección de potencia que cuenta con disyuntores con motores operadores que son activados con bobinas de apertura y cierre de la marca Schneider Electric.

El mismo proceso se realizó con el panel de control de la transferencia esclava de la clínica del complejo, la cual es comandada por el PLC de la transferencia del edificio de Base 3 según se comporte la red de alimentación eléctrica en la zona.

Figura 33.

Base 1.

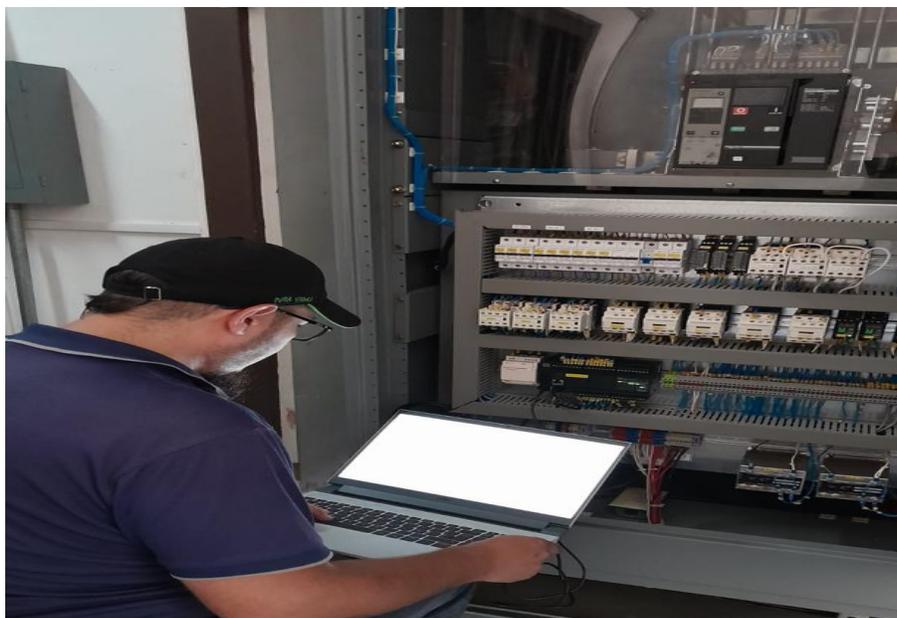


Nota. Elaboración propia (2022).

Para la instalación del fondo falso en Base 1, se tuvo que realizar una modificación no contemplada a la puerta para que pudiera encajar correctamente, lo que retrasó la puesta en marcha del equipo.

Este retraso imprevisto, afectó el horario de pruebas, ya que Base 1 es la entrada de los turistas del complejo turístico y no era permitido mantener inhabilitada por largos periodos de tiempo.

Figura 34.
Edificio de operaciones.



Nota. Elaboración propia (2022).

La transferencia del edificio de operaciones es la de mayor capacidad del complejo, utilizando breakers de 1600 Amperios capaces de soportar la carga de un centro de datos, una estación de telefonía e internet y los ramales de alimentación de otros puntos de la zona.

Este panel cuenta con tres transferencias esclavas, de las cuales únicamente se intervienen dos (Operaciones y Cabletica), la tercera (ICE) quedó fuera de esta etapa del proyecto, pero quedó prevista para integrarla a futuro.

5.2.1. Conectividad de red

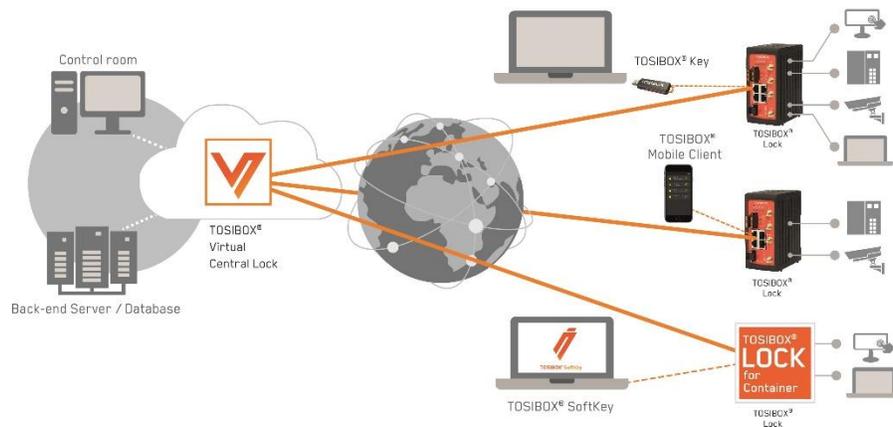
Para la conectividad en la red se propone un diseño de bus en una VLAN la cual creará y administrará el cliente desde el switch principal del complejo ubicado en el

edificio de operaciones y aprovechando la infraestructura de red con fibra óptica con la que ya se cuenta en sitio.

Una VLAN es una conexión de red virtual que se utiliza para separar redes y crear nuevas conexiones sin afectar o saturar de información a las demás, por lo que es una buena opción para la red técnica que se propone.

Aprovechando la VLAN que el cliente va a configurar, se propone utilizar un enrutador para tener conectividad remota y así, llevar un monitoreo en una zona lejana a la que no se puede acceder por radiofrecuencia y donde la tecnología satelital se sale completamente del presupuesto.

Figura 35.
Conectividad remota



Nota. Tosibox (2022).

Los enrutadores Tosibox permiten una conexión directa y encriptada a través del internet, logrando comunicar dos o más puntos distantes sin necesidad de edificar infraestructura monumental, simplemente con un cable de red y una alimentación de voltaje estable.

5.1.3. Implementación de software SCADA

Para el sistema de control y adquisición de datos SCADA, se propone el uso del software Ignition de la empresa estadounidense Inductive Automation, el cual cuenta con muchas ventajas sobre otros paquetes de software en el mercado como la selección de cada módulo de trabajo, dimensionado al gusto del cliente, conectividad móvil, conectividad con la mayoría de los protocolos de comunicación industrial actuales.

Figura 36.
SCADA Ignition.



Nota. Inductive automation (2022).

A cada PLC se le da una dirección IP para ser conectado a la red, ese direccionamiento es gestionado por el departamento de TI de la empresa, con esta dirección IP el sistema SCADA que se instalará podrá solicitar la información a cada equipo.

Figura 37.

SCADA pantalla principal.



Nota. Elaboración propia (2022).

El software instalado se llama Ignition SCADA de la empresa Inductive Automation ubicada en los Estados Unidos. El mismo se encarga de recolectar datos de todos los equipos instalados en campo y también se puede utilizar para controlarlos de manera remota con la ventaja de que se puede acceder al sistema de control y monitoreo desde cualquier dispositivo móvil en cualquier lugar del mundo.

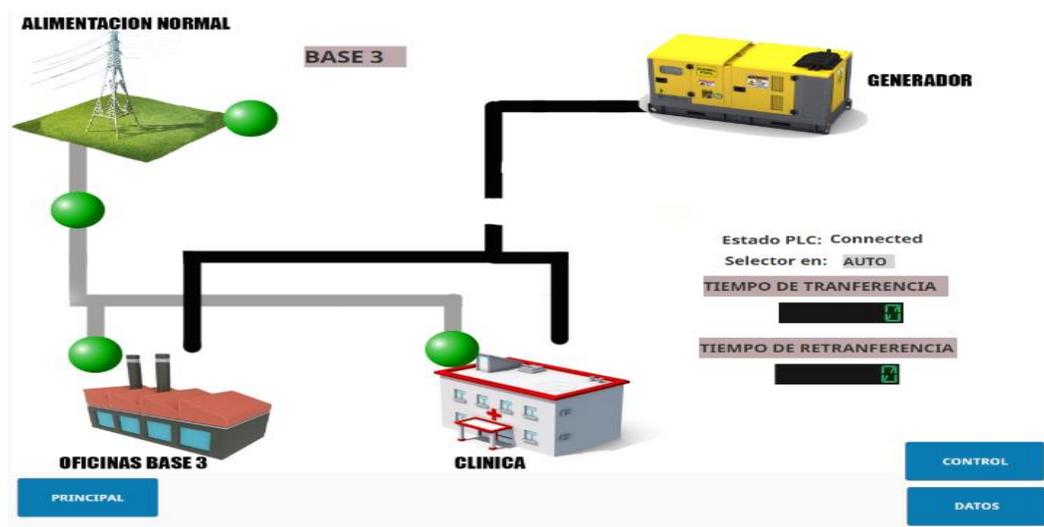
5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

Una vez instalados todos los equipos en su sitio y conectados a la red se pueden realizar pruebas de funcionamiento, las cuales consisten en simular pérdida de energía eléctrica de normal y que el equipo encienda el generador y haga la transferencia de la carga a la alimentación de emergencia. Se deja trabajando por unos minutos y se devuelve la alimentación normal a su estado usual para que el equipo realice la retransferencia.

De igual manera se realizan pruebas de comunicación entre los equipos y el SCADA para comprobar el envío y recepción de paquetes de datos.

Figura 38.

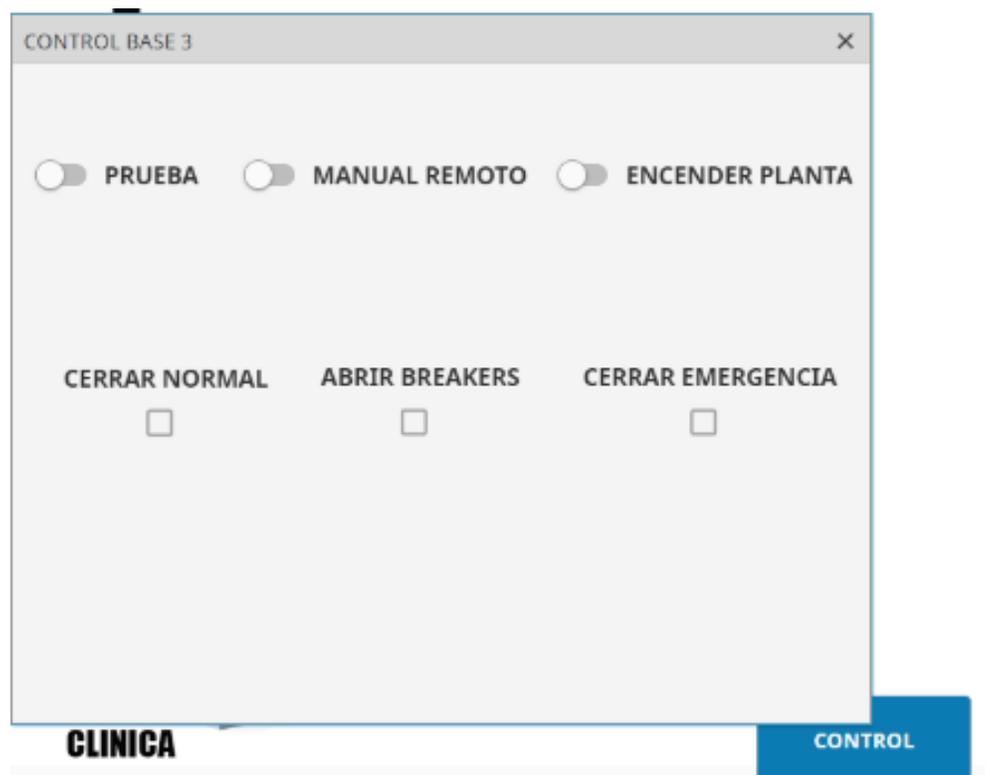
SCADA Monitoreo de estación.



Nota. Elaboración propia (2022).

Se pueden controlar los equipos de una forma a la cual llamaremos “Manual-Remoto” ya que se operan los equipos de manera manual pero no en sitio sino desde una computadora que se encuentra a kilómetros de distancia.

Figura 39.
Control remoto.

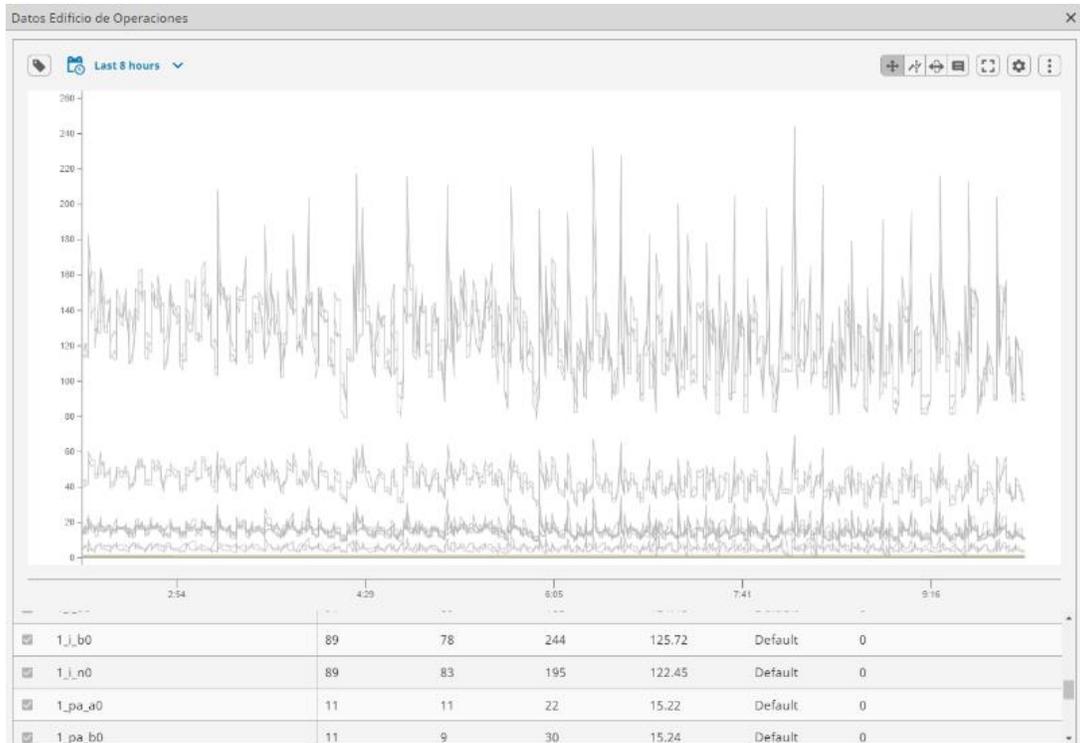


Nota. Elaboración propia (2022).

El SCADA tiene la característica de recopilar datos y almacenarlos para generar bases de datos con las que se realizan estudios de comportamiento del sistema en el tiempo y poder responder de manera temprana ante alguna perturbación que se pueda

percibir en el funcionamiento aminorando tiempos de respuesta y costos por emergencias.

Figura 40.
SCADA Historial.



Nota. Elaboración propia (2022).

Figura 41.

Información descargada en Excel

1	time	esclava cable cm operaci	edificio operi cm operaci	cm operaci	cm operaci	cm operaci
2	08/08/2022 14:06	0	6	0	7	37
3	08/08/2022 14:06	0	4	0	5	41
4	08/08/2022 14:08	0	8	0	7	42
5	08/08/2022 14:08	0	8	0	7	41
6	08/08/2022 14:09	0	3	0	7	45
7	08/08/2022 14:09	0	10	0	4	56
8	08/08/2022 14:11	0	4	0	5	52
9	08/08/2022 14:11	0	4	0	4	50
10	08/08/2022 14:13	0	4	0	3	45
11	08/08/2022 14:13	0	4	0	6	48
12	08/08/2022 14:14	0	8	0	8	45
13	08/08/2022 14:14	0	6	0	5	55
14	08/08/2022 14:16	0	7	0	6	54
15	08/08/2022 14:16	0	7	0	5	48
16	08/08/2022 14:17	0	7	0	4	47
17	08/08/2022 14:17	0	6	0	4	45
18	08/08/2022 14:19	0	7	0	4	48
19	08/08/2022 14:19	0	6	0	4	48
20	08/08/2022 14:21	0	6	0	4	48
21	08/08/2022 14:21	0	5	0	3	39
22	08/08/2022 14:22	0	7	0	6	41
23	08/08/2022 14:22	0	7	0	6	41

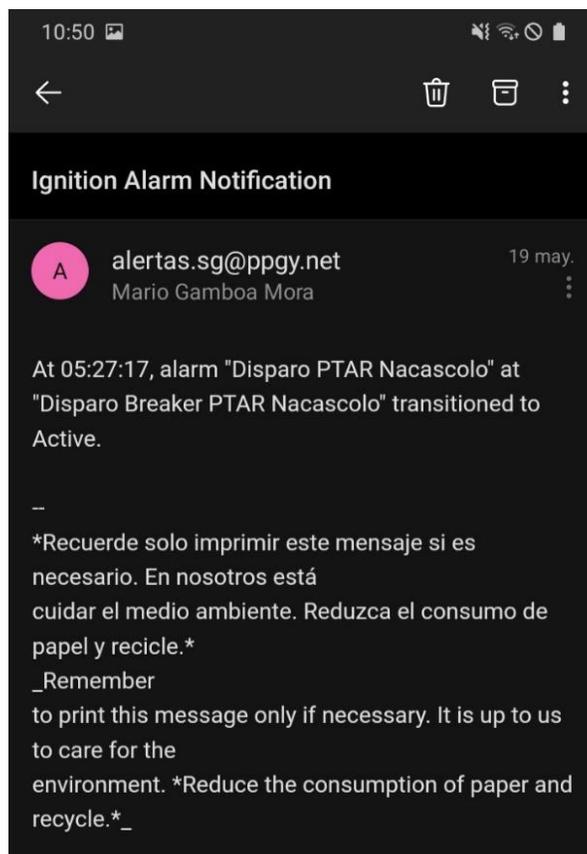
Nota. Elaboración propia (2022).

El SCADA también cuenta con sistema de notificación de alarmas por correo electrónico por lo que se habilitó para su funcionamiento y que el cliente pueda tener información de primera mano en tiempo real.

Este tipo de notificaciones le ayudan al cliente a darse cuenta de los eventos críticos en tiempo real y poder tener un tiempo de respuesta rápido y atender la situación de manera oportuna además que se genera un registro del evento para ser documentado y analizado, posteriormente.

Figura 42.

Alerta en dispositivo móvil.



Nota. Elaboración propia (2022).

5.3. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El proyecto en su etapa final y pruebas quedó trabajando de la siguiente forma:

Cuenta con una operación automática donde no requiere intervención del usuario, de manera que actúa en modo autónomo con base en los cambios en las señales de entrada que reciba desde los sensores y ejecutando el cambio de alimentación de la carga.

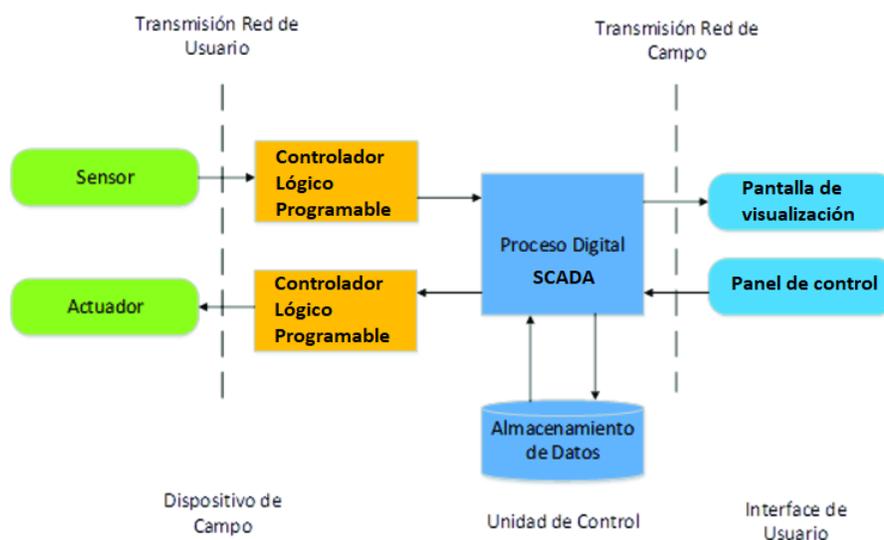
Ligado a este funcionamiento automático, se cuenta con un control manual-remoto centralizado en un sistema SCADA instalado en la oficina del departamento de mantenimiento en el puesto de vigilancia llamado Base 3, desde donde se pueden activar los equipos sin necesidad de estar en el sitio.

Se dejó dentro del diseño y se llevó a la realidad la posibilidad de poder manipular el sistema de manera totalmente manual en caso de que se dañe algún componente principal de control, entre tanto se consigue la refacción. Se dejó una botonera en la puerta de cada tablero para realizar los cambios requeridos.

El sistema SCADA recopila toda la información necesaria para generar informes la gerencia general del complejo y evidenciar problemas; además de llevar un récord de funcionamiento de los equipos instalados en campo y sus periféricos.

Figura 43.

Diagrama de funcionamiento.



Nota. Elaboración propia (2022).

5.4. ANÁLISIS DE COSTOS

Se presentan los costos de los equipos, mano de obra y demás materiales utilizados en el desarrollo del proyecto para recopilar información financiera y poder analizar la inversión y el tiempo de retorno de la misma y su beneficio para el cliente.

5.4.1. Costos por tablero

Tabla 10.

Precio costo por panel de control sin IVA.

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Total
PLC TM221CE24R	¢412,500.00	1	¢412,500.00
Sensor de voltaje RM17TE00	¢133,075.00	2	¢266,150.00
breaker 3p, 4A A9F74304	¢66,136.00	2	¢132,272.00
Breaker 1p, 2A A9F74102	¢21,375.00	1	¢21,375.00
Breaker 2p, 4A A9F74204	¢53,437.50	3	¢160,312.50
Transformador 9070T300D31	¢148,582.50	5	¢742,912.50
Relé CAD32	¢44,167.50	1	¢44,167.50
Temporizador LADR2	¢47,147.50	1	¢47,147.50
Relé control RXM2AB	¢11,812.50	4	¢47,250.00
Relé control RSB	¢11,151.25	2	¢22,302.50
Fuente DRA6024	¢68,512.50	1	¢68,512.50
Bornera 4mm gris	¢1,187.50	21	¢24,937.50
Bornera 4mm rojo	¢1,187.50	13	¢15,437.50
Bornera 4mm blanco	¢1,187.50	13	¢15,437.50
Bornera 4mm azul	¢1,187.50	12	¢14,250.00
Bornera tierra	¢21,251.25	6	¢127,507.50
Bornera portafusible	¢3,125.00	3	¢9,375.00
Fusible 5x20 0.5A	¢250.00	3	¢750.00
Fondo falso	¢37,500.00	1	¢37,500.00
Cable negro 1mm (metro)	¢312.50	30	¢9,375.00

Cable blanco 1mm (metro)	€312.50	25	€7,812.50
Cable rojo 1mm (metro)	€312.50	30	€9,375.00
Cable azul 1mm (metro)	€312.50	30	€9,375.00
Cable gris 1mm (metro)	€312.50	8	€2,500.00
TOTAL GENERAL	€1,086,336.00		€2,248,534.50

Nota. Elaboración propia (2022).

5.4.2. Costos totales

Tabla 11.

Precio global del proyecto sin IVA.

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Total
Panel de control	€2,248,534.50	7	€15,739,741.50
Licencia SCADA	€11,279,887.50	1	€11,279,887.50
Personal	€3,934,935.38	1	€3,934,935.38
Material adicional	€1,409,985.94	1	€1,409,985.94
TOTAL GLOBAL	€18,873,343.31		€32,364,550.31

Nota. Elaboración propia (2022).

A pesar de que el costo total del proyecto es bastante elevado, se debe tener en cuenta que se minimizaron los tiempos muertos al atender una emergencia, las fallas se reducen significativamente y cuando se dan, no se pierde tiempo para enterarse.

De igual manera los costos de mano de obra y monitoreo se reducen casi a cero ya que no se tiene que ir a ninguno de los sitios a revisar a menos que sea una emergencia, dado que todo se puede monitorear y controlar desde una oficina.

5.4.3. Ganancia del proyecto

La ganancia de la empresa por haber llevado a cabo este proyecto se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 12.

Ganancia del proyecto sin IVA.

Rubro	Monto
Costo global	₡32 364 550,31
Ganancia del 35%	₡42 073 915,40
Ganancia neta	₡9 709 365,09

Nota. Elaboración propia (2022).

Para proyectos donde la inversión supera los 10 millones de colones y el tiempo de ejecución es mayor de un mes, la empresa utiliza un margen de ganancia del 35%. Con esto se compensa el tiempo que permanece el dinero invertido y que el cliente final, en este caso, tiene un crédito de 45 días post entrega del proyecto, de manera que la empresa puede ver el retorno de inversión mucho tiempo después que se dio la orden de inicio.

En este caso en particular, el proyecto se terminó y entregó en 3 meses, de manera que el retorno de la inversión se dio en cinco meses y medio aproximadamente.

5.4.4. Beneficios

Tabla 13.

Gasto diario por fallas.

Gasto diario por fallas			
Artículo	Precio unitario	Cantidad	Total
Mano de obra	₡1,000,000.00	1	₡1,000,000.00
Combustible	₡300,000.00	1	₡300,000.00
Sisterna	₡450,000.00	8	₡3,600,000.00
Reparaciones	Relativo	NA	Relativo
TOTAL GLOBAL	₡1,650,000.00		₡4,900,000.00

Nota. Elaboración propia (2022).

Una emergencia en una de las plantas de tratamiento podía extenderse hasta por 3 días dependiendo de la gravedad de la situación y podían darse hasta dos emergencias por semana, por los que los gastos por emergencia se reducen significativamente.

Sabiendo que el costo diario por atención de emergencias es de aproximadamente 5 millones de colones y que según la entrevista realizada (ver anexo 1, pág. 94, opción 1) el número de alertas mensuales ronda los 10 eventos, el cliente final estaba gastando

aproximadamente 600 millones de colones al año sin el sistema de monitoreo y control automático instalado.

Se proyecta que, el ahorro monetario mensual para el cliente, con todo el sistema de control operando al 100%, será del 50%, por lo que el proyecto se estará pagando de manera autónoma con el ahorro generado en menos de tres meses.

Tabla 14.

Proyección de ahorro mensual.

Gasto mensual antes	₡50 000 000,00
Gasto mensual proyectado	₡25 000 000,00

Nota. Elaboración propia (2022).

En cuanto al beneficio de servicio, a menor cantidad de fallas, menores son las quejas y malestares de los usuarios y propietarios que residen cerca de estos puntos de control. El mantenimiento ahora es predictivo, de manera que el departamento encargado de servicios generales sabe cuándo y que hacer para prevenir fallas en el sistema, dándole más tranquilidad en su día a día.

CAPÍTULO VI.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Una vez concluido el proyecto de puesta en marcha de un sistema de control y monitoreo remoto por ethernet con controlador lógico programable y adquisición de datos para transferencias automáticas de suministro eléctrico en un complejo turístico en Guanacaste, se concluye:

- Se logró Implementar un sistema de control automatizado que puede ser supervisado de manera remota por cualquier tipo de personal desde cualquier dispositivo móvil con tecnología actualizada que disminuye los tiempos de respuesta ante fallas y recopila información que pueda procesarse para un mantenimiento predictivo eficiente en el departamento de servicios generales de la empresa.
- Se realizó un análisis del funcionamiento de una transferencia automática, así como los tipos existentes según su campo de aplicación, etapas de funcionamiento y cuidados a tener para evitar fallas, daños a equipos o lesiones a personal y se tomó la decisión de seleccionar la transferencia del tipo cerrada con neutro sólido.
- Se determinó utilizar los dispositivos electrónicos programables, PLC, y enrutador de comunicación, los cuales se adecuaron para el control del sistema y el buen funcionamiento de este, integrados a los componentes de potencia existentes.
- Se estableció el costo monetario del proyecto en su totalidad y los beneficios que esto genera, asegurando un retorno de inversión en menos de un año y un valor agregado que se sustenta con la nueva versatilidad del sistema y la tranquilidad del cliente.
- Se realizó una configuración de red adecuada para la infraestructura actual con los equipos propuestos logrando integrar los equipos de modo que se pueden

manipular y monitorear de manera remota, lo que logra disminuir los tiempos de respuesta en casos críticos.

- Se diseñó un sistema de transferencia automático con los elementos seleccionados previamente logrando un control óptimo y confiable de los sistemas intervenidos en cada sitio.

- Se creó un código de programación sobre control para el controlador lógico programable (PLC) a fin de manipular de manera eficiente cada una de las transferencias automáticas, logrando integrar el control y la potencia para que puedan operar de manera autónoma en caso de fallas.

- Se llevó a cabo la configuración de la aplicación en ambiente SCADA para integrar los equipos a monitorear generando alarmas y reportes que generan una visión global de lo que está sucediendo en cada sitio durante cada mes, lo que ayuda a tomar decisiones y ejecutar planes de acción preventivos y correctivos.

- Se estableció una conexión remota para el monitoreo desde otra provincia del país utilizando la misma infraestructura de red del cliente, creando una base de datos redundante y encriptando la información de manera que no pueda ser intervenida por entes externos a las partes interesadas.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de baterías de respaldo UPS para asegurar la conectividad constante ante un corte de alimentación eléctrica de manera que pueda ser monitoreado por el SCADA en todo momento.
- Para los generadores y la acometida principal es recomendable instalar medidores de variables eléctricas para detectar problemas en la red y tener información predictiva de fallas.
- Es recomendable instalar sensores de voltaje para las baterías de cada generador que pueda enviar la lectura al PLC para monitorear y generar alarmas y asegurar su óptimo estado y funcionamiento dado que, sin ellas, el equipo no funciona.
- Se recomienda instalar sensores de nivel no invasivos para evitar explosiones y derrames para los tanques de combustible de cada planta eléctrica y así poder tener un historial y contabilidad de uso, además de alarmas en caso de bajos niveles de diésel.

Bibliografía

- Corbetta, P. (2003). *La ricerca sociale: metodologia e tecniche. III Le tecniche qualitative*. Il Mulino.
- Inductive Automation. (2020). *Ignition 8.1 Manual*. <https://docs.inductiveautomation.com/>
- Kerlinger, F. (2003). *Enfoque Conceptual de la Investigación del Comportamiento*. Cuarta edición. California, Estados Unidos de Norteamérica.
- Mendieta, E. (2022). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DE PRODUCCIÓN Y DE LOS PROCESOS NEUMÁTICOS Y MECÁNICOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DE LA EMPRESA AGUA SAN ÁNGEL*. Universidad Hispanoamericana.
- Moreno, E. (2013). *CONCEPTO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN*. <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/concepto-de-diseno-de-investigacion.html>.
- National Fire Protection Association. (2022). *NFPA70 NEC-National Electric Code 2020*. Quincy, Massachusetts.
- Navarro, A. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SECADO DEL CAFÉ, QUE PERMITA ADEMÁS MONITOREAR EL MISMO, PARA EL BENEFICIO LOS NAVARRO, DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2021*. Universidad Hispanoamericana.
- Sampieri et al. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- Schneider Electric. (2020). *Modicon M221 Logic Controller, User Guide*. <https://www.se.com/ww/en/download/document/EIO0000000976/>

Talbert, M. (2022). *Cronograma de actividades: qué es y cómo crearlo en 7 pasos*.

<https://asana.com/es/resources/create-project-management-timeline-template>.

Tosibox Help Desk. (2022). *Tosibox Platform - User Manual*. Tosibox.

<https://helpdesk.tosibox.com/support/solutions/articles/2100051102-tosibox-platform-user-manual>

Underwriters Laboratories, Inc. (2018). *Standards for safety - UL508A*. (3ed). Edition, Illinois,

Zambelli, R. (2023). *Lista de verificación ejemplos de aplicación exitosa en 3 industrias*.

<https://blog-es.checklistfacil.com/listas-de-verificaciones/#:~:text=La%20lista%20de%20verificaci%C3%B3n%20tambi%C3%A9n,de%20un%20proceso%20o%20actividad>.

GLOSARIO

Fase: Se refiere al camino o conductor físico por donde se mueven los electrones que generan la corriente eléctrica.

Firmware: Es la unión del software y el hardware funcionando ambos en conjunto como una sola pieza interactuando entre sí.

Hardware: Conjunto de elementos físicos que constituyen un sistema electrónico, eléctrico o informático.

Neutro: Se refiere al camino o conductor físico que proporciona un retorno a la fuente para los electrones.

Software: La unificación de rutinas de programación que permiten la ejecución secuencial de tareas en un equipo electrónico determinado.

Tierra: Se refiere al camino o conductor físico que se utiliza para protección como medida de seguridad para mitigar fallas en un sistema eléctrico y salvaguardar la vida humana.

Anexo

Lista de anexos

En el archivo comprimido se encuentra una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

1. Entrevista al superintendente de mantenimiento del complejo turístico.
2. Planos de control eléctrico del panel de control.
3. Informe para análisis y documentación mensual