

UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA
CONTROL Y MONITOREO DE UNA EDIFICACIÓN BASADO
EN UNA TOPOLOGÍA NO CENTRALIZADA PARA EDIFICIOS
QUE CUENTEN CON TECNOLOGÍA DE REFRIGERACIÓN
TIPO *CHILLER*

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ESTUDIANTE: ING. JOHNNY DAVID ALVARADO RODRÍGUEZ

TUTOR: ING. DIEGO ALONSO RAMÍREZ ROJAS

SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA

Septiembre, 2024

DECLARACIÓN JURADA

CÉDULA DE IDENTIDAD

SOLICITUD DE DEFENSA

CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR

CERTIFICADO DEL FILÓLOGO

CARTA DE ENTENDIMIENTO

CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA.....	I
CÉDULA DE IDENTIDAD.....	II
SOLICITUD DE DEFENSA.....	III
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR.....	V
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO.....	VI
CARTA DE ENTENDIMIENTO.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
TABLAS.....	XII
FIGURAS.....	XIII
DEDICATORIA.....	XV
AGRADECIMIENTOS.....	XVI
EPÍGRAFE.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 ANTECEDENTES.....	4
1.4.1 <i>Antecedentes nacionales</i>	4
1.4.2 <i>Antecedentes internacionales</i>	8
1.5 PROYECCIONES.....	11
1.5.1 <i>Alcances</i>	12
1.5.2 <i>Limitaciones</i>	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	14

2.1	DEFINICIÓN	15
2.2	OBJETIVOS DE UN SISTEMA BMS	15
2.2.1	<i>Monitorear</i>	15
2.2.2	<i>Controlar</i>	17
2.2.3	<i>Almacenar datos</i>	19
2.2.4	<i>Reporte</i>	20
2.2.5	<i>Generación de gráficos</i>	22
2.3	HARDWARE DEL SISTEMA	23
2.3.1	<i>Sensores</i>	25
2.3.2	<i>Actuadores</i>	27
2.3.3	<i>Controladores</i>	28
2.3.3.1	<i>Controlador primario</i>	29
2.3.3.2	<i>Controlador secundario</i>	29
2.3.3.3	<i>Controlador de aplicación específica</i>	29
2.3.3.4	<i>Transductor de protocolos</i>	29
2.3.4	<i>Redes de comunicación</i>	30
2.4	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	33
2.4.1	<i>BACnet</i>	33
2.4.2	<i>Modbus</i>	34
2.5	SOFTWARE DEL SISTEMA	35
2.5.1	<i>Plataforma de visualización y control</i>	36
2.5.2	<i>Base de datos</i>	37
2.6	VARIABLES.....	37
2.6.1	<i>Análogas</i>	37
2.6.2	<i>Binarias</i>	38
2.6.3	<i>Comunicación</i>	39
2.7	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	39
2.7.1	<i>DDC</i>	39
2.7.2	<i>PLC</i>	40
2.8	REFRIGERACION TIPO <i>CHILLER</i>	41
2.9	ABREVIACIONES COMUNES	42
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		43
2.3	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	44
2.4	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	45
2.4.1	<i>Entrevista a ingenieros</i>	45

2.4.2	<i>Cinco porqués</i>	45
2.4.3	<i>Análisis de normativa internacional</i>	46
2.4.4	<i>Análisis de herramientas de diseño</i>	46
2.4.5	<i>Análisis de riesgos y vulnerabilidades</i>	47
2.4.6	<i>FODA</i>	47
2.4.7	<i>Matriz de comparación</i>	47
2.4.8	<i>Estandarización</i>	47
2.5	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	48
2.5.1	<i>Sujetos de información</i>	48
2.6	VARIABLES DE ANÁLISIS.....	50
2.7	INSTRUMENTOS.....	52
2.7.1	<i>Entrevista a ingenieros</i>	52
2.7.2	<i>Cinco Porqués</i>	53
2.7.3	<i>Análisis de normativa internacional</i>	54
2.7.4	<i>Análisis de herramientas de diseño</i>	55
2.7.5	<i>Análisis de riesgos y vulnerabilidades</i>	56
2.7.6	<i>FODA</i>	57
2.7.7	<i>Matriz de comparación</i>	58
2.7.8	<i>Estandarización</i>	59
2.8	PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	60
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		63
4.1	DEFINIR.....	65
4.1.1	<i>Entrevistas</i>	65
4.1.2	<i>Encuestas</i>	67
4.1.3	<i>Flujo de datos</i>	69
4.2	MEDIR.....	70
4.2.1	<i>Análisis FODA</i>	71
4.2.2	<i>Matriz de comparación</i>	74
4.2.3	<i>Matriz de riesgos y vulnerabilidades</i>	75
4.3	ANALIZAR.....	77
4.3.1	<i>Análisis de la causa raíz: Herramientas y enfoques utilizados</i>	77
4.3.2	<i>Análisis de normativa aplicable</i>	78
4.3.3	<i>Análisis de herramientas de diseño</i>	86
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		88

CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS.....	93
APÉNDICES Y ANEXOS.....	99
APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	100
ANEXO 1: ENTREVISTA #1.....	101
ANEXO 2: ENTREVISTA #2.....	102
ANEXO 3: ENCUESTA #1.....	103
ANEXO 4: ENCUESTA #2.....	103
ANEXO 5: ENCUESTA #3.....	104
ANEXO 6: ENCUESTA #4.....	104
ANEXO 7: ENCUESTA #5.....	104
ANEXO 8: ISHIKAWA.....	105
ANEXO 9: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS.....	106

TABLAS

TABLA 1. PROJECT CHARTER.....	49
TABLA 2. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN POR OBJETIVO ESPECÍFICO	51

FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN.....	24
FIGURA 2. IDENTIFICACIÓN DE HARDWARE	25
FIGURA 3. NOMENCLATURA DE HARDWARE.....	25
FIGURA 4. LA PILA OSI	30
FIGURA 5. MODELO TCP/IP	31
FIGURA 6. INTERFAZ RS232	32
FIGURA 7. INTERFAZ RS-485.....	33
FIGURA 8. PANTALLA LOCAL	36
FIGURA 9. INTERFAZ WEB/PC.....	36
FIGURA 10. SEÑAL ANÁLOGA	38
FIGURA 11. SEÑAL BINARIA.....	38
FIGURA 12. FORMATO DE ENTREVISTA.....	53
FIGURA 13. CINCO PORQUÉS.....	54
FIGURA 14. ANÁLISIS DE NORMATIVA	55
FIGURA 15. HERRAMIENTA DE DISEÑO	56
FIGURA 16. MATRIZ DE RIESGOS.....	57
FIGURA 17. FODA.....	58
FIGURA 18. MATRIZ DE COMPARACIÓN	59
FIGURA 19. VERIFICACIÓN PARA ESTANDARIZACIÓN.....	60
FIGURA 20. PLAN DE TRABAJO	61
FIGURA 21. DIAGRAMA DE FLUJO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	62
FIGURA 22. DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS.....	70
FIGURA 23. FODA PLC.....	72
FIGURA 24. FODA DDC	73
FIGURA 25. MATRIZ DE COMPARACIÓN	74

<i>FIGURA 26. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....</i>	<i>75</i>
<i>FIGURA 27. MATRIZ DE RIESGOS Y VULNERABILIDADES.....</i>	<i>76</i>
<i>FIGURA 28. CINCO PORQUÉS.....</i>	<i>78</i>
<i>FIGURA 29. ANÁLISIS ASHRAE 13-2015</i>	<i>80</i>
<i>FIGURA 30. ANÁLISIS ASHRAE 36-2021</i>	<i>82</i>
<i>FIGURA 31. ANÁLISIS NFPA 79.....</i>	<i>83</i>
<i>FIGURA 32. ANÁLISIS ASHRAE HANDBOOK</i>	<i>84</i>
<i>FIGURA 33. ANÁLISIS UL 508 A.....</i>	<i>85</i>
<i>FIGURA 34. HERRAMIENTA DE DISEÑO</i>	<i>86</i>

EPÍGRAFE

Muchas cosas son improbables, solo unas pocas son imposibles.

Elon Musk

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un manual de procedimientos para el control y monitoreo de edificaciones utilizando una topología no centralizada, específicamente en edificios equipados con sistemas de refrigeración tipo *Chiller*.

En primer lugar, el marco teórico establece los conceptos fundamentales necesarios para una comprensión integral de los sistemas de monitoreo y control. Este marco incluye la definición de los sistemas de refrigeración tipo *Chiller*, proporcionando una base sólida para el desarrollo del proyecto.

Se emplearon diversas herramientas para definir estos conceptos y explorar la ausencia de guías similares en el ámbito de la ingeniería. Esto permitió evaluar la importancia de implementar un sistema de monitoreo y control, comparando las ventajas entre diferentes sistemas.

El análisis de los resultados permitió elaborar una serie de conclusiones y recomendaciones. Una conclusión destacada es el evidente desconocimiento entre los profesionales de ingeniería sobre los diversos aspectos de los sistemas de gestión de edificios. Se determinó que la topología óptima para el control de sistemas de refrigeración tipo *Chiller* es el control directo digital. Además, se subrayó la importancia de analizar normativas internacionales para especificar correctamente los componentes del sistema de monitoreo y control, destacando la normativa ASHRAE 13 como fundamental.

Las recomendaciones principales incluyen la necesidad de familiarizarse no solo con las normativas pertinentes al sistema de control, sino también con el funcionamiento de los sistemas de refrigeración. Es fundamental determinar los requisitos de los protocolos de comunicación y las variables durante la selección de los componentes, así como utilizar herramientas de diseño para generar gráficos de control.

La recomendación más destacada es seguir un manual de procedimientos para el desarrollo de sistemas de monitoreo y control, asegurando una implementación adecuada y eficiente en el diseño de este tipo de sistemas.

Palabras Clave: automatización, manual, BMS, diseño, control, monitoreo.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la época actual, cada vez existe una necesidad mayor de tener procesos automatizados en los edificios, donde toda interacción de equipos electromecánicos sea más rápida y con una tasa menor de error.

Según Melnik, A (s.f). los edificios inteligentes, son el presente y futuro de los inmuebles, ya que aumentan la eficiencia energética, garantizan la sostenibilidad, seguridad y usabilidad, con base en sistemas e instalaciones automatizadas que permiten su gestión y control.

Sin embargo, el principal desafío se encuentra en el área de los profesionales, en tener un conocimiento lo suficientemente amplio para saber implementar correctamente en un diseño las soluciones que lleven al resultado deseado.

Por lo tanto, este trabajo se enfoca en tener una guía sobre cómo implementar correctamente un sistema de monitoreo y control, para una línea de partida y una noción general de los componentes del diseño, y formar un criterio en caso de enfrentarse a un reto de implementación en una edificación con tecnología de refrigeración tipo *Chiller*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un manual de procedimientos para el control y monitoreo de una edificación basado en una topología no centralizada para edificios que cuenten con tecnología de refrigeración tipo *Chiller*

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los tipos de protocolos que existen para la comunicación de equipos de refrigeración tipo *Chiller*.
- Definir la topología de diseño de un sistema no centralizado.
- Entender el tipo, función y asignación de variables en un sistema de refrigeración tipo *Chiller*.

- Conocer el procedimiento correcto para diseñar un sistema de monitoreo y control enfocado hacia ingenieros.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo se justifica en la línea de la investigación sobre el procedimiento correcto para diseñar un sistema de monitoreo y control basado en normativas y recomendaciones internacionales, enfocada hacia ingenieros principalmente, con la idea central de que tengan una guía para afrontar un diseño sobre este tema. La guía se enfoca en tener noción sobre cómo iniciar, saber los protocolos que existen, los tipos de medios de comunicación, variables del sistema, montaje y requerimientos para poder plasmar en un plano una topología no centralizada en una edificación con tecnología de refrigeración tipo *Chiller*.

La implementación de un sistema BMS *Building Management System* proporciona un conjunto de beneficios que ayudan a cubrir las necesidades energéticas de un edificio, aportando en el aumento de la eficiencia energética de dos formas: brindando un mejor funcionamiento de los diferentes componentes electromecánicos que conforman el edificio y facilitando la gestión energética, proporcionando un conjunto de estrategias que permitan el control y monitoreo de la demanda energética de todo el edificio, manteniendo el confort, eficiencia y ahorro de costos operativos.

En algunos casos en donde se ha implementado un sistema de automatización para mejorar la eficiencia de sus instalaciones mediante un sistema de BMS, esto ha permitido reducir el consumo de energía hasta un 30% (Kinergy.international, 2021). Pero el beneficio principal de una guía para poder implementarlo no está solamente en el ahorro energético, sino que está en la reducción de un posible error por un factor humano, lo cual se traduce en facilidades saliendo de operación con costos incalculables, pero ciertamente altos, pues dejarían fuera las zonas de producción.

Esta guía de diseño es aplicable para proyectos del tipo industrial y hotelero, ya que, por su demanda de carga térmica, son los candidatos perfectos para sistemas de

refrigeración de agua helada, específicamente *Chiller*. Para hablar de una buena inversión de un sistema enfocado a la gestión del sistema de agua helada, se debe ir al punto en donde todo comienza: la etapa de diseño, pues es importante conocer dónde iniciar, a qué dar enfoque, las tecnologías disponibles, así como los alcances y limitaciones, para así dar al cliente una solución que se apegue no solo a las necesidades, sino que se pueda construir y operar posteriormente.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

- Alfaro, (2016), realizó la investigación: *Diseño de sistema de automatización del equipo de aire acondicionado del edificio del laboratorio de productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social*, en la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Las conclusiones de la investigación son:

Se realizó una metodología DMAIC *Define, Measure, Analyse, Improve & Control*, donde primeramente se tomaron datos de temperatura y humedad para poder luego diseñar un sistema de control automático para las manejadoras del proyecto.

Se utilizó normativa internacional como ASHRAE *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* para la selección de valores.

En este proyecto se seleccionaron los controladores, en este caso PLC *Programmable Logic Controller* y se indicó la justificación de la selección. Además, se diseñó la lógica de control para que el controlador pudiera manejar las variables asignadas, basado en la lectura de los sensores escogidos.

En general, se diseñó la selección y configuración del sistema de automatización, creando una base de datos para el almacenamiento de las variables y datos relevantes para el cliente, donde pudiera ver los valores de forma gráfica.

Dentro de las recomendaciones importantes, se solicitó un equipo dedicado para servir al software con los requisitos mínimos para el correcto funcionamiento.

- Según García, (2012), en su proyecto de investigación: *Diseño de un sistema de monitorización remota y control para la automatización de una planta de concreto en el proyecto de ampliación de la planta Cachí*, en la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sus conclusiones fueron:

Se realizó una metodología DMAIC, donde primeramente se definió la problemática actual de la planta, para poder medir el impacto en tiempo y costo de la operación actual y se llegó a un análisis de la necesidad de mejora del proceso y de reducir los costos.

El proyecto donde se realizó el diseño ya contaba con un sistema de monitoreo y control para ciertos elementos eléctricos y mecánicos. Sin embargo, se hizo un levantamiento del alcance de ese sistema, así como de variables y valores específicos.

Se implementaron controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés), con el fin de reducir los tiempos de espera que toma detectar los componentes dañados en la planta de concreto.

Un punto importante es la explicación del tipo de montaje en gabinetes y la explicación de los modelos propuestos, unos para pared y otros para Riel DIN, los cuales se entiende que dan diferentes opciones de acoplar aparatos para una mayor facilidad, según sea el espacio disponible.

Dentro de las ventajas de esta implementación, también están los tiempos del personal a cargo de la planta, pues pueden detectar alarmas al instante y poder visualizar el sistema en un solo punto, ya que se especificó un software de la marca *Schneider*, para hacer uso del código escalera donde se programaron las distintas rutinas del control.

- González, (2016), realizó la investigación: *Sistema de control automático y monitorización del sistema de suministro de agua de la planta Este de Trimpot Electrónicas Ltda.*, en la Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se llegó a las siguientes conclusiones:

Se realizó una metodología DMAIC, donde primeramente se definió el estado actual de las instalaciones y la problemática que enfrenta la empresa. Posteriormente, se examinaron e identificaron los problemas que ha experimentado la empresa durante los

últimos 25 años de funcionamiento, para al final evaluar la posibilidad de implementar una solución más eficiente.

Dentro de este proyecto se explican los diferentes protocolos de comunicación posibles para la interacción de los equipos y se escoge el más adecuado según los elementos por monitorear y controlar. Se definió también una selección de sensores para la toma de medidas, con base en las lecturas deseadas.

Parte del alcance de este proyecto fue el software, en el cual configuraron alertas y protecciones para a través de un mismo punto o página web, poder identificar fallas, faltas o averías. Por último, el proyecto incluye también un análisis de costos de las diferentes alternativas planteadas, para poder definir la más beneficiosa en términos económicos, pero que también cumpliera técnicamente.

Otro punto importante, es que, al existir elementos con años de trabajo, se dieron una serie de recomendaciones de mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento al implementar un sistema nuevo.

- Según Padilla, (2005), realizó la investigación: *Plan piloto de edificio inteligente con énfasis en ahorro de energía.*, en la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Las conclusiones son:

Se realizó una metodología DMAIC, donde primeramente se identificó un problema global: en muchos edificios la operación de luces y aire acondicionado se ven condicionados al factor humano, generando un uso inadecuado de los recursos energéticos. Se pudo medir los consumos actuales de un edificio en específico para luego plantear un sistema de monitoreo y control automático donde como meta se pudiera generar una comparativa de los ahorros al hacer el sistema de forma completamente autónoma.

Luego de diseñada la solución, el sistema de monitoreo y control maximiza la eficiencia de la energía al utilizarse solo en periodos en los cuales es necesario su uso. El uso de la energía eléctrica debido a la iluminación se redujo en un 29.2% luego de implementar el control automático. También, como efecto paralelo al ahorro, existe un aumento de confort del usuario, al tener la capacidad de variar las temperaturas por zonas de trabajo.

Un punto importante del diseño es que se buscó tener la capacidad de expansibilidad, lo que da pie a espacios para en un futuro poder conectar más sistemas.

En este diseño se dejó la posibilidad de operar no solo de forma automática, sino también de una manera manual en caso de una falla de comunicación, lo que significa una flexibilidad de operación.

- Castro, (2017), realizó la investigación: *Diseño de sistema de agua helada para climatización artificial, en sector hotelero en Guanacaste*, en la Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sus conclusiones fueron:

Este proyecto de investigación tuvo como fin el desarrollo de un diseño para un sistema de climatización artificial para un hotel en la zona de Guanacaste, por medio de un sistema agua helada. Se utilizó una metodología DMAIC, donde primero se recolectó información, luego se analizaron las cargas térmicas, para después seleccionar las unidades del sistema. Se implementó en un software de diseño, para finalmente elaborar los planos mecánicos.

Dentro del aporte de mayor relevancia de este trabajo, está el entendimiento de un sistema de agua helada, conociendo sus alcances y limitaciones. Además de entender sus principales elementos, no solo en equipo y tubería, sino también en todos los elementos necesarios para su interconexión y correcto funcionamiento.

Se entienden variables básicas para un sistema de agua helada como temperaturas, humedad, propiedades del aire y las entalpías.

Con base en el entendimiento de este sistema, se pueden definir también cuáles son los elementos principales que se deben controlar y monitorear ya sea de forma manual o remota para un correcto funcionamiento. Además de las alarmas y puntos de atención para el proceso de agua helada.

1.4.2 Antecedentes internacionales

- Tamayo, (2023), realizó la investigación: *Procedimiento para la implementación de un software de gestión de mantenimiento para los centros comerciales en la Ciudad de Bogotá*, en la Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia. Las conclusiones de la investigación son:

En este proyecto se expone el concepto de Gestión de mantenimiento, donde se indica que está cobrando cada vez más importancia en todos los campos de la tecnología, ya que es una herramienta que aumenta la disponibilidad y fiabilidad de las instalaciones, y en conjunto con los recursos humanos y la automatización de los procesos, promueve una alianza que genera óptimos resultados en la eficiencia de los sistemas. El aporte principal de este proyecto se enfoca en utilizar la base de datos de un BMS en conjunto con un software de administración para resolver problemas de iluminación y reducir el consumo mediante la identificación de los umbrales promedio mínimo y máximo, siendo de gran apoyo para el equipo de mantenimiento al disminuir tiempos de respuesta y establecer el punto de partida para la inspección.

Concluyendo, en este estudio se logró reducir 18,6% del consumo en la iluminación de las áreas comunes en estudio, generando un ahorro económico y optimización de los recursos por medio de actividades de mantenimiento correctivo y con el ajuste efectivo de las frecuencias y tareas preventivas del plan de mantenimiento general. La aplicación del software de gestión redujo perfiles de consumo para los días jueves de 490 kWh a 450 kWh y los días domingos de 600 kWh a 525 kWh evidenciados en el mes de octubre con una eliminación efectiva de las fallas por sobrecarga en las zonas en estudio.

- Según Tenas, (2023), realizó la investigación: *Diseño de investigación para la viabilidad de implementación de un sistema de BMS, aplicado a los nuevos edificios de la Ciudad de Guatemala*, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Sus conclusiones fueron:

Dentro de los objetivos de este proyecto, se pretende evaluar los componentes técnico-económicos necesarios para la implementación de un sistema de BMS, donde se utilizó una metodología DMAIC para definir una problemática, luego se estableció un plan estratégico de control y monitoreo de los diferentes elementos y dispositivos del edificio para poder estimar un ahorro tanto energético como económico y poder definir las ventajas de tener un edificio conectado a un sistema de BMS.

Uno de los aportes mayores de este documento es como define la arquitectura del sistema, donde se delimita la interconexión entre todos los dispositivos y equipos que se concreta una vez determinada toda la información de cada componente que integrara el sistema. Se honda en la definición de los niveles de arquitectura y se explica bien las diferencias entre nivel de campo, nivel de automatización y nivel de gestión.

- Nima, (2019), realizó la investigación: *Diseño de un sistema de gestión de edificios BMS, que integra sistemas de seguridad electrónica, electromecánicos y comunicación ethernet para el Laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Piura*, en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de Piura de Perú. Se llegó a las siguientes conclusiones:

Dentro de este proyecto de investigación, se desarrolló la metodología DMAIC, donde se describió primeramente la realidad problemática de los servicios de gestión energética, seguridad y confort. Luego se realizó un estudio de las especificaciones que debe cumplir un sistema para que pueda ser gestionado en redes de comunicación, y así determinar qué red utilizar basado en capacidad y velocidad para interconexión de dispositivos de campo. Se delimitó un tiempo de estudio máximo de cuatro meses.

Con todas las variables descritas, se diseñó el sistema de gestión del laboratorio de ingeniería electrónica y telecomunicaciones, aplicando el concepto de BMS que integra los sistemas tanto de seguridad como los dispositivos de campo para monitoreo, supervisión, control y gestión de la información. Como parte de un aporte importante de este proyecto, es que se utilizó la normativa para definir criterios aplicables,

específicamente la NFPA 72 *National Fire Protection Association*, que trata de alarmas y detección.

Como aporte adicional, se exponen temas de importancia constructiva como materiales según el espacio a servir, elementos adicionales para proteger los equipos electrónicos y consumos, para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y de la solución planteada para el problema de falta de integración de los servicios de gestión energética, seguridad y confort.

- Según Abramonte, (2019), realizó la investigación: *Propuesta de implementación del sistema de automatización Building Management System (BMS) para el control de Equipos en un Casino de Miraflores - Lima*, en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur de Perú. Abramonte concluyó:

Dentro de este proyecto de investigación, se plantea una problemática país, debido al crecimiento acelerado en edificaciones de gran tamaño con tecnologías de punta, que tienen que coexistir con edificaciones muy antiguas con poco o nada de control. La implementación de un sistema de BMS denota una importancia alta para el monitoreo de actividades, confort, seguridad y ahorro de energía. Se plantea desarrollar una interconexión a través de un protocolo llamado KNX para gestionar todas las edificaciones de la zona con un mismo estándar.

Dentro de los aportes importantes, se encuentran topologías típicas de un sistema de monitoreo y control como la topología en árbol y topología estrella, además de explicar las diferencias y similitudes, se exponen las necesidades de cableado para la interconexión de cada una.

Se logra entender la diferencia de sensores y la escogencia de controladores, para al final, lograr una mejora en todos los ambientes tanto modernos como antiguos, generando una comunicación gestionable a través de la red, mediante un software especializado. Por lo tanto, es necesario tener un sistema de monitoreo y control en todas las edificaciones de gran tamaño.

- Moreno, (2019), realizó la investigación: *Metodología para la aplicación de sistemas de BMS y BEMS para la operación eficiente de edificios*, en el Departamento de Energética y Mecánica de la Universidad Autónoma de Occidente de Santiago de Cali de Colombia. Sus conclusiones fueron:

Dentro de esta investigación, el tema principal es que no solo se basa en un sistema de monitoreo y control de la edificación tipo BMS, sino que también explica y define un sistema de manejo de energía adicional llamado BEMS *Building Energy Management System*. Se define una metodología DMAIC para el trabajo, donde se busca una solución al problema, se analiza y también se implementa. En este proyecto no solo se busca definir una metodología de aplicación, sino también encontrar la normativa asociada para establecer estrategias aplicables a la operación y el desempeño energético de edificios, basado en protocolos, normas o marcos de referencia internacionales.

Dentro de la metodología propuesta, se integran no solo recomendaciones para la etapa de operación del BMS/BEMS, sino que, además, se proponen buenas prácticas que pueden ser aplicadas en la etapa de diseño e implementación, que posteriormente garantizan que en la etapa de operación se obtengan los beneficios de los sistemas para una mayor eficiencia.

Finalmente, a través de la validación de la metodología en un caso real, se pudo comprobar su aplicabilidad, identificando resultados favorables en cuanto a control y costo al instalarla en un edificio nuevo o existente.

1.5 PROYECCIONES

Las proyecciones del presente trabajo de investigación son las siguientes:

- Análisis de la topología no centralizada:
Investigación y análisis de la topología no centralizada, con enfoque en el monitoreo y control de sistemas de refrigeración tipo *Chiller*, entendiendo a manera global las diferencias contra un sistema centralizado.
- Entender los protocolos de comunicación:

Entender el conjunto de estándares que definen cómo se comunican diversos componentes dentro de un sistema de monitoreo y control, además de conocer dónde se debe implementar cada uno según el equipo.

- Saber sobre los diferentes sistemas de transporte:

Un elemento indispensable en la constitución de un sistema de BMS son las redes de comunicación, ya que representan tanto el medio físico como de aplicación por donde se generan todas las comunicaciones. Se pretende conocer los diferentes estándares que rigen las redes, según sea el protocolo de comunicación utilizado.

- Conocer el concepto de arquitectura de diseño:

Existe una arquitectura de jerarquía entre los controladores primarios, controladores secundarios y controladores específicos, los cuales gobiernan las diferentes variables de monitoreo y control. Se pretende conocer este concepto y dónde debe ir cada elemento.

- Conocer los tipos de variables de un sistema de refrigeración tipo *Chiller*:

Conocer cómo interactúan los elementos de monitoreo y control con los controladores, además de conocer las diferencias entre variables de entrada, de salidas, análogas y digitales.

1.5.1 Alcances

El alcance de este proyecto es desarrollar un manual de procedimiento para el diseño de un sistema de monitoreo y control, en conformidad con normativas y recomendaciones internacionales, dirigido especialmente a ingenieros. El propósito central de este trabajo es proporcionar una guía práctica para abordar el diseño en este ámbito específico.

La guía se enfoca en proporcionar una comprensión integral de cómo iniciar, conocer los protocolos, identificar los medios de comunicación, entender las variables del sistema, abordar el montaje y comprender los requerimientos necesarios para representar adecuadamente en un plano una topología no centralizada en una edificación equipada con tecnología de refrigeración tipo *Chiller*.

1.5.2 Limitaciones

Dada la naturaleza y enfoque específicos de este proyecto, no se ha identificado una empresa específica como objeto de estudio. En su lugar, se concibe como una guía general dirigida a ingenieros, con el propósito de proporcionar orientación y herramientas aplicables en diversos contextos profesionales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN

Existen diferentes definiciones para un sistema automatizado de monitoreo y control. Los acrónimos más comunes son BAS *Building Automation System*, BMS *Building Management System* y FAS *Facility Automation System*.

Según Turner & Kennedy (2012) el propósito de estos sistemas es *monitorear y controlar, además de ser un sistema capaz de administrar un conjunto de facilidades, equipos y/o servicios de un edificio o planta industrial o equipo, por medio de automatización de procesos.*

Para efectos del presente trabajo, se profundizó en el sistema de monitoreo y control BMS.

2.2 OBJETIVOS DE UN SISTEMA BMS

Como mínimo, un BAS se utiliza para controlar funciones de un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), incluida la temperatura y ventilación, así como programación de equipos. Generalmente, se espera que incluso los BAS básicos realicen funciones de control que incluyen la limitación de la demanda y ciclos de trabajo del equipo (Turner & Kennedy, 2012, p.535).

El objetivo principal de un sistema de BMS es proveer una plataforma de monitoreo confiable, de tal manera que la utilización de su hardware y software pueda determinar en tiempo real, el estado y condiciones de los sistemas o facilidades primarias de un edificio. Para lograr este objetivo, se deben definir diferentes conceptos como monitorear, controlar, almacenar datos, reporte y generación de gráficos.

2.2.1 Monitorear

Según Lane & Dodson (2012), *el monitoreo es el acto de observar y recopilar datos en tiempo real sobre el funcionamiento y las condiciones de diversos sistemas y dispositivos dentro de un edificio.* El monitoreo es fundamental para garantizar un funcionamiento

eficiente, seguro y cómodo del edificio, así como para identificar y resolver cualquier problema o anomalía de manera oportuna.

Las principales características del monitoreo son:

- **Recopilación de datos en tiempo real:** El monitoreo implica la recopilación continua de datos provenientes de sensores, dispositivos de control y otros equipos conectados al sistema. Estos datos pueden incluir información sobre la temperatura, la humedad, la presión, el consumo de energía, la calidad del aire, el estado de los equipos y otros parámetros relevantes para el funcionamiento del edificio.
- **Análisis y visualización de datos:** Una vez recopilados, los datos se analizan y se presentan de manera clara y comprensible a través de interfaces de usuario, paneles de control y sistemas de visualización. Esto permite a los operadores y administradores del edificio monitorear fácilmente el estado y el rendimiento de los sistemas en tiempo real, identificar tendencias, patrones y posibles problemas, y tomar decisiones informadas para optimizar la operación del edificio.
- **Detección de anomalías y alarmas:** El monitoreo constante permite detectar de manera temprana cualquier anomalía, mal funcionamiento o situación de riesgo en los sistemas del edificio. Cuando se detecta una condición fuera de los parámetros normales o predefinidos, el sistema puede generar alarmas, alertas o notificaciones automáticas para alertar al personal de mantenimiento o seguridad, permitiendo una respuesta rápida y eficaz ante cualquier problema o emergencia.
- **Optimización del rendimiento y eficiencia energética:** El monitoreo también facilita la identificación de oportunidades para mejorar el rendimiento y la eficiencia energética del edificio. Al analizar los datos de consumo de energía y otros parámetros, los operadores pueden identificar áreas de mejora, ajustar la configuración de los sistemas y equipos, y tomar medidas proactivas para reducir

el consumo de energía, minimizar los costos operativos y mitigar el impacto ambiental.

- **Mantenimiento predictivo:** Además, el monitoreo constante permite implementar estrategias de mantenimiento predictivo, anticipando y programando intervenciones de mantenimiento y reparación antes de que ocurran fallas o problemas graves. Al monitorear el rendimiento y la salud de los equipos en tiempo real, se pueden identificar señales tempranas de desgaste, deterioro o mal funcionamiento, y tomar medidas preventivas para evitar tiempos de inactividad no planificados y costosos.

El monitoreo es un proceso continuo y sistemático que implica la recopilación, análisis y visualización de datos en tiempo real para supervisar el funcionamiento, la eficiencia y la seguridad de los sistemas y dispositivos dentro de un edificio. Es fundamental para garantizar un entorno de trabajo seguro, cómodo y eficiente, así como para optimizar el rendimiento operativo y energético del edificio a lo largo del tiempo.

2.2.2 Controlar

Según Lane & Dodson (2012), *controlar implica la capacidad de regular y ajustar activamente diversos sistemas y dispositivos dentro de un edificio para mantener condiciones óptimas de funcionamiento, eficiencia energética y seguridad*. El control es fundamental para automatizar procesos, mantener condiciones de *confort* para los ocupantes, optimizar el consumo de energía y garantizar el cumplimiento de los requisitos operativos y de seguridad.

Las principales características del control son:

- **Regulación de parámetros ambientales:** Uno de los aspectos principales del control es la capacidad de regular parámetros ambientales como la temperatura, la humedad, la calidad del aire y la iluminación dentro del edificio. Esto se logra mediante la activación y ajuste de sistemas utilizando datos recopilados de sensores y dispositivos de medición en tiempo real.

- **Gestión de energía:** El control también implica la gestión activa del consumo de energía. Esto puede incluir la programación de horarios de funcionamiento para equipos y sistemas, el ajuste de la temperatura ambiente según la ocupación y las condiciones climáticas, y la optimización de la operación de equipos para reducir el consumo de energía sin comprometer el confort o la funcionalidad.
- **Supervisión y mantenimiento de equipos:** El control permite supervisar el estado y el rendimiento de equipos y sistemas dentro del edificio, identificando y respondiendo a problemas o anomalías de manera proactiva. Esto puede implicar la programación de alarmas y notificaciones para alertar al personal de mantenimiento sobre fallas potenciales, la optimización de ciclos de mantenimiento preventivo y la gestión remota de equipos para minimizar tiempos de inactividad no planificados.
- **Seguridad y acceso:** El control abarca aspectos de seguridad y acceso dentro del edificio. Esto puede incluir la gestión de sistemas de control de acceso, la activación y desactivación de sistemas de seguridad como alarmas contra incendios y sistemas de videovigilancia, y la integración con otros sistemas de seguridad para garantizar la protección de los ocupantes y las instalaciones.
- **Adaptabilidad y flexibilidad:** Otro aspecto importante del control, es la capacidad de adaptarse y responder de manera flexible a cambios en las condiciones operativas y los requisitos del edificio. Esto puede implicar la reconfiguración de parámetros de control, la programación de escenarios de funcionamiento predefinidos y la integración con sistemas externos para optimizar el rendimiento y la eficiencia del edificio en tiempo real.

Controlar implica la capacidad de regular y ajustar activamente sistemas y dispositivos dentro del edificio para mantener condiciones de funcionamiento óptimas, eficiencia energética y seguridad. Es fundamental para automatizar procesos, mantener

condiciones de confort para los ocupantes y optimizar el consumo de energía y los costos operativos a lo largo del tiempo.

2.2.3 Almacenar datos

Según Lane & Dodson (2012), *almacenar datos implica guardar de manera organizada y segura la información recopilada por el sistema durante su operación*. Estos datos pueden ser de naturaleza muy variada, incluyendo registros de mediciones ambientales, registros de eventos, datos de rendimiento de equipos, registros de alarmas y notificaciones, entre otros. El almacenamiento de datos es fundamental para permitir el análisis histórico, la generación de informes, la toma de decisiones informadas y el cumplimiento de requisitos de auditoría y regulación.

Las principales características del almacenamiento de datos son:

- **Recopilación y organización:** El almacenamiento de datos comienza con la recopilación de información proveniente de una variedad de fuentes, como sensores, dispositivos de control, sistemas de monitoreo y equipos de seguridad. Estos datos se organizan de manera estructurada y jerárquica, utilizando bases de datos o sistemas de archivos adecuados, para facilitar su acceso, consulta y análisis posterior.
- **Seguridad y confidencialidad:** Es fundamental garantizar la seguridad y la confidencialidad de los datos almacenados, especialmente cuando se trata de información sensible o crítica para la operación del edificio. Se deben implementar medidas de seguridad adecuadas, como el cifrado de datos, el control de acceso basado en roles y permisos, la monitorización de actividad y la protección contra amenazas cibernéticas, para prevenir accesos no autorizados y proteger la integridad de la información.
- **Historial y análisis:** El almacenamiento de datos en un BMS permite mantener un historial completo de la operación y el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo. Esto facilita el análisis retrospectivo de tendencias, patrones y eventos pasados,

identificando oportunidades de mejora, detectando problemas recurrentes y respaldando la toma de decisiones informadas para optimizar la eficiencia operativa y energética del edificio.

- Apoyo a la toma de decisiones: Finalmente, el almacenamiento de datos en un BMS proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas por parte de los administradores y operadores del edificio. Al tener acceso a datos históricos y en tiempo real sobre el funcionamiento y el rendimiento del sistema, los usuarios pueden evaluar el impacto de diferentes acciones, identificar áreas de mejora y optimizar la gestión y operación del edificio de manera continua.

Almacenar datos implica recopilar, organizar y mantener de manera segura la información relevante para la operación y gestión del edificio. Esto incluye datos ambientales, registros de eventos, datos de rendimiento de equipos y sistemas, registros de alarmas y notificaciones, entre otros. El almacenamiento adecuado de datos es fundamental para facilitar el análisis histórico, la generación de informes, la toma de decisiones informadas y el cumplimiento de requisitos normativos y de seguridad.

2.2.4 Reporte

Según Lane & Dodson (2012), *un reporte se refiere a un documento o presentación que resume y comunica información relevante sobre el funcionamiento, rendimiento y estado del edificio y sus sistemas*. Estos informes pueden abarcar una variedad de aspectos, desde el consumo de energía y la calidad del aire hasta el mantenimiento de equipos y la seguridad del edificio. Los reportes en un BMS son herramientas clave para la toma de decisiones informadas, la identificación de áreas de mejora y el cumplimiento de requisitos normativos y de gestión.

Las principales características de un reporte son:

- Resumen de datos: Un reporte en un BMS proporciona un resumen claro y conciso de los datos recopilados por el sistema durante un período de tiempo específico. Esto puede incluir información sobre el consumo de energía, las condiciones

ambientales, el rendimiento de equipos y sistemas, eventos registrados, alarmas y notificaciones, entre otros aspectos relevantes para la gestión y operación del edificio.

- **Análisis e interpretación:** Además de simplemente presentar datos, un reporte en un BMS también puede incluir análisis e interpretación de la información recopilada. Esto implica identificar tendencias, patrones y anomalías en los datos, así como evaluar el rendimiento del edificio y sus sistemas en relación con los objetivos operativos y las mejores prácticas de la industria.
- **Identificación de tendencias y oportunidades de mejora:** Los reportes en un BMS permiten identificar tendencias a lo largo del tiempo y oportunidades de mejora en la gestión y operación del edificio. Al analizar los datos recopilados, los usuarios pueden identificar áreas donde se pueden implementar medidas de eficiencia energética, optimizar el mantenimiento de equipos y sistemas, mejorar la comodidad de los ocupantes y reducir los costos operativos.
- **Soporte para la toma de decisiones:** Los reportes en un BMS son herramientas clave para la toma de decisiones informadas por parte de los administradores y operadores del edificio. Al proporcionar una visión general del rendimiento y estado del edificio, así como recomendaciones basadas en datos, los reportes ayudan a los usuarios a evaluar el impacto de diferentes acciones y tomar decisiones que optimicen la eficiencia operativa y energética del edificio.
- **Cumplimiento normativo y requisitos de gestión:** Además, los reportes en un BMS pueden ser utilizados para cumplir con requisitos normativos y de gestión, como informes de cumplimiento de normativas de calidad del aire interior, certificaciones de eficiencia energética, auditorías de mantenimiento y seguridad, entre otros. Los reportes proporcionan una documentación completa y detallada del funcionamiento y rendimiento del edificio, que puede ser requerida por autoridades reguladoras, propietarios o administradores del edificio.

Un reporte es un documento o presentación que resume y comunica información relevante sobre el funcionamiento, rendimiento y estado del edificio y sus sistemas. Estos informes son herramientas clave para la toma de decisiones informadas, la identificación de áreas de mejora y el cumplimiento de requisitos normativos y de gestión.

2.2.5 Generación de gráficos

Según Lane & Dodson (2012), *la generación de gráficos implica la representación visual de datos recopilados por el sistema en forma de gráficos, diagramas o tablas*. Estos gráficos proporcionan una manera clara y fácil de entender de visualizar tendencias, patrones y relaciones entre diferentes variables relacionadas con el funcionamiento y rendimiento del edificio y sus sistemas. Esta función es fundamental para facilitar el análisis de datos, la identificación de problemas y oportunidades de mejora, y la toma de decisiones informadas

Las principales características de la generación de gráficos son:

- **Representación visual de datos:** La generación de gráficos implica la transformación de datos numéricos en representaciones visuales, como líneas, barras, áreas, puntos o piezas. Estos gráficos pueden mostrar diferentes variables, como temperatura, humedad, consumo de energía, calidad del aire, estado de equipos y sistemas, en función del tiempo, ubicación o relación con otras variables.
- **Identificación de tendencias y patrones:** Los gráficos generados permiten identificar tendencias y patrones en los datos recopilados a lo largo del tiempo. Al observar la evolución de variables clave en forma de gráficos, los usuarios pueden detectar cambios significativos, ciclos estacionales, fluctuaciones periódicas y otros patrones que pueden afectar el funcionamiento y rendimiento del edificio y sus sistemas.
- **Análisis comparativo:** Los gráficos facilitan el análisis comparativo entre diferentes variables, sistemas, períodos de tiempo o ubicaciones dentro del edificio. Al

visualizar datos en forma de gráficos, los usuarios pueden comparar fácilmente el rendimiento de sistemas similares, identificar diferencias entre áreas del edificio, evaluar el impacto de acciones correctivas o medidas de mejora, y tomar decisiones informadas basadas en datos.

- **Monitoreo en tiempo real:** La generación de gráficos también permite el monitoreo en tiempo real del funcionamiento y rendimiento del edificio y sus sistemas. Los gráficos actualizados automáticamente proporcionan una visión instantánea del estado actual de variables clave, alertando a los usuarios sobre posibles problemas o anomalías y facilitando una respuesta rápida y eficaz para minimizar impactos negativos.
- **Comunicación y presentación de información:** Los gráficos generados son herramientas efectivas para comunicar y presentar información de manera clara y persuasiva a una variedad de audiencias, incluyendo propietarios, administradores, operadores, ingenieros y personal de mantenimiento del edificio. Los gráficos pueden utilizarse en informes, presentaciones, paneles de control y otros medios de comunicación para transmitir mensajes clave, resaltar hallazgos importantes y respaldar la toma de decisiones informadas.

La generación de gráficos implica la representación visual de datos recopilados por el sistema en forma de gráficos, diagramas o tablas. Estos gráficos son fundamentales para facilitar el análisis de datos, la identificación de tendencias y patrones, el monitoreo en tiempo real, la toma de decisiones informadas y la comunicación efectiva de datos relevantes sobre el funcionamiento y rendimiento del edificio y sus sistemas.

2.3 HARDWARE DEL SISTEMA

En el ámbito de la informática, el hardware se refiere a todos los componentes físicos y tangibles de un sistema computacional. Esto incluye dispositivos como la CPU, la memoria RAM, el disco duro, la tarjeta gráfica, entre otros. El hardware es esencial para el funcionamiento de una computadora, ya que proporciona la capacidad de

procesamiento, almacenamiento y comunicación necesaria para ejecutar programas y realizar tareas.

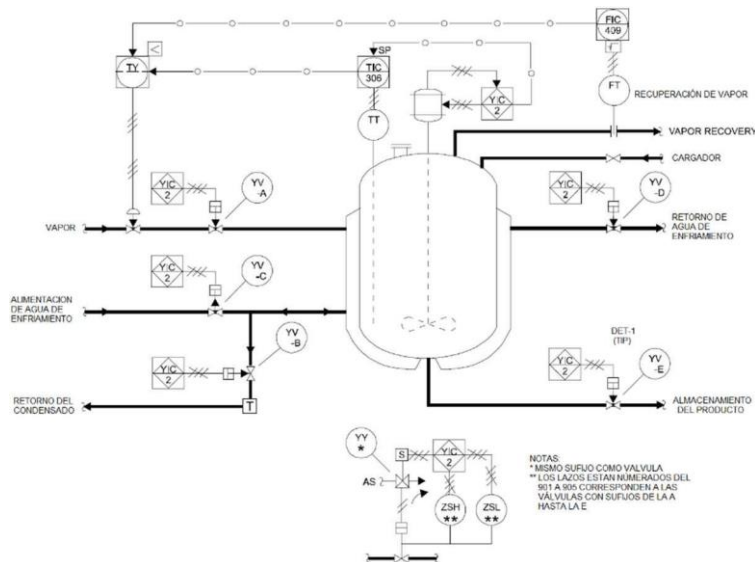
Además, el hardware puede ser clasificado en diferentes categorías, como hardware interno y externo, y es fundamental para el correcto funcionamiento del software y la ejecución de tareas informáticas. (Moreno, 2019)

El hardware de un BMS se refiere a los componentes físicos necesarios para el funcionamiento de este sistema y está definido por ISO 16484.

El hardware de BMS según la norma ISO 16484 (2024) comprende todos los dispositivos físicos necesarios para la implementación, operación y mantenimiento de un sistema de automatización y control de edificios eficiente y funciona. El hardware incluye dispositivos como sensores, actuadores, controladores y unidades de visualización.

Comúnmente en un sistema de monitoreo y control se encuentra con la abreviación de P&ID, la cual es la forma gráfica de representar la ubicación de los sensores dentro de un sistema (Ver Figura 1).

Figura 1. Diagrama de instrumentación



Tomado de: Control Real Español, (2019).

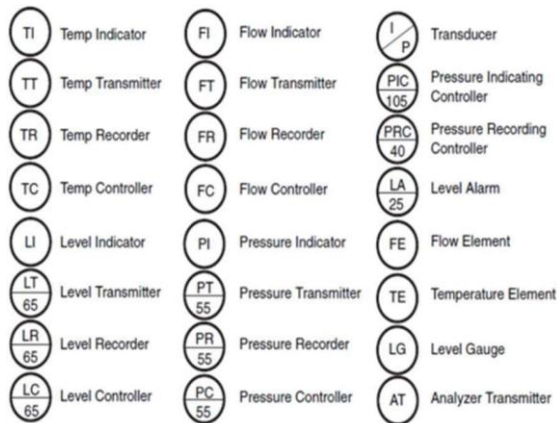
Para cada dispositivo, existe una nomenclatura ya definida por la norma ISO 14617-6 que define el significado de cada letra dentro de los elementos gráficos representados (Ver Figuras 2 y 3).

Figura 2. Identificación de hardware

Primera letra	Medición
D	Densidad
E	Electricidad
F	Caudal
H	Operario
J	Potencia
K	Jornada, Calendario
L	Nivel
M	Humedad
P	Presión
Q	Calidad
R	Radiación
S	Velocidad, Frecuencia
T	Temperatura
V	Viscosidad
W	Peso

Tomado de: ISO 14617-6, (2004).

Figura 3. Nomenclatura de hardware



Tomado de: ISO 14617-6, (2004).

2.3.1 Sensores

Según Moreno (2019), *un sensor es un dispositivo que detecta y responde a alguna entrada física del entorno, transformándola en una señal eléctrica que puede ser interpretada y procesada por otros dispositivos electrónicos, como computadoras, microcontroladores o sistemas de control.* Los sensores son fundamentales en una amplia gama de aplicaciones, desde la industria automotriz y la electrónica de consumo hasta la medicina y la meteorología.

Las características principales de los sensores son:

- **Rango de medición:** Este parámetro indica los límites dentro de los cuales el sensor puede operar y proporcionar mediciones precisas. Por ejemplo, un sensor de temperatura podría tener un rango de -20°C a 100°C . Es importante seleccionar un sensor con un rango adecuado para la aplicación específica.

- **Precisión:** La precisión se refiere a la capacidad del sensor para proporcionar mediciones consistentes y cercanas al valor real. Se expresa típicamente como un porcentaje del rango de medición. Por ejemplo, un sensor con una precisión del $\pm 1\%$ en un rango de medición de $0-100^{\circ}\text{C}$ podría tener una variación máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en sus lecturas.
- **Acople al proceso:** Este término se refiere a cómo el sensor se conecta o interactúa con el proceso o fenómeno que está siendo medido. Por ejemplo, un sensor de temperatura puede estar en contacto directo con el objeto cuya temperatura se está midiendo, o puede medir la temperatura del aire circundante sin contacto físico.
- **Tipo de señal a transmitir:** Los sensores pueden producir diferentes tipos de señales eléctricas como salida, dependiendo de su diseño y aplicación. Algunos sensores producen una señal analógica, como una corriente o voltaje proporcional a la cantidad medida (por ejemplo, un sensor de temperatura termistor), mientras que otros pueden producir una señal digital que indica un estado específico (por ejemplo, un sensor de proximidad infrarrojo).
- **Tipo de alimentación eléctrica:** Los sensores pueden requerir diferentes niveles y tipos de alimentación eléctrica para funcionar correctamente. Algunos sensores funcionan con voltajes estándar de corriente continua, como 5 V o 12 V, mientras que otros pueden requerir voltajes específicos o tipos de señales de alimentación, como corriente alterna o corriente pulsante.

Además, los sensores también pueden variar en términos de su tamaño, costo, velocidad de respuesta, robustez ambiental (por ejemplo, resistencia a la humedad o la vibración), y compatibilidad con diferentes interfaces de comunicación.

Los sensores son dispositivos fundamentales que permiten la medición precisa de una amplia gama de variables físicas y ambientales. La selección del sensor adecuado para una aplicación específica requiere considerar cuidadosamente sus características principales como el rango, la precisión, el tipo de señal y la alimentación eléctrica.

2.3.2 Actuadores

Según Moreno (2019), *un actuador es un dispositivo que convierte una señal de control en movimiento físico*. En un BMS, estos dispositivos son esenciales para controlar y regular una variedad de sistemas dentro de un edificio. Por ejemplo, pueden abrir y cerrar válvulas en sistemas de HVAC, ajustar las posiciones de las compuertas de ventilación, regular la iluminación mediante atenuadores, controlar persianas y cortinas, o activar sistemas de seguridad como puertas de acceso y alarmas contra incendios.

Las características principales de los actuadores son:

- Tipo de movimiento: Los actuadores pueden realizar diferentes tipos de movimientos, como rotación, traslación, apertura y cierre. La elección del tipo de actuador depende del dispositivo o sistema que se esté controlando.
- Capacidad de carga: Es importante considerar la capacidad de carga del actuador, es decir, la cantidad de peso o fuerza que puede manipular de manera segura. Por ejemplo, en sistemas de HVAC, un actuador debe ser capaz de mover válvulas o compuertas con la fuerza adecuada.
- Velocidad y precisión: Algunas aplicaciones requieren actuadores que puedan moverse rápidamente y con precisión, mientras que otras pueden tolerar velocidades más bajas. La precisión se refiere a la capacidad del actuador para posicionarse con exactitud según las instrucciones recibidas del sistema de control.

- **Compatibilidad de protocolo:** Los actuadores deben ser compatibles con los protocolos de comunicación utilizados en el BMS. Esto puede incluir protocolos como BACnet, Modbus, LonWorks, entre otros, que permiten la integración y comunicación efectiva entre los dispositivos dentro del sistema.
- **Fiabilidad y durabilidad:** Los actuadores en un BMS deben ser confiables y duraderos, ya que a menudo operan de manera continua y están sujetos a condiciones ambientales variables. La calidad de los materiales, la construcción robusta y la capacidad de resistir el desgaste son aspectos importantes para considerar.
- **Funciones de seguridad:** En algunos casos, los actuadores en un BMS pueden requerir características de seguridad adicionales, como la capacidad de cerrarse automáticamente en caso de una falla de alimentación o un mal funcionamiento del sistema de control, para evitar daños o situaciones peligrosas.

Los actuadores son componentes esenciales en un Sistema de Gestión de Edificios (BMS), permitiendo el control y la regulación de una variedad de sistemas y dispositivos dentro de un edificio. Su selección y diseño adecuados son fundamentales para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del sistema de control del edificio.

2.3.3 Controladores

Según ISO 16484 (2024), un controlador es un componente electrónico que realiza funciones de control y gestión dentro del sistema. Estos controladores pueden ser dispositivos independientes o integrados en el sistema central, están diseñados para recibir datos de los sensores, procesar la información según las reglas de control predefinidas y enviar comandos a los actuadores para ajustar las condiciones o parámetros según sea necesario.

Existen diferentes tipos de controladores y según sea cada marca se pueden llamar distinto, pero en esencia se pueden dividir en cuatro grandes grupos. A continuación, una referencia basada en la plataforma de *EcoStruxure* de la marca de *Schneider*:

2.3.3.1 Controlador primario

En el sistema de *EcoStruxure* de *Schneider Electric*, el controlador primario es el elemento principal o cerebro del sistema, es un elemento capaz de conectarse a la red Ethernet en su entrada y en la salida capaz de comunicarse con diferentes protocolos de comunicación. Tienen un límite alto de posibles entradas y salidas.

2.3.3.2 Controlador secundario

En el sistema de *EcoStruxure* de *Schneider Electric* el controlador secundario se conecta siempre a un controlador primario. Es un elemento con una mucho menor capacidad que el primero y que solamente puede tener un protocolo de comunicación de salidas. Estos son necesarios para conectar las salidas y entradas de un dispositivo.

2.3.3.3 Controlador de aplicación específica

En el sistema de *EcoStruxure* de *Schneider Electric* el controlador de aplicación específica es un equipo que cuenta con tarjetas de comunicación con capacidad de hablar un lenguaje en específico. Estos son equipos como por ejemplo UPS, Transferencias, medidores eléctricos, entre otros. Este elemento se puede conectar directo a un controlador primario siempre y cuando hablen el mismo lenguaje, de lo contrario, ocuparían un transductor de protocolos.

2.3.3.4 Transductor de protocolos

El transductor de protocolos, en el sistema de *EcoStruxure* de *Schneider Electric*, lleva nombre de "Gateway" y su función es traducir de un lenguaje de comunicación a otro. Se utiliza cuando se requiere conectar un equipo que tiene un lenguaje de comunicación distinto al lenguaje del controlador primario.

2.3.4 Redes de comunicación

Según ISO 16484 (2024) la red de comunicación es un sistema que permite la comunicación entre los diferentes dispositivos y componentes del sistema de automatización y control de edificios. Un elemento indispensable en la constitución de un sistema de monitoreo y control, son las redes de comunicación.

El modelo de interconexión de sistemas abiertos (ISO/IEC 7498-1), también llamado OSI (en inglés, *Open System Interconnection*) es el modelo de red descriptivo que fue creado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en el año 1984. Es un marco de referencia para la definición de arquitecturas en la interconexión de los sistemas de comunicaciones (Ver Figura 4).

Figura 4. La Pila OSI



Tomado de: NEWfly Redes Cisco y Packet Tracer, (2012)

A nivel lógico, existen estándares que regulan las redes, como por ejemplo Ethernet IEEE802.3, TIA-232-F, TIA-485-A. Seguidamente, la explicación de estos tres modelos según el estándar:

- Modelo TCP/IP: Según Autmix (2022) está completo por dos protocolos. El primero, de control de transmisión (TCP) y, por otro lado, el protocolo de internet

(IP). En conjunto, el TCP/IP pertenece a una familia de herramientas de comunicación para conmutar y transportar paquetes de datos en una red global descentralizada.

Cabe mencionar que permite la comunicación de un extremo a otro de un host por medio de los extremos de la red. Para ello, se requiere de protocolos de comunicación donde se usan LAN (*Local Area Network* o por su traducción al español, una Red de Área Local) y WAN (Red de Área Amplia).

Es altamente escalable, robusto y flexible, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones en el mundo digital actual. Se compone de cuatro capas (Ver Figura 5):

Figura 5. Modelo TCP/IP

	TCP/IP	Modelos	OSI	
4	Aplicación	POP, DNS, HTTP, FTP, SNMP, SMTP, NNTP, TELNET, SSH	Aplicación	7
			Presentación	6
			Comunicación	5
3	Transporte	TCP / UDP	Transporte	4
2	Mediación	IPv4 / IPv6	Mediación	3
1	Acceso a la red	IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (WLAN)	Copia de seguridad	2
			Transmisión de bits	1

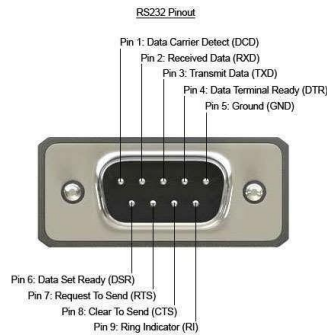
Tomado de: Autmix, (2022).

- Modelo RS232: Según TIA-232-F (2022) es un estándar para la comunicación serie entre dispositivos digitales, que define los aspectos eléctricos, físicos y de protocolo para la transmisión de datos serie (Ver Figura 6).

Esta red utiliza cables serie para enviar y recibir datos en formato binario (unos y ceros) entre un dispositivo emisor y un dispositivo receptor. La comunicación RS232 es bidireccional, lo que significa que ambos dispositivos pueden enviar y recibir datos simultáneamente. Es importante tener en cuenta que RS232 es un estándar de

comunicación más antiguo y está siendo reemplazado gradualmente por tecnologías más modernas como USB y Ethernet.

Figura 6. Interfaz RS232

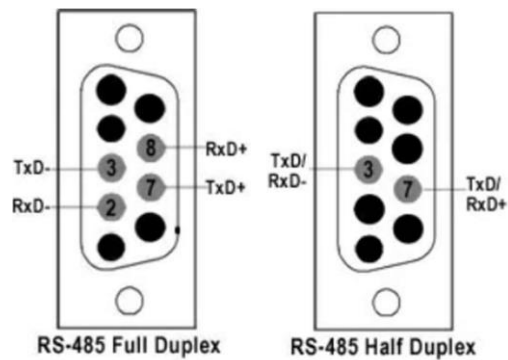


Tomado de: Punto Flotante (s.f.).

- Modelo RS-485: Según TIA-485-A (2022) es un estándar para la comunicación de datos serie en redes industriales que ofrece alta velocidad, resistencia al ruido y la capacidad de conectar múltiples dispositivos en un bus de comunicación (Ver Figura 7).

Es un estándar de comunicación serial diferencial utilizado para la transmisión de datos entre dispositivos a través de dos líneas de señal: una positiva (A) y una negativa (B). Es ideal para aplicaciones industriales y comerciales debido a su capacidad para transmitir datos de manera confiable a largas distancias y en entornos ruidosos. RS-485 puede soportar múltiples dispositivos conectados en un bus de comunicación, permitiendo la comunicación punto a punto o multidireccional entre ellos. Su diseño diferencial proporciona una mayor inmunidad al ruido eléctrico y una transmisión más robusta que RS-232. Esta red se utiliza comúnmente en sistemas de automatización de edificios, control de procesos industriales, sistemas de seguridad y redes de sensores distribuidos.

Figura 7. Interfaz RS-485



Tomado de: Virtual Serial Port, (2019).

2.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación, se refiere a la red del sistema a nivel de aplicación. Son un puente de enlace con terceros en un sistema de monitoreo y control. Los protocolos son conjuntos de reglas y estándares que dictan cómo los diferentes dispositivos y componentes del sistema se comunican entre sí para intercambiar datos y comandos.

“La Directriz 13 de ASHRAE está escrita para ser neutral en cuanto al protocolo de comunicaciones. Se anima a los usuarios de esta guía a emplear protocolos de comunicaciones abiertos y no propietarios donde sea posible” (ASHRAE 13, 2015, p. 160). Sin embargo, ASHRAE sí define recomendaciones de protocolos y da sus referencias de dónde buscar información, por ejemplo: BACnet, Konnex, LonMark, Modbus, Profibus, Zigbee.

A continuación, se detallan los protocolos más comunes y que fueron utilizados en este proyecto:

2.4.1 BACnet

El protocolo de red de control y automatización de edificios (BACnet) es un conjunto estandarizado de reglas que rigen cómo funcionan los edificios. (ASHRAE 13, 2015, p.145).

Originalmente diseñado por las ASHRAE, actualmente es un estándar de la ISO y la ANSI. Se rige por ANSI/ASHRAE 13, el cual define las especificaciones técnicas y los requisitos para la implementación del protocolo, garantizando la interoperabilidad y la compatibilidad entre diferentes dispositivos y sistemas de automatización de edificios.

BACnet, significa “Building Automation and Control Networks”.

Es un protocolo de comunicación estándar utilizado en sistemas de automatización de edificios para permitir la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. BACnet define un conjunto de reglas y estándares para el intercambio de datos y comandos entre dispositivos en una red de automatización de edificios.

La diferencia principal entre BACnet IP y BACnet MSTP *Master-Slave/Token-Passing* radica en el medio físico y el tipo de red que utilizan:

- BACnet IP: Utiliza la pila de protocolos TCP/IP para la comunicación a través de una red Ethernet. BACnet IP se utiliza principalmente en redes de área local (LAN) y redes IP, lo que permite una conexión directa a una infraestructura de red existente. Es ideal para entornos donde se requiere una alta velocidad de comunicación y una amplia cobertura de red.
- BACnet MSTP: Utiliza una topología de bus serie y se basa en la comunicación serie de baja velocidad. MSTP utiliza una topología de bus de dos cables con un maestro que controla la comunicación entre varios dispositivos esclavos. Es comúnmente utilizado en entornos donde se requiere una comunicación confiable y robusta a través de distancias cortas o medianas.

2.4.2 Modbus

Modbus se rige por el estándar *Modbus Organization*, que define las reglas y especificaciones para la implementación del protocolo Modbus en sistemas de automatización industrial.

Según especificación del protocolo de comunicación (2012), *Modbus es un protocolo de comunicación estándar utilizado en sistemas de automatización industrial para el*

intercambio de datos entre dispositivos electrónicos. Permite la comunicación entre controladores con sensores, actuadores y otros dispositivos periféricos.

La diferencia principal entre Modbus TCP y Modbus RTU radica en el medio físico y el método de transmisión:

- Modbus TCP: Utiliza TCP/IP para la comunicación a través de una red Ethernet. *Modbus TCP permite la comunicación a través de redes IP, lo que proporciona una alta velocidad de transferencia de datos y una amplia cobertura de red. Es adecuado para aplicaciones donde se requiere una comunicación rápida y eficiente, como sistemas de automatización conectados a redes Ethernet (Hurtado, 2024).*
- Modbus RTU/MSTP: Utiliza una topología de bus serie y se basa en la comunicación serie de baja velocidad. *Modbus RTU/MSTP se implementa típicamente sobre RS-485 y utiliza una topología de bus de dos cables. Es adecuado para aplicaciones donde se requiere una comunicación confiable y robusta a través de distancias cortas o medianas, como en sistemas de control y dispositivos periféricos conectados en un bus serial (Hurtado, 2024).*

2.5 SOFTWARE DEL SISTEMA

“El software de gestión es la interfaz de usuario que permite realizar la parametrización, puesta en marcha y seguimiento o mantenimiento del sistema BS/BEM. Es el encargado de controlar el hardware de control y se comunica con él. El software puede estar basado en distintos sistemas operativos. Puede incluir varios módulos, cada uno encargado de subsistemas como iluminación, climatización, seguridad, etc.” (Moreno, 2019, p.33)

Dentro del software del sistema existen plataformas de visualización y control, además de bases de datos. Se detallan a continuación.

2.5.1 Plataforma de visualización y control

Dentro de un sistema de monitoreo y control, se pueden visualizar y controlar los datos mediante dos formas. Una es un software de visualización en una estación de trabajo PC o mediante un acceso web y la segunda es mediante una pantalla local conectada a un controlador secundario. En ambas opciones es posible obtener una adquisición de datos. Sin embargo, en la opción local o web se puede programar a gusto de cada usuario, con visualizaciones gráficas y un número de datos tan amplio o limitado como así se requiera. Comúnmente se generan pantallas de datos con niveles de acceso según sea la necesidad o conocimiento técnico de cada usuario, para poder entender de una manera rápida y eficaz los datos que se desea interpretar (Ver Figuras 8 y 9).

Figura 8. Pantalla local



Tomado de: Trane, (s.f.).

Figura 9. Interfaz Web/PC



Tomado de: ITIS, (2019).

2.5.2 Base de datos

La base de datos se refiere al elemento que guarda la información obtenida del software del sistema.

Según ISO/IEC9075-1 (2023) *una base de datos es un repositorio centralizado de información crítica relacionada con el funcionamiento y control del edificio.*

En la base de datos se almacenan datos importantes como la configuración del sistema, los registros de eventos, el historial de operaciones, los perfiles de usuario, y otra información relevante para gestionar y operar de manera eficiente del edificio. La base de datos actúa como el núcleo del sistema de BMS, permitiendo la captura, almacenamiento y consulta de datos clave que son utilizados por el software para monitorear, controlar y optimizar los sistemas y equipos del edificio en tiempo real.

2.6 VARIABLES

Las variables en un sistema de monitoreo y control son parámetros físicos o lógicos que representan estados, mediciones o condiciones dentro del entorno del edificio que son monitoreadas, controladas o utilizadas para la toma de decisiones.

Estas variables pueden ser de diversos tipos, incluyendo entradas y salidas binarias, que representan estados lógicos como "encendido/apagado", "abierto/cerrado", "activo/inactivo", entre otros. Las variables binarias son esenciales en un sistema de BMS para controlar dispositivos y sistemas como luces, ventiladores, válvulas, alarmas y otros equipos, permitiendo la automatización y gestión eficiente de los recursos del edificio.

Seguidamente se detallan los cinco tipos de variables que se pueden encontrar en un sistema (Kin Energy, 2023).

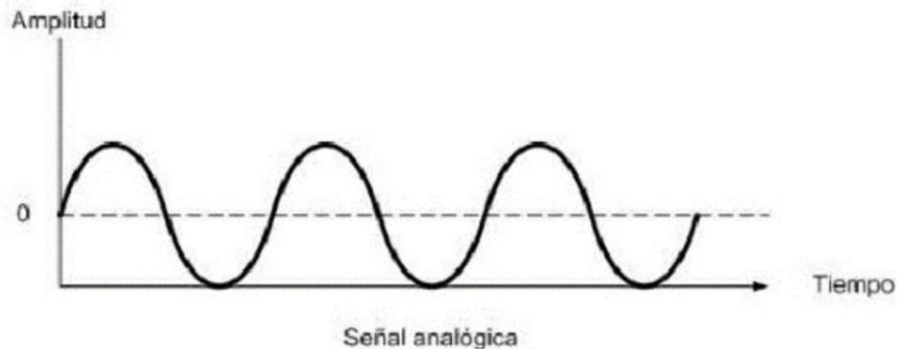
2.6.1 Análogas

Existen entrada y salidas, comúnmente representadas bajo las siglas AI *Analog Input* Entrada Análoga, y las letras AO *Analog Output* o Salida Análoga (Kin Energy, 2023).

Es una señal eléctrica que representa una magnitud física continua, como temperatura, presión o nivel de luz, capturada por un sensor analógico. Estas señales son medidas y transmitidas en forma de voltajes variables, que luego son convertidas y procesadas por

el sistema para monitorear y controlar diversos dispositivos y sistemas dentro del edificio (Ver Figura 10).

Figura 10. Señal análoga



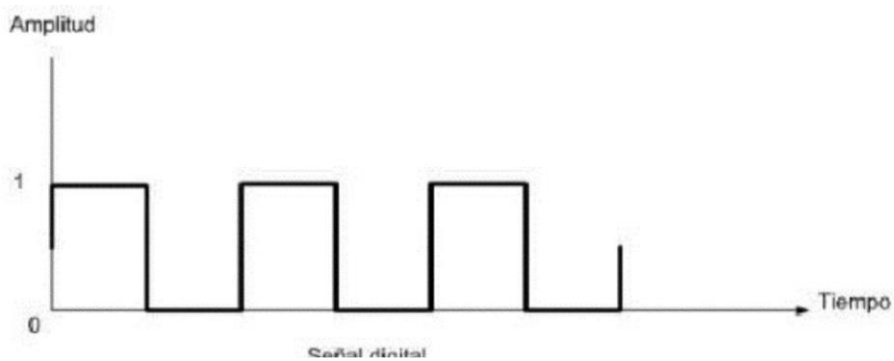
Tomado de: Researchgate, (2022).

2.6.2 Binarias

Existen entrada y salidas, comúnmente representadas bajo las siglas BI (Binary Input o Entrada Binaria) y las letras BO (Binary Output o Salida Binaria) (Kin Energy, 2023).

Es una señal eléctrica que representa un estado de dos posibles opciones: "encendido" o "apagado", "abierto" o "cerrado". Estas señales provienen de dispositivos como interruptores, sensores de puertas o ventanas, y se utilizan para indicar la presencia o ausencia de ciertas condiciones dentro del edificio, permitiendo al sistema tomar decisiones de control basadas en estos estados (Ver Figura 11).

Figura 11. Señal Binaria



Tomado de: Researchgate, (2022).

2.6.3 Comunicación

Una conexión por comunicación implica la interconexión de dispositivos y equipos mediante un protocolo de comunicación estándar, como BACnet IP. En este contexto, los equipos como sensores, actuadores y controladores pueden conectarse directamente y enviar o recibir datos a través de la red, esto permite que se extraigan todos los parámetros del equipo como por ejemplo alarmas, estados, arranques y paros, sin necesidad de definir variables. Esto se utiliza para sacar todas las posibles variables del equipo.

2.7 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Según ASHRAE 13 (2015) *“La arquitectura del sistema, la topología o la disposición de los dispositivos en las redes que lo componen. Un sistema de automatización de edificios es una función de muchas decisiones tomadas por el diseñador, el proveedor del sistema y dueño. Ninguna topología es universalmente la mejor para todos los sistemas.”* (p. 44).

La arquitectura de diseño del sistema se refiere a la estructura organizativa y funcional del sistema, incluyendo la disposición de sus componentes, la interconexión entre ellos y la distribución de las funciones de control y gestión.

Esta arquitectura define cómo se diseñan y organizan los diferentes elementos del sistema para cumplir con los objetivos y necesidades específicos del sistema. Puede incluir la ubicación y configuración de sensores, actuadores, controladores, unidades de procesamiento, interfaces de usuario y otros dispositivos, así como la topología de red y los protocolos de comunicación utilizados para conectar y coordinar estos componentes. La arquitectura de diseño de un BMS es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente, confiable y seguro del sistema, así como para facilitar su expansión, mantenimiento y actualización en el futuro.

A continuación, se detallan las dos arquitecturas más comunes

2.7.1 DDC

DDC son las siglas en inglés para “Direct Digital Control”.

Según ASHRAE 13 (2015) *“El sistema de control normalmente consta de varios controladores basados en microprocesadores que tienen sensores electrónicos conectados para medir temperaturas, presiones, corriente eléctrica, estado y otras variables ambientales. Estas entradas pueden ser ya sea binario (encendido/apagado), como el estado del ventilador, o analógico (variable), como la presión estática. Las señales de las entradas analógicas son digitalizadas para su posterior procesamiento. Los controladores ejecutan un programa para comparar los valores medidos con los resultados deseados y, utilizando algoritmos proporcional-integral-derivada (PID), determinar cómo se deben controlar las salidas del sistema. Esta es la esencia de DDC”* (p.5).

Un sistema DDC, normalmente dispone de un controlador principal, en el cual puede residir la aplicación de operación conocida por las siglas HMI *Human Machine Interface*, además de inicializar las redes, también comparte recursos y puede almacenar datos de proceso, así como especificar los puntos de operación *setpoints* del sistema.

Típicamente no dispone de redundancia en fuentes de poder, controladores o redes. Se caracteriza por poder incluir los controladores de aplicación específica, los cuales no son programables como tal, sino configurables, y son orientados al control de HVAC. Controladores específicos de este tipo de sistemas son las VAV's y los termostatos inteligentes con capacidad de comunicación.

2.7.2 PLC

PLC son las siglas en inglés para *Programmable Logic Controller*.

Según Benelec (2021) Este es el caballo de batalla de la industria para sus necesidades de control y monitoreo. *Inicialmente se consideró un relé programable secuencial; sin embargo, hoy en día es capaz de desarrollar estrategias complejas de control. Tiene mucha más capacidad de entradas y salidas que un sistema DDC.*

El controlador principal no dispone de plataforma HMI (el mismo corre en computadores dedicados). Este sistema es mucho más robusto que los equipos DDC, puede utilizar

más variedad de módulos, y permite conectividad con muchos fabricantes de equipos de control. Una de las principales ventajas es que puede implementarse con o sin redundancia de fuentes de poder, procesadores, redes, etc.

Típicamente el equipo es totalmente programable, no existen controladores de aplicación específica, orientados únicamente a control de HVAC, ya que no dispone de rutinas especializadas para el manejo de HVAC.

Dispositivos tales como las VAV's o cajas de volumen variables y/o termostatos, no son disponibles de los fabricantes de PLC.

El contra más grande es el costo de implementación. El costo de un sistema basado en PLC puede considerarse de un 30% a un 50% adicional en comparación con su análogo DDC.

2.8 REFRIGERACION TIPO CHILLER

Un sistema de refrigeración tipo chiller es un sistema de refrigeración centralizado, utilizado para enfriar grandes espacios o edificios comerciales e industriales. Funciona mediante la circulación de un refrigerante a través de un ciclo de compresión de vapor para extraer el calor del aire o del agua y disiparlo hacia el exterior (Airson Ingenieros, 2022).

Los *Chillers* son el componente principal de este sistema y son responsables de enfriar el refrigerante, que luego se utiliza para enfriar el aire o el agua que circula a través del edificio. Las bombas son utilizadas para hacer circular el agua enfriada hacia los sistemas de distribución de aire o para enfriar equipos y procesos industriales. Las torres de enfriamiento se encargan de eliminar el calor absorbido por el refrigerante, generalmente mediante la evaporación de agua o mediante un intercambiador de calor con el aire ambiente.

En resumen, un sistema de refrigeración tipo *chiller* utiliza *chillers*, bombas y torres de enfriamiento para proporcionar un enfriamiento eficiente y controlado en grandes instalaciones.

A continuación, se definen los tres equipos principales de este sistema:

- *Chiller*: Según Castro Navarro, (2017) son un dispositivo de refrigeración que utiliza un ciclo de compresión de vapor para enfriar el agua o el aire. Funciona mediante la compresión de un refrigerante para aumentar su presión y temperatura, luego enfriándolo y permitiendo que se expanda y absorba el calor del medio que se desea enfriar. Los *Chillers* son esenciales en sistemas de refrigeración centralizado utilizado en edificios comerciales e industriales.
- *Bombas*: Según Castro Navarro, (2017) las bombas son dispositivos utilizados para hacer circular líquidos como agua helada, a través de un sistema de tuberías. En el contexto de un sistema de refrigeración, las bombas se utilizan para hacer circular el agua enfriada por el *Chiller* hacia los sistemas de distribución de aire o para enfriar equipos y procesos industriales. Ayudan a mantener un flujo constante y controlado de agua a través del sistema.
- *Torres de enfriamiento*: Según Castro Navarro, (2017) las torres de enfriamiento son dispositivos utilizados para eliminar el calor absorbido por el refrigerante en el *Chiller*. Operan mediante la evaporación de agua o mediante un intercambiador de calor con el aire ambiente. Las torres de enfriamiento son esenciales para disipar el calor del proceso de enfriamiento y mantener el *Chiller* funcionando eficientemente

2.9 ABREVIACIONES COMUNES

Dentro de un sistema de monitoreo y control o BMS, existe una gran variedad de definiciones breves y claras de términos técnicos, especializados o específicos utilizados para llamar a los diferentes equipos, sensores, actuadores y controladores. Estas abreviaciones pueden resultar desconocidas o confusas para quienes no están familiarizados con el tema en cuestión. Por tanto, en el apéndice 1, se muestra un glosario de los términos y abreviaciones más comunes.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

2.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Existen tres distintos enfoques de investigación: La cuantitativa, la cualitativa, y el método que une ambos, llamado mixta. A continuación, una breve descripción de cada una de ellas.

- **Cuantitativo:** Este enfoque se centra en la medición objetiva y en la cuantificación de los datos. Su principal objetivo es generalizar los resultados obtenidos y establecer relaciones o patrones entre las variables a través de métodos como encuestas, experimentos y análisis estadísticos. (Guerrero, 2024).
- **Cualitativo:** El enfoque cualitativo se enfoca en comprender los fenómenos desde una perspectiva subjetiva y contextual. Busca explorar la complejidad de la experiencia humana utilizando métodos como entrevistas, observaciones y análisis de contenido, lo que permite una mayor profundidad en la interpretación de los datos. (Guerrero, 2024).
- **Mixto:** El enfoque mixto combina elementos de los métodos cuantitativo y cualitativo para obtener una visión más integral de los fenómenos estudiados. Al integrar ambos enfoques, se aprovechan las fortalezas de cada uno, lo que permite abordar preguntas de investigación más complejas y obtener resultados más completos y robustos. (Guerrero, 2024).

Este proyecto utilizó el método de investigación mixto, debido a que se abordó tanto la amplitud como la profundidad del tema. Se utilizaron conceptos cuantitativos como análisis de normativas y también se utilizaron conceptos cualitativos para evidenciar fortalezas, oportunidades y debilidades de las diferentes opciones, además de herramientas de encuestas o entrevistas para comprender las percepciones del grupo al que está dirigido este proyecto, que son profesionales en la ingeniería.

2.4 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación constituye el marco estratégico fundamental para obtener los datos necesarios y resolver los desafíos planteados por el problema. En este contexto, el método de investigación se concibe como el plan integral que guía la recopilación, análisis y presentación de datos, con el fin de alcanzar los objetivos específicos del proyecto. Se detallan la descripción y aplicación de las herramientas ingenieriles seleccionadas, fundamentales para llevar a cabo esta estrategia de investigación de manera efectiva.

El objetivo principal del método de investigación es proporcionar una estructura sólida y sistemática que permita abordar los problemas identificados en el planteamiento del problema. Para lograrlo, se han seleccionado cuidadosamente veinte herramientas ingenieriles clave, cada una destinada a desempeñar un papel crucial en la recopilación, análisis y presentación de datos. Estas herramientas no solo brindan un marco analítico robusto, sino que también facilitan la comprensión y solución del objetivo principal y específicos del proyecto. Seguidamente, las herramientas y su aplicación:

2.4.1 Entrevista a ingenieros

En el uso de esta herramienta, se entrevistó a profesionales en electromecánica para evaluar la necesidad de un manual de procedimientos para el control y monitoreo, y entender por qué la población ingenieril piensa que no existe algo similar o por qué el proyecto representa algo novedoso. Se buscó que fueran dos personas entrevistadas, ambos con experiencia amplia en el ámbito de diseño, pero con una experiencia en distintos campos, pues se buscó una persona que se desarrollara en el campo de la ingeniería eléctrica y otro que se desarrollara en el campo de la ingeniería mecánica. Solamente se plantearon cuatro consultas, las cuales tuvieron como objetivo medir el entendimiento en protocolos, topologías, variables y procedimientos necesarios.

2.4.2 Cinco porqués

El método de los *Cinco Porqués* es una técnica de resolución de problemas que se utiliza para identificar la causa raíz, al hacer una serie de preguntas "por qué" de manera sucesiva. En este caso, se pretende presentar el problema de falta de una guía de

implementación para un sistema de monitoreo y control, y comprender sus causas fundamentales.

2.4.3 Análisis de normativa internacional

El análisis implica la revisión de diferentes documentos con el fin de examinar y comprender los requisitos y principales puntos de cada normativa. Las normativas seleccionadas para ser objeto de análisis tienen como meta principal identificar los artículos más importantes, para realizar un análisis detallado. Esto con el objetivo de crear un resumen de fácil acceso.

La NFPA 79 es la norma eléctrica para la maquinaria industrial, el propósito de someter a análisis la presente, es entender los requisitos de los paneles de control. ASHRAE 13-2015 es un estándar que sirve como guía para la especificación de sistemas de automatización en edificios, se analizó para entender los protocolos de comunicación y la topología no centralizada, además de entender conceptos básicos y relevantes. ASHRAE 36-2021 es un estándar que sirve como guía para la especificación de secuencias de operación de los sistemas de HVAC *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*, se analizó para entender cómo funciona un sistema de refrigeración tipo *Chiller*, para tener claridad de qué variables deben ser de control y tener una acción sobre el sistema, y qué variables deben ser solo de monitoreo. *ASHRAE Handbook - HVAC Applications* es el estándar para la instalación de sistemas de aire acondicionado y ventilación, se analizaron los requisitos que existen dentro de esta normativa para entender los sistemas de refrigeración tipo *Chiller*. Por último, también se analizó UL 508A que es el estándar UL para la construcción de paneles de control industrial destinados al uso industrial en general, el análisis de este estándar es importante para entender los requisitos de especificación de los paneles.

2.4.4 Análisis de herramientas de diseño

Se analizó la herramienta llamada *CtrlSpecBuilder*. En esta herramienta se busca generar diagramas y detalles, además de hacer lista de puntos y especificaciones técnicas para la correcta especificación de no solo el sistema, sino de los sensores y controladores.

2.4.5 Análisis de riesgos y vulnerabilidades

El análisis de riesgos y vulnerabilidad es un proceso para identificar, evaluar y gestionar los riesgos potenciales y las vulnerabilidades de un sistema. Para este proyecto se identificaron las amenazas y se evaluaron las posibles consecuencias de no tener un sistema de monitoreo y control en un sistema de refrigeración tipo *Chiller*, y cómo esta guía de diseño puede mitigar los riesgos.

2.4.6 FODA

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) se centra en identificar fortalezas y debilidades internas, así como oportunidades y amenazas externas, con el objetivo de desarrollar estrategias efectivas. Para este proyecto, se realizó un FODA sobre un control centralizado y no centralizado, para de esta forma poder justificar la razón por la cual el implementar el sistema de refrigeración tipo *Chiller* se hace con un sistema no centralizado.

2.4.7 Matriz de comparación

La matriz de comparación es una herramienta que se utiliza para evaluar y comparar diferentes opciones o alternativas en función de múltiples criterios predefinidos. En este proyecto se utilizó la herramienta para entender la función y la asignación de las variables del sistema de instrumentación. En el caso de la instrumentación, en el diagrama de bloques se muestran los sensores que recopilan datos, los transductores que convierten las señales, los acondicionadores de señales y los sistemas que reciben los datos.

2.4.8 Estandarización

La estandarización se refiere al proceso de establecer normas, procedimientos o especificaciones uniformes para realizar tareas, procesos o productos de manera consistente y predecible. Es importante que se mencionen cuáles son las normas que rigen la selección de elementos y protocolos para saber cuál es la base internacional en qué basarse a la hora de generar una implementación de monitoreo y control.

2.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para los insumos de este proyecto, se trabajó primeramente con fuentes primarias de información contenida en normativas internacionales, para la conceptualización de todos los temas referentes a variables, protocolos de comunicación y arquitectura.

Se consultó información contenida en internet sobre conceptos e imágenes de equipos como sensores y actuadores, con el fin de representar gráficamente el concepto.

También se realizaron encuestas y cuestionarios a profesionales en el campo de la ingeniería para entender la importancia del proyecto.

En cuanto a las fuentes secundarias de información, se consultó con un especialista en el diseño e implementación del sistema de monitoreo y control que no solo se maneja en el campo del diseño, sino también de la construcción y programación. El ingeniero es Francisco Barrantes y cuenta con más de treinta y cinco años de experiencia, además es profesor de una universidad estatal sobre el tema. Se le consultó a manera específica por recomendaciones para un manual y también se confirmó la sugerencia del uso de topología no centralizada en sistemas de refrigeración con agua helada. La información se recopiló mediante llamadas y sesiones de trabajo para compartir conocimiento y tener una mejor claridad de cómo abordar los pasos del manual.

2.5.1 Sujetos de información

En esta sección se exploró el concepto de *Sujetos de Información*, una pieza fundamental en el análisis y mejora de procesos. Se presentó un *Project Charter*, un documento que define los objetivos, alcance y participantes clave de un proyecto, basado en el enfoque DMAIC.

El DMAIC, un acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, y proporciona una estructura robusta para abordar problemas y oportunidades de mejora de manera sistemática y eficiente.

El *Project Charter* sirvió como punto de partida para el análisis de este proyecto, proporcionando una visión clara de los objetivos, el alcance, los recursos y las expectativas (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Project Charter.

1- Fecha	2- Nombre del Proyecto
6/2/2024	Implementación de un manual de procedimiento para control y monitoreo de una edificación, basado en una topología no centralizada para edificios que cuenten con tecnología de refrigeración tipo <i>Chiller</i>
3- Miembros	4- Área de aplicación, interesados del proyecto
Estudiante: Ing. Johnny Alvarado Rodríguez Tutor: Ing. Diego Alonso Ramírez Rojas	Diseño Electromecánico. Ingenieros eléctricos y mecánicos
5- Fecha de Inicio del proyecto	6- Fecha tentativa de finalización
20/1/2024	29/6/2024
7 - Objetivos del Proyecto	
7.1 Objetivo General	
Elaborar un manual de procedimientos para el control y monitoreo de una edificación basado en una topología no centralizada para edificios que cuenten con tecnología de refrigeración tipo <i>Chiller</i>	
7.2 Objetivos Específicos	
7.2.1 Identificar los tipos de protocolos de que existen para la comunicación de equipos de refrigeración tipo <i>Chiller</i> .	
7.2.2 Definir la topología de diseño de un sistema no centralizado.	
7.2.3 Entender el tipo, función y asignación de variables en un sistema de refrigeración tipo <i>Chiller</i> .	
7.2.4 Conocer el procedimiento correcto para diseñar un sistema de monitoreo y control enfocado hacia ingenieros.	
8- Descripción del proyecto	
El trabajo se enfoca en tener una guía sobre cómo implementar correctamente un sistema de monitoreo y control, para tener una línea de partida y una noción general de los componentes del diseño, para poder formar un criterio en caso de enfrentarse a un reto de implementación en una edificación con tecnología de refrigeración tipo <i>Chiller</i> .	
Justificación del proyecto	
La realización del presente trabajo se justifica en la línea de la investigación sobre el procedimiento correcto para diseñar un sistema de monitoreo y control, basada en normativas y recomendaciones internacionales, enfocada hacia ingenieros principalmente, con la idea central de que tengan una guía para afrontar un diseño sobre este tema. La guía se enfoca en tener noción sobre cómo iniciar, saber los protocolos que existen, los tipos de medios de comunicación, variables del sistema, montaje y requerimientos para poder plasmar en un plano una topología no centralizada en una edificación con tecnología de refrigeración tipo <i>Chiller</i> .	
Posibles restricciones	
Dada la naturaleza y enfoque específicos de este proyecto, no se ha identificado una empresa específica como objeto de estudio. En su lugar, se concibe como una guía general dirigida a ingenieros, con el propósito de proporcionar orientación y herramientas aplicables en diversos contextos profesionales.	
Interesados directos	
Profesionales en el área de ingeniería dedicados al diseño o inspección de sistemas de automatización	
Líder del Proyecto de Investigación	
Ing. Johnny Alvarado Rodríguez	

Tomado de: Creación propia, (2024).

2.6 VARIABLES DE ANÁLISIS

En este apartado se presenta la tabla de variables por objetivo del proyecto, un aspecto crucial en su evaluación y comprensión. Dentro de la Tabla 2 se incluyen los objetivos específicos, variables de cada objetivo, definición conceptual, operacionalización e instrumentación.

Esta tabla sirvió como una herramienta para estructurar y organizar el proyecto, permitiendo identificar claramente los objetivos específicos, así como los métodos de evaluación.

Tabla 2. Variables de la investigación por objetivo específico.

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Identificar los tipos de protocolos que existen para la comunicación de equipos de refrigeración tipo <i>Chiller</i> .	Análisis de protocolos de comunicación	Entendimiento de los diferentes protocolos de comunicación y su uso más común según el tipo de equipo	Se analizarán los tipos de protocolos de comunicación para entender cómo representarlos y cuándo utilizar cada uno de ellos.	Normativa Análisis de normativa Diagrama de Flujo de Datos Análisis de Pareto
Definir la topología de diseño de un sistema no centralizado.	Análisis de arquitectura no centralizada	Entendimiento de la topología no centralizada y conceptualización de ubicación de los dispositivos	Se va a definir la forma de operación de un sistema no centralizado, para entender la razón de uso en un sistema de refrigeración tipo <i>Chiller</i> .	FODA Matriz de comparación
Entender el tipo, función y asignación de variables en un sistema de refrigeración tipo <i>Chiller</i>	Análisis de variables	Comprensión de los tipos de variables y uso según el tipo de instrumentación	Se entenderán las diferentes variables que existen y el comportamiento de cada una para tener claro si son salidas o entradas y de qué tipo	Diagrama de bloques funcional Herramientas de diseño
Conocer el procedimiento correcto para diseñar un sistema de monitoreo y control enfocado hacia ingenieros.	Análisis de procedimiento de diseño	Implementar un procedimiento correcto necesario para un diseño funcional que pueda representar los elementos necesarios para un correcto funcionamiento de un sistema.	Se va a dar una guía de pasos de los temas que se deben evaluar para diseñar un sistema de monitoreo y control, indicando los puntos clave que se deben tomar en cuenta	Cuantificación de beneficios Optimización de procedimientos Estandarización

Tomado de: Creación propia, (2024).

2.7 INSTRUMENTOS

A continuación, se presentan los instrumentos a utilizar, clasificados por cada una de las herramientas de diseño seleccionadas para el presente trabajo. Se muestra una descripción de cómo se utilizará cada una de las herramientas.

2.7.1 Entrevista a ingenieros

La entrevista es una herramienta valiosa para recopilar información cualitativa y perspectivas expertas sobre aspectos relacionados con este proyecto. Se entrevistaron a profesionales en electromecánica para evaluar la necesidad de un manual de procedimiento para el control y monitoreo y entender por qué la población ingenieril piensa que no existe algo similar o por qué el proyecto representa algo novedoso.

Como instrumento, se diseñó una serie de preguntas estructuradas que aborden la consulta y se seleccionó un grupo de al menos tres ingenieros para entrevistar de forma individual.

A continuación, se presenta un ejemplo estructural de cómo se realizó la consulta y el registro de las respuestas (Figura 12):

Figura 12. Formato de Entrevista

Formato de Guía de Entrevista	
Fecha de Entrevista	
Entrevistador	
Datos del Entrevistado	
Nombre	
Edad	
Información Académica	
Profesión	
Grado Académico	
Experiencia (años)	
Preguntas para Entrevista	
Pregunta #1	
Respuesta #1	
Pregunta #2	
Respuesta #2	
Pregunta #3	
Respuesta #3	

Fuente propia, (2024).

Estas entrevistas proporcionaron información detallada y perspectivas expertas que complementaron los análisis cuantitativos.

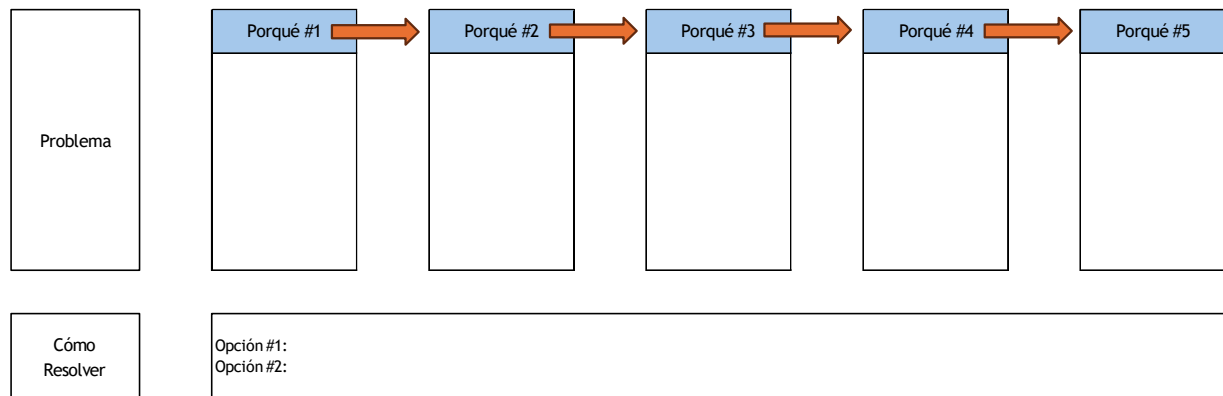
2.7.2 Cinco Porqués

En este proyecto, se utilizó la herramienta de cinco porqués para presentar el problema de falta de una guía de implementación para un sistema de monitoreo y control al hacer una serie de preguntas "por qué" de manera iterativa. De esta manera, se logró una mejor comprensión del problema y sus desafíos fundamentales.

Como instrumento, se realizó una sesión de trabajo para hacer las preguntas del porqué y explorar las causas del problema.

A continuación, un ejemplo del método de cinco porqués (Figura 13):

Figura 13. Cinco Porqués



Fuente propia, (2024).

Al llegar a la quinta pregunta, se identificó una posible causa raíz del problema, que puede requerir acciones correctivas o preventivas específicas para abordarlo. Este enfoque ayudó a comprender mejor por qué no existe una guía de monitoreo y control.

2.7.3 Análisis de normativa internacional

El análisis implica la revisión de diferentes documentos con el fin de examinar y comprender los requisitos y principales puntos de cada normativa. Las normativas seleccionadas para ser objeto de análisis tienen como meta principal identificar los artículos más importantes, para realizar un análisis detallado. Esto con el objetivo de crear un resumen de fácil acceso.

Se llevará a cabo una revisión de los artículos más relevantes dentro de las normativas, que estén dentro del contexto de monitoreo y control de este trabajo, y se analizarán sus puntos más relevantes para esta investigación.

A continuación, un ejemplo de la tabla de análisis de normativa (Ver figura 14):

Figura 14. Análisis de normativa

Ficha de Análisis Normativo		
NORMA		
FECHA		
OBJETIVO		
VIGENCIA		
Artículos Relevantes	Texto de Artículo	Análisis Normativo

Fuente propia, (2024).

Este análisis permite confirmar que la guía cumple con todos los requisitos de la normativa sobre este tema.

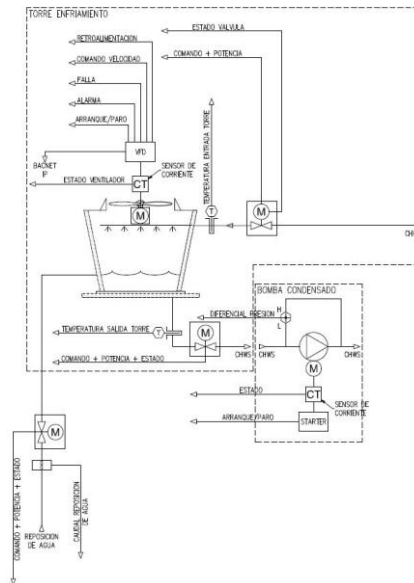
2.7.4 Análisis de herramientas de diseño

La herramienta *CtrlSpecBuilder* busca generar diagramas y detalles, además de hacer lista de puntos y especificaciones técnicas para la correcta especificación de no solo el sistema, sino de los sensores y controladores.

Como instrumento, se generó un diagrama del sistema de refrigeración tipo *Chiller* con los puntos de monitoreo y control.

Se presenta un ejemplo de cómo se ven gráficamente el diagrama y los puntos de sensores (Ver Figura 15):

Figura 15. Herramienta de diseño



Fuente propia, (2024).

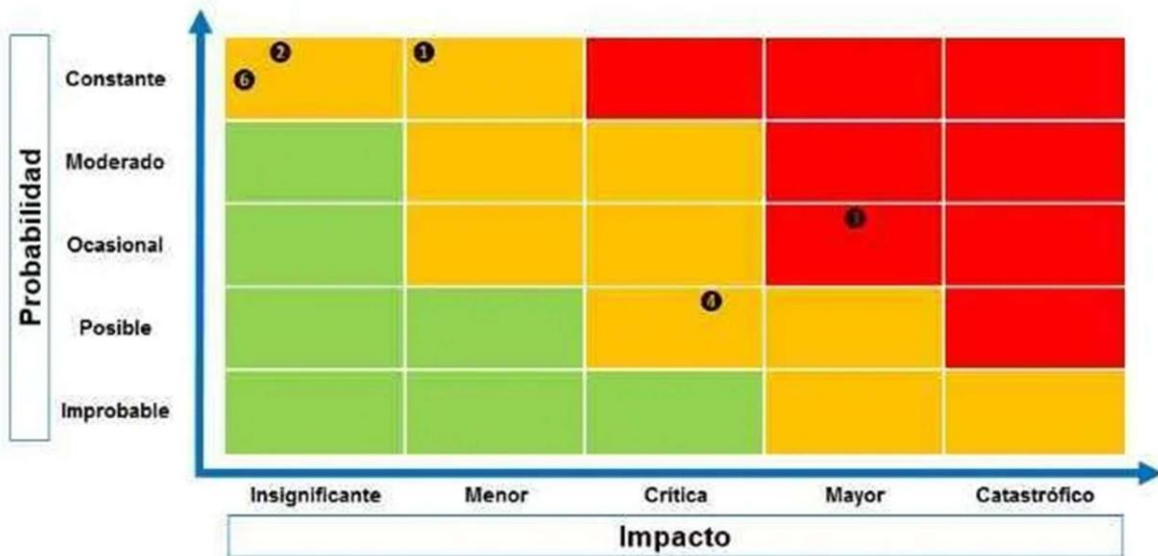
Este diagrama, facilita la comprensión no solo del sistema de refrigeración, sino también de los puntos de análisis.

2.7.5 Análisis de riesgos y vulnerabilidades

El análisis de riesgos y vulnerabilidad es un proceso para identificar, evaluar y gestionar los riesgos potenciales y las vulnerabilidades de un sistema. Para este proyecto, se pretende identificar las amenazas y evaluar las posibles consecuencias de no tener un sistema de monitoreo y control en un sistema de refrigeración tipo *Chiller*, y cómo esta guía de diseño puede mitigar los riesgos.

Una representación visual de una matriz de riesgos (Ver Figura 16):

Figura 16. Matriz de riesgos



Fuente propia, (2024).

Mediante esta matriz, se evalúa la necesidad, se identifican y se calculan los riesgos de la no implementación, y se determinan las probabilidades de que estos sucedan.

2.7.6 FODA

El análisis FODA se centra en identificar fortalezas y debilidades internas, así como oportunidades y amenazas externas, con el objetivo de desarrollar estrategias efectivas. Como instrumento se lleva a cabo un FODA sobre un control centralizado y no centralizado.

A continuación, una representación gráfica de la visualización del FODA (Ver Figura 17):

Figura 17. FODA

... TITULO ...	
Fortalezas(+)	
1	
2	
3	
4	
Debilidades(-)	
1	
2	
3	
4	
Oportunidades(+)	
1	
2	
3	
4	
Amenazas(-)	
1	
2	
3	
4	

Fuente propia, (2024).

Una vez desarrollado el FODA, se pueden evaluar las principales diferencias entre un sistema centralizado y no centralizado, y poder justificar por qué la implementación del sistema de refrigeración tipo *Chiller* se hace con un sistema no centralizado

2.7.7 Matriz de comparación

La matriz de comparación es una herramienta que se utiliza para evaluar y comparar diferentes opciones o alternativas en función de múltiples criterios predefinidos. En este proyecto se aplica para entender la función y la asignación de las variables del sistema de instrumentación.

Como instrumento, es útil para representar la instrumentación y las funciones que cada elemento cumple.

Representación gráfica de la matriz de comparación utilizada (Ver Figura 18):

Figura 18. Matriz de comparación

		Matriz de Comparación					
		Recibe Señales	Envía Señales	Monitorea	Controla / Acciona	Señal Análoga	Señal Binaria
1	Controlador Primario	●	●	▲	▲	⊘	⊘
2	Controlador Secundario						
3	Termostato						
4	Sensor de Presión						
5	Variador de Frecuencia						
6	Sensor de Flujo						

● SI ▲ NO ⊘ No Aplica

Fuente propia, (2024).

Con esta matriz se define la función de cada elemento del sistema en el diseño y el tipo de señal que tiene.

2.7.8 Estandarización

La estandarización se refiere al proceso de establecer normas, procedimientos o especificaciones uniformes para realizar tareas, procesos o productos de manera consistente y predecible. Es importante que se mencionen cuáles son las normas que rigen la selección de elementos y protocolos para saber el fundamento internacional en qué basarse a la hora de generar una implementación de monitoreo y control.

Como instrumento, se unifica el enfoque para proyectos similares, detallando los pasos esenciales para garantizar el éxito, y se crea una lista de verificación para asegurar que se sigan todos los procedimientos necesarios.

A continuación, un ejemplo de la lista de verificación de los pasos a seguir (Ver Figura 19):

Figura 19. Verificación para estandarización

		Verificación de Pasos		
		Si	NO	Comentario
1	Se realizó paso #1	X		
2	Se realizó paso #2		X	
3	Se realizó paso #3	X		
4	Se realizó paso #4	X		
5	Se realizó paso #5		X	

Fuente propia, (2024).

Con esta lista de verificación, se valida que se sigan todos los pasos necesarios definidos en la estandarización para un correcto procedimiento.

2.8 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

En este capítulo se elabora un plan detallado de trabajo utilizando un diagrama de Gantt. Este plan proporciona una visión general de las tareas por realizar, sus duraciones estimadas y las dependencias entre ellas, permitiendo una gestión eficiente del tiempo y los recursos durante la ejecución del proyecto (Ver Figura 9).

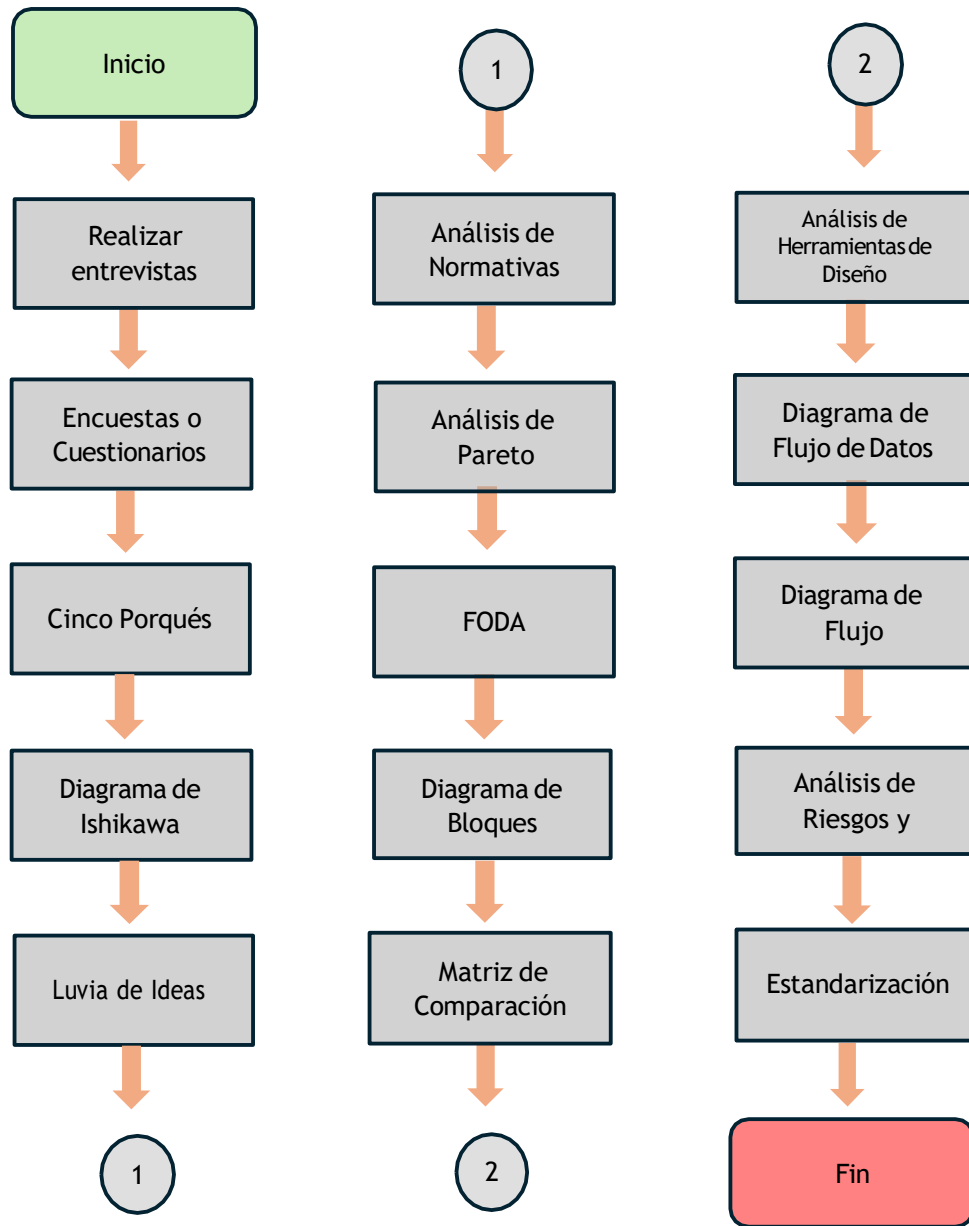
Además, se realiza un diagrama de flujo que ilustre de manera concisa los pasos a seguir en la investigación. Este diagrama destaca la secuencia de actividades desde la recolección inicial de datos hasta el análisis y la interpretación de los resultados, proporcionando una guía visual clara del proceso metodológico empleado en la tesis (Ver Figura 20).

Figura 20. Plan de trabajo

Vacaciones	Primer Cuatrimestre 2024				Segundo Cuatrimestre 2024				
2024-01-02 Hasta 2024-01-14	2024-01-15 Hasta 2024-01-20	2024-01-20 Hasta 2024-02-10	2024-03-11 Hasta 2024-03-16	2024-03-17 Hasta 2024-05-11	2024-05-12 Hasta 2024-06-29	2024-06-30 Hasta 2024-07-06	2024-07-07 Hasta 2024-07-20	2024-07-21 Hasta 2024-08-10	2024-08-11 Hasta 2024-08-24
N/A	N/A	Semana 1 a 4	Semana 9	Semana 10 a 17	Semana 1 a 7	Semana 8	Semana 9 a 10	Semana 11 a 13	Semana 14 a 15
Aprobación Director de Carrera	Matrícula TII								
		Taller TII	Reunión Inicial						
			Desarrollo TFG con Tutoría			CD Borrador			
							Lecturas		
							Correcciones + ensayo	Defensas	
							Correcciones + filólogo	CD Final	

Fuente propia, (2024).

Figura 21. Diagrama de flujo para recolección de datos



Fuente propia, (2024).

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se realizó un análisis de los datos recolectados a través de la metodología escogida para esta investigación, DMAIC. La elección de este tema nace en la búsqueda de una respuesta a una brecha identificada en el mercado del diseño de sistemas de automatización para edificaciones. La ausencia de una guía clara y precisa para el diseño de sistemas de automatización.

A través de mucho tiempo, profesionales en la materia de Costa Rica, se han planteado interrogantes sobre las razones detrás de esta carencia, la relevancia de un sistema de automatización en el contexto de la gestión de edificaciones es innegable. Este sistema desempeña un papel crucial en la supervisión y control de una amplia gama de funciones; sin embargo, a pesar de su importancia, la falta de una guía específica para el diseño plantea desafíos significativos para los profesionales del sector.

En este análisis de resultados, se investigaron a fondo las razones detrás de la ausencia de esta guía. A través de la recopilación y análisis de datos, así como encuestas y la realización de entrevistas, buscando identificar los factores clave que han contribuido a esta situación. El perfil de cada participante, así como las preguntas realizadas se indican en el marco metodológico, y el análisis de los resultados de estas encuestas y entrevistas se detalla dentro de los apartados 4.1.1 y 4.1.2 de este capítulo. Además, se examinaron las posibles barreras y obstáculos que han impedido el desarrollo y la implementación de una guía de diseño de BMS en el contexto nacional.

Es importante destacar que este análisis se fundamenta en herramientas y metodologías ingenieriles discutidas en los capítulos anteriores. Estas herramientas proporcionan un marco sólido para la exploración de datos y la extracción de conclusiones significativas que puedan informar futuras investigaciones y prácticas en este ámbito especializado.

En resumen, este capítulo representa un paso crucial con esfuerzo por abordar una necesidad crítica en el campo de la automatización de edificaciones. Al poder definir cuáles son las mejores prácticas, herramientas, normativas y fortalezas de la gama de variedades disponibles en la práctica, con el fin de generar una guía para la realización

de un diseño específico, esperando generar conocimientos valiosos que contribuyan a todos los profesionales en el ámbito de la ingeniería.

4.1 DEFINIR

En esta sección, se presentará una descripción detallada del análisis de los resultados de las herramientas empleadas para obtener respuesta al problema de investigación, los resultados son respaldados por evidencia obtenida a través de herramientas de recolección de datos como entrevistas y encuestas.

Estas herramientas se utilizaron para obtener una comprensión profunda de las percepciones, experiencias y opiniones de los participantes, lo que permitió identificar y definir claramente el problema que se aborda en este estudio.

Las principales herramientas utilizadas para evidenciar el problema fueron las entrevistas y las encuestas. Estas técnicas de recolección de datos se seleccionaron para poder entender la realidad del mercado nacional, además de tener un entendimiento total basado en las respuestas. Además de permitir la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos.

A continuación, se detalla el proceso seguido para la realización de cada una de estas herramientas.

4.1.1 Entrevistas

Se realizaron dos entrevistas estructuradas de manera presencial con ingenieros especializados en diferentes áreas del diseño. El propósito principal de estas entrevistas fue obtener la percepción de un ingeniero eléctrico y de un ingeniero mecánico en relación con el diseño de sistemas de monitoreo y control. Según Fuenzalida (2023), *las entrevistas estructuradas son una herramienta clave para obtener información específica y comparable entre los entrevistados, lo que resulta especialmente útil en contextos donde se busca medir conocimientos técnicos y experiencias profesionales.*

Perfil de los Participantes

Entrevistado 1: Ingeniero Eléctrico, bachiller con 10 años de experiencia en el sector de diseño eléctrico, enfocado en proyectos industriales y hoteleros, 32 años.

Entrevistado 2: Ingeniero Mecánico, licenciado con 7 años de experiencia en diseño mecánico, especializado en proyectos industriales y de misión crítica, con conocimientos en sistemas HVAC y secuencias de operación.

Análisis por Pregunta

1. ¿Cómo puede usted definir un protocolo de comunicación?
 - Entrevistado 1: Define el protocolo como el "idioma" que permite la comunicación entre diferentes equipos, basado en lenguajes de programación, reglas y estándares.
 - Entrevistado 2: Lo describe como un lenguaje de comunicación entre dos elementos de un sistema, utilizado para generar una acción en un proceso.

Análisis: Mientras que el ingeniero eléctrico ofrece una definición más técnica y detallada, el Ingeniero Mecánico proporciona una explicación más básica. Esto refleja las diferencias en sus formaciones académicas y experiencia profesional, donde el enfoque del primero está más orientado a sistemas complejos de monitoreo y control.

2. ¿Sabe la diferencia entre una topología centralizada y no centralizada? Defina ambas.
 - Entrevistado 1: Explica que, en una topología centralizada, todo se concentra en una unidad central, mientras que en una no centralizada, el control y monitoreo están distribuidos.
 - Entrevistado 2: Indica que no conoce la diferencia.

Análisis: Este contraste subraya una diferencia significativa en el conocimiento de los sistemas de monitoreo y control. El Ingeniero Eléctrico muestra una comprensión más profunda, lo cual es crucial para la implementación de sistemas BMS (Building

Management Systems), mientras que el Ingeniero Mecánico carece de este conocimiento específico.

3. ¿Cuáles son los cuatro tipos principales de variables que existen? Defina.
 - Entrevistado 1: Menciona las señales de entrada y salida: analógicas de entrada, analógicas de salida, digitales de entrada y digitales de salida.
 - Entrevistado 2: Indica que no conoce la respuesta.

Análisis: El Ingeniero Eléctrico demuestra familiaridad con los conceptos técnicos clave necesarios para el diseño de sistemas de monitoreo y control, mientras que el Ingeniero Mecánico carece de este conocimiento, lo que podría afectar la efectividad de un diseño integral que combine ambos aspectos.

4. ¿Cuál es el procedimiento necesario para diseñar un sistema de BMS?
 - Entrevistado 1: Aunque no tiene experiencia directa, sugiere que es fundamental definir las variables que se desean monitorear/controlar y entender los requerimientos del cliente para un diseño eficiente.
 - Entrevistado 2: Indica que no conoce el procedimiento.

Análisis: Aquí se observa nuevamente la diferencia en la formación y enfoque profesional. El Ingeniero Eléctrico, a pesar de su limitada experiencia en BMS, tiene una visión clara de los elementos clave para el diseño, mientras que el Ingeniero Mecánico no cuenta con este conocimiento.

Las entrevistas realizadas se pueden visualizar en el anexo 1 y anexo 2 de este proyecto.

4.1.2 Encuestas

Se llevaron a cabo cinco encuestas de tipo cerrado a través de llamadas telefónicas, siguiendo un enfoque cualitativo. *Este método es útil para recoger datos de manera eficiente y obtener respuestas directas a preguntas específicas.* (Vincent, 2020). Las encuestas se enviaron a profesionales con amplia experiencia en diseño y construcción

de sistemas de monitoreo y control, con el fin de comprender mejor la necesidad de una guía para el diseño de estos sistemas.

Perfil de los Participantes

Tres Ingenieros electromecánicos con más de 10 años de experiencia en construcción, ocupando puestos de gerencia de proyectos en empresas reconocidas de Costa Rica, dos ingenieros electromecánicos con entre 2 y 3 años de experiencia en diseño electromecánico, sin responsabilidades de jefatura.

Análisis por Pregunta

1. ¿Le parece necesario tener una guía de diseño para BMS?

Respuestas: Todos los participantes coincidieron en la necesidad urgente de una guía de diseño para BMS.

Análisis: La unanimidad en esta respuesta resalta una carencia significativa en el mercado, donde la ausencia de una guía especializada limita la eficiencia y estandarización en la implementación de estos sistemas.

2. ¿Ve usted como una necesidad mencionar los tipos de protocolos que existen para la comunicación de equipos de refrigeración tipo Chiller?

Respuestas: La mayoría de los encuestados considera esencial incluir esta información en una guía de diseño.

Análisis: Esta necesidad subraya la importancia de contar con conocimientos técnicos específicos y actualizados en la documentación que acompañe el diseño de BMS.

3. ¿Ve usted como una necesidad mencionar qué significa una topología de un sistema no centralizado?

Respuestas: La mayoría ve esto como un punto crucial para incluir en una guía.

Análisis: La respuesta refleja la importancia de clarificar conceptos que son clave para la correcta implementación de sistemas distribuidos, que a menudo son mal entendidos o subestimados.

4. ¿Ve usted como una necesidad mencionar qué variables son necesarias para el monitoreo y control de un sistema de refrigeración tipo Chiller?

Respuestas: Los encuestados están de acuerdo en la necesidad de especificar claramente las variables críticas para el diseño y operación.

Análisis: El consenso refuerza la idea de que una guía integral debe incluir detalles técnicos que permitan una implementación precisa y eficiente, minimizando riesgos y optimizando el rendimiento.

5. ¿Cree usted que en el ámbito de diseño se tiene un conocimiento amplio en el procedimiento para diseñar un sistema de monitoreo y control de BMS?

Respuestas: Las respuestas indicaron una falta de conocimiento en este aspecto, lo que podría llevar a errores en la fase de diseño.

Análisis: La percepción general de insuficiencia en el conocimiento del procedimiento para diseñar BMS destaca la necesidad de formación continua y de la creación de recursos que guíen a los profesionales en esta área.

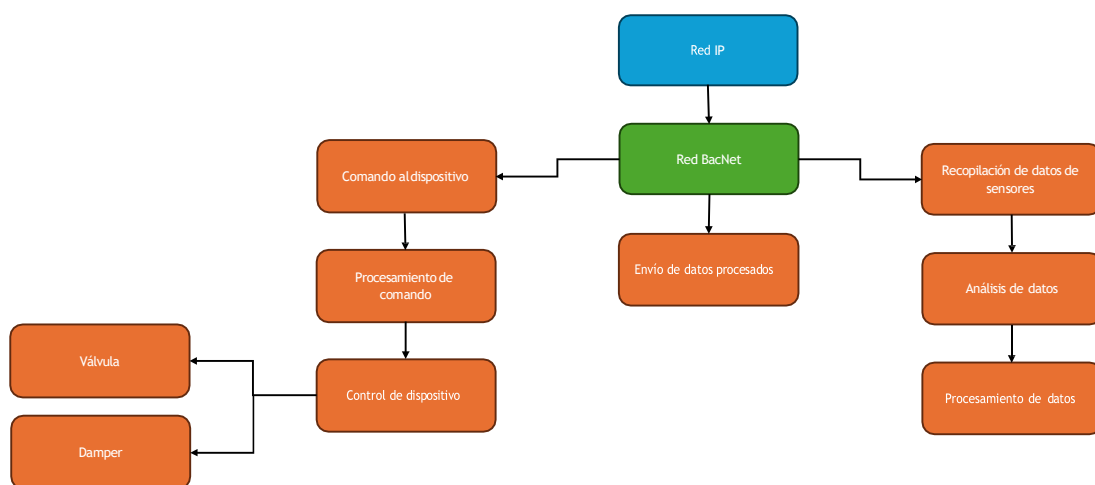
Las encuestas realizadas se pueden encontrar desde el anexo 3 hasta el anexo 7 de este proyecto.

4.1.3 Flujo de datos

Como parte del proceso de definición y contextualización del problema, se elaboró un diagrama de flujo de datos que buscó establecer un flujo óptimo para el monitoreo y control en un sistema de refrigeración con tecnología de tipo *chiller*.

Este diagrama se diseñó con el propósito de identificar y definir claramente las tareas por realizar, así como las dependencias entre estas, con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de refrigeración. A través de este enfoque metodológico, se buscó establecer una estructura organizativa que permitiera una gestión eficiente de las operaciones de monitoreo y control, asegurando así un rendimiento óptimo y una operatividad efectiva del sistema de refrigeración (Ver Figura 22).

Figura 22. Diagrama de flujo de datos



Fuente propia, (2024).

La definición de un flujo de datos que describa la interacción entre la red, los sensores y los actuadores en el sistema de monitoreo y control es esencial. Esta definición detallada proporciona un marco claro para comprender cómo se relacionan estos componentes entre sí y cómo contribuyen al proceso general. Este enfoque, representa un paso significativo hacia la creación de una guía de diseño completa y efectiva que aborde los problemas identificados y proporcione soluciones prácticas y aplicables en el campo de la ingeniería de sistemas de monitoreo y control.

4.2 MEDIR

Este capítulo marca un hito significativo en la presente investigación, donde se llevaron a cabo tanto estudios cuantitativos como cualitativos para evaluar el impacto del problema definido. El enfoque principal se centra en la investigación del procedimiento

adecuado para diseñar un sistema de monitoreo y control, en conformidad con normativas y recomendaciones internacionales como NFPA, ASHRAE y UL. El objetivo final es generar una guía exhaustiva dirigida a ingenieros, proporcionando pautas claras sobre cómo iniciar, identificar protocolos, tipos de comunicación, variables del sistema, montaje y requisitos necesarios para la implementación de una topología no centralizada en edificaciones con tecnología de refrigeración tipo *Chiller*.

Es importante destacar que este documento adopta un enfoque de investigación mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para proporcionar una visión integral del tema en cuestión.

En cuanto a los métodos cuantitativos, se realizó un análisis de normativas para comprender los requisitos y estándares establecidos. Por otro lado, los métodos cualitativos fueron utilizados para identificar y analizar las fortalezas, oportunidades y debilidades de las diferentes opciones de diseño. Además, se llevaron a cabo encuestas y entrevistas con profesionales en ingeniería para comprender sus percepciones y necesidades específicas en relación con el proyecto, que han sido cruciales en la definición del problema en un capítulo anterior.

Para abordar la meta planteada, se implementaron herramientas específicas que se detallarán a continuación

4.2.1 Análisis FODA

El fin de este análisis es poder evaluar las principales diferencias entre un sistema centralizado y no centralizado y poder justificar por qué la implementación del sistema de refrigeración tipo *Chiller* se hace con un sistema no centralizado

Para esta tarea se realizaron dos diferentes análisis, uno con un sistema centralizado y otro con un sistema no centralizado

El primer análisis FODA se realizó con un sistema centralizado (PLC) en un sistema de refrigeración tipo *Chiller*, el cual se basa en tecnología de refrigeración de agua helada (Ver Figura 23).

Figura 23. FODA PLC

Matriz FODA de Análisis de Sistema Centralizado (PLC) en sistema de refrigeración con Chiller	
F ortalezas(+)	
1	Capacidad de entradas y salidas superior
2	Robustez y variedad de módulos
3	Programabilidad Total
4	Flexibilidad en la implementación
O portunidades(+)	
1	Personalización y conectividad
2	Aplicaciones más complejas
3	
4	
D ebilidades(-)	
1	Costo Alto
2	Falta de controladores específicos para HVAC
3	
4	
A menazas(-)	
1	Competencia en el mercado por alto costo
2	Complejidad mayor que sistemas específicos de HVAC
3	
4	

Fuente propia, (2024).

Como puntos importantes del análisis de este cuadro se puede concluir que:

1. Fortalezas: Sus principales fortalezas son elementos que del todo no son necesarios para un sistema de refrigeración tipo *chiller*, pues la capacidad de entradas y salidas superior significaría un sobredimensionamiento, la programabilidad es una función no necesaria, pues ya se tiene definido qué necesidad hay de cada elemento.
2. Las oportunidades de personalización y conectividad siempre son un *plus* en cualquier sistema, pero las aplicaciones más complejas podrían hacer difícil la operación a un usuario inexperto.
3. Las debilidades y amenazas son el punto clave en la posible toma de decisiones, pues al no existir controladores específicos para HVAC denotan que no es el sistema óptimo para un sistema de refrigeración, además de que tiene un costo mayor al ser un sistema no específico para este uso.

El segundo análisis FODA se realizó con un sistema no centralizado (DDC) en un sistema de refrigeración tipo *Chiller*, el cual se basa en tecnología de refrigeración de agua helada (Ver Figura 24).

Figura 24. FODA DDC

Matriz FODA de Análisis de Sistema no Centralizado (DDC) en sistema de refrigeración con Chiller

Fortalezas(+)		Oportunidades(+)	
1	Optimización de Operación	1	Especialización en HVAC
2	Control distribuido	2	Interfaz Intuitiva
3	Interfaz humano-máquina (HMI)	3	
4	Controlador específico para HVAC	4	
Debilidades(-)		Amenazas(-)	
1	Falta de Redundancia	1	Competencia de sistemas más flexibles
2	Menor capacidad de entradas y salidas	2	Avance tecnológico
3		3	
4		4	

Fuente propia, (2024).

Como puntos importantes del análisis de este cuadro, se puede concluir que:

1. Fortalezas: Su principal fortaleza es que es un sistema específico para tecnologías de acondicionamiento de espacios, llámese refrigeración o aire acondicionado. Además de que cuenta con un control distribuido, lo que facilita la instalación de elementos en el sistema.
2. Las oportunidades de interfaz intuitiva se deben a que los controladores traen dentro del sistema operativo una interfaz humano-máquina, que vuelva más sencilla la operación, y es específico para estos sistemas.
3. Las debilidades y amenazas como capacidad y falta de redundancia no son un problema realmente, ya que, con un diseño correcto, el sistema debe ser capaz de operar correctamente y existen medidas de mitigación contra fallas en elementos o pérdidas de corriente/comunicación.

Como conclusión, se puede afirmar que el sistema óptimo para un sistema de refrigeración tipo *chiller* es el DDC, conclusión que concuerda con la recomendación de

ASHRAE 13-2015 donde define estos sistemas y sus requerimientos en sistemas de HVAC.

4.2.2 Matriz de comparación

La matriz de comparación representa una herramienta esencial en la evaluación y comparación de diversas opciones o alternativas, fundamentada en múltiples criterios predefinidos. En el contexto específico de este proyecto, se ha empleado esta matriz como un recurso fundamental para delinear la función de cada elemento dentro del sistema, así como para determinar el tipo de señal asociado a cada componente.

Dentro del marco metodológico establecido, se desarrolló un formato base para esta matriz, el cual se integra de manera orgánica en los instrumentos empleados. Este enfoque permitió no solo clarificar y definir las funciones de los distintos elementos del sistema, sino también facilitar una comparación precisa y fundamentada entre las diferentes opciones disponibles (Ver Figura 25).

Figura 25. Matriz de comparación

		Matriz de Comparación					
		Recibe Señales	Envía Señales	Monitorea	Controla / Acciona	Señal Análoga	Señal Binaria
1	Controlador Primario	●	●	▲	▲	⊘	⊘
2	Controlador Secundario	●	●	▲	▲	⊘	⊘
3	Termostato	▲	●	●	▲	●	⊘
4	Sensor de Presión	▲	●	●	▲	⊘	●
5	Variador de Frecuencia	▲	●	●	▲	●	⊘
6	Sensor de Flujo	▲	●	●	▲	●	⊘
7	Actuador	●	▲	▲	●	⊘	●

SI
 NO
 No Aplica

Fuente propia, (2024).

De este modo, se logró definir a qué función y tipo de señal está asociado cada uno de los elementos del sistema de monitoreo y control en función. Este cuadro permite la toma de decisiones adecuada en cuanto al tipo de elemento necesario según la necesidad.

4.2.3 Matriz de riesgos y vulnerabilidades

La matriz de riesgos y responsabilidades es otra herramienta crucial que se ha empleado en este proyecto. Su finalidad radica en evaluar los riesgos inherentes a la ausencia de una guía o manual de diseño para un sistema de monitoreo y control en una edificación con tecnología de refrigeración tipo *chiller*. Esta matriz proporciona la capacidad de identificar tanto el tipo de impacto como la frecuencia asociada a estos riesgos (Ver Figuras 26 y 27).

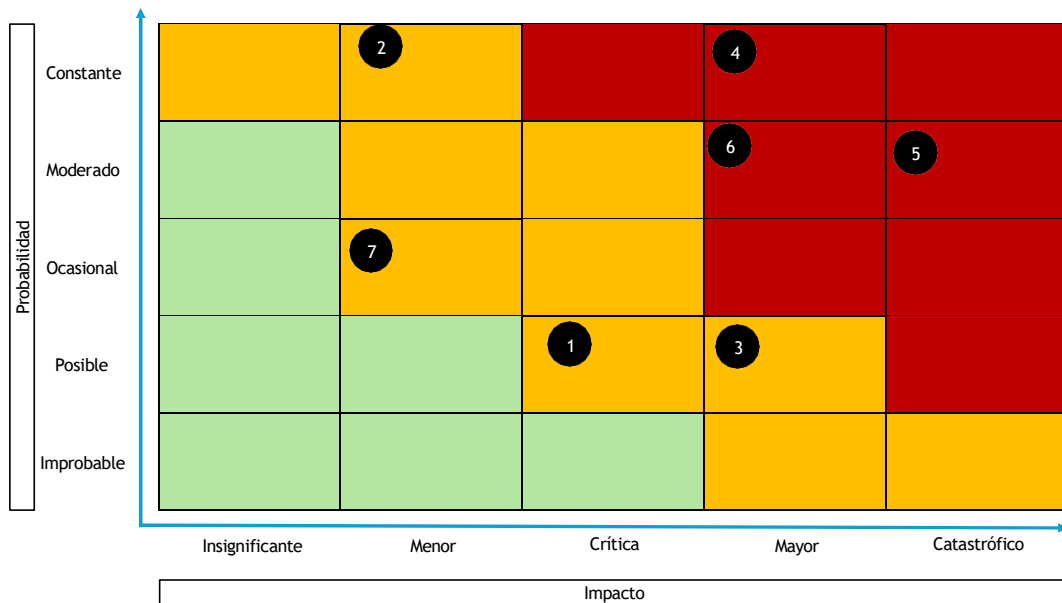
A través de este análisis, se puede obtener una visión amplia y detallada de la importancia fundamental que reviste la elaboración de un manual de procedimientos. No solo permite anticipar y comprender los posibles riesgos y desafíos que podrían surgir en la implementación y operación del sistema de refrigeración, sino que también permite tomar medidas preventivas y correctivas de manera oportuna y efectiva.

Figura 26. Identificación de riesgos

Identificación de Riesgos			
Riesgo	ID	Frecuencia	Impacto
Escogencia Erronea de topología	1	Posible	Crítica
Escogencia Erronea de los protocolos de comunicación	2	Constante	Menor
Escogencia Erronea de los protocolos de variables	3	Posible	Mayor
Falta de elementos en diagrama	4	Constante	Mayor
Falta de Información en diseño	5	Moderado	Catastrófico
Falta de Matriz de Variables	6	Moderado	Mayor
Falta de documentación y detalles	7	Ocasional	Menor

Fuente propia, (2024).

Figura 27. Matriz de riesgos y vulnerabilidades



Fuente propia, (2024).

Este ejercicio permite recalcar la importancia estratégica del presente trabajo, destacando cómo la inexistencia de un manual de procedimientos no solo garantiza un funcionamiento óptimo del sistema, sino que también contribuye significativamente a la seguridad, eficiencia y longevidad de la edificación y sus sistemas asociados.

Como resultado, se puede medir que la falta de elementos en el diagrama es el riesgo mayor de más constancia, así como la falta de una matriz de variables y la falta de información en diseño, son los riesgos mayores y catastróficos más comunes con una probabilidad constante.

Los *inputs* para llenar esta tabla surgen de los resultados de las cinco encuestas realizadas y de las dos entrevistas. El resultado de la entrevistas y las encuestas, se puede consultar en los anexos, desde el anexo 1 hasta el anexo 7, uno por cada documento.

4.3 ANALIZAR

En este apartado, se profundiza en el análisis de los resultados obtenidos durante la investigación, abordando diferentes enfoques y técnicas utilizadas para comprender la naturaleza del problema planteado y para desarrollar recomendaciones pertinentes.

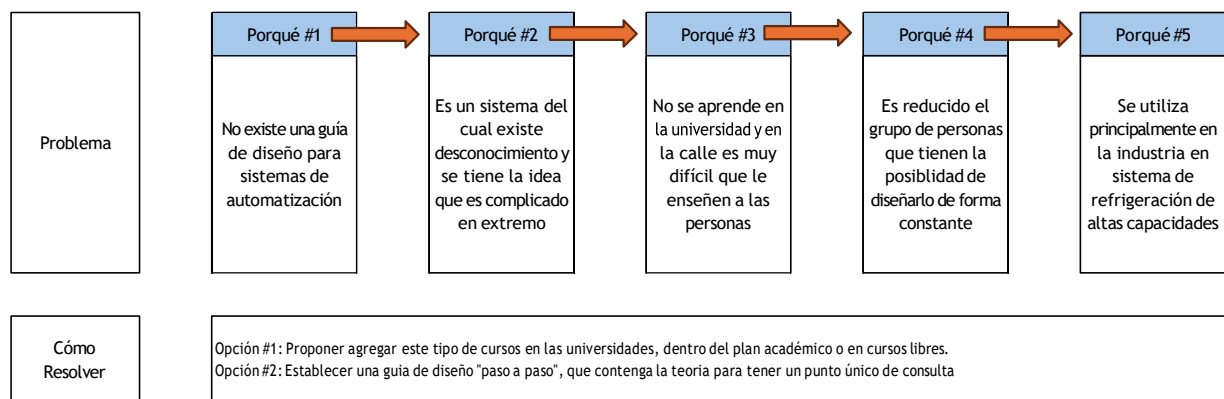
Antes de entrar en detalle, es fundamental destacar que el problema identificado, la falta de una guía de diseño para el control y monitoreo de edificaciones con una topología no centralizada, ha sido abordado desde dos grandes perspectivas analíticas: el análisis de la causa raíz y el análisis de la normativa aplicable.

Además, también como parte de este análisis, se ha revisado una herramienta de diseño gratuita disponible en el mercado, llamada *Ctrl Spec Builder* para generar un entregable en planos de mayor calidad y detalle, ya que permite no solo graficar los sistemas de refrigeración, sino también definir la ubicación de sensores y actuadores de la mano con la secuencia de operación planteada en el diseño, para dar como resultado tanto la gráfica del sistema, como la matriz de variables e incluso la especificaciones técnicas que debe cumplir el mismo según los parámetros planteados.

4.3.1 Análisis de la causa raíz: Herramientas y enfoques utilizados

Una parte crucial de este análisis ha sido el examen de las causas subyacentes que han contribuido a la situación actual. Esto se llevó a cabo mediante el uso de varias técnicas, incluyendo el método de los cinco porqués, y el análisis Ishikawa.

Figura 28. Cinco Porqués



Fuente propia, (2024).

El método de los cinco porqués permitió explorar a fondo las causas fundamentales detrás del problema, yendo más allá de los síntomas superficiales para identificar las raíces del problema. Esta técnica reveló que la ausencia de una guía de diseño específica estaba arraigada en una serie de factores interrelacionados, incluyendo limitaciones estructurales, falta de conocimiento y prácticas tradicionales arraigadas (Ver Figura 28).

Además, se utilizó un enfoque estructurado de análisis Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa y efecto. Este método permitió visualizar las diferentes causas que podrían estar contribuyendo al problema, categorizándolas en factores como personas, procesos, tecnología y entorno. A través de este análisis, se identificó y priorizó el factor más influyente en la falta de una guía de diseño adecuada. El resultado del Ishikawa se puede ver en el Anexo 8 del presente proyecto.

4.3.2 Análisis de normativa aplicable

Otro aspecto crucial del análisis fue la evaluación de la normativa y regulaciones pertinentes en el ámbito del diseño y gestión de edificaciones con topología no centralizada.

Este análisis exhaustivo, proporcionó información esencial para las conclusiones de este trabajo y sentó las bases para el desarrollo de una guía de diseño sólida y alineada con las mejores prácticas internacionales.

Es importante subrayar la relevancia del análisis de la normativa, ya que la ignorancia o falta de consideración de las regulaciones pertinentes puede resultar en soluciones ineficaces o incluso contraproducentes. Al adoptar un enfoque proactivo hacia la normativa, se garantiza la viabilidad y la eficacia de las recomendaciones propuestas.

El instrumento de análisis para la normativa se llevó a cabo mediante una revisión de los artículos más relevantes, para luego realizar un análisis a cada uno. El formato de análisis se puede ver dentro de los instrumentos del marco teórico.

Análisis de ASHRAE 13-2015

ASHRAE 13-2015 es un estándar que sirve como guía para la especificación de sistemas de automatización en edificios. Dentro de esta guía, se pueden encontrar temas de alta importancia como interconexión del sistema BMS, modelos de arquitectura, recomendaciones sobre protocolos de comunicación y formas de integración con otros sistemas.

A continuación, el resultado del análisis (Ver Figura 29), basado en el formato presentado dentro de los instrumentos del capítulo del marco metodológico.

Figura 29. Análisis ASHRAE 13-2015

Ficha de Análisis Normativo		
NORMA	ASHRAE 13-2015	
OBJETIVO	Estándar que sirve como guía para la especificación de sistemas de automatización en edificios. Dentro de esta guía se pueden encontrar temas de alta importancia como interconexión del sistema BMS, modelos de arquitectura, recomendaciones sobre protocolos de comunicación y formas de integración con otros sistemas.	
Artículos Relevantes	Texto de Artículo	Análisis Normativo
Artículo 1. Propósito	<p>Esta guía analiza las opciones, consideraciones, beneficios percibidos y preocupaciones asociadas con cada parte de un sistema instalado. Los escritores eligieron configuraciones, componentes y metodología específicos. Una de esas decisiones de selección fue la arquitectura o topología del sistema. Estas selecciones no son la única forma de construir un sistema ni necesariamente la mejor para cada proyecto. La información proporcionada debería ayudar al lector a comprender por qué se enviaron estas selecciones y cómo se tomaron estas decisiones para su proyecto.</p> <p>Esta guía representa una estandarización del enfoque para el diseño, documentación y especificación de sistemas DDC para aplicaciones de control de HVAC y gestión de energía. Esta estandarización debería mejorar tanto la calidad como el valor de los sistemas DDC para los propietarios y usuarios de edificios. Estas directrices no deben utilizarse como norma legal para el cumplimiento.</p>	Este artículo plasma el propósito de este documento. Indica el enfoque del documento y aclara que no se debe utilizarse como norma legal para el cumplimiento, es solamente una guía de especificación.
Artículo 3.16 Controladores	Proporcione un controlador independiente para cada AHU u otro sistema HVAC. Un controlador DDC puede controlar más de un sistema siempre que todos los puntos asociados con el sistema estén asignados al mismo controlador DDC. Los puntos utilizados para restablecer el circuito de control, como el aire exterior o la temperatura del espacio, están exentos de este requisito.	Este artículo indica las funciones de un controlador y donde y como puede utilizarse.
Artículo 4.2 Descripción general del sistema	El sistema DDC se compone de hardware y software combinados para producir una arquitectura simple que proporcione una integración completa del sistema HVAC de un edificio y puede incluir control o monitoreo de los sistemas de iluminación, seguridad y contra incendios del edificio. El sistema DDC puede monitorear y controlar de manera continua y automática los sistemas mecánicos y de refrigeración HVAC; mantener la temperatura ambiente deseada, la presión estática, la presión relativa, la humedad relativa, la calidad del aire interior y la gestión de energía.	Este artículo explica como esta conformado un sistema de componentes de control distribuido. También menciona las capacidades del sistema y donde se recomienda utilizarse.
Artículo 4.3.1 Componentes de control distribuido	<p>El sistema DDC es un sistema distribuido que controla sistemas HVAC individuales y luego realiza el procesamiento de información cerca de la fuente de las entradas y los dispositivos controlados.</p> <p>Esta especificación de guía define tres tipos amplios de controladores: controladores de edificios, controladores de aplicaciones personalizadas y controladores de aplicaciones específicas (ASC). La mayoría de los fabricantes admiten estos tres tipos de controladores con funcionalidad de comparación.</p>	Este artículo explica que significa las siglas DDC, además de indicar que tipo de controladores abarca y cuales son los tres más comunes.
Artículo 7.9 Desempeño del Sistema	<p>Quien especifica siempre se enfrenta a la elección de ser prescriptivamente detallado o menos exacto al describir lo que se requiere para cualquier componente del sistema. Los sensores, por ejemplo, requieren más detalles que los componentes cuyos resultados deseados podrían lograrse con una amplia gama de productos. Cuando se utiliza un lenguaje prescriptivo, debería hacerlo.</p> <p>Visualización gráfica y actualización Comando de objeto Escaneo de objetos Tiempo de respuesta de alarma Frecuencia de ejecución del programa Control de estabilidad y precisión Precisión de los informes Anuncio de alarma múltiple Frecuencia de bucle DDC</p>	Este artículo define los requisitos mínimos que debería tener el sistema.

Fuente propia, (2024).

Desde un punto de vista meramente objetivo, este estándar es la base para el diseño de un sistema de monitoreo y control en el que se basa este proyecto.

El estándar indica la topología requerida para un sistema de refrigeración tipo *Chiller*, DDC. También, abarca puntos importantes como los controladores y los componentes mínimos, los cuales, aplicándolos de manera correcta, conllevan a un diseño apropiado.

Como punto adicional, dentro de los anexos de este estándar, se dan recomendaciones de páginas de consulta para temas de protocolos u otros estándares para aplicaciones específicas. Esto se puede encontrar específicamente en el Anexo F del documento de

ASHRAE 13-2015, el anexo lleva por nombre “Fuentes del Lenguaje de Especificación Específico del Protocolo”

Análisis de ASHRAE 36-2021

ASHRAE 36-2021 es un estándar que sirve como guía para la especificación de secuencias de operación de los sistemas de HVAC. Dentro de esta guía se pueden encontrar guías y ejemplos de memorias de funcionamiento para sistemas HVAC, que ayudan a proporcionar estabilidad de control y permiten la detección y el diagnóstico de fallos en tiempo real.

Se llevó a cabo un análisis de los artículos relevantes con el fin de tener claridad sobre el funcionamiento de los sistemas de HVAC, específicamente en el que se basa este proyecto, que es un sistema de refrigeración tipo *Chiller*. Parte del análisis también es conocer *cuáles* variables se deben tomar en cuenta dentro del diseño de monitoreo y control.

A continuación, el resultado del análisis (Ver Figura 30), basado en el formato presentado dentro de los instrumentos del capítulo del marco metodológico.

Figura 30. Análisis ASHRAE 36-2021

Ficha de Análisis Normativo		
NORMA	ASHRAE 36-2021	
OBJETIVO	Estándar que sirve como guía para la especificación de secuencias de operación de los sistemas de HVAC. Dentro de esta guía se pueden encontrar guías y ejemplos de memorias de funcionamiento para sistemas HVAC, que ayudan a proporcionar estabilidad de control y permiten la detección y el diagnóstico de fallos en tiempo real.	
Artículos Relevantes	Texto de Artículo	Análisis Normativo
Artículo 4.1 - Propósito del Estándar	Este estándar proporciona guías y ejemplos de memorias de funcionamiento para sistemas HVAC, que ayudan a proporcionar estabilidad de control y permiten la detección y el diagnóstico de fallos en tiempo real.	Este artículo establece el propósito del estándar, que es proporcionar guías y ejemplos de memorias de funcionamiento para sistemas HVAC con el objetivo de mejorar la estabilidad de control y permitir la detección y diagnóstico de fallos en tiempo real.
Artículo 5.2 - Requisitos para Secuencias de Operación	Las secuencias de operación especificadas deben ser claras y comprensibles, y deben seguir las pautas proporcionadas en este estándar para garantizar un funcionamiento efectivo y eficiente del sistema HVAC.	Este artículo establece requisitos para las secuencias de operación especificadas, asegurando que sean claras y comprensibles, y sigan las pautas del estándar para garantizar un funcionamiento efectivo y eficiente del sistema HVAC.
Artículo 6.3.1 - Contenido de las memorias de funcionamiento	Las memorias de funcionamiento deben incluir una descripción detallada de las secuencias de operación del sistema HVAC, incluidas las condiciones de activación y desactivación de los equipos y los modos de funcionamiento.	Este artículo establece requisitos para las memorias de funcionamiento, que deben incluir una descripción detallada de las secuencias de operación del sistema HVAC, incluyendo condiciones de activación y desactivación de equipos y modos de funcionamiento.
Artículo 7.4.2 - Dispositivos de Detección de Fallos	Se deben proporcionar dispositivos de detección de fallos en el sistema HVAC para permitir la identificación rápida y el diagnóstico de problemas potenciales.	Este artículo establece requisitos para la provisión de dispositivos de detección de fallos en el sistema HVAC, con el objetivo de facilitar la identificación rápida y el diagnóstico de problemas potenciales.
Artículo 8.5.1 - Accesibilidad y Contenido de las Memorias de Funcionamiento	Las memorias de funcionamiento deben ser fácilmente accesibles para el personal de mantenimiento y deben incluir instrucciones claras sobre cómo realizar el diagnóstico de fallos y la resolución de problemas.	Este artículo establece requisitos para las memorias de funcionamiento, que deben ser fácilmente accesibles para el personal de mantenimiento y contener instrucciones claras sobre cómo realizar el diagnóstico de fallos y la resolución de problemas.

Fuente propia, (2024).

El resultado del análisis refleja los requisitos de las memorias de funcionamiento dentro del diseño, además de secuencias de operación claras y comprensibles. Es sumamente importante, que, dentro del diseño de refrigeración, parte de los entregables sea la secuencia de operación, para a la hora de realizar el diseño de monitoreo y control, se tenga claro cuáles dispositivos se deben monitorear, como por ejemplo los dispositivos de detección de fallas y cuáles se deben controlar para un funcionamiento adecuado, según la intención de diseño.

Análisis de NFPA 79

NFPA 79 proporciona conceptos para salvaguardar la maquinaria industrial con el fin de proteger a operarios, equipo, instalaciones y el trabajo en curso de los peligros eléctricos y de incendio.

Se llevó a cabo un análisis de los artículos relevantes con el fin de verificar requerimientos en temas como la protección contra sobrecargas, circuitos de control y sistemas de parada de emergencia.

A continuación, el resultado del análisis (Ver Figura 31):

Figura 31. Análisis NFPA 79

Ficha de Análisis Normativo		
NORMA	NFPA 79	
OBJETIVO	Definir conceptos para salvaguardar la maquinaria industrial con el fin de proteger a operarios, equipo, instalaciones y el trabajo en curso de los peligros eléctricos y de incendio. Entender los artículos que hablen sobre temas como la protección contra sobrecargas, circuitos de control y sistemas de parada de emergencia, asegurando el cumplimiento de estándares de seguridad	
Artículos Relevantes	Texto de Artículo	Análisis Normativo
Artículo 1.1 - Alcance y Objetivo	Esta norma se aplica a los sistemas eléctricos y a los equipos eléctricos que suministran energía eléctrica a la maquinaria industrial y equipos asociados instalados en ubicaciones industriales.	Este artículo establece el alcance de la norma, indicando que se aplica a sistemas y equipos eléctricos utilizados en entornos industriales.
Artículo 2.2 - Alcance de los Equipos Eléctricos	Todos los equipos eléctricos cubiertos por esta norma deben cumplir con los requisitos aplicables de la NFPA 70, Código Eléctrico Nacional (NEC).	Este artículo establece que todos los equipos eléctricos deben cumplir con los requisitos del NEC, lo que garantiza un estándar mínimo de seguridad eléctrica.
Artículo 3.3.1 - Protección contra Sobrecorrientes y Sobrecargas	Los dispositivos de protección contra sobrecorriente y sobrecarga deben ser proporcionales a la corriente de operación del motor y las características de carga del sistema, y deben ser capaces de cortar la corriente en caso de una sobrecarga o falla.	Este artículo establece requisitos para los dispositivos de protección contra sobrecorriente y sobrecarga, asegurando que sean adecuados para la corriente de operación y capaces de cortar la corriente en caso de una sobrecarga.
Artículo 4.4.2 - Circuitos de Control	Los circuitos de control deben estar diseñados y protegidos para evitar la operación inadvertida o no autorizada de la maquinaria o los equipos.	Este artículo establece requisitos para los circuitos de control, asegurando que estén diseñados y protegidos para prevenir la operación no autorizada de la maquinaria o los equipos.
Artículo 5.5.1 - Sistemas de Parada de Emergencia	Los sistemas de parada de emergencia deben estar claramente identificados y ubicados en áreas accesibles y visibles para los operarios.	Este artículo establece requisitos para los sistemas de parada de emergencia, asegurando que estén claramente identificados y ubicados en áreas accesibles y visibles para los operarios.

Fuente propia, (2024).

Como resultado, se obtuvo una normativa de consulta para los paneles de potencia y control del sistema. Al analizarlo, no solo indica que se debe usar como complemento con otras normativas como el NEC, sino también, indica los requisitos mínimos que se deben tomar en cuenta y solicitar en un sistema para el correcto funcionamiento. El entendimiento de esta normativa es importante tanto en la parte de diseño, como en la parte de inspección, para así, asegurar las mejores prácticas y un correcto funcionamiento del sistema por diseñar e instalar.

Análisis de ASHRAE Handbook - HVAC Applications

ASHRAE Handbook - HVAC Applications es el estándar que se utiliza como guía para el diseño, operación y mantenimiento eficiente de los sistemas de agua helada y la tecnología tipo *Chiller*. Dentro de este estándar, se definen buenas prácticas de diseño, estrategias para mejorar el rendimiento y la seguridad de una implementación correcta. Como instrumento, se analizaron los requisitos que existen dentro de esta norma para entender los sistemas de refrigeración tipo *Chiller*.

A continuación, el resultado del análisis (Ver Figura 32), basado en el formato presentado dentro de los instrumentos del capítulo del marco metodológico.

Figura 32. Análisis ASHRAE HANDBOOK

Ficha de Análisis Normativo		
NORMA	ASHRAE Handbook - HVAC Applications	
OBJETIVO	Guiar el diseño, operación y mantenimiento eficiente de sistemas de agua helada y chillers. Promueve buenas prácticas de diseño, optimización operativa, eficiencia energética y sostenibilidad, adaptándose a diversas aplicaciones. Proporciona estrategias para mejorar el rendimiento y reducir costos operativos, asegurando la implementación de sistemas fiables y sostenibles en diferentes entornos.	
Artículos Relevantes	Texto de Artículo	Análisis Normativo
Capítulo 1, Sección 3 - Componentes del Sistema de Agua Helada	Los sistemas de agua helada incluyen componentes principales como enfriadores, bombas, torres de enfriamiento y equipos terminales. Cada componente tiene un papel específico en la generación y distribución de agua fría para aplicaciones de HVAC.	Esta sección describe los elementos esenciales de un sistema de agua helada, destacando la función de cada componente y su importancia para el funcionamiento eficiente del sistema.
Capítulo 1, Sección 5 - Diseño de Sistemas de Agua Helada	El diseño de sistemas de agua helada debe considerar factores como la carga térmica, la selección de equipos, y la eficiencia energética. El balance adecuado entre capacidad y demanda es crucial para el rendimiento óptimo del sistema.	Proporciona pautas detalladas sobre cómo diseñar un sistema de agua helada, enfocándose en la importancia de una correcta evaluación de la carga térmica y la selección de componentes para maximizar la eficiencia.
Capítulo 2, Sección 4 - Operación y Mantenimiento de Enfriadores	La operación y el mantenimiento efectivos de los enfriadores son esenciales para asegurar su rendimiento y longevidad. Esto incluye tareas regulares de mantenimiento preventivo, monitoreo de desempeño y solución de problemas.	Esta sección subraya la importancia de un programa de mantenimiento bien estructurado para los enfriadores, destacando cómo el mantenimiento adecuado puede prevenir fallos y mejorar la eficiencia del sistema.
Capítulo 3, Sección 6 - Estrategias de Control y Optimización	Las estrategias de control avanzadas pueden mejorar significativamente la eficiencia de los sistemas de agua helada. Esto incluye el uso de controles automatizados y sistemas de gestión de energía para optimizar la operación del sistema en respuesta a la demanda variable.	Se enfoca en cómo las tecnologías de control pueden ser utilizadas para gestionar y optimizar el rendimiento de los sistemas de agua helada, reduciendo el consumo energético y mejorando la eficiencia operativa.
Capítulo 4, Sección 2 - Integración con Sistemas de Almacenamiento Térmico	La integración de sistemas de agua helada con almacenamiento térmico permite el desplazamiento de la carga de enfriamiento a periodos de menor demanda, mejorando la eficiencia energética y reduciendo los costos operativos.	Describe cómo los sistemas de agua helada pueden ser combinados con almacenamiento térmico para gestionar de manera más efectiva la carga térmica, aprovechando periodos de menor demanda para almacenar energía fría y utilizarla cuando sea necesario.

Fuente propia, (2024).

El resultado del análisis refleja los requisitos de componentes del sistema de agua helada, así como una sección dedicada al diseño donde se indica qué elementos se deben considerar. Un punto importante es el apartado sobre el control y optimización, donde se definen estrategias y requisitos de control para poder operar de una forma eficiente los equipos.

El entendimiento de este estándar es importante para saber cómo debe funcionar el sistema de agua helada previo a controlarlo o monitorearlo y así poder prestar especial atención a los elementos de control que se requieran.

Análisis de UL 508A

UL 508A es el estándar para la construcción de paneles de control industrial destinados al uso industrial en general. Este documento brinda pautas sobre varios temas, incluida la selección adecuada de componentes, métodos de cableado y cálculo de valores nominales de corriente de cortocircuito.

Se llevó a cabo un análisis de los artículos relevantes con el fin de conocer la especificación requerida en los paneles.

A continuación, el resultado del análisis (Ver Figura 33), basado en el formato presentado establecido de los instrumentos del capítulo del marco metodológico.

Figura 33. Análisis UL 508 A

Ficha de Análisis Normativo		
NORMA	UL 508A	
OBJETIVO	Estándar para la construcción de paneles de control industrial destinados al uso industrial en general. Este documento brinda pautas sobre varios temas, incluida la selección adecuada de componentes, métodos de cableado y cálculo de valores nominales de corriente de cortocircuito. El análisis de este estándar es importante para entender los requisitos de especificación de los paneles.	
Artículos Relevantes	Texto de Artículo	Análisis Normativo
Artículo 1 - Alcance y Objeto	Este estándar cubre los requisitos para la construcción de tableros de control industrial, clasificados o no, destinados al uso industrial en general. Estos tableros de control se pueden usar para el control y la protección de sistemas de equipos industriales y sistemas de equipos comerciales y agrícolas, según se define en la Sección 37.1. Se proporcionan directrices para la evaluación de los productos cubiertos por esta norma en relación con los riesgos eléctricos y de incendio asociados.	Este artículo establece el alcance y el objeto del estándar, que cubre los requisitos para la construcción de paneles de control industrial destinados al uso industrial en general, con pautas para la evaluación de riesgos eléctricos y de incendio asociados.
Artículo 2 - Referencias Normativas	Las siguientes normas y documentos normativos contienen disposiciones que, mediante esta referencia en este texto, forman una parte de los requisitos de esta norma. Las ediciones indicadas estaban vigentes en el momento de esta publicación. En el momento de la adopción de esta norma, las ediciones indicadas estaban en vigor. Todas las referencias a normas y documentos normativos específicos se consideran referencias a las ediciones vigentes en el momento de esta norma.	Este artículo establece las referencias normativas que se deben tener en cuenta al aplicar el estándar UL 508A, asegurando que se cumplan los requisitos pertinentes de otros documentos relacionados.
Artículo 3 - Definiciones	Para los fines de esta norma, se aplican las definiciones en ANSI/NEMA PB 1.1.	Este artículo establece que las definiciones aplicables en ANSI/NEMA PB 1.1 se aplican también para los fines de UL 508A, proporcionando claridad y coherencia en el uso de términos técnicos.
Artículo 4 - Requisitos Generales	Los tableros de control deben ser diseñados y construidos para evitar riesgos eléctricos y de incendio, y para proporcionar un rendimiento adecuado cuando se utilicen según lo previsto	Este artículo establece requisitos generales para el diseño y construcción de paneles de control, asegurando que se eviten riesgos eléctricos y de incendio y que proporcionen un rendimiento adecuado según lo previsto.
Artículo 5 - Materiales y Componentes	Los materiales y componentes utilizados en la construcción de tableros de control deben cumplir con los requisitos especificados en esta norma y en otras normas aplicables.	Este artículo establece requisitos para los materiales y componentes utilizados en la construcción de paneles de control, asegurando que cumplan con los requisitos especificados en el estándar y otros documentos relacionados.

Fuente propia, (2024).

El resultado del análisis refleja las pautas para la construcción de los paneles industriales, donde se definen las normativas y referencias requeridas, así como los materiales, componentes y requisitos generales que deben tener los tableros.

El entendimiento de este estándar es importante conocerlo no tanto a la hora de diseño y especificación, sino más para un trabajo en campo de inspección y poder asegurarse de que lo plasmado en planos se está construyendo bajo una normativa y evitar riesgos eléctricos y de incendio, así como también un rendimiento según lo plasmado en diseño.

4.3.3 Análisis de herramientas de diseño

Dentro del amplio espectro de herramientas disponibles para el diseño de sistemas de control en equipos de refrigeración tipo *Chiller*, la elección de la herramienta adecuada juega un papel crítico en el éxito del proyecto. Después de un análisis exhaustivo, se determinó que *CtrlSpecBuilder* se alinea perfectamente con los objetivos y requisitos específicos de este proyecto (Ver Figura 34).

Figura 34. Herramienta de diseño



Tomado de: CtrlSpec Builder, (2024).

Ctrl Spec Builder se destaca por su especialización en sistemas mecánicos de HVAC, lo que la convierte en una opción altamente compatible con las necesidades de este

proyecto. Su capacidad para personalizar y modificar parámetros según las especificaciones del sistema, garantiza una adaptabilidad excepcional y una precisión en el diseño del sistema de control. Además, se basa en *ASHRAE 13* y los resultados de las especificaciones técnicas a escoger son basadas en *CSI MasterFormat 2016*, la cual es una estandarización a nivel global, con la que trabajan las principales empresas de diseño.

Una de las características más valoradas de "CTRL SPEC BUILDER" es su capacidad para introducir elementos de monitoreo y control de manera detallada y precisa. Esta funcionalidad permite una configuración minuciosa del sistema, asegurando su eficiencia y rendimiento óptimo en diversas condiciones operativas.

Además, la herramienta facilita la definición de una secuencia de operación coherente y clara, proporcionando un marco organizado para el funcionamiento del sistema. Esta estructura contribuye significativamente a la efectividad y a la viabilidad de las soluciones propuestas en este proyecto. Sin dejar de lado que es una opción gratuita, es de acceso libre a todos los profesionales que requieran su uso.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se identificó que la ausencia de una guía de diseño o normativa específica que establezca los lineamientos para el diseño adecuado del control y monitoreo en sistemas de refrigeración con tecnologías tipo *chiller* limita el desarrollo de soluciones efectivas y optimizadas a los especialistas encargados del diseño de estos sistemas. Esta carencia representa un desafío significativo para los ingenieros y diseñadores, quienes deben basarse en su experiencia y en estándares generales que no abordan de manera específica las particularidades de estos sistemas.
- Se constató un desconocimiento generalizado entre los profesionales de la ingeniería respecto a los diversos aspectos que rodean los Sistemas de Gestión de Edificios (BMS, por sus siglas en inglés). Este desconocimiento abarca desde el entendimiento de las topologías hasta el conocimiento de las variables y elementos necesarios para la implementación efectiva de dichos sistemas. La raíz de esta problemática radica en la falta de formación académica especializada que promueva el conocimiento en esta área, lo que resulta en una limitada difusión de estos conocimientos fuera de las empresas que se dedican a proyectos de refrigeración con tecnología de agua helada.
- Es fundamental que los profesionales del diseño estén bien informados sobre las normativas y estándares internacionales pertinentes. De todas las normativas analizadas, la ASHRAE 13 se destacó como la más relevante para los sistemas de monitoreo y control. Esta normativa proporciona una guía exhaustiva que abarca desde la especificación de controladores hasta la descripción detallada de los componentes que debe incluir un sistema DDC para asegurar su correcto funcionamiento. La adopción y aplicación rigurosa de la ASHRAE 13 garantiza que los sistemas son diseñados conforme con las mejores prácticas internacionales, lo que facilita su operación eficiente y segura.
- Se determinó que la mejor topología es el Control Directo Digital (DDC) en la implementación de un sistema de monitoreo y control para sistemas de refrigeración

tipo *chiller*. Esta elección se fundamenta en que el DDC es un sistema específicamente diseñado para tecnologías de refrigeración y aire acondicionado, lo que lo hace particularmente adecuado para estas aplicaciones. Además, el DDC cuenta con una interfaz embebida que facilita significativamente la operación, permitiendo a los usuarios gestionar y supervisar el sistema de manera más sencilla. Comparado con otras opciones, como los Controladores Lógicos Programables (PLC), el DDC no solo es más fácil de operar, sino que también resulta ser una solución más económica, ofreciendo una excelente relación costo-beneficio para la implementación en sistemas de refrigeración tipo *chiller*.

- Se identificó un riesgo muy alto al ejecutar un diseño sin una guía adecuada en el contexto de sistemas de refrigeración tipo *chiller*. A través de una matriz de riesgos y vulnerabilidades, se ha determinado que la omisión de elementos en el diagrama de diseño constituye el riesgo más frecuente y significativo. Además, la falta de una matriz de variables y la insuficiencia de datos en el diseño se destacan como los riesgos más graves y catastróficos, presentando una probabilidad constante de ocurrencia. Estos hallazgos subrayan la necesidad crítica de contar con una guía detallada y completa para el diseño de estos sistemas, a fin de mitigar los riesgos y asegurar la efectividad y seguridad en su implementación.
- El diseñador de un sistema de monitoreo y control debe poseer no solo un conocimiento del sistema de monitoreo en sí, sino también un entendimiento integral del sistema de refrigeración tipo *chiller*, incluyendo su operación y los componentes necesarios. Este conocimiento es esencial para la implementación oportuna y efectiva de sensores y controladores, asegurando así el funcionamiento correcto del sistema. Además, es imprescindible que el diseñador esté familiarizado con el *ASHRAE Handbook - HVAC Applications* antes de iniciar el diseño del sistema de monitoreo y control. Este manual proporciona información crítica que guía la selección y disposición adecuada de los componentes y asegura que el diseño cumpla con los estándares y mejores prácticas reconocidas a nivel internacional.

- Una vez completado el manual de procedimientos, este recibió una excelente acogida por parte del público objetivo, compuesto por ingenieros eléctricos y mecánicos. El documento fue presentado a diversos colegas para conocer sus opiniones, y estos lo consideraron útil para comprender los pasos correctos en un proceso de diseño. Además, apreciaron particularmente que el manual incluye un ejemplo gráfico, ya que proporciona una noción clara de cómo representar gráficamente los elementos. Asimismo, destacaron que el documento ofrece una guía de consulta sobre normativas y programas de diseño aplicables. En general, todos coincidieron en que el manual cumple adecuadamente con el objetivo planteado y constituye una sólida base para el diseño de sistemas de monitoreo y control de otros tipos de sistemas.

Recomendaciones

- Es crucial poseer un conocimiento sólido de la teoría antes de iniciar cualquier diseño de un sistema de monitoreo y control para sistemas de refrigeración tipo *chiller*. Se recomienda que los diseñadores se familiaricen con todos los aspectos relacionados con controladores, topologías, variables y protocolos de comunicación. Este proyecto aborda los conceptos esenciales, por lo que se sugiere leer y comprender todo el marco teórico presentado antes de comenzar el diseño. Esta preparación teórica garantizará que los diseñadores estén equipados con la información necesaria para tomar decisiones informadas y efectivas durante el proceso de diseño.
- Además de las normativas mandatorias para un desarrollo adecuado de un sistema de monitoreo y control en sistemas de refrigeración tipo *chiller*, se recomienda comprender también *ASHRAE Handbook - HVAC Applications*, para entender las guías de diseño de operación y secuencia, fundamentales en el control; así como la NFPA 79 para conocer los parámetros de seguridad física y humana por monitorear. Por último, es importante entender UL508A para tener nociones de las necesidades de los paneles de control y su ensamblaje, lo que asegurará un diseño integral y seguro del sistema de monitoreo y control.

- Se recomienda generar un diagrama de flujo de datos antes de iniciar el diseño, en el cual se defina el protocolo de comunicación más adecuado y la interacción de los sensores a integrar con los actuadores, así como las variables que se desean visualizar en la futura plataforma digital. Dentro del diagrama de flujo, es crucial definir qué aspectos se van a monitorear y qué aspectos se van a controlar, estableciendo así una estructura clara y detallada que servirá como guía durante todo el proceso de diseño del sistema de monitoreo y control.
- Se aconseja utilizar herramientas de diseño como *CtrlSpecBuilder* para generar gráficos de control, permitiendo visualizar de forma gráfica no solo los elementos del sistema de refrigeración tipo *chiller*, sino también la ubicación específica de cada sensor, así como el tipo de variable asociado. Este programa facilita la exportación de una matriz detallada de variables y una secuencia de operación, todo basado en *Master Format*. Además, esta herramienta ayuda a generar especificaciones técnicas del sistema deseado, lo que contribuye a un diseño más preciso y eficiente del sistema de monitoreo y control.
- Se sugiere seguir el manual de procedimiento para control y monitoreo desarrollado en este trabajo para proyectos de topología no centralizada donde se basen en una edificación que contenga una tecnología de refrigeración tipo *chiller*. Este manual proporciona una guía detallada y específica para la implementación de sistemas de monitoreo y control en este contexto, asegurando una integración efectiva y una operación óptima del sistema de refrigeración. Al seguir este manual, se garantiza un correcto diseño del sistema en entornos con topologías no centralizadas. (Ver anexo 9).

REFERENCIAS

Abramonte Suarez, G. P. (2019). *Propuesta de implementación del sistema de automatización Building Management System (BMS) para el control de equipos de un casino de MiraFlores - Lima*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniero electrónico y telecomunicaciones). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

Airson Ingenieros (2022, 13 septiembre). *¿Qué es un Chiller? Funcionamiento y Mantenimiento*. Airson Ingenieros. <https://www.airsoningenieros.com/que-es-un-chiller-funcionamiento-y-mantenimiento/>.

Alfaro Carballo, A. M. (2016). *Diseño de sistema de Automatización del Equipo de Aire Acondicionado del Edificio del Laboratorio de Productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2015). *ASHRAE 13-2015: Specifying Direct Digital Control Systems*.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2021). *ASHRAE 36-2021: High-Performance Sequences of Operation for HVAC Systems*.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2023). *ASHRAE Handbook – HVAC Applications: HVAC Applications*.

Autmix Blog. (2022, mayo 24). *¿Qué es el Protocolo TCP/IP?*

Autmix.com. <https://autmix.com/blog/protocolo-tcp-ip>.

Banelec. (2021, agosto 27). *¿Cuál es la diferencia entre PLC y DDC?*

<https://www.banelec.com/es/whats-the-difference-between-plc-and-ddc/>.

Capehart, B. L., Turner, W. C., & Kennedy, W. J. (2012). *Guía de Gestión Energética*. Ediciones Díaz de Santos.

Castro Navarro, J. A. (2017). *Diseño de sistema de agua helada para climatización artificial, en sector hotelero en Guanacaste*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Control Real Español. (2019, enero 17). *P&ID Diagramas de tuberías e instrumentación*. <https://controlreal.com/es/diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion-pid/>.

Ctrl Spec Builder. (s.f.). *Create HVAC control specification free and online*. <https://www.ctrlspecbuilder.com/ctrlspecbuilder/home.do>.

Fuenzalida, A. (2023, septiembre 27). *Tipos de entrevista: Guía para optimizar tus procesos de selección*. <https://www.genoma.work/post/tipos-de-entrevista-trabajo>

García Aguilar, F. J. (2012). *Diseño de un sistema de monitorización remota y control para la automatización de una planta de concreto en el proyecto de ampliación de la planta Cachi*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniería en electrónica). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

González Navarro, C. (2016). *Sistema de Control Automático y Monitorización del Sistema de Suministro de Agua de la Planta Este de Trimpot Electrónicas Ltda*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Guerrero, J. (2024, marzo 06). *Investigación cualitativa, cuantitativa y mixta: resumen*. <https://docentesaldia.com/investigacion-cualitativa-cuantitativa-y-mixta>

Hurtado, A. (2024, enero 02). Protocolo Modbus. <https://eeymuc.co/31-protocolo-modbus/>.

Itsmagazine. (2019). *Eco Structure Building*. <https://www.itismagazine.it/categorie-funzionali/home-page/ecostruxure-building/>

International Organization for Standardization. (2023). *ISO/IEC 9075-1:2023 Information technology - Database languages - SQL - Part 1: Framework (SQL/Framework)*

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 16484-1: Building automation and control systems (BACS)*.ISO.

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 14617-6:2004: Graphical symbols for diagrams - Part 6: Measurement and control functions*

Kinenergy. (2021, marzo 25). *¿El BMS es una buena inversión para tu proyecto?* <https://www.kin.energy/blogs/post/%C2%BFel-bms-es-una-buena-inversi%C3%B3n-para-tu-proyecto>

Kinenergy. (2023, enero 06). *Señales Digitales: Aspectos Generales Que Debes Conocer*. <https://www.kin.energy/blogs/post/se%C3%B1ales-digitales-aspectos-generales-que-debes-conocer>.

Lane, K. E., & Dodson, C. D. (2012). *BMS: La Guía Práctica de Automatización de Edificios y Sistemas de Gestión Energética*. Ediciones Díaz de Santos.

Melnik, A (s.f.). *¿Cómo mejorar mis indicadores en eficiencia energética?* <https://www.tecnobuildings.com/blog/como-mejorar-mis-indicadores-en-eficiencia-energetica>

Modbus.org. (2012, Abril 26). *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION*.
https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf

Moreno Plazas, M. (2019). *Metodología para la aplicación de sistemas de BMS y BEMS para la operación eficiente de edificios*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Magister en sistemas energéticos). Universidad Autónoma de Occidente.

National Fire Protection Association. (2021). *NFPA 79: Electrical Standard for Industrial Machinery*

NEWfly, Redes Cisco y Packet Tracer. (2012, marzo 18). *Modelo OSI*.
<https://newfly.wordpress.com/2012/03/18/78/>.

Nima Castillo, L. G. (2019). *Diseño de un sistema de gestión de edificios BMS, que integra sistemas de seguridad electrónica, electromecánicos y comunicación ethernet para el laboratorio de Ingeniería electrónica de la universidad nacional de Piura*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniero electrónico y telecomunicaciones). Universidad Nacional de Piura.

Padilla Castro, V. H. (2005). *Plan piloto de Edificio Inteligente con Énfasis en Ahorro de Energía* (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniería en electrónica). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Punto Flotante. (s.f.). *RS-485*. <https://www.puntoflotante.net/RS485.htm>.

Research Gate. (2022). *Señales Analógicas y Digitales*.
https://www.researchgate.net/figure/Senal-analogica-y-Senal-digital_fig1_362489895.

Tamayo Molinares, A. (2023). *Procedimiento para la implementación de un software de gestión de mantenimiento para los centros comerciales en la ciudad de Bogotá*.

(Trabajo de graduación para optar por el título de Magister en Ingeniería Eléctrica en profundización). Universidad Nacional de Colombia.

Telecommunication Industry Association. (2022). *TIA-232-F: Interface between data terminal equipment and data circuit-terminating equipment employing serial binary data interchange.*

Telecommunication Industry Association. (2022). *TIA-485-A: Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems.*

Tenas Morales, D. A. (2023). *Diseño de investigación para la viabilidad de implementación de un sistema de BMS, aplicado a los nuevos edificios de la ciudad de Guatemala.* (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniero Mecánico Electricista). Universidad San Carlos de Guatemala.

Trane. (s.f.). *Gestión y Controles de Energía.* <https://www.trane.com/commercial/latin-america/ar/es/products-systems/energy-management-and-controls.html>

Underwriters Laboratories Inc. (s.f.). *UL 508A: Industrial control panels.*

Vincent, J. (2020, agosto 14). *Tipos de encuestas: ¿Cuál utilizar?*

<https://encuesta.com/blog/tipos-de-encuestas-cual-utilizar/>

Virtual Serial Port. (2019). *¿Qué es el puerto serie? [Descripción general del RS-485 pinout].* <https://www.virtual-serial-port.org/es/article/what-is-serial-port/rs485-pinout/>.

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

Términos comunes en un sistema BMS	
Término	Significado
ACS	Automation Control System
AI	Analog Input
ANSI	American National Standards Institute
AO	Analog Output
ASC	Application Specific Controller
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
AWG	American Wire Gauge
BAS	Building Automation System
BMS	Building Management and Control System
BACnet	Red de Control de BMS definida por ANSI/ASHRAE Standard 135-2001
BCR	BMS Computer Room
CPU	Central Processing Unit
DCP	Distributed Control Panel
DDC	Direct Digital Control
DI	Digital Input
DO	Digital Output
FAS	Fire Detection, Alarm and Communication System
FTS	Field Termination Schedule
GC	General Contractor
H/O/A	Hand/Off/Auto Motor Control Switch/Circuit
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
HMI	Human Machine Interface
I/O	Input/Output
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LonTalk	Protocolo de control abierto, desarrollado por "Cooperación Echelon"
LONWORKS	Familia de productos de hardware y software de "Cooperación Echelon"
NDS	Network Data Server
NEC	National Electrical Code
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
OWS	Operator Work Station
PAC	Programmable Application Controller
PC	Personal Computer
PCU	Primary Control Units
POT	Portable Operator Workstation
PIM	Process Interface Module
RAM	Random Access Memory
RFI	Radio Frequency Interference
RH	Relative Humidity
ROW	Remote Operator Workstation
RTD	Resistance Temperature Device
UL	Underwriters Laboratories
UPS	Uninterruptible Power Supply Unit
VFD	Variable Frequency Drive
VAV	Variable Air Valve (volume variable box)

ANEXO 1: Entrevista #1

Formato de Guía de Entrevista	
Fecha de Entrevista	9/4/2024
Entrevistador	Johnny Alvarado Rodriguez
Datos del Entrevistado	
Nombre	Roberto Solano Bonilla
Edad	36 años
Información Académica	
Profesión	Ingeniero Electromecánico
Grado Académico	Bachiller
Experiencia (años)	10
Preguntas para Entrevista	
¿Como puede usted definir un protocolo de comunicación?	A nivel personal se puede definir un protocolo de comunicación como el idioma a utilizar para establecer la comunicación entre diferentes equipos, esto haciendo referencia a lenguajes de programación, reglas y estandares a cumplir entre los idiomas o lenguajes.
¿Sabe la diferencia de una topología centralizada y no centralizada? Defina ambas	Topología centralizada hace referencia a un sistema de control / monitoreo de BMS donde todo se concentra en una unidad central, en la no centralizada, el control y monitoreo se encuentran distribuidas.
¿Sabe usted los cuatro tipos principales de variables que existen? Defina	Entendería que se refiere a las señales de entrada y de salida, las 4 principales serían: analógica de entrada, analógica de salida, digital de entrada y digital de salida.
¿Sabe usted cuál es el procedimiento necesario para diseñar un sistema de BMS?	No tengo tanta experiencia en este sistema sin embargo entiendo que se deben definir las variables que se desean monitorear / controlar, como temperatura, presión, atenuación o similares, se debe entender los requerimientos del cliente y la función de dichas variables para también comprender si se requieren sistemas analógicos o digitales. Se debe tener en cuenta que el diseño de este sistema debe ser sumamente eficiente dado que el mismo tiene un costo considerable e incluir el monitoreo / control de variables que no son necesarias puede incurrir en gastos innecesarios y cuantiosos.

ANEXO 2: Entrevista #2

Formato de Guía de Entrevista	
Fecha de Entrevista	13/4/2024
Entrevistador	Johnny Alvarado Rodriguez
Datos del Entrevistado	
Nombre	Julian Escobar Vega
Edad	32
Información Académica	
Profesión	Ing. Mecánico
Grado Académico	Licenciatura
Experiencia (años)	7
Preguntas para Entrevista	
¿Como puede usted definir un protocolo de comunicación?	Lenguaje de comunicación entre 2 elementos de un sistema que se utilizan para generar una acción en algun proceso
¿Sabe la diferencia de una topología centralizada y no centralizada?. Defina ambas	No
¿Sabe usted los cuatro tipos principales de variables que existen? Defina	No
¿Sabe usted cuál es el procedimiento necesario para diseñar un sistema de BMS?	No

ANEXO 3: Encuesta #1

Formato de Encuesta						
		Nombre	Brian Quesada			
		Edad	37 años			
		Profesión	Ing. Electromecánico			
		Experiencia	15 años			
Calificación						
		Totalmente Desacuerdo	Desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	Acuerdo	Completamente acuerdo
1	Le parece necesario tener una guía de diseño para BMS?					X
2	Ve usted como una necesidad, mencionar dentro de una guía de diseño de BMS, los tipos de protocolos que existen para la comunicación de equipos de refrigeración tipo Chiller?					X
3	Ve usted como una necesidad, mencionar dentro de una guía de diseño de BMS, que significa una topología de un sistema no centralizado?					X
4	Ve usted como una necesidad, mencionar dentro de una guía de diseño de BMS, que variables son necesarias para monitoreo y control de un sistema de refrigeración tipo Chiller?					X
5	Cree usted, que en el ámbito de diseño, se tiene un conocimiento amplio en el procedimiento para diseñar un sistema de monitoreo y control de BMS?		X			

ANEXO 4: Encuesta #2

Formato de Encuesta						
		Nombre	Elquin Perez			
		Edad	36 años			
		Profesión	Ing. Electromecánico			
		Experiencia	14 años			
Calificación						
		Totalmente Desacuerdo	Desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	Acuerdo	Completamente acuerdo
1	Le parece necesario tener una guía de diseño para BMS?					X
2	Ve usted como una necesidad, mencionar dentro de una guía de diseño de BMS, los tipos de protocolos que existen para la comunicación de equipos de refrigeración tipo Chiller?					X
3	Ve usted como una necesidad, mencionar dentro de una guía de diseño de BMS, que significa una topología de un sistema no centralizado?			X		
4	Ve usted como una necesidad, mencionar dentro de una guía de diseño de BMS, que variables son necesarias para monitoreo y control de un sistema de refrigeración tipo Chiller?					X
5	Cree usted, que en el ámbito de diseño, se tiene un conocimiento amplio en el procedimiento para diseñar un sistema de monitoreo y control de BMS?		X			

ANEXO 5: Encuesta #3

Formato de Encuesta						
					Nombre	Diego Hidalgo
					Edad	33 años
					Profesión	Ing. Electromecánico
					Experiencia	6 años
Calificación						
	Totalmente Desacuerdo	Desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	Acuerdo	Completamente acuerdo	
1					X	
2					X	
3					X	
4					X	
5		X				

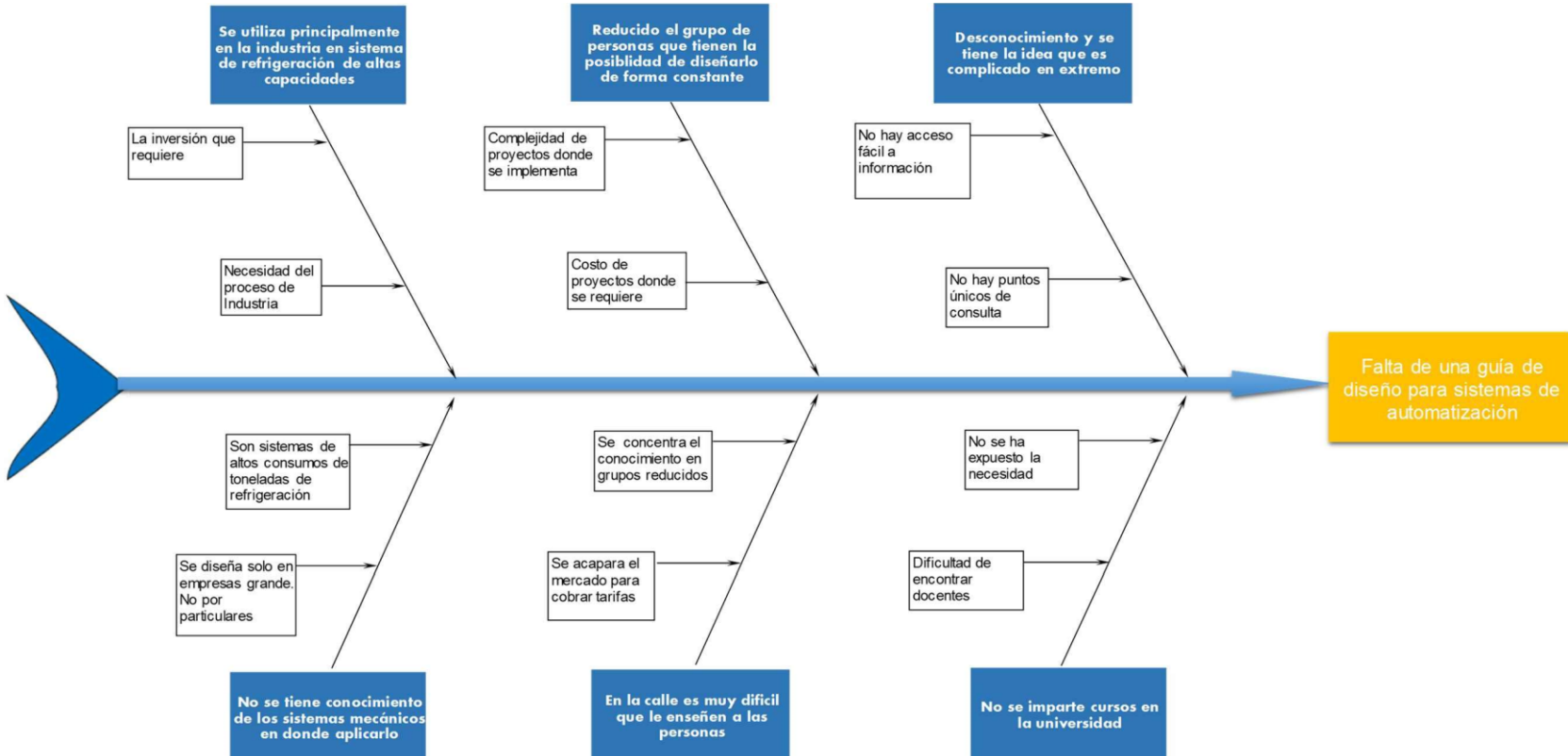
ANEXO 6: Encuesta #4

Formato de Encuesta						
					Nombre	Egson Gomez
					Edad	37 años
					Profesión	Ing. Electromecánico
					Experiencia	13 años
Calificación						
	Totalmente Desacuerdo	Desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	Acuerdo	Completamente acuerdo	
1					X	
2			X		X	
3				X		
4					X	
5	X				X	

ANEXO 7: Encuesta #5

Formato de Encuesta						
					Nombre	Andrés Alfaro
					Edad	40 años
					Profesión	Ing. Electromecánico
					Experiencia	17 años
Calificación						
	Totalmente Desacuerdo	Desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	Acuerdo	Completamente acuerdo	
1					X	
2					X	
3					X	
4					X	
5		X				

ANEXO 8: Ishikawa



ANEXO 9: Manual de procedimientos



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

Septiembre, 2024

Autor y Revisor



Ing. Johnny Alvarado Rodríguez

Autor

Ing. Diego Ramírez Rojas

Revisor

Marco Normativo

- ASHRAE 13-2015
- ASHRAE Handbook – HVAC Applications
- ASHRAE 36-2021
- NFPA 79
- UL 508A



Glosario de Términos

Imagen 1: Términos comunes
Fuente propia, (2024).

Términos comunes en un sistema BMS	
Término	Significado
ACS	Automation Control System
AI	Analog Input
ANSI	American National Standards Institute
AO	Analog Output
ASC	Application Specific Controller
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
AWG	American Wire Gauge
BAS	Building Automation System
BMS	Building Management and Control System
BACnet	Red de Control de BMS definida por ANSI/ASHRAE Standard 135-2001
BCR	BMS Computer Room
CPU	Central Processing Unit
DCP	Distributed Control Panel
DDC	Direct Digital Control
DI	Digital Input
DO	Digital Output
FAS	Fire Detection, Alarm and Communication System
FTS	Field Termination Schedule
GC	General Contractor
H/O/A	Hand/Off/Auto Motor Control Switch/Circuit
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
HMI	Human Machine Interface
I/O	Input/Output
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LonTalk	Protocolo de control abierto, desarrollado por "Cooperación Echelon"
LONWORKS	Familia de productos de hardware y software de "Cooperación Echelon"
NDS	Network Data Server
NEC	National Electrical Code
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
OWS	Operator Work Station
PAC	Programmable Application Controller
PC	Personal Computer
PCU	Primary Control Units
POT	Portable Operator Workstation
PIM	Process Interface Module
RAM	Random Access Memory
RFI	Radio Frequency Interference
RH	Relative Humidity
ROW	Remote Operator Workstation
RTD	Resistance Temperature Device
UL	Underwriters Laboratories
UPS	Uninterruptible Power Supply Unit
VFD	Variable Frequency Drive
VAV	Variable Air Valve (volume variable box)



Objetivo del documento

Generar un manual de procedimiento para control y monitoreo de una edificación basado en una topología no centralizada para edificios que cuenten con tecnología de refrigeración tipo Chiller

Ejemplificar cada paso





Descripción del Proceso

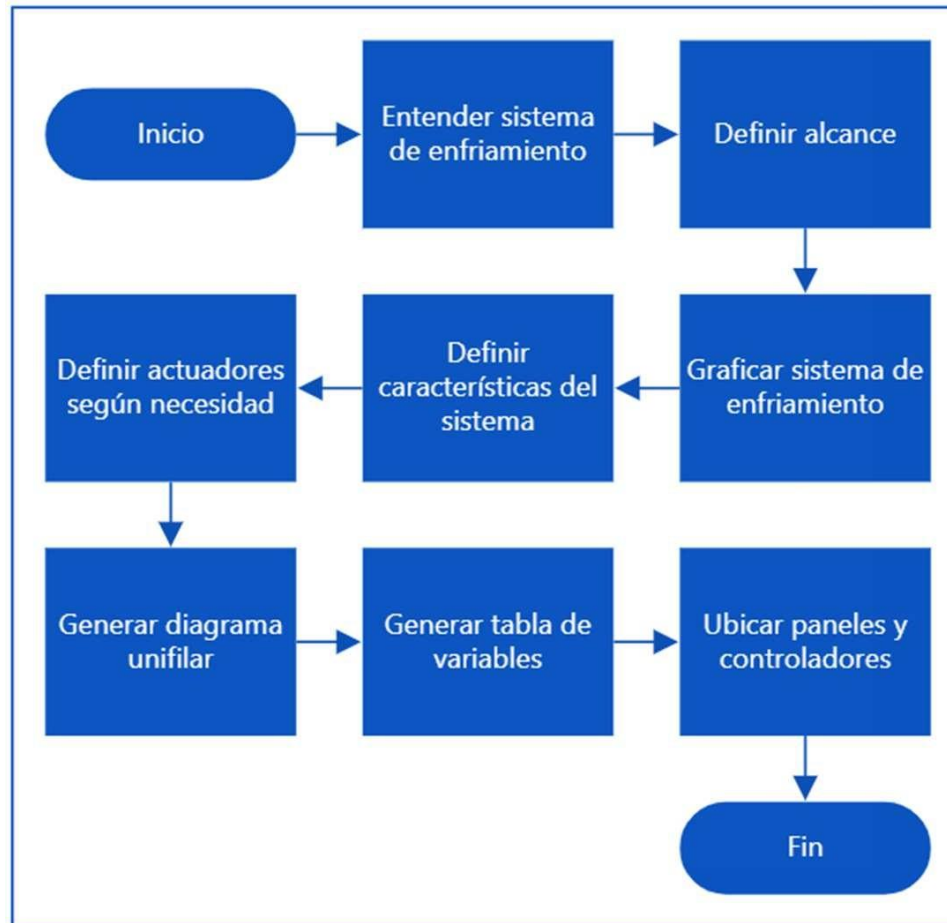


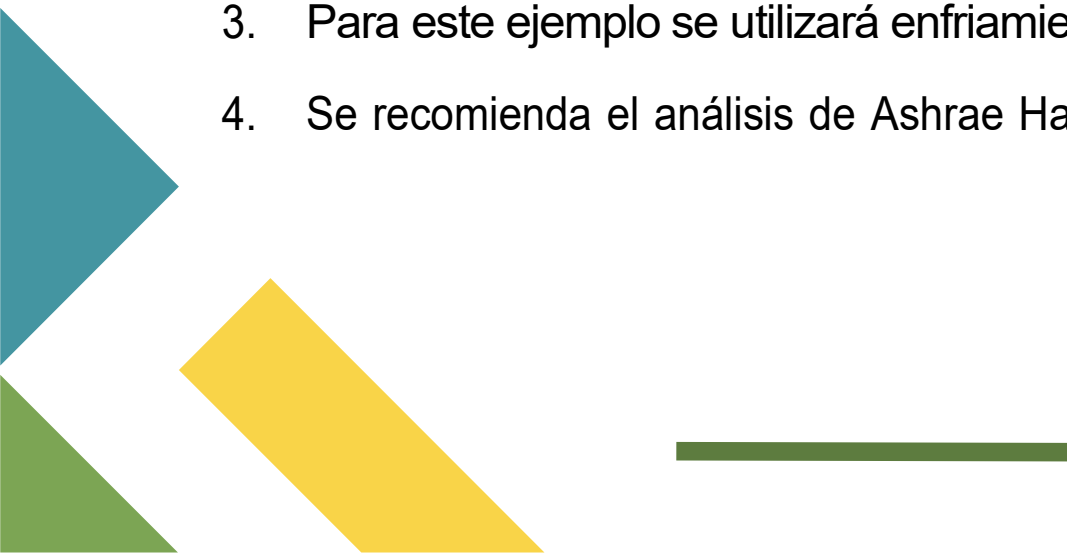
Diagrama de Flujo

Imagen 2: Diagrama de Flujo
Fuente propia, (2024).



1

Entender el sistema de enfriamiento

1. Se debe entender bien el tipo de tecnología de refrigeración se está utilizando y su funcionamiento, en este ejemplo Chiller.
 2. Dentro de la tecnología de Chiller existen:
 1. Enfriado por Agua
 2. Enfriado por Aire
 3. Para este ejemplo se utilizará enfriamiento por Agua (Torre de Enfriamiento).
 4. Se recomienda el análisis de Ashrae Handbook – HVAC Applications.
- 

Definir el alcance del sistema de automatización

1. Se debe entender el requerimiento del cliente y sistema, que puede ser:
 1. Control: tomar acción sobre un elemento
 2. Monitoreo: visualización de estados de funcionamiento
2. Para este ejemplo, al ser un sistema de refrigeración tipo Chiller se hará con ambos: monitoreo y control.

Graficar el sistema de enfriamiento

1. Se debe hacer bajo el concepto de diseñador de HVAC.
2. Se debe entender la secuencia de operación.
3. Se recomienda el análisis de Ashrae 36-2021.
4. Se recomienda el uso de un software de diseño de BMS “Ctrl Spec Builder”.

3.1

Graficar el sistema de enfriamiento

Configuración Primario Variable

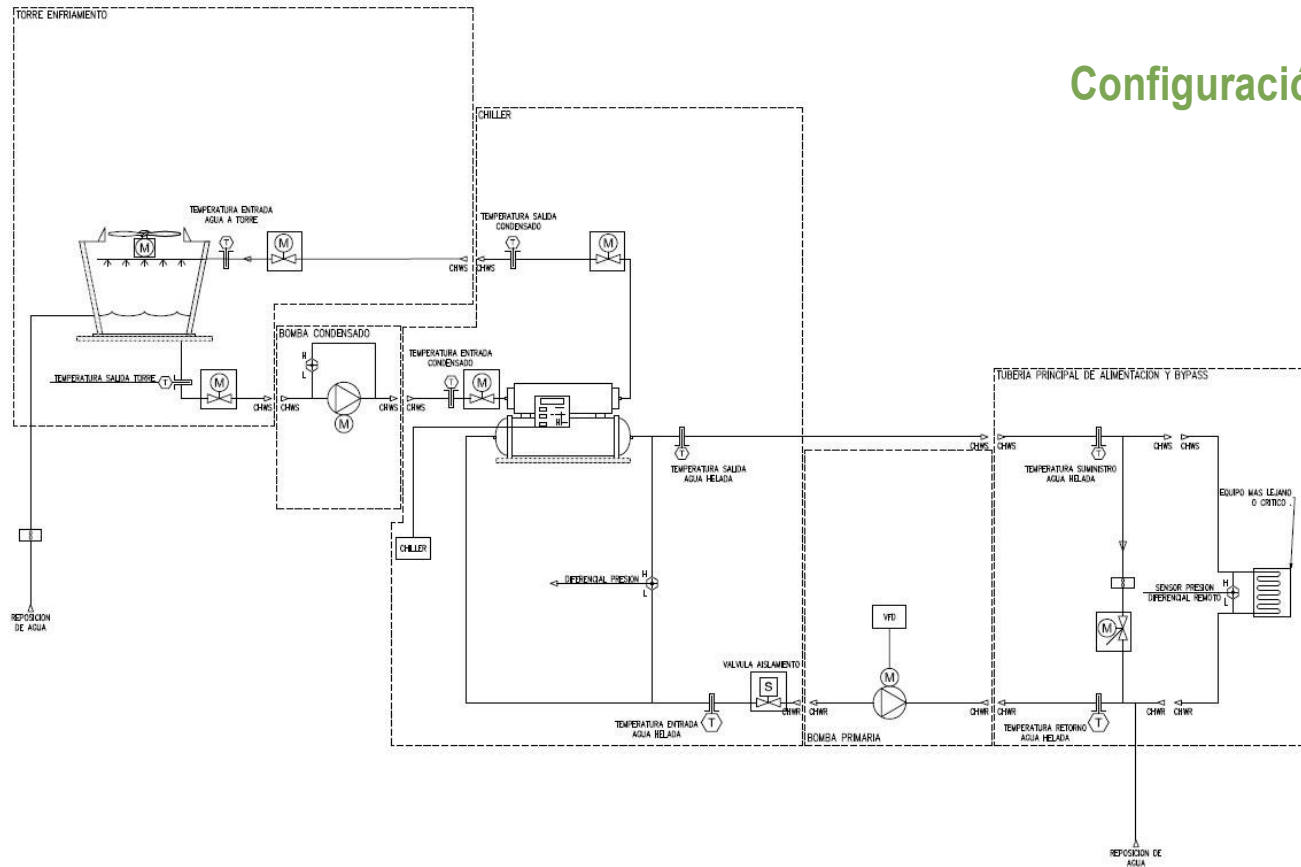


Imagen 3: Sistema de enfriamiento
Fuente propia, (2024).

Definir características del sistema

1. Se debe definir el lenguaje de los protocolos de comunicación. Se recomienda
 1. **BacNet TCP/IP** – Equipo mecánico
 2. **ModBus IP** – Equipo Eléctrico

Se recomienda estos protocolos al ser de protocolo abierto y la capacidad de trabajar en distintas marcas sin el pago de un licenciamiento específico o un fabricante específico.

2. Se debe definir la función de cada elemento de monitoreo y control. Variables como, por ejemplo:
 1. Temperatura
 2. Estado
 3. Presión
 4. Entre otras

5.1

Ampliación

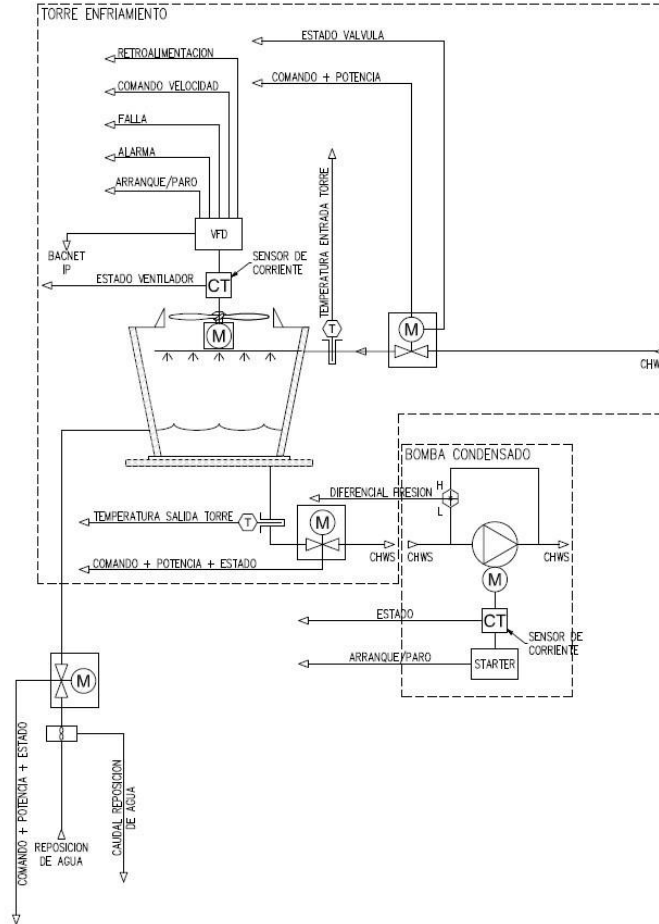


Imagen 5: Ampliación #1 sistema de enfriamiento.
Fuente propia, (2024).

5.2

Ampliación

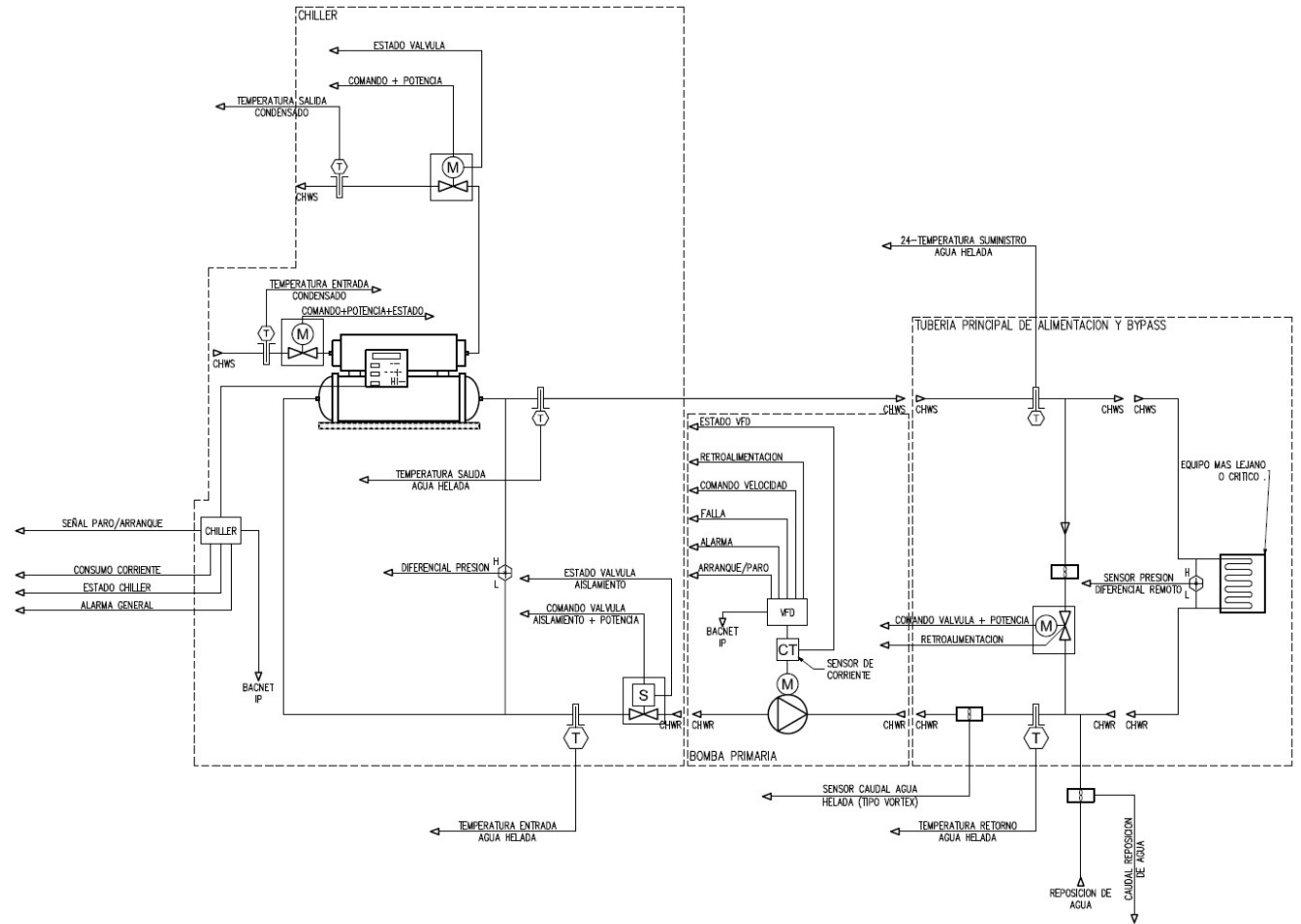


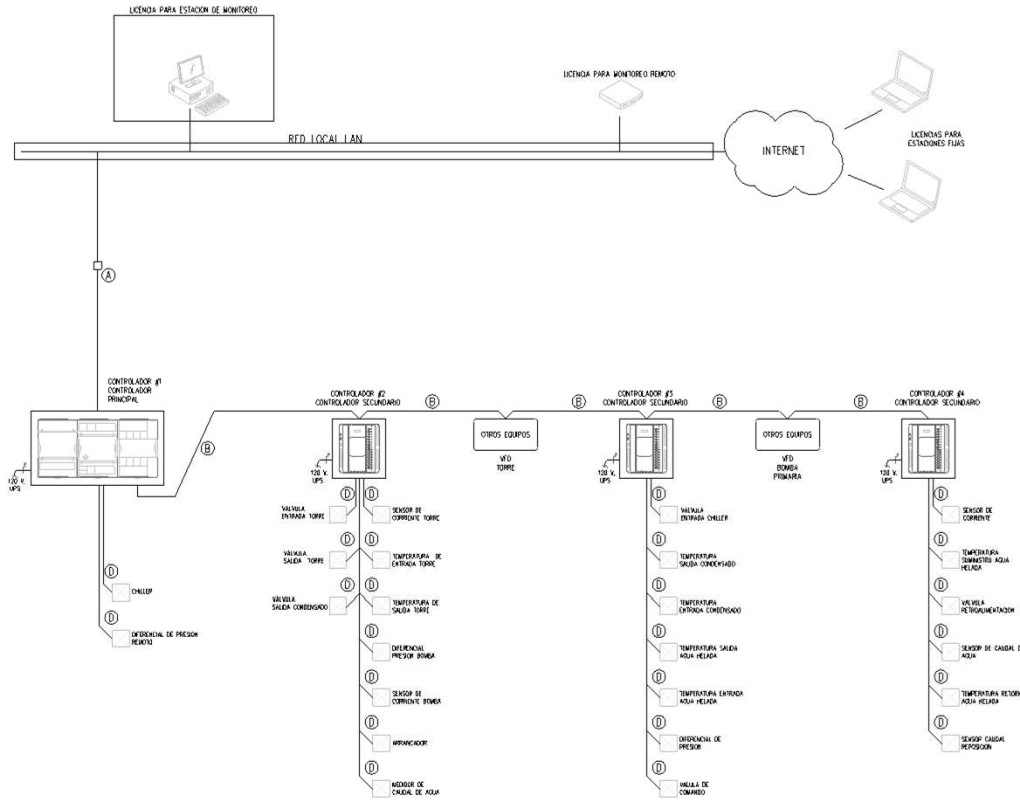
Imagen 6: Ampliación #2 sistema de enfriamiento
Fuente propia, (2024).

Generar Diagrama Unifilar

1. Indicar la interconexión con la red LAN del proyecto.
2. Indicar los requisitos de licencias para implementación.
 - Licencia de monitoreo remoto
 - Licencia de monitoreo local
3. Siempre colocar al menos un controlador principal – es el elemento que integra el HMI.
4. Definir las redes según lenguaje de protocolos. Cada controlador principal puede tener uno o dos protocolos según marca y modelo.
5. Seleccionar los controladores secundarios según la máxima cantidad de entradas y salidas (variables) y distancias.
6. Indicar los requisitos de potencia en cada controlador.
7. Colocar indicaciones de cableado.
8. Colocar simbología.

6.1

Generar Diagrama Unifilar



SIMBOLOGIA DE SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL		
	CONTROLADOR PRIMARIO. VER REQUERIMIENTOS EN NOTAS Y EN ESPECIFICACIONES TECNICAS. ENTRADAS Y SALIDAS SEGUN APLICACION. VER MATRIZ I/O.	MARCA, A DEFINIR. MODELO, A DEFINIR.
	CONTROLADOR SECUNDARIO DE CAMPO. VER REQUERIMIENTOS EN NOTAS Y EN ESPECIFICACIONES TECNICAS. ENTRADAS Y SALIDAS SEGUN APLICACION. VER MATRIZ I/O.	MARCA, A DEFINIR. MODELO, A DEFINIR.
	EQUIPOS SUMINISTRADOS E INSTALADOS POR OTROS, CON TARJETAS DE FABRICA COMPATIBLES.	

CLAVES DE CABLEADO	
CLAVE	DESCRIPCION
(A)	BUSNET #1. CABLEADO UTP CATEGORIA SEGUN PROYECTO HASTA SALIDA DE TELECOMUNICACIONES EN ENT.
(B)	BUSNET #2/3. CABLEADO KJUAL O SUPERIOR A BELDEN 90MH EN TUBERIA ENT.
(C)	MODBUS RTU. CABLEADO KJUAL O SUPERIOR A BELDEN 90MH EN TUBERIA ENT.
(D)	SENALES ANALOGICAS Y DIGITALES. CABLEADO TFFN JGJAWO EN TUBERIA ENT O MULTICONDUCTOR EQUIVALENTE EN TUBERIA ENT. CANTIDAD SEGUN TABLA DE VARIABLES.

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL (BMS) SIN ESCALA

Imagen 7: Diagrama Unifilar Fuente propia, (2024).

Generar Diagrama Unifilar

Importante:

1. Se debe solicitar al departamento de informática de cada empresa las direcciones IP fijas requeridas en el sistema para los controladores para que se comuniquen bajo un protocolo IP.
2. Se recomienda que la potencia tenga respaldo de UPS para evitar pérdidas de adquisición de datos.
3. Se recomienda utilizar marcas con respaldo en el mercado y presencia local.
4. Se recomienda el análisis de ASHRAE 13.

Además:

1. La programación y pantallas no es parte del alcance de este manual. Pero se debe considerar un presupuesto para este rubro. Es implementación la debe hacer el integrador de la marca seleccionada.

Generar Tabla de Variables

Se deber hacer una tabla que contenga al menos:

1. Controlador.
2. Equipo que sirve cada controlador.
3. Etiqueta.
4. Ubicación.
5. Variables de cada equipo.
6. Unidades de medida de cada equipo.
7. Tipo de variable

Los tipos de variables pueden ser:

1. BI (entrada binara)
2. AI (entrada análoga)
3. BO (salida binaria)
4. AO (salida análoga)
5. COMS (comunicación por conexión directa a IP)

7.1

Generar Tabla de Variables

TITULO DEL PROYECTO														
Item	Controlador	Equipo	Etiqueta	Ubicación	Variable	Unidades	Tipo de Salidas					Identificador		
							BI	AI	Bo	AO	COMMS			
1	Controlador #1 Controlador Principal	Chiller	CHP	Cuarto Mecánico	Paro									
					Arranque									
					Consumo corriente	A						X		
					Alarma general									
2	Controlador #2 Controlador Secundario				Diferencial de presión	DP-1	Último Equipo	Presión	PSI		X			
					Sensor de corriente torre	CT-1	Torres Exterior	Consumo corriente	A		X			
					Temperatura de entrada torre	TE-1	Torres Exterior	Temperatura	°C		X			
					Temperatura de salida torre	TS-1	Torres Exterior	Temperatura	°C		X			
					Diferencial de presión bomba	DP-2	Cuarto Mecánico	Presión	PSI		X			
					Sensor de corriente bomba	CT-2	Cuarto Mecánico	Consumo corriente	A		X			
					Arrancador	AR-1	Cuarto Mecánico	Arranque				X		
					Paro							X		
					Medidor de Caudal de Agua	MC-1	Cuarto Mecánico	Consumo agua			X			
					Válvula Entrada Torre	V-1	Torres Exterior	Comando					X	
					Potencia						X			
					Válvula Salida Torre	V-2	Torres Exterior	Comando					X	
					Potencia						X			
					Válvula Salida Condensado	V-3	Cuarto Mecánico	Comando					X	
Potencia						X								
3	Otros Equipos	Variador de Frecuencia de Torre	VFD - Torre	Torres Exterior	Frecuencia	Hz					X			
4	Controlador #3 Controlador Secundario				Válvula Entrada Chiller	V-4	Cuarto Mecánico	Comando				X		
					Potencia				X					
					Temperatura de salida condensado	TS-2	Cuarto Mecánico	Temperatura	°C		X			
					Temperatura de entrada condensado	TE-2	Cuarto Mecánico	Temperatura	°C		X			
					Temperatura de salida agua helada	TS-3	Cuarto Mecánico	Temperatura	°C		X			
					Temperatura de entrada agua helada	TE-3	Cuarto Mecánico	Temperatura	°C		X			
					Diferencial de presión	DP-3	Cuarto Mecánico	Presión	PSI		X			
					Válvula de Comando	V-5	Cuarto Mecánico	Comando				X		
Potencia						X								
5	Otros Equipos	Variador de Bomba Primaria	VFD - Bomba	Cuarto Mecánico	Frecuencia	Hz					X			
6	Controlador #4 Controlador Secundario				Sensor de corriente bomba	CT-2	Cuarto Mecánico	Consumo corriente	A		X			
					Temperatura suministro Agua Helada	TS-4	Cuarto Mecánico	Temperatura	°C		X			
					Válvula Retroalimentación	V-6	Cuarto Mecánico	Comando				X		
					Potencia					X				
					Sensor de caudal de agua	SC-1	Cuarto Mecánico	Flujo		X				
					Temperatura de retorno agua helada	TR-1	Cuarto Mecánico	Temperatura	°C		X			
Sensor de caudal de Reposición	SC-2	Cuarto Mecánico	Flujo		X									

Se recomienda dejar una columna vacía con identificador único para programación

Imagen 8: Tabla de Variables
Fuente propia, (2024).

Ubicar Paneles y Controladores

1. Los controladores se deben colocar dentro de paneles.
2. Los paneles deben seguir las recomendaciones de UL 508A.
3. El grado de protección del panel va acorde al ambiente donde se ubique.
4. Los paneles pueden albergar uno o más controladores. Esta decisión se toma con base en la ubicación física de los elementos a monitorear / controlar.
5. Se recomienda el análisis de NFPA 79.

En el siguiente ejemplo se asumo que:

1. Las torres están en un aposento (típicamente en el exterior).
2. El Chiller en un cuarto mecánico.
3. El resto de los elementos dentro de la nave que sirven.

Por tanto, se colocan tres gabinetes según distribución.

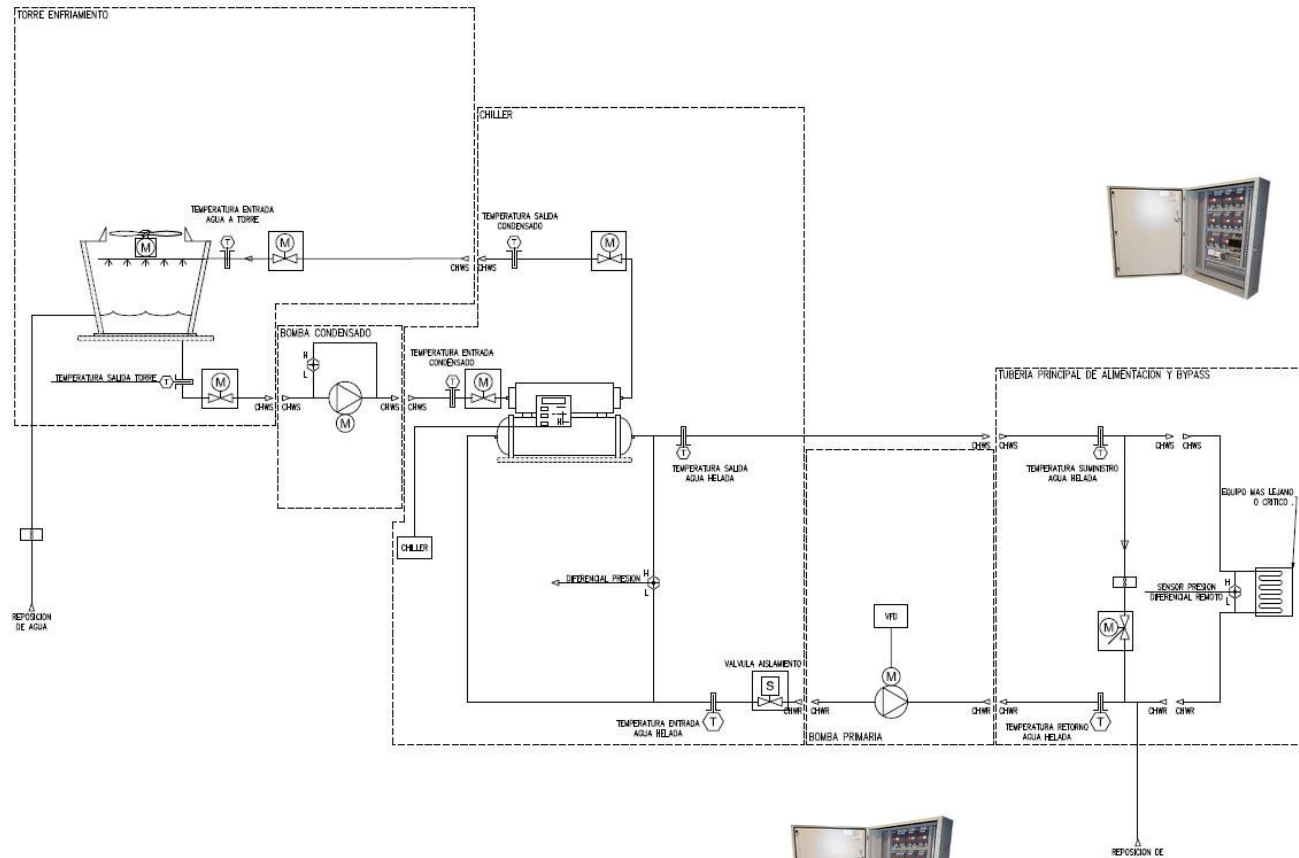
8.1

Ubicar Paneles y Controladores

GABINETE -1
CONTROLADOR #1
CONTROLADOR #2



GABINETE -3
CONTROLADOR #4



GABINETE -2
CONTROLADOR #3



Imagen 9: Ubicación de paneles de control
Fuente propia, (2024).