

UNIVERSIDAD CENTRAL

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE
EDIFICIOS (BMS) PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE
AGUA EN EL EDIFICIO DE TORRE JUDICIAL DEL PRIMER CIRCUITO JUDICIAL
SAN JOSÉ

MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA
EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

NOMBRE: FRANCISCO CASTILLO VARGAS

NOMBRE DEL TUTOR: MARIO ARCE ARRIETA

SEDE CENTRAL

OCTUBRE, 2024

CONTENIDO

CONTENIDO	2
TABLAS	4
FIGURAS	5
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.1 Planteamiento del problema	8
1.1.1 Pregunta de investigación	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo General	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 Justificación del problema	11
1.4 Antecedentes	12
1.4.1 Antecedentes Internacionales.	12
1.4.2 Antecedentes nacionales.	18
1.5 Proyecciones	23
1.5.1 Alcances	25
1.5.2 Limitaciones	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27

<i>2.1 Sistema de bombeo</i>	27
<i>2.2 Inspección y análisis de componentes críticos.</i>	28
<i>2.3 Rendimiento y eficiencia energética.</i>	31
<i>2.4 Historial de mantenimiento y fallas.</i>	32
<i>2.5 Monitoreo y control del sistema de bombeo</i>	33
<i>2.6 Propuesta de integración con el sistema de gestión de edificios (bms)</i>	35
<i>2.7 Componentes del sistema</i>	36
<i>2.7.1 Tubería de Suministro al Tanque de Captación</i>	37
<i>2.7.2 Electroválvula</i>	39
<i>2.7.3 Sensores</i>	41
<i>2.7.4 Tanque de Captación del Sistema de Bombeo</i>	42
<i>2.7.5 Tanque de captación y sensor Ultrasonico para Medición de Nivel</i>	43
<i>2.7.6 Tubería a las Bombas</i>	46
<i>2.8 Bombas y Variadores</i>	49
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	71
<i>3.1 Enfoque de la investigación</i>	71
<i>3.2 Diseño de la investigación</i>	72
<i>3.3 Fuentes de información</i>	76

TABLAS

Tabla 1. Registro de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia	32
Tabla 2. Registro de fallas. Fuente: Elaboración propia	32
Tabla 3. Componentes de la bomba. Fuente: Elaboración propia	52
Tabla 4. Resumen de los componentes en el sistema. Fuente: Elaboración propia	62
Tabla 5. Resumen de Ventajas del Bypass en Tubería Principal. Fuente: Elaboración propia	107
Tabla 6. Resumen de la bomba. Fuente: Elaboración propia	109
Tabla 7. Resumen de resultados. Fuente: Elaboración propia	111
Tabla 8. Resumen de parámetros calculados. Fuente: Elaboración propia	115
Tabla 9. Resultados de la encuesta. Fuente: Elaboración propia	118

FIGURAS

Figura 1. Tubería de traslado. Fuente: PVC	39
Figura 2. Electroválvula" NC 220 V AC Fuente: Honeywel	42
Figura 3. Tanque de captación. Fuente: Domosa	45
Figura 4. Manifold. Fuente: Domoc	53
Figura 5. Electroválvulas. Fuente: Domoc	83
Figura 6. Electrovalvula de apertura variable. Fuente: Domoc	84
Figura 7. Sensor. Fuente: Domoc	86
Figura 8. Sensor ultrasónico. Fuente: Domoc	87
Figura 9. Spyder. Fuente: Domoc	91
Figura 10. Edge de honeywell. Fuente: Domoc	93
Figura 11. Controlador. Fuente: Domoc	96
Figura 12. Sensores inalámbricos. Fuente: Domoc	99
Figura 13. Gateway. Fuente: Domoc	101
Figura 14. Gráfico 1. Fuente: Elaboración propia	119
Figura 15. Gráfico 2. Fuente: Elaboración propia	120
Figura 16. Gráfico 3. Fuente: Elaboración propia	121
Figura 17. Gráfico 4. Fuente: Elaboración propia	123
Figura 18. Gráfico 5. Fuente: Elaboración propia	124

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi esposa, cuya paciencia, amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en cada paso de este camino. Su confianza en mí y su constante motivación me han impulsado a superar cada desafío. A mis dos hijos, quienes son mi mayor inspiración y la razón por la que cada esfuerzo vale la pena, les dedico este proyecto con todo mi amor. Su alegría y compañía me han recordado siempre la importancia de la perseverancia y el compromiso. Este logro es también de ustedes.

RESUMEN

El proyecto propone la implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José, con el objetivo de optimizar los sistemas de bombeo de agua. Actualmente, la gestión de estos sistemas enfrenta serios desafíos debido a su manual de operación, lo que genera ineficiencias y riesgos para la seguridad de los ocupantes. La falta de un sistema centralizado de monitoreo y control dificulta la detección temprana de fallas y complica el mantenimiento.

La implementación del BMS permitirá integrar todos los equipos de bombeo en una plataforma centralizada, facilitando su control y monitoreo en tiempo real. Esto no solo mejorará la eficiencia operativa al automatizar los procesos, sino que también reducirá los costos de mantenimiento y garantizará un entorno seguro para todos los usuarios. Además, el BMS proporcionará una base sólida para futuras mejoras y expansiones del sistema.

El proyecto incluye la capacitación del personal, el desarrollo de un plan de implementación detallado, el establecimiento de un programa de mantenimiento preventivo y la creación de un sistema de monitoreo del desempeño. Al adoptar el BMS, el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José podrá operar de manera más eficiente y segura, asegurando la continuidad del suministro de agua y el bienestar de sus ocupantes a largo plazo.

Palabras clave : Sistema de Gestión de Edificios (BMS), optimización, bombeo de agua, eficiencia operativa, monitoreo, seguridad, mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José enfrenta desafíos significativos en la gestión y operación de sus sistemas de bombeo de agua. Estos sistemas son esenciales para el suministro de agua potable, Sin embargo, la falta de un sistema de gestión centralizado ha llevado a una serie de problemas que afectan la eficiencia operativa y la seguridad del edificio.

Actualmente, los sistemas de bombeo de agua son operados y monitoreados de manera manual, lo que resulta en una operación ineficiente y propensa a errores. El personal de mantenimiento debe realizar rondas constantes para verificar el estado de los equipos, lo cual es una tarea ardua y consume mucho tiempo. Además, la falta de un sistema centralizado de monitoreo y control dificulta la detección temprana de fallas y la implementación de medidas correctivas oportunas.

Entre los problemas identificados se encuentran:

Falta de automatización: Muchos de los equipos de bombeo no cuentan con sistemas de control automático, lo que impide su operación eficiente y aumenta el riesgo de fallas.

Monitoreo Manual: La necesidad de realizar mediciones manuales y rondas de inspección incrementa el riesgo de errores y retrasa la respuesta ante fallas.

Diversidad de Sistemas: La coexistencia de equipos antiguos y modernos dificulta la integración y el control centralizado, complicando la gestión del mantenimiento.

Carga de Trabajo: El personal de mantenimiento está sobrecargado debido a la necesidad de monitorear y operar múltiples sistemas dispersos, lo que puede llevar a descuidos y errores.

Estos problemas no solo afectan la eficiencia operativa del edificio, sino que también representan un riesgo para la seguridad y el bienestar de sus ocupantes. En un entorno judicial, donde la continuidad del servicio es crucial, cualquier interrupción en el suministro de agua puede tener consecuencias graves.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de implementar un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) que permita la optimización de los sistemas de bombeo de agua. Este sistema debe integrar todos los equipos de bombeo en una plataforma centralizada, permitiendo su control y monitoreo en tiempo real. La automatización de los equipos y la detección temprana de fallas mejorarán la eficiencia operativa, reducirán los costos de mantenimiento y garantizarán un entorno seguro y confiable para todos los usuarios del edificio.

La implementación de un BMS no solo resolverá los problemas actuales, sino que también proporcionará una base sólida para futuras mejoras y expansiones del sistema, asegurando que el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José pueda operar de manera eficiente y segura en el largo plazo.

1.1.1 Pregunta de investigación

¿Como integrar los Sistemas Electromecánicos críticos del sistema de bombeo del edificio Torre judicial, mediante un sistema de control por BMS?

1.1.2 Hipótesis asociada

La implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José permitirá optimizar la operación de los sistemas de bombeo de agua, reduciendo la dependencia del monitoreo manual, mejorando la eficiencia energética y operativa, y minimizando las fallas en el suministro de agua. Esto se logrará a través de la automatización, el control centralizado y la detección temprana de

fallas, lo que contribuirá a una mejor gestión del mantenimiento, una reducción en los costos operativos y una mayor seguridad para los ocupantes del edificio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Implementar un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) para optimizar la operación y mantenimiento de los sistemas de bombeo de agua en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José.

1.2.2 Objetivos Específicos

1.2.2.1 Realizar un diagnóstico exhaustivo del estado actual del sistema de bombeo.

1.2.2.2 Investigar y comparar diferentes tecnologías de bms que se adapten a las necesidades identificadas.

1.2.2.3 Desarrollar un esquema preliminar de la arquitectura del sistema que incluya la integración con los sistemas de bombeo existentes.

1.2.2.4 Generar el diseño de automatización para el sistema de bombeo de agua mediante la integración de equipos en una plataforma centralizada de BMS, permitiendo su control y monitoreo en tiempo real que permitiría optimizar la eficiencia operativa.

1.2.2.5 Generar indicadores clave del sistema de gestión de edificios (BMS) para identificar áreas de mejora y optimización, considerando aspectos económicos y costos del proyecto.

1.3 Justificación del problema

La implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José se justifica no solo por su capacidad para resolver las ineficiencias operativas descritas en el planteamiento del problema, sino también por su potencial para transformar la gestión de los sistemas de bombeo en un modelo más eficiente, seguro y sostenible. Esta intervención técnica representa una inversión estratégica que generará beneficios tangibles en múltiples dimensiones, desde la optimización de recursos hasta el cumplimiento de estándares internacionales.

En primer lugar, la adopción del BMS permitirá superar las limitaciones actuales derivadas de la operación manual mediante la automatización integral de los procesos. Al centralizar el monitoreo y control de los sistemas de bombeo, se reducirá significativamente la dependencia de intervenciones humanas, minimizando así errores operativos y mejorando la precisión en la detección de fallas. Esta transición hacia un modelo automatizado no solo optimizará el consumo energético, sino que también extenderá la vida útil de los equipos al evitar operaciones ineficientes o sobre exigencias mecánicas.

Desde una perspectiva institucional, la implementación del sistema adquiere especial relevancia al considerar el carácter crítico del suministro de agua en un entorno judicial. La continuidad del servicio es fundamental para garantizar el normal desarrollo de las actividades legales y la comodidad de los ocupantes del edificio. Un BMS robusto asegurará una respuesta inmediata ante eventuales fallos, evitando interrupciones que podrían afectar procedimientos sensibles o generar riesgos sanitarios. Además, la capacidad del sistema para generar datos históricos y reportes en tiempo real facilitará la planificación de mantenimientos preventivos, reduciendo así los tiempos de inactividad no programada.

La dimensión económica constituye otro pilar fundamental de esta justificación. Si bien la inversión inicial en tecnología BMS puede representar un desafío presupuestario, los ahorros operativos derivados de la eficiencia energética y la reducción de costos de mantenimiento garantizan un retorno de la inversión en un plazo razonable.

Finalmente, el abordaje del problema se alinea con las tendencias en materia de sostenibilidad y gestión inteligente de recursos. La implementación del BMS no solo responde a necesidades inmediatas de optimización, sino que también posicionará al Edificio de Torre Judicial como un referente en la adopción de tecnologías limpias y eficientes, en sintonía con normativas como la ISO 50001 y los protocolos de edificaciones sostenibles. Este aspecto resulta particularmente relevante en un contexto donde las instituciones públicas están llamadas a liderar prácticas ambientalmente responsables.

En síntesis, la justificación de este proyecto trasciende la mera corrección de deficiencias técnicas. Se trata de una iniciativa que articula avances tecnológicos, eficiencia operativa y responsabilidad institucional, asegurando no solo el funcionamiento óptimo de los sistemas de bombeo, sino también la proyección a futuro de una infraestructura resiliente y alineada con los estándares del siglo XXI.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes Internacionales.

1.4.1.1 Diseño de investigación propuesta de un sistema building management system(BMS) con una red LAN convergente para la gestión y mejora de calidad de los servicios generales del complejo inmobiliario crece, zona 4 de Mixco, Guatemala.

El documento es un trabajo de graduación titulado Propuesta de un sistema Building Management System (BMS) con una red LAN convergente para la gestión y mejora de calidad de los servicios generales del complejo inmobiliario CRECE, zona 4 de Mixco,

Guatemala. El autor, Brayan Alexander Mazariegos Mejía, presenta una propuesta para diseñar e implementar un sistema BMS que permita gestionar y mejorar la calidad de los servicios del complejo inmobiliario, optimizando el consumo de energía y los costos de mantenimiento.

Proponer un diseño de sistema Building Management System (BMS) adecuado para la gestión y mejora de calidad de los servicios generales, ahorro monetario en gastos de energía, mantenimiento y control automatizado de manera eficiente mediante una red LAN convergente para el complejo inmobiliario CRECE.

Definir la situación actual evaluar el rendimiento y los gastos monetarios excesivos de los servicios administrados por la junta directiva y el personal administrativo del complejo inmobiliario CRECE que no cuentan con un sistema BMS.

Diseñar una red LAN convergente y crear una red LAN que permita el control y la medición de los servicios del complejo inmobiliario.

Diseñar la arquitectura del sistema BMS para desarrollar la arquitectura del sistema BMS para la administración, gestión y mejora de los servicios, garantizando su funcionamiento eficiente y el ahorro de costos de energía y mantenimiento.

Entrevistas individuales y colectivas con la junta directiva y el personal administrativo para determinar los servicios bajo su administración y los problemas de consumo excesivo.

Estudio de la información obtenida para definir los equipos necesarios para la automatización y control de los servicios.

Diseño de la red LAN convergente creación de una red LAN que garantice una comunicación óptima y gestionable de los sistemas de los servicios.

Desarrollo del sistema BMS adecuado para la red y los equipos propuestos, incluyendo la selección de software y hardware necesarios.

Elaboración del presupuesto general de los equipos y recursos necesarios para implementar el sistema BMS.

Creación de un manual de usuario para el sistema BMS propuesto, dirigido al personal del complejo inmobiliario.

El aporte principal del trabajo es la propuesta de un sistema BMS que integra una red LAN convergente para gestionar y mejorar la calidad de los servicios del complejo inmobiliario CRECE, mejorar la eficiencia operativa al centralizar el control y la monitorización de todos los servicios en un solo sistema.

Aumentar la seguridad y confort al integrar sistemas de seguridad y confort, mejorando la calidad de vida de los residentes.

Optimizar el consumo energético al implementar controles automáticos que ajustan el uso de energía según las necesidades, reduciendo los costos de energía.

Facilitar la gestión y el mantenimiento al proporcionar herramientas para la detección temprana de fallas y la gestión eficiente de los servicios, reduciendo los costos de mantenimiento.

1.4.1.2 Diseño e implementación de un BMS para el mantenimiento y ahorro energético de un hospital de la región de San Martín.

El documento es un trabajo de suficiencia profesional titulado Diseño e implementación de un BMS para el mantenimiento y ahorro energético de un hospital de la región de San Martín. Este trabajo fue presentado para optar por el título profesional de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones. El proyecto se centra en el diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) para optimizar el

funcionamiento de los subsistemas de un hospital, con el objetivo de reducir los costos energéticos y mejorar la eficiencia operativa.

Diseñar e implementar la arquitectura de la red del BMS utilizando controladores y software específicos.

Integrar los diferentes subsistemas del hospital (como aire acondicionado, ventilación, subestación eléctrica, iluminación, etc.) mediante protocolos de comunicación estándar.

Implementar funciones gráficas para el monitoreo y control de los subsistemas en tiempo real. Programar códigos de control para optimizar el consumo energético.

Generar eventos de alarma para el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.

Análisis del problema y justificación del proyecto. Diseño de la arquitectura de la red del BMS, seleccionando los controladores y equipos adecuados. Implementación del sistema, que abarca desde la configuración de la red hasta la programación de los controladores y la creación de gráficos para el monitoreo. Pruebas y validación del sistema para asegurar su correcto funcionamiento. Generación de reportes y análisis de resultados para evaluar el impacto del BMS en el ahorro energético.

Optimizar el consumo energético del hospital, logrando una reducción significativa en los costos de energía. Mejorar la gestión y mantenimiento de los equipos electromecánicos, eléctricos y electrónicos del hospital. Facilitar el monitoreo y control de los subsistemas en tiempo real, proporcionando una interfaz gráfica intuitiva y fácil de usar.

Automatizar los procesos de mantenimiento, generando alarmas y reportes que ayudan a prevenir fallos y a planificar el mantenimiento de manera eficiente.

1.4.1.3 Metodología para la Aplicación de Sistemas BMS y BEMS para la Operación Eficiente de Edificios. El documento es un trabajo de grado titulado Metodología para la Aplicación de Sistemas BMS y BEMS para la Operación Eficiente de Edificios. Se enfoca en desarrollar una metodología para implementar sistemas de gestión de edificios (BMS) y sistemas de gestión de energía de edificios (BEMS) con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y energética de los edificios.

Establecer una metodología para la aplicación de sistemas BMS/BEMS para la operación eficiente de edificios.

Revisar el estado del arte y la normativa relacionada con sistemas BMS/BEMS.

Identificar y establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) para el seguimiento del desempeño energético de edificios.

Identificar estrategias aplicables a la operación y el desempeño energético de edificios a través de herramientas tipo BMS/BEMS.

Elaborar una metodología para la aplicación de soluciones BMS/BEMS como herramientas para la operación eficiente de edificios.

Validar la metodología en un proyecto existente, específicamente en el edificio Yumbo-Centro de Control NOVA de CELSIA.

Se investigaron las normativas y estándares internacionales relevantes, como la norma UNE-EN-15232 y el protocolo IPMVP.

Se analizaron estrategias de control y monitoreo para diferentes subsistemas de edificios (aire acondicionado, iluminación, bombeo, etc.).

Se estructuró una metodología en cinco fases (diseño, desarrollo de ingeniería, instalación y entrega en operación, operación del BMS/BEMS, y mantenimiento de la

eficiencia energética). La metodología se aplicó en un caso real, el edificio Yumbo-Centro de Control NOVA de CELSIA, documentando cada fase y los resultados obtenidos.

El aporte principal del trabajo es la creación de una metodología detallada y estructurada para la implementación de sistemas BMS/BEMS en edificios, con el fin de mejorar su eficiencia energética y operativa.

Guías prácticas para cada fase del proyecto, desde el diseño hasta el mantenimiento.

Estrategias específicas para la gestión y control de subsistemas críticos en edificios.

Indicadores clave de rendimiento (KPI) para el seguimiento y evaluación del desempeño energético.

Validación práctica de la metodología en un proyecto real, demostrando su aplicabilidad y efectividad. Este trabajo proporciona una base sólida para la implementación de sistemas BMS/BEMS en edificios, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia energética en el sector de la construcción.

1.4.1.4 Implementación de un sistema de gestión de edificios (BMS) para la supervisión y monitoreo de los sistemas eléctricos y de climatización en un centro de datos. El documento describe la implementación de un sistema de gestión de edificios (BMS) para la supervisión y monitoreo de los sistemas eléctricos y de climatización en un centro de datos en Guayaquil, Ecuador. El proyecto busca optimizar el manejo de la infraestructura crítica mediante la automatización de procesos para mejorar la eficiencia energética, reducir fallos y maximizar la disponibilidad de los equipos.

Implementar un BMS que permita visualizar, monitorear y gestionar el funcionamiento de los sistemas eléctricos y de climatización del centro de datos. Optimizar la eficiencia energética y la continuidad operativa mediante el monitoreo continuo. Reducir

los costos de mantenimiento, aumentar la disponibilidad de los sistemas y mejorar la seguridad operativa.

Implementación de tecnologías de automatización basadas en el protocolo Modbus RTU, Ethernet/IP, y SNMP para la comunicación entre los equipos de la red eléctrica y los sistemas de climatización. Se empleó el software SCADA CIMPLICITY para el control y monitoreo en tiempo real, junto con la implementación de redes Modbus para la adquisición de datos. Se realizaron pruebas de funcionamiento de los equipos para garantizar una correcta integración y supervisión.

El aporte principal fue el desarrollo de un sistema BMS que proporciona visibilidad completa sobre los sistemas eléctricos y de climatización del centro de datos, permitiendo la detección temprana de fallos y optimizando los procesos de mantenimiento. Esto no solo incrementó la eficiencia y seguridad, sino que también mejoró la planificación del uso energético y la gestión de la infraestructura crítica del centro de datos.

1.4.2 Antecedentes nacionales.

1.4.2.1 Propuesta de integración general de sistemas electromecánicos mediante BMS en el hospital de las mujeres Dr. Adolfo Carid Eva, para la mejora en la gestión de ingeniería y mantenimiento.

La propuesta sobre la Propuesta de integración general de sistemas electromecánicos mediante BMS en el Hospital de las Mujeres Dr. Adolfo Carid Eva, para la mejora en la gestión de ingeniería y mantenimiento. Josué Rivera Jiménez, presenta una propuesta para implementar un sistema de gestión de edificios (BMS) en un hospital público con el objetivo de mejorar la gestión y el mantenimiento de los sistemas electromecánicos.

Integrar los sistemas electromecánicos del Hospital de las Mujeres Dr. Adolfo Carid Eva mediante un sistema BMS.

Investigar el funcionamiento de edificios inteligentes mediante BMS, valorando tecnologías en el mercado nacional que se adecuen a los sistemas del hospital.

Realizar un estudio general de sistemas y equipos electromecánicos, considerando la criticidad y áreas de cobertura en el hospital.

Evaluar la viabilidad del proyecto, estimando costos y limitaciones a causa de la infraestructura actual.

Recopilación de información: Consulta bibliográfica, estudio de normativa vigente, y recopilación de parámetros importantes para la eficiencia en sistemas de control.

Estudio de sistemas instalados: Levantamiento de equipos y sistemas en el hospital, clasificación según criticidad y área de cobertura, y análisis del estado de los equipos.

Búsqueda de proveedores: Contacto con empresas nacionales, visitas al sitio con ingenieros expertos, y visitas a proyectos similares.

Análisis de información: Evaluación del comportamiento de los sistemas y análisis de posibles ahorros y mejoras.

Estudio de factibilidad: Demostración de la viabilidad del proyecto, estimación de costos y estrategias de adquisición.

El aporte principal del trabajo es la propuesta de un sistema BMS para el Hospital de las Mujeres Dr. Adolfo Carid Eva, que busca:

Mejorar la gestión y el mantenimiento de los sistemas electromecánicos del hospital.

Aumentar la eficiencia energética y operativa.

Proporcionar un entorno más seguro y confortable para los usuarios del hospital.

Centralizar y automatizar la supervisión de los sistemas críticos, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente a las averías y emergencias.

1.4.2.2 Diseño y desarrollo de un sistema de domótica para la empresa tecnológica de Costa Rica s.a.

El documento es un informe de proyecto de graduación titulado Diseño y desarrollo de un sistema de domótica para la empresa Tecnológica de Costa Rica S.A. Javier Enrique Brenes Alfaro, presenta el diseño e implementación de un sistema de automatización de edificios (BMS) que integra el sistema de seguridad existente de la empresa con un sistema de control de acceso y otros dispositivos de automatización.

Diseñar e implementar un sistema capaz de integrar una serie de protocolos de comunicación y dispositivos de control que permitan llevar a cabo tareas propias de la automatización de edificios.

Hardware Integrar la lectora de control de acceso LNL-1320 (LENEL OnGuard®) al dispositivo controlador WACI NX+ (Aurora Multimedia) para el manejo de las entradas y salidas del sistema.

Configurar y programar el dispositivo central de control WACI NX+ para que opere bajo el control del sistema de seguridad Lenel OnGuard®.

Implementar los protocolos necesarios para la comunicación de los dispositivos entrada/salida con la unidad central de control.

Diseñar la interfaz de usuario para el manejo de los elementos instalados.

Documentación para desarrollar el manual de usuario para la utilización del software de control.

Implementación de la solución en las instalaciones de la empresa Tecnológica de Costa Rica.

Recopilación de información investigación bibliográfica y consultas con expertos para determinar las características técnicas de los elementos involucrados.

Estudio de soluciones y evaluación de diferentes alternativas de hardware y software, incluyendo simulaciones y pruebas controladas.

Desarrollo de la solución implementación del hardware y software, incluyendo la configuración de la comunicación con bases de datos mediante ODBC y el desarrollo de una aplicación en Visual Basic.

Pruebas y ajustes realización de pruebas de campo para verificar el correcto funcionamiento del sistema y ajustes según los resultados obtenidos.

El aporte principal del trabajo es el desarrollo de un sistema de domótica que integra el sistema de seguridad existente con un sistema de automatización de edificios.

Mejorar la eficiencia operativa al centralizar el control de diferentes sistemas (iluminación, aire acondicionado, etc.) y permitir su gestión desde una única interfaz.

Aumentar la seguridad al integrar el control de acceso con otros sistemas de automatización, mejorando la capacidad de respuesta ante eventos de seguridad.

Optimizar el consumo energético al implementar controles automáticos que ajustan el uso de energía según la presencia de personas y otros factores.

Facilitar la gestión al proporcionar una interfaz de usuario intuitiva y un manual de usuario detallado para la configuración y operación del sistema.

1.4.2.3 Integración de sistemas de administración de edificios.

El documento es un informe de proyecto de graduación titulado Integración de sistemas de administración de edificios. Presenta el diseño e implementación de la integración de un sistema de intrusión Honeywell Vista 128-FBP a un Sistema de Administración de Edificios (SAE) utilizando el controlador NetController II y el software Continuum de Schneider Electric.

Integrar el sistema de intrusión “Honeywell Vista 128FBP” a un Sistema de Administración de Edificios (SAE), mediante un diseño reutilizable que facilite su integración a cualquier otro SAE utilizando cualquier controlador de la marca TAC.

Escoger el puerto y protocolo idóneo seleccionar el puerto y protocolo de comunicación más adecuado para la integración.

Diseñar e implementar la integración crear un diseño que permita la integración del sistema de intrusión Vista 128FBP con cualquier controlador TAC de un SAE.

Implementar la integración física conectar físicamente el sistema Honeywell al controlador del SAE utilizando los puertos y protocolos seleccionados.

Desarrollar una interfaz de usuario para crear una interfaz en el programa principal del SAE que permita la monitorización y visualización de todas las variables del sistema Honeywell.

Reconocimiento y definición del problema identificación de la disconformidad de los clientes con la falta de integración del sistema de intrusión en los SAE.

Obtención y análisis de información investigación preliminar a través de búsquedas en Internet, consultas con expertos y revisión de folletos de capacitación.

Evaluación de alternativas y síntesis de la solución selección del controlador NetController II y del protocolo RS-232 para la comunicación, basándose en la eficiencia y compatibilidad.

Implementación de la solución conexión física del panel Vista 128-FBP con el módulo de comunicación VA8201 y el controlador NetController II, configuración del software Continuum y desarrollo de programas en Plain English para interpretar y mostrar la información en una interfaz de usuario.

El aporte principal del trabajo es la integración del sistema de intrusión Honeywell Vista 128-FBP a un Sistema de Administración de Edificios (SAE), permitiendo:

Mejorar la eficiencia operativa al centralizar el control y la monitorización de todos los sistemas eléctricos del edificio en un solo panel.

Aumentar la seguridad al integrar el sistema de intrusión con otros sistemas de control del edificio, facilitando una respuesta rápida y coordinada ante eventos de seguridad.

Optimizar el tiempo de gestión al permitir que las tareas de control y monitorización se realicen de manera más rápida y sencilla desde una única interfaz.

Reutilización del diseño el diseño es reutilizable y puede adaptarse a otros modelos de paneles de intrusión Honeywell y diferentes controladores TAC, lo que facilita su implementación en diversos proyectos.

1.5 Proyecciones

En este estudio, se proyecta la propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) para optimizar los sistemas de bombeo de agua en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José. Las proyecciones incluyen un análisis detallado del estado actual de los sistemas, la investigación de tecnologías adecuadas, el desarrollo de un esquema preliminar de la arquitectura del sistema, y el diseño de la automatización necesaria. Además, se identificarán los obstáculos potenciales y se definirán los límites del estudio, excluyendo la puesta en marcha y la operación a largo plazo del sistema.

La frontera de nuestro trabajo se establece hasta la propuesta de implementación del sistema de gestión de edificios (BMS) para la optimización de los sistemas de bombeo de

agua en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José.

- ✓ Se espera obtener un informe detallado sobre el estado actual de los sistemas de bombeo del edificio, incluyendo su capacidad operativa, nivel de desgaste, eficiencia energética y vulnerabilidades. Esto permitirá identificar las principales deficiencias y establecer los requisitos técnicos necesarios para su optimización a través de la implementación del BMS.
- ✓ Como resultado de esta investigación, se generará un análisis comparativo de distintas soluciones de BMS disponibles en el mercado, considerando factores como compatibilidad con los sistemas de bombeo existentes, facilidad de implementación, costos y beneficios operacionales. Esta evaluación servirá como base para la selección de la mejor tecnología para el proyecto.
- ✓ Se proyecta la elaboración de un esquema funcional que detalle la estructura del BMS, mostrando cómo se integrarán los equipos de bombeo actuales con los nuevos sistemas de automatización y control. Esto incluye diagramas de conexión, protocolos de comunicación y requisitos de hardware y software, sentando las bases para la implementación del sistema.
- ✓ Se espera desarrollar un diseño de automatización que contemple la configuración de sensores, actuadores y sistemas de comunicación que permitan la operación y supervisión en tiempo real de los sistemas de bombeo. Con esta implementación, se optimizará el consumo energético, se reducirá la carga operativa del personal de mantenimiento y se minimizarán los tiempos de respuesta ante fallas o anomalías.

- ✓ El resultado esperado es la definición de un conjunto de indicadores de desempeño que permitirán evaluar la eficiencia del sistema de bombeo bajo el nuevo esquema de gestión. Estos indicadores incluyen métricas de consumo energético, reducción de costos operativos, tiempos de respuesta ante fallas y nivel de automatización logrado. Su análisis servirá para la mejora continua del sistema y la toma de decisiones informadas sobre futuras optimizaciones.

1.5.1 Alcances

- ✓ Realizar un análisis detallado del estado actual de los sistemas de bombeo de agua, identificando las áreas críticas que requieren mejoras.
- ✓ Investigar y comparar diferentes tecnologías de BMS que se adapten a las necesidades específicas del edificio, asegurando la selección de la solución más adecuada.
- ✓ Desarrollar un esquema preliminar de la arquitectura del sistema BMS, incluyendo la integración con los sistemas de bombeo existentes para asegurar una transición fluida y eficiente.
- ✓ Diseñar e implementar la automatización de los sistemas de bombeo de agua, permitiendo su control y monitoreo en tiempo real a través de una plataforma centralizada.
- ✓ Crear indicadores clave de rendimiento para el sistema BMS, que permitan identificar áreas de mejora y optimización, considerando también los aspectos económicos y costos del proyecto.

- ✓ Optimizar la eficiencia operativa de los sistemas de bombeo, reduciendo los costos de mantenimiento y mejorando la seguridad y confort de los usuarios del edificio.
- ✓ Capacitar al personal de mantenimiento en el uso y gestión del nuevo sistema BMS, asegurando una operación continua y eficiente.

1.5.2 Limitaciones

- ✓ La coexistencia de equipos antiguos y modernos puede dificultar la integración y el control centralizado, requiriendo posibles actualizaciones o reemplazos de equipos.
- ✓ La implementación del sistema BMS puede requerir una inversión significativa, lo que podría limitar el alcance del proyecto si no se dispone de los recursos financieros necesarios.
- ✓ El personal de mantenimiento necesitará tiempo para adaptarse al nuevo sistema y recibir la capacitación adecuada, lo que podría afectar temporalmente la eficiencia operativa.
- ✓ Durante la fase de implementación, puede haber interrupciones en la operación normal de los sistemas de bombeo, lo que podría afectar temporalmente el suministro de agua.
- ✓ La dependencia de la tecnología BMS implica que cualquier fallo en el sistema podría tener un impacto significativo en la operación del edificio, requiriendo planes de contingencia robustos.
- ✓ El sistema BMS requerirá un mantenimiento continuo y especializado, lo que podría aumentar los costos operativos a largo plazo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo del Edificio de la Torre Judicial del Primer Circuito Judicial de San José cuenta con una infraestructura mecánica que, aunque incorpora variadores de frecuencia (VFD, por sus siglas en inglés) para el control de velocidad de los motores, carece de una integración más avanzada con sistemas automatizados y plataformas de monitoreo centralizado. Los variadores permiten cierta optimización en términos de consumo energético al ajustar la velocidad de las bombas a las demandas del sistema (Ballester & Pérez, 2015). Sin embargo, esta capacidad no se aprovecha al máximo debido a la ausencia de sensores avanzados (Blasco & García, 2016).

Aunque los variadores de frecuencia representan un avance significativo en comparación con sistemas completamente mecánicos, la infraestructura actual sigue enfrentando limitaciones importantes. La configuración del sistema no contempla la integración de tecnologías de monitoreo continuo, como sensores de presión, caudalímetros o sistemas de diagnóstico predictivo, que son esenciales para detectar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas. Como resultado, el personal de mantenimiento sigue dependiendo de los manuales de inspecciones para evaluar el estado de los equipos, lo que aumenta la probabilidad de errores humanos y retrasa la implementación de acciones correctivas oportunas.

Desde mi perspectiva energética, los variadores de frecuencia contribuyen a una mayor eficiencia operativa en comparación con sistemas de velocidad fija, permitiendo una modulación dinámica de las bombas en función de la demanda. Sin embargo, el impacto positivo de esta tecnología se ve reducido por la falta de coordinación entre los diferentes componentes del sistema, lo que resulta en ineficiencias operativas y en una carga adicional

para el equipo mecánico. Por ejemplo, la falta de datos precisos en tiempo real dificulta la implementación de estrategias avanzadas de ahorro energético, como la programación de ciclos operativos basados en patrones históricos.

En cuanto a la sostenibilidad, la infraestructura existente no está diseñada para cumplir con los estándares modernos de edificios inteligentes, que requieren sistemas integrados capaces de reducir el consumo energético, así como fallas en el sistema.

Por último, la seguridad del sistema sigue siendo un área crítica de mejora. Aunque los variadores de frecuencia permiten un control más preciso de las bombas, la falta de sistemas de alarma temprana, monitoreo remoto y análisis predictivo aumenta el riesgo de fallas no detectadas que podrían escalar a eventos mayores, como sobrecargas eléctricas, fallas hidráulicas o daños estructurales. Esto no solo afecta la confiabilidad del sistema, sino que también genera incertidumbre tanto para los operadores como para los usuarios del edificio.

El sistema de bombeo del Edificio de la Torre Judicial, a pesar de contar con variadores de frecuencia, requiere una modernización integral que incluya sensores avanzados, monitoreo en tiempo real y una plataforma centralizada de gestión. Estas mejoras permitirían maximizar los beneficios de los VFD, optimizar el desempeño energético, incrementar la seguridad operativa y garantizar la continuidad del suministro de agua en el edificio.

2.2 Inspección y análisis de componentes críticos.

La inspección y análisis de los componentes críticos de los sistemas de bombeo en el Edificio de la Torre Judicial del Primer Circuito Judicial de San José es un paso fundamental para establecer una base sólida en la implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS). Este proceso requiere un enfoque técnico exhaustivo que permita evaluar el estado

actual de los equipos, identificar limitaciones operativas y definir las acciones correctivas necesarias para garantizar la integración óptima de los sistemas (Martínez, 2016).

El sistema de bombeo se compone de diversos equipos y subsistemas, cada uno de los cuales desempeña un rol esencial en el suministro continuo y eficiente de agua. Las bombas centrífugas principales son evaluadas considerando su capacidad nominal y desempeño actual frente a las demandas hidráulicas del edificio. Se realiza una inspección física para identificar signos de desgaste en el impulsor, el sello mecánico y los cojinetes, que podrían comprometer la eficiencia y la vida útil del equipo. También se miden parámetros clave, como presión de succión, presión de descarga, caudal y consumo energético, para determinar el rendimiento real comparado con los valores nominales especificados por el fabricante.

En cuanto a los variadores de frecuencia (VFD), se verifica su configuración para optimizar el control de velocidad y reducir el consumo energético durante períodos de baja demanda. Además, se analiza su compatibilidad con sistemas de monitoreo remoto y su capacidad para integrarse a la plataforma BMS. El diagnóstico incluye la identificación de fallas comunes, como sobrecargas, picos de tensión o problemas de disipación térmica, que puedan afectar su desempeño.

Por otra parte, se lleva a cabo una inspección técnica de las tuberías, válvulas y accesorios para detectar corrosión, fugas, obstrucciones o deterioro en las juntas. Asimismo, se evalúa el dimensionamiento hidráulico para asegurar que las pérdidas de carga sean mínimas y compatibles con la capacidad de las bombas, mientras que la funcionalidad de las válvulas de retención, alivio y control es revisada para garantizar su operación eficiente.

El sistema eléctrico de alimentación también es objeto de un análisis detallado, incluyendo la revisión de la calidad del suministro eléctrico mediante mediciones de tensión,

corriente y factor de potencia en condiciones de operación. Se inspeccionan los tableros eléctricos y protecciones asociadas, como fusibles, interruptores termomagnéticos y diferenciales, para identificar posibles fallos que afecten la continuidad del servicio. Además, se buscan riesgos eléctricos, como conexiones sueltas, sobrecalentamientos o aislamiento deteriorado.

El diagnóstico de compatibilidad con tecnologías avanzadas es otra área clave de análisis. Se evalúa la capacidad del sistema actual para incorporar sensores avanzados y dispositivos de monitoreo que permitan una integración eficiente con el BMS. Esto incluye la instalación y compatibilidad de sensores de presión, caudalímetros ultrasónicos y termómetros digitales, además del análisis de protocolos de comunicación existentes, como Modbus, BACnet o Ethernet/IP, para determinar su compatibilidad con la arquitectura del sistema BMS propuesto.

El análisis también considera el impacto operativo del estado actual de los componentes críticos y los riesgos asociados. Se evalúa cómo las condiciones actuales afectan la operación general del sistema, identificando áreas que representan mayores riesgos para la eficiencia operativa y la seguridad. Esto incluye la evaluación del riesgo de interrupciones en el suministro de agua debido a fallas mecánicas o eléctricas, así como la identificación de puntos únicos de fallo que podrían comprometer la operación de todo el sistema. Adicionalmente, se realiza un cálculo de la eficiencia energética actual del sistema, considerando las curvas de rendimiento de las bombas y las características de los VFD, junto con el análisis de los patrones de consumo energético en comparación con las demandas hidráulicas del edificio.

Desde el punto de vista de la seguridad, se evalúan las protecciones existentes contra sobrepresión, caídas de tensión y otros eventos críticos. También se identifican condiciones

inseguras para el personal de mantenimiento, como falta de señalización, puntos calientes o accesos limitados.

El resultado de esta inspección técnica permitirá desarrollar un diagnóstico detallado sobre las condiciones actuales del sistema de bombeo. Esto incluirá la identificación de componentes que requieren reemplazo, actualización o mantenimiento correctivo, así como recomendaciones específicas para su modernización. Además, este análisis proporcionará las bases para definir los requerimientos técnicos de los equipos y sensores necesarios para la integración con el BMS, asegurando una transición eficiente hacia un sistema automatizado y optimizado.

2.3 Rendimiento y eficiencia energética.

El análisis del rendimiento y la eficiencia energética del sistema de bombeo en el Edificio de la Torre Judicial del Primer Circuito Judicial de San José tiene como objetivo identificar las oportunidades de mejora y optimización en el consumo energético, así como evaluar el desempeño actual de los equipos en términos de su relación entre insumos y resultados operativos.

Actualmente, el sistema de bombeo incorpora variadores de frecuencia (VFD), los cuales son fundamentales para modular la velocidad de las bombas en función de la demanda del edificio. Sin embargo, el potencial de ahorro energético y mejora operativa de estos dispositivos no se aprovecha en su totalidad debido a la falta de un monitoreo y control centralizado. Esto genera un funcionamiento ineficiente, ya que las bombas pueden operar en rangos de velocidad no óptimos o bajo condiciones de sobrecarga.

La infraestructura existente carece de sensores avanzados, como medidores de caudal, sensores de presión y termómetros digitales, que son esenciales para proporcionar datos en

tiempo real. Esto impide implementar estrategias más avanzadas de gestión energética, tales como la programación de ciclos de operación basados en patrones históricos o la identificación temprana de puntos críticos de consumo excesivo.

2.4 Historial de mantenimiento y fallas.

La Tabla 1 detalla que, de las tres intervenciones de mantenimiento registradas, dos fueron preventivas (revisión general y limpieza de filtros), sin detectarse anomalías, mientras que la única acción correctiva reemplazo de una bomba respondió a una obstrucción mecánica. Esto indica que las inspecciones programadas reducen riesgos operativos.

Tabla 1

Registro de mantenimiento.

Fecha	Tipo de Mantenimiento	Descripción	Responsable	Observaciones
12 octubre 2024	Preventivo	Revisión general del sistema	Esteban Muñoz	Sin anomalías detectadas
29 octubre 2024	Correctivo	Reemplazo de bomba defectuosa	Esteban Muñoz	Se reportó fallo en la bomba
16 diciembre 2024	Preventivo	Limpieza de filtros	Esteban Muñoz	Filtros en buen estado

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 registra tres fallas principales en el sistema: una obstrucción en la bomba (4 horas de inactividad), una fuga en tuberías (2 horas) y un sensor defectuoso (1 hora). Estos eventos demuestran que los problemas mecánicos generan mayores tiempos de parada que los eléctricos

Tabla 2

Registro de fallas.

Fecha	Descripción de la Falla	Causa Identificada	Acción Tomada	Tiempo de Inactividad (horas)
29 octubre 2024	Falla en la bomba principal	Obstrucción en la entrada	Desobstrucción y reparación	4
03 noviembre 2024	Pérdida de presión en el sistema	Fuga en la tubería	Reparación de tubería	2
16 diciembre 2024	Alarmas de sobrecalentamiento	Sensor defectuoso	Reemplazo del sensor	1

Fuente: Elaboración propia

Análisis y Observaciones

- ✓ Tendencias: Identificar patrones en las fallas y mantenimientos realizados.
- ✓ Eficiencia: Evaluar si el tiempo de inactividad ha disminuido tras la implementación del BMS.
- ✓ Recomendaciones: Sugerir mejoras basadas en el análisis, como actualizaciones tecnológicas o cambios en los procedimientos de mantenimiento.

2.5 Monitoreo y control del sistema de bombeo

Sistemas de monitoreo existentes.

El monitoreo y control del sistema de bombeo en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José es esencial para garantizar la eficiencia operativa y la seguridad del suministro de agua. Actualmente, se identifican las siguientes tecnologías y sistemas de monitoreo que podrían ser implementados o mejorados:

Monitoreo Manual: Actualmente, el sistema de bombeo es operado y monitoreado manualmente, lo que implica rondas constantes por parte del personal de mantenimiento para

verificar el estado de los equipos. Este método es propenso a errores y consume tiempo valioso.

Sensores de Presión y Flujo: Se pueden instalar sensores que midan la presión y el flujo del agua en tiempo real. Estos sensores permiten detectar anomalías en el funcionamiento del sistema, como caídas de presión que podrían indicar fugas o fallas en las bombas (Hay & Goonetilleke, 2015).

Controladores Lógicos Programables (PLC): La integración de PLC en el sistema de bombeo facilita la automatización del control (Choudhary & Kalawsky, 2019). Estos dispositivos pueden programarse para activar o desactivar bombas según parámetros predefinidos, mejorando la respuesta ante cambios en la demanda (Hong & D'Oca, 2015).

Automatización y control remoto: La propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José busca optimizar los sistemas de bombeo de agua, que son esenciales para el suministro de agua potable. Actualmente, estos sistemas son operados y monitoreados manualmente, lo que resulta en ineficiencias y un alto riesgo de errores. La falta de automatización y la diversidad de equipos dificultan la integración y el control centralizado, lo que sobrecarga al personal de mantenimiento y aumenta el riesgo de fallas. La necesidad de un sistema centralizado es evidente, ya que la operación manual no solo es ineficiente, sino que también puede comprometer la seguridad y el bienestar de los ocupantes del edificio. En un entorno judicial, donde la continuidad del servicio es crucial, cualquier interrupción en el suministro de agua puede tener consecuencias graves. Por lo tanto, se plantea la implementación de un BMS que permita integrar todos los equipos de bombeo en una plataforma centralizada para su control y monitoreo en tiempo real. Esto mejorará la eficiencia operativa, reducirá los costos de mantenimiento y garantizará un entorno seguro y confiable (Karamouzis & Stojanovic,

2020). La automatización permitirá una detección temprana de fallas, lo que facilitará una respuesta rápida ante problemas operativos (Goetz, 2018). Además, se espera que la implementación del BMS reduzca la carga de trabajo del personal de mantenimiento, permitiéndoles enfocarse en tareas más críticas y estratégicas. Esta solución no solo resolverá los problemas actuales, sino que también proporcionará una base sólida para futuras mejoras y expansiones del sistema. La justificación para esta implementación radica en varios beneficios clave: mejora en la eficiencia operativa al reducir la necesidad de monitoreo manual; garantía de un suministro continuo y confiable; reducción significativa en los costos operativos; optimización del consumo energético; y mejora en la seguridad y confort del entorno. La propuesta se fundamenta en antecedentes internacionales que demuestran el éxito de sistemas similares en diferentes contextos, lo que refuerza la viabilidad y efectividad del BMS para el edificio judicial.

2.6 Propuesta de integración con el sistema de gestión de edificios (bms)

La propuesta de integración de los sistemas electromecánicos críticos del sistema de bombeo en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José mediante un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) se fundamenta en la necesidad de optimizar la operación y el mantenimiento de estos sistemas. La implementación del BMS permitirá centralizar el control y monitoreo, facilitando una gestión más eficiente y efectiva. La integración comenzará con un diagnóstico exhaustivo del estado actual del sistema de bombeo, identificando las áreas que requieren automatización y las tecnologías disponibles que se adapten a las necesidades específicas del edificio.

Se llevará a cabo una investigación comparativa de diferentes soluciones BMS, evaluando su capacidad para integrarse con los equipos existentes y su potencial para mejorar

la eficiencia operativa. Una vez seleccionada la tecnología adecuada, se desarrollará un esquema preliminar de la arquitectura del sistema BMS. Este esquema incluirá la interconexión de todos los equipos de bombeo a una plataforma centralizada, lo que permitirá su control y monitoreo en tiempo real. La automatización de los sistemas permitirá la detección temprana de fallas, lo que reducirá el tiempo de inactividad y los costos asociados con el mantenimiento correctivo. La propuesta también contempla la generación de indicadores clave que facilitarán la identificación de áreas de mejora y optimización.

Estos indicadores permitirán evaluar el rendimiento del sistema, asegurando que se cumplan los objetivos económicos y operativos establecidos. Además, se considerarán las mejores prácticas basadas en antecedentes internacionales sobre la implementación de BMS en diferentes contextos, como hospitales y complejos inmobiliarios. Estas experiencias previas servirán como guía para asegurar una integración exitosa y eficiente. En resumen, la integración del sistema de bombeo con un BMS no solo resolverá los problemas actuales relacionados con la operación manual y dispersa, sino que también proporcionará una base sólida para futuras mejoras. Esto garantizará un suministro continuo y confiable de agua, optimizando recursos y mejorando la seguridad y confort del entorno judicial. La implementación efectiva del BMS contribuirá a una operación más eficiente y sostenible a largo plazo

2.7 Componentes del sistema

El edificio donde se implementará el Sistema de Gestión de Edificios (BMS) es una estructura de cinco niveles, lo que implica una distribución vertical del sistema de suministro de agua. Esta configuración requiere un sistema de bombeo eficiente para garantizar una distribución uniforme y estable del recurso hídrico en todos los pisos.

2.7.1 Tubería de Suministro al Tanque de Captación

La tubería de suministro es el conducto principal encargado de transportar el agua desde la fuente hasta el tanque de captación del edificio. Su correcto dimensionamiento es fundamental para garantizar un flujo adecuado y evitar problemas como pérdidas de presión o cavitación. La automatización de este sistema permitirá optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia operativa del edificio.

Para la implementación de la tubería de suministro, se deben considerar materiales resistentes a la presión, corrosión y cambios de temperatura. Algunas de las opciones más utilizadas en sistemas de bombeo son:

- Polietileno de Alta Densidad (HDPE): Ofrece alta resistencia mecánica y química, flexibilidad y larga vida útil. Es ideal para conducción de agua potable en sistemas de alta presión (Hernández & López, 2020; Sípack CR, 2020).
- PVC (Policloruro de Vinilo): Material liviano, resistente a la corrosión y fácil de instalar. Adecuado para sistemas de agua fría y con presiones moderadas (Martínez, 2016).
- Acero Galvanizado: Aunque menos utilizado en la actualidad debido a su susceptibilidad a la corrosión, es una opción viable para aplicaciones en alta presión y con recubrimientos internos anticorrosivos (Domínguez, 2018).
- Cobre: Utilizado en instalaciones de alta calidad, aunque su costo es elevado. Destaca por su durabilidad y resistencia a temperaturas extremas Pérez & Hernández (2018).

El diámetro de la tubería debe calcularse en función del caudal necesario y la presión de operación. Los factores clave a considerar incluyen:

- Caudal de Diseño: Se determina según el consumo esperado en el edificio y la demanda simultánea de agua.
- Presión de Operación: Debe ser suficiente para garantizar el llenado eficiente del tanque de captación sin sobrecargar la bomba ni generar cavitación.
- Pérdidas de Carga: Se deben evaluar las pérdidas por fricción y accesorios (válvulas, codos, uniones) para dimensionar correctamente la tubería.

La tubería de suministro estará conectada a la red principal de abastecimiento y transportará el agua hasta el tanque de captación del edificio. Su integración con el sistema de bombeo y el BMS incluye:

- Instalación de una electroválvula: Permitirá la regulación automática del flujo de agua, optimizando su distribución y reduciendo el desperdicio.
- Sensores de flujo, presión y temperatura: Monitorearán en tiempo real el estado del sistema y enviarán datos al BMS para el control inteligente del bombeo.
- Aislamiento térmico (si es necesario): En caso de condiciones extremas de temperatura, se podrá aplicar aislamiento a las tuberías para evitar pérdidas de calor o congelamiento.

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de tuberías, se debe implementar un plan de mantenimiento periódico que incluya inspecciones visuales, pruebas de presión y limpieza interna para evitar acumulaciones de sedimentos o corrosión.

La implementación de un diseño eficiente y automatizado asegurará un suministro confiable de agua al tanque de captación, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia energética del edificio.

Figura 1

Tubería de traslado.



Fuente: PVC (2024)

2.7.2 Electroválvula

Una electroválvula es un dispositivo electromecánico que regula el paso del agua a través de la tubería en función de señales eléctricas enviadas desde el sistema de control (Hong & D'Oca, 2015). Su integración en el BMS permitirá la automatización del flujo de agua, mejorando la eficiencia energética y reduciendo intervenciones manuales (Choudhary & Kalawsky, 2019). Modelos como la Honeywell MS8105A1030 (2" NC 220V AC) destacan por su torque de 5 Nm y compatibilidad con altas presiones, ideales para sistemas críticos (Ballester & Pérez, 2015). Asegurando una distribución eficiente y la posibilidad de programar su apertura o cierre según la demanda del edificio.

Una electroválvula es un dispositivo electromecánico que controla el flujo de líquidos o gases mediante una señal eléctrica. La designación 2" NC 220V AC indica sus características clave:

- 2": Se refiere al diámetro nominal de la rosca de conexión, en este caso, 2 pulgadas.
- NC (Normalmente Cerrada): Significa que la válvula permanece cerrada cuando no recibe corriente y solo se abre cuando se energiza.

En el sistema de gestión de bombeo de agua del edificio, esta electroválvula se utilizará para controlar automáticamente el flujo de agua hacia el tanque de captación, activándose o cerrándose según el nivel del agua y las órdenes del Sistema de Gestión de Edificios (BMS).

- Tipo: Electroválvula solenoide normalmente cerrada.
- Voltaje de operación: 24V AC.
- Material del cuerpo: Latón o acero inoxidable (según especificación del fabricante).
- Rango de presión de trabajo: Aproximadamente 0.1 a 10 bar.
- Conexión hidráulica: Rosca de 2 de pulgada (NPT o BSP según norma).
- Consumo de energía: Dependiendo del modelo, puede variar entre 5W y 20W.

La electroválvula será controlada por el Sistema de Gestión de Edificios (BMS) de la siguiente manera:

- Se abrirá cuando el sensor ultrasónico del tanque de captación detecte un nivel bajo de agua, permitiendo el llenado del tanque.
- Se cerrará automáticamente cuando el tanque alcance su nivel óptimo, evitando sobrellenado y desperdicio de agua.

- Se activarán alertas en caso de fallas o mal funcionamiento de la electroválvula.
- ✓ Automatización del llenado del tanque de captación.
 - ✓ Reducción del desperdicio de agua y consumo energético.
 - ✓ Prevención de fallas por sobrellenado o falta de agua.
 - ✓ Mayor eficiencia operativa en el sistema de bombeo.

Figura 2

Electroválvula" NC 220 V AC



Fuente: Honeywel (2013)

2.7.3 Sensores

La implementación de sensores es clave para el monitoreo en tiempo real del sistema de bombeo, permitiendo la detección temprana de fallas y optimización energética

(Hay & Goonetilleke, 2015; Karamouzis & Stojanovic, 2020). Estos dispositivos capturan datos relevantes y los transmiten al BMS para su análisis y control automático:

- Sensor de flujo: Mide la cantidad de agua que circula por la tubería en un período determinado, permitiendo evaluar el desempeño del sistema de bombeo y detectar posibles obstrucciones o fugas (Ballester & Pérez, 2015).
- Sensor de presión: Registra la presión del agua para asegurar rangos operativos seguros, evitando daños por sobrepresión (Choudhary & Kalawsky, 2019).
- Sensor de temperatura: Monitorea anomalías térmicas que podrían indicar fallas mecánicas o eléctricas (Goetz, 2018).

2.7.4 Tanque de Captación del Sistema de Bombeo

El tanque de captación es un componente clave en el sistema de bombeo de agua, ya que actúa como un reservorio intermedio que almacena el agua antes de ser distribuida a diferentes puntos del edificio (Pérez & Hernández, 2018). Su función principal es garantizar una reserva suficiente para el abastecimiento continuo, evitando interrupciones en el suministro debido a variaciones en la presión de la red de abastecimiento o fallas en la bomba (Domínguez, 2018).

El tanque debe cumplir con ciertas características para asegurar su eficiencia y durabilidad en el sistema:

Capacidad de almacenamiento: Se dimensionará en función del consumo de agua del edificio y la demanda diaria, garantizando un suministro suficiente incluso en caso de cortes temporales en la red de abastecimiento (Martínez, 2016).

Material de construcción: Puede ser de polietileno de alta densidad (HDPE), fibra de vidrio o acero inoxidable, dependiendo de los requerimientos del proyecto. Se priorizarán materiales resistentes a la corrosión y aptos para agua potable (Navarro, 2015; Rivas & López, 2016).

Forma y ubicación: La geometría del tanque (cilíndrico o rectangular) dependerá del espacio disponible en la infraestructura del edificio. Se ubicará en un área de fácil acceso para mantenimiento y monitoreo (Ballester & Pérez, 2015).

Conexiones hidráulicas: Se integrarán tuberías de entrada y salida, además de un sistema de rebose para evitar desbordamientos y una válvula de drenaje para facilitar la limpieza y mantenimiento (Sánchez & Paredes, 2019).

2.7.5 Tanque de captación y sensor Ultrasonico para Medición de Nivel

El tanque de captación estará equipado con un sensor ultrasónico, que permitirá la medición del nivel de agua en tiempo real y su integración con el Sistema de Gestión de Edificios (BMS) (Hong & D'Oca, 2015; Karamouzis & Stojanovic, 2020).

¿Cómo funciona el sensor ultrasónico?

- ✓ Emite pulsos de ultrasonido hacia la superficie del agua (Ballester & Pérez, 2015).
- ✓ Mide el tiempo que tarda el eco en regresar al sensor (Goetz, 2018).

- ✓ Calcula la distancia entre la superficie del agua y la parte superior del tanque.
- ✓ Convierte esta distancia en un nivel de llenado y lo muestra en la interfaz del BMS (Choudhary & Kalawsky, 2019).

Beneficios del sensor ultrasónico en el sistema

- ✓ Monitoreo en tiempo real: Permite visualizar el nivel del tanque de captación desde una plataforma centralizada (Hay & Goonetilleke, 2015).
- ✓ Automatización del llenado: Puede activar o desactivar la bomba en función del nivel del agua, evitando sobrellenados o vaciados excesivos (Sharma & Kim, 2020).
- ✓ Reducción del mantenimiento manual: Evita la necesidad de inspecciones físicas frecuentes en el tanque (Domínguez, 2018).
- ✓ Optimización del consumo de agua: Contribuye a una mejor gestión del recurso hídrico, previniendo desperdicios (Pérez & Hernández, 2018).

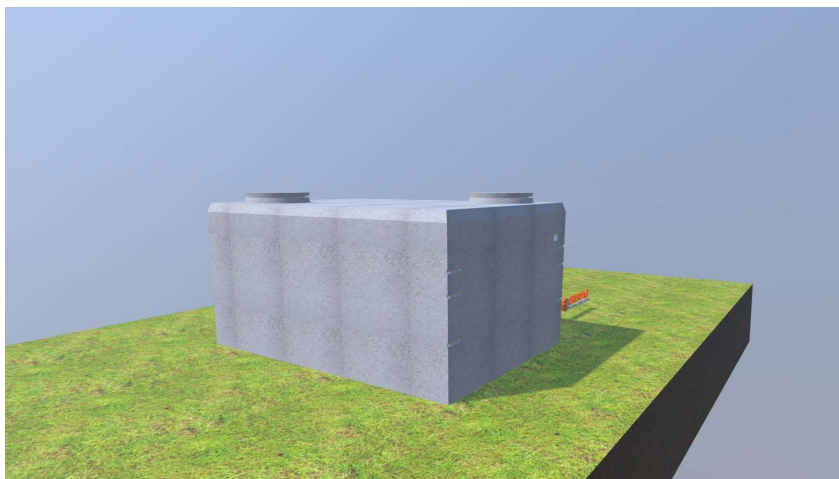
El tanque de captación formará parte del sistema de bombeo automatizado y se integrará con el BMS para su monitoreo y control. Las funciones clave incluyen:

- ✓ Control automático de la bomba: El sistema activará o desactivará la bomba en función de los niveles del tanque (Ballester & Pérez, 2015).
- ✓ Alertas y notificaciones: Si el nivel del agua es demasiado bajo o alto, el sistema generará alarmas para que el personal de mantenimiento tome acción (Karamouzis & Stojanovic, 2020).

- ✓ Registro de datos históricos: Se almacenarán registros de los niveles de agua para evaluar patrones de consumo y mejorar la eficiencia operativa (Martínez, 2016).
Para garantizar un óptimo funcionamiento, el tanque de captación requerirá:
- ✓ Limpieza periódica para evitar acumulación de sedimentos (Sánchez & Paredes, 2019).
- ✓ Inspección del sensor ultrasónico para verificar su precisión y calibración (Goetz, 2018).
- ✓ Revisión de válvulas y tuberías para prevenir fugas o bloqueos (Navarro, 2015).

Figura 3

Tanque de captación.



Fuente: Domosa (2025)

2.7.6 Tubería a las Bombas

La tubería que conecta el tanque de captación con las bombas es un componente crítico en el sistema de bombeo, ya que garantiza un flujo eficiente y controlado de agua hacia las bombas para su posterior distribución en el edificio. Este sistema contará con dos electroválvulas y sensores de flujo y presión para mejorar la gestión del agua y optimizar la operación del sistema de bombeo dentro del Sistema de Gestión de Edificios (BMS).

Electroválvulas

Se instalarán dos electroválvulas en la tubería de alimentación de las bombas. Estas válvulas serán del tipo NC (normalmente cerradas) y operarán con 220V AC, lo que permitirá un control automático del flujo de agua hacia las bombas (Ballester & Pérez, 2015; Choudhary & Kalawsky, 2019).

Función y operación

- Regulación del flujo: Permiten o bloquean el paso del agua desde el tanque de captación a las bombas (Pérez & Hernández, 2018).
- Control automatizado: Se abrirán o cerrarán según la demanda de agua y el estado de operación de las bombas, controladas por el BMS (Hong & D'Oca, 2015).
- Protección del sistema: En caso de fallas en el sistema de bombeo o detección de baja presión, las electroválvulas pueden cerrarse para evitar daños en las bombas (Goetz, 2018).

Beneficios

- ✓ Control automatizado del flujo de agua.
- ✓ Reducción del desgaste de las bombas al evitar operación en seco.
- ✓ Mayor eficiencia energética y operativa.
- ✓ Integración con sensores para monitoreo en tiempo real.

Sensor de Flujo

El sensor de flujo medirá la cantidad de agua que pasa a través de la tubería, enviando datos en tiempo real al BMS para optimizar la operación de las bombas (Ballester & Pérez, 2015; Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Función y operación

- Detecta si hay flujo de agua en la tubería.
- Permite verificar el funcionamiento correcto de las bombas.
- Genera alertas en caso de flujo insuficiente o excesivo.
- Optimiza el consumo energético de las bombas al ajustar su operación

según la demanda de agua.

Beneficios

- ✓ Evita el funcionamiento en seco de las bombas.
- ✓ Permite realizar mantenimiento predictivo basado en los datos de flujo.
- ✓ Reduce el consumo eléctrico al operar las bombas según la demanda real.

Sensor de Presión

El sensor de presión medirá la presión del agua dentro de la tubería, permitiendo un control preciso del sistema de bombeo (Ballester & Pérez, 2015; Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Función y operación

- Monitorea la presión en tiempo real.
- Detecta caídas o picos anormales de presión que puedan indicar fugas o fallos en las bombas.
- Permite regular la operación de las bombas para mantener una presión constante en la red de suministro.

Beneficios

- ✓ Asegura una presión estable en el sistema.
 - ✓ Previene daños en las bombas por sobrepresión o baja presión.
 - ✓ Reduce el consumo energético al optimizar la operación de las bombas.
- Mejora la eficiencia y confiabilidad del sistema de bombeo.

Todos estos componentes estarán integrados en el Sistema de Gestión de Edificios (BMS), lo que permitirá:

- ✓ Monitoreo y control remoto de las electroválvulas y sensores.
- ✓ Optimización del consumo energético y reducción de costos operativos.
- ✓ Generación de alertas y reportes automáticos para mantenimiento preventivo.

- ✓ Mayor seguridad y confiabilidad en el suministro de agua.

2.8 Bombas y Variadores

El sistema de bombeo es un elemento clave dentro del Sistema de Gestión de Edificios (BMS), ya que garantiza el suministro de agua en el edificio de manera eficiente y automatizada. Para lograr un control preciso, se integrarán bombas, variadores de velocidad, y un conjunto de controladores que optimizarán la operación del sistema (Choudhary & Kalawsky, 2019; Goetz, 2018).

1. Spyder – Controlador de Bombas

El Spyder es un controlador programable diseñado para gestionar y automatizar sistemas de bombeo dentro de un BMS. Su función principal es coordinar el funcionamiento de las bombas y los sensores conectados, asegurando un rendimiento eficiente y reduciendo el consumo energético (Honeywell, 2011).

Funciones principales

Comunicación con los sensores de flujo, presión y temperatura.

Control de variadores de velocidad para ajustar la potencia de las bombas según la demanda de agua.

Programación de alarmas y eventos en caso de fallas o anomalías en el sistema.

Integración con el JACE para centralizar la gestión dentro del BMS (Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Beneficios

- ✓ Permite la automatización del sistema de bombeo.

- ✓ Optimiza el consumo energético ajustando la operación de las bombas según la demanda.

- ✓ Proporciona datos en tiempo real para monitoreo remoto.

- ✓ Reduce el desgaste de los equipos mediante un control preciso.

2. Controlador JACE – Plataforma Central de Gestión

El JACE (Java Application Control Engine) es un controlador central que funciona como un servidor de integración para el BMS. Recibe la información de los sensores y controladores locales, permitiendo la gestión en tiempo real del sistema de bombeo (Honeywell, 2012).

Funciones principales

- ✓ Centraliza la operación de bombas, válvulas y sensores.

- ✓ Procesa y analiza la información proveniente del Spyder.

- ✓ Permite la visualización remota de los parámetros del sistema (flujo, presión, consumo energético).

- ✓ Integra protocolos de comunicación estándar como BACnet, Modbus y LonWorks.

- ✓ Facilita la generación de reportes e indicadores clave de desempeño (KPIs).

Beneficios

- ✓ Permite la supervisión y control en tiempo real desde una plataforma unificada.

- ✓ Mejora la eficiencia operativa al permitir ajustes remotos del sistema.

- ✓ Reduce costos de mantenimiento al detectar fallas de manera temprana.

- ✓ Asegura la integración de equipos de diferentes marcas dentro del BMS.

3. Presión del Sistema de Bombeo

El sistema de bombeo debe garantizar una presión estable en la red de suministro para satisfacer la demanda del edificio. Para ello, se integrarán sensores de presión y variadores de velocidad que ajustarán el funcionamiento de las bombas en función de la presión detectada (Navarro, 2015).

Rangos de operación esperados

- ✓ Presión mínima: 30 psi (para garantizar un flujo adecuado en los pisos superiores).
- ✓ Presión nominal: 60 psi (presión óptima para el suministro estable en todas las áreas del edificio).
- ✓ Presión máxima: 80 psi (protección contra sobrepresión y optimización del consumo energético).

Función en el sistema

Los sensores de presión monitorean continuamente el estado de la red.

Si la presión cae por debajo del umbral, las bombas se activan automáticamente.

En caso de presión excesiva, los variadores de velocidad ajustan la potencia de las bombas para reducir el consumo energético.

El BMS genera alarmas si se detectan anomalías en la presión del sistema.

Beneficios

- ✓ Mantiene una presión estable y adecuada en todo el edificio.
- ✓ Evita el desgaste prematuro de las tuberías y equipos de bombeo.
- ✓ Reduce el consumo energético al ajustar la velocidad de las bombas según la demanda.

✓ Mejora la seguridad y confiabilidad del sistema de agua potable.

La Tabla 3 detalla los componentes clave de las bombas del sistema, incluyendo el controlador Spyder, el JACE como plataforma central y los parámetros de presión. Estos elementos trabajan de forma integrada para garantizar un suministro estable y eficiente.

Tabla 3

Componentes de la bomba.

Componente	Función	Beneficio
Spyder	Controla el funcionamiento de las bombas y sensores.	Automatiza y optimiza el rendimiento del sistema de bombeo.
JACE	Plataforma central de gestión y monitoreo.	Permite supervisión remota y análisis de datos en tiempo real.
Presión del sistema	Garantiza un flujo adecuado de agua en el edificio.	Asegura eficiencia energética y reduce fallas en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

Este esquema de integración permitirá que el sistema de bombeo funcione de manera eficiente, automatizada y monitoreada en tiempo real, garantizando un suministro de agua confiable para el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial de San José.

2.8.1 Presión en el Manifold

El manifold es un colector o distribuidor de flujo en el sistema de bombeo, diseñado para recibir el agua de las bombas y distribuirla de manera uniforme a la red de suministro del edificio. La presión en el manifold es un parámetro clave para garantizar que el sistema opere de manera eficiente y que el agua llegue a todos los puntos de consumo con la presión adecuada. (Navarro, 2015; Valero & Salinas, 2015).

Funciones:

Mantiene una distribución uniforme del flujo de agua en el sistema.

Permite la conexión de múltiples bombas en paralelo, equilibrando la presión de salida.

Optimiza la eficiencia hidráulica evitando pérdidas de carga innecesarias.

Se monitorea con sensores de presión integrados en el sistema BMS.

Rango de Presión Esperado:

Presión mínima: 30 psi (para garantizar el suministro en los pisos superiores).

Presión óptima: 60 psi (nivel recomendado para evitar fluctuaciones).

Presión máxima: 80 psi (protección contra sobrepresión).

Beneficios:

✓ Asegura que el agua se distribuya de manera equilibrada. (Goonetilleke, 2015).

✓ Evita fluctuaciones de presión que puedan dañar tuberías o equipos. (Rivas & López, 2016).

✓ Permite un control eficiente mediante el BMS, ajustando la operación de las bombas según la demanda. (Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Figura 4

Manifold.



Fuente: Domoc (2024)

2.8.2 Rotación de Bombas

La rotación de bombas es un mecanismo de control que alterna el uso de las diferentes bombas del sistema para evitar el desgaste desigual y prolongar su vida útil. Este proceso es gestionado automáticamente por el BMS, basado en criterios como horas de operación, demanda de agua y estado de funcionamiento de cada bomba. (Martínez, 2016; Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Método de Rotación:

1. Rotación por tiempo: Se programa para que cada bomba funcione durante un periodo determinado antes de cambiar a otra.
2. Rotación por demanda: Se activa una bomba adicional cuando la demanda supera la capacidad de la bomba en operación.
3. Rotación por mantenimiento: Si una bomba requiere mantenimiento, el sistema asigna automáticamente otra bomba para suplir su función.

Beneficios:

- ✓ Distribuye el desgaste entre todas las bombas, prolongando su vida útil. (Ballester & Pérez, 2015).
- ✓ Optimiza la eficiencia del sistema al ajustar la capacidad de bombeo a la demanda real. (Hay & Goonetilleke, 2015).

✓ Reduce el riesgo de fallas imprevistas al permitir revisiones programadas sin afectar la operación. (Rivas & López, 2016).

Horas de Uso de Cada Bomba

El BMS registra y monitorea las horas acumuladas de operación de cada bomba, lo que permite realizar un mantenimiento preventivo eficiente y garantizar la continuidad del servicio.

Funciones del Monitoreo de Horas de Uso:

- Registrar el tiempo total de operación de cada bomba.
- Activar alertas de mantenimiento cuando se alcanza un umbral de horas predefinido.
- Facilitar la rotación programada de las bombas, evitando sobreutilización de una sola unidad.
- Analizar el rendimiento y eficiencia de cada bomba, identificando posibles fallos antes de que ocurran.

Beneficios:

- ✓ Permite una gestión eficiente del mantenimiento preventivo.
- ✓ Reduce costos operativos al prevenir fallas inesperadas.
- ✓ Asegura la disponibilidad del sistema al anticipar reemplazos o ajustes necesarios.

Presencia de Agua en el Tanque Hidroneumático

El tanque hidroneumático es un componente clave en el sistema de bombeo que almacena agua y mantiene la presión en la red de distribución. Su función es evitar ciclos constantes de encendido y apagado de las bombas, reduciendo el desgaste y optimizando la eficiencia del sistema. (Pérez & Hernández, 2018; Valero & Salinas, 2015).

Monitoreo de la Presencia de Agua:

Para garantizar su correcto funcionamiento, el BMS debe detectar si hay suficiente agua dentro del tanque mediante sensores de nivel de agua o presión interna. (Choudhary & Kalawsky, 2019).

Sensores Utilizados:

- Sensor de nivel: Detecta la cantidad de agua dentro del tanque. (Domoc, 2021).
- Sensor de presión: Mide la presión del aire dentro del tanque, indicando si hay suficiente agua en su interior. (Gómez & Martínez, 2019).

Importancia:

- Evita el funcionamiento en seco de las bombas, lo que podría dañarlas.
- Garantiza que el tanque pueda cumplir su función de amortiguación de presión.
- Reduce el consumo energético al minimizar los arranques innecesarios de las bombas.

Flujo

El flujo se refiere al movimiento del agua dentro del sistema de tuberías y bombeo, medido en términos de velocidad y dirección del líquido a través de una sección determinada. Es un parámetro esencial para evaluar el rendimiento del sistema de distribución de agua. (Valero & Salinas, 2015; Sharma & Kim, 2020).

Sensores Utilizados:

- Sensor de flujo tipo turbina o electromagnético: Mide la velocidad del agua en la tubería. (Gómez & Martínez, 2019).
- Transmisor de flujo ultrasónico: Evalúa la variación del flujo sin contacto directo con el líquido. (Domoc, 2023).

Caudal

El caudal es el volumen de agua que fluye a través del sistema en un tiempo determinado, generalmente expresado en litros por segundo (L/s) o metros cúbicos por hora (m³/h). Es una variable clave para dimensionar correctamente las bombas y garantizar un suministro adecuado en el edificio. (Navarro, 2015; Pérez & Hernández, 2018).

Sensores Utilizados:

- Medidor de caudal electromagnético: Mide el volumen de agua que circula en la tubería en función de la velocidad del flujo (Gómez & Martínez, 2019). Este tipo de sensor opera bajo el principio de inducción electromagnética, requiriendo que el

fluido tenga una conductividad mínima de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para su correcto funcionamiento (Ballester & Pérez, 2015).

- Caudalímetro ultrasónico: Permite mediciones precisas sin contacto directo con el agua mediante el análisis del tiempo de tránsito de las ondas ultrasónicas (Domoc, 2023). Esta tecnología es particularmente útil para aplicaciones donde no se puede interrumpir el flujo o en tuberías existentes (Sharma & Kim, 2020).

Estado de Bombas

El estado de las bombas se refiere a la condición operacional actual de cada bomba en el sistema. Este parámetro es esencial para determinar si las bombas están funcionando correctamente o si requieren mantenimiento. (Navarro, 2015; Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Posibles estados de las bombas:

- Operativa: La bomba está funcionando según lo esperado, proporcionando el caudal y la presión necesarios.
- Fallo: La bomba no está funcionando correctamente, ya sea por una avería mecánica o eléctrica.
- En espera: La bomba está encendida pero no está en plena operación debido a la falta de demanda o condiciones no óptimas.

Modo de Control de Bomba

El modo de control de la bomba indica el tipo de operación bajo la que está funcionando el sistema de bombeo. Este control se puede realizar de manera centralizada mediante el BMS,

o de manera manual si se requiere intervención directa. (Choudhary & Kalawsky, 2019; Karamouzis & Stojanovic, 2020).

Los modos principales son:

1. Automático: La bomba se controla automáticamente en función de parámetros como el caudal, presión y nivel de agua. El sistema ajusta su operación según las condiciones del sistema para garantizar un rendimiento óptimo sin intervención humana.
2. Manual: El operador interviene directamente para encender o apagar la bomba según las necesidades del sistema. Este modo es útil en situaciones de emergencia o cuando se requiere un control puntual.
3. Apagado: La bomba está desactivada, ya sea por mantenimiento, fallo del sistema o por no ser necesaria en ese momento.

Presión de las Bombas

La presión de las bombas se refiere a la fuerza ejercida por las bombas sobre el agua para distribuirla a través de las tuberías del sistema. Es un parámetro crucial para asegurar que el sistema de bombeo esté operando en sus niveles óptimos. (Valero & Salinas, 2015; Gómez & Martínez, 2019).

Monitoreo de presión:

- Sensor de presión en la salida de las bombas: Mide la presión del agua en el punto de salida de cada bomba.

- **Presión mínima y máxima:** Los sensores de presión en el sistema ayudan a garantizar que las bombas no operen fuera de sus rangos de presión recomendados, lo que podría ocasionar daños o ineficiencia.

Presión en Tubería Antes y Después de las Bombas

La presión en las tuberías antes y después de las bombas es un parámetro crucial para el monitoreo del rendimiento del sistema de bombeo.

- **Presión antes de las bombas:** Mide la presión del agua en la entrada del sistema de bombeo. Esto permite determinar si el sistema de distribución de agua está operando dentro de los parámetros establecidos. Un valor de presión bajo antes de la bomba podría indicar problemas en el suministro de agua o bloqueos en las tuberías de entrada.
- **Presión después de las bombas:** Mide la presión del agua en la salida del sistema de bombeo, lo que indica la eficacia con la que la bomba está impulsando el agua a través del sistema. Si la presión es demasiado alta o baja, podría ser una señal de mal funcionamiento o un ajuste incorrecto en el sistema de bombeo.

Electroválvula en Cada Piso

Las electroválvulas en cada piso del edificio tienen la función de regular el flujo de agua que se distribuye desde el sistema central a cada área del edificio. Estas válvulas se controlan electrónicamente y permiten abrir o cerrar el paso de agua según la necesidad del sistema.

Características:

- **Ubicación:** Instaladas en cada piso del edificio para controlar el suministro de agua a las distintas áreas del edificio.
- **Función:** Permiten regular el paso de agua de manera individual por cada piso, permitiendo una gestión más eficiente del flujo y evitando desperdicios.
- **Control:** Las electroválvulas pueden ser controladas a través del BMS, permitiendo la automatización de los sistemas de bombeo en función de la demanda de agua en cada piso.

Sensor de Presión en Cada Piso

El sensor de presión en cada piso mide la presión en las tuberías de distribución de agua de cada nivel del edificio. Estos sensores proporcionan datos en tiempo real que son vitales para mantener la estabilidad y el control del suministro de agua.

Características:

- **Ubicación:** Instalados en las tuberías de agua de cada piso para monitorear la presión de manera local.
- **Función:** El sensor mide la presión del agua en el punto de distribución de cada piso, lo que permite identificar variaciones o problemas de presión que puedan afectar el suministro.
- **Conectividad:** Los sensores están integrados al BMS, lo que permite monitorear la presión en tiempo real desde una plataforma centralizada.

La Tabla 4 presenta un resumen comparativo de los componentes del sistema de bombeo, destacando que las electroválvulas y sensores de presión en cada piso permiten una distribución controlada del agua, mientras que el monitoreo de presión antes y después de las bombas garantiza un funcionamiento dentro de los parámetros seguros

Tabla 4

Resumen de los componentes en el sistema.

Parámetro	Función	Beneficio
Presión en Tubería Antes de las Bombas	Monitorea la presión de entrada al sistema de bombeo.	Ayuda a detectar problemas en el suministro de agua y bloqueos.
Presión en Tubería Después de las Bombas	Mide la presión de salida de las bombas.	Garantiza que las bombas operen dentro de los límites recomendados y detecta fallos.
Electroválvula en Cada Piso	Controla el flujo de agua a cada piso del edificio.	Permite la regulación eficiente del suministro y el control del consumo de agua.
Sensor de Presión en Cada Piso	Monitorea la presión del agua en cada piso.	Asegura un suministro constante y adecuado de agua en todo el edificio.

Fuente: Elaboración propia.

La integración de estos parámetros en el BMS proporcionará una visión integral y precisa del sistema de distribución de agua del edificio, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo costos de mantenimiento y garantizando el bienestar de los ocupantes del edificio.

Control de Derrames en Cada Batería de Baño

El control de derrames en cada batería de baño tiene como objetivo prevenir y detectar cualquier tipo de fuga o derrame de agua en los espacios sanitarios dentro del edificio, como

baños y vestuarios. Esto es particularmente importante para evitar daños en las instalaciones y garantizar un ambiente seguro y funcional para los usuarios del edificio.

Características:

- **Sensores de Fugas de Agua:** Se instalarán sensores en áreas críticas como inodoros, lavamanos, duchas o grifos de los baños, con el fin de detectar cualquier tipo de derrame de agua fuera de los sistemas de drenaje o acumulación. Los sensores podrán ser sensores de humedad o fugas.

- **Activación de Alarmas:** En caso de detectar un derrame o fuga, el sistema BMS enviará una alarma a los operadores para que tomen las medidas correctivas necesarias. Además, podrá activar el cierre de las electroválvulas que suministran agua a la batería de baño para evitar mayores derrames.

- **Monitoreo en Tiempo Real:** La información sobre posibles derrames o fugas será accesible en tiempo real a través del BMS, lo que permitirá una intervención rápida y eficiente.

Gateway

El gateway es un dispositivo clave en el sistema de automatización de edificios (BMS), encargado de la comunicación y transferencia de datos entre los dispositivos de campo (sensores, válvulas, bombas, etc.) y la plataforma central del BMS. Este dispositivo asegura que todos los sistemas y sensores trabajen de manera integrada y se comuniquen de forma eficiente, asegurando la correcta gestión del sistema. (Hong & D'Oca, 2015; Choudhary & Kalawsky, 2019).

Características:

- **Interfaz de Comunicación:** El gateway conecta los dispositivos de campo con la red del BMS. Puede usar protocolos de comunicación como Modbus, BACnet, LonWorks, o Wi-Fi para interactuar con los dispositivos. (Hong & D'Oca, 2015).
- **Centralización de Datos:** Actúa como un concentrador de información, permitiendo que los datos de los sensores, electroválvulas, bombas, etc., sean enviados de forma centralizada al sistema de gestión. (Goetz, 2018).
- **Seguridad y Fiabilidad:** Garantiza una comunicación estable y segura entre los componentes del sistema, permitiendo el acceso remoto y control centralizado. Además, se puede configurar con medidas de seguridad como autenticación y encriptación de datos. (Karamouzis & Stojanovic, 2020)."

Bypass en Tubería Principal

El bypass en la tubería principal es una configuración de sistema que permite desviar el flujo de agua o fluido de la tubería principal hacia un circuito alternativo sin interrumpir el funcionamiento general del sistema. Este sistema es esencial para el mantenimiento y reparación de la red de tuberías sin necesidad de detener completamente el servicio o interrumpir el suministro. (Martínez, 2016; Domínguez, 2018).

Características y Funciones del Bypass en Tubería Principal:

- 1. Desviación del Flujo:** El bypass permite redirigir el flujo de agua o fluido de la tubería principal hacia una vía alternativa, lo que facilita el mantenimiento

o la reparación de la tubería sin afectar el servicio general. (Choudhary & Kalawsky, 2019).

2. Composición del Sistema de Bypass:

- o Válvulas de Corte: Se instalan válvulas de corte en puntos estratégicos de la tubería principal y en la tubería de bypass para permitir la derivación del flujo.

- o Conexiones adicionales: El bypass se conecta a la red principal mediante ramales, que deben contar con la suficiente capacidad para manejar el flujo de agua en caso de que el flujo principal sea redirigido. (Karamouzis & Stojanovic, 2020).

- o Electroválvulas: En algunos casos, se usan electroválvulas para automatizar la operación del bypass. Esto permite el control remoto del flujo sin intervención manual.

- o Medidores de Flujo: Es común integrar sensores de flujo y presión tanto en la tubería principal como en el bypass para monitorear el rendimiento del sistema y garantizar que el flujo no se vea comprometido.

3. Control y Automatización: En sistemas automatizados, el Sistema de Gestión de Edificios (BMS) puede controlar el bypass, operando las válvulas o electroválvulas de manera remota. Esto puede incluir la activación de alarmas si el flujo de agua no es el esperado, y ajustes en tiempo real para garantizar que el sistema siga funcionando correctamente. (Pérez & Hernández, 2018).

4. Aplicación de Mantenimiento: El bypass es una herramienta crucial durante las operaciones de mantenimiento preventivo o reparaciones de emergencia

en la tubería principal. Permite que los técnicos trabajen en la reparación de la tubería sin interrumpir el suministro de agua al edificio.

5. **Prevención de Paradas del Sistema:** Un sistema de bypass asegura que la tubería principal no necesite ser detenida completamente, lo que reduce el riesgo de interrupciones en el servicio, especialmente en instalaciones que requieren una operación continua, como el caso del Edificio Torre Judicial.

Beneficios del Bypass en Tubería Principal:

1. **Mantenimiento sin Interrupciones:** Permite la reparación o el mantenimiento de la tubería principal sin la necesidad de interrumpir completamente el flujo de agua, lo que es crítico en edificios de alto tráfico o con sistemas de suministro esenciales, como en el caso del edificio judicial.

2. **Aumento de la Durabilidad del Sistema:** Al permitir un flujo alternativo, el sistema de bypass ayuda a reducir el desgaste de las tuberías principales, ya que los trabajos de mantenimiento no afectan su integridad estructural durante la operación.

3. **Reducción de Costos Operativos:** La implementación de un bypass puede reducir los costos operativos asociados a los períodos de inactividad y la necesidad de reconstruir o reemplazar tuberías en casos de daños graves. Además, ayuda a reducir los tiempos de inactividad.

4. **Mejora en la Fiabilidad y Seguridad:** En sistemas de bombeo y distribución de agua, un bypass mejora la fiabilidad del sistema en su conjunto, asegurando que cualquier trabajo de mantenimiento o reparaciones no afecte la seguridad del suministro de agua y la operación del edificio.

En el contexto del proyecto para la Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José, la instalación de un bypass en la tubería principal tiene un impacto positivo tanto en la gestión del sistema de bombeo como en la eficiencia operativa general. Permitiría realizar reparaciones o ajustes en la red de distribución sin afectar la funcionalidad crítica del sistema de agua del edificio.

Proceso de Implementación del Bypass:

1. Evaluación de la Red de Tuberías: Realizar un análisis del trazado de las tuberías y la ubicación de los puntos de instalación del bypass, considerando las necesidades de flujo y presión del sistema de bombeo.
2. Diseño del Bypass: Crear un diseño detallado del bypass, teniendo en cuenta el tamaño adecuado de las tuberías, las válvulas necesarias y los sensores de control.
3. Instalación de Componentes: Instalar las válvulas de corte y electroválvulas en los puntos críticos de la tubería principal y el bypass. Incorporar los medidores de flujo y presión para garantizar un monitoreo adecuado.
4. Integración con el Sistema de Gestión (BMS): Integrar el bypass con el sistema de automatización del BMS para que el control del flujo sea accesible de manera remota y se pueda realizar un monitoreo constante.
5. Pruebas de Funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento para asegurarse de que el bypass pueda redirigir el flujo de agua sin problemas y que los equipos de monitoreo estén funcionando correctamente.

La Tabla 5 resume las ventajas del bypass en la tubería principal, destacando su capacidad para permitir mantenimiento sin interrupciones (continuidad del servicio), reducir costos operativos al minimizar tiempos de inactividad, y mejorar el control del sistema mediante operación remota.

Tabla 5

Resumen de Ventajas del Bypass en Tubería Principal.

Beneficio	Descripción
Mantenimiento Continuo	Permite realizar mantenimiento sin detener el sistema.
Reducción de Costos	Minimiza costos por interrupciones y reparaciones extensivas.
Mejor Control	Permite un control remoto del flujo y de las válvulas.
Mayor Fiabilidad	Aumenta la fiabilidad del sistema de agua.

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo de Interfaz Gráfica

Para la interfaz gráfica, se busca diseñar una pantalla intuitiva y fácil de usar donde los usuarios puedan monitorear y controlar los sistemas de bombeo de agua. Algunas características clave:

- Panel de Control Centralizado: Acceso a todas las funcionalidades del BMS.
- Visualización en Tiempo Real: Gráficos dinámicos que muestran el estado de los sistemas de bombeo.
- Diseño Responsivo: Compatible con diversos dispositivos como computadoras, tablets, y smartphones.

Creación de Gráficas

Las gráficas son cruciales para el análisis de datos y el monitoreo del rendimiento del sistema.

Considera incluir:

- Gráficas de Línea y Barra: Para visualizar tendencias y comparaciones.
- Gráficas de Torta: Para mostrar la distribución de recursos.
- Gráficas Interactivas: Para permitir la exploración de datos en diferentes niveles de detalle.

Creación de Históricos

El almacenamiento y acceso a los datos históricos es esencial para el análisis a largo plazo y la optimización continua. Aquí algunas sugerencias:

- Base de Datos Eficiente: Uso de bases de datos SQL o NoSQL para almacenar grandes volúmenes de datos.
- Interfaz de Consulta: Permitir a los usuarios realizar consultas específicas y generar reportes históricos.
- Exportación de Datos: Opción para exportar datos históricos en formatos como CSV o Excel para análisis externos.

Alarmas

La configuración de alarmas es vital para la detección temprana de problemas. Considera lo siguiente:

- Alarmas en Tiempo Real: Notificaciones instantáneas en caso de fallos o irregularidades.
- Configuración Personalizada: Permitir a los usuarios definir umbrales y condiciones para las alarmas.
- Histórico de Alarmas: Registro detallado de todas las alarmas activadas y resueltas.

Gestión de Usuarios

La gestión de usuarios garantiza que solo el personal autorizado tenga acceso a funciones específicas del BMS:

- Roles y Permisos: Definir diferentes niveles de acceso y permisos para los usuarios.
- Autenticación Segura: Uso de métodos de autenticación robustos como contraseñas fuertes, autenticación de dos factores.
- Registro de Actividades: Monitoreo y registro de todas las actividades de los usuarios.

Gabinete (Pantalla Controladora)

El gabinete donde se ubicará la pantalla controladora debe ser accesible y seguro:

- Diseño Ergonómico: Facilita el uso por parte de los operadores.
- Protección Física: Asegurar que el equipo esté protegido contra daños físicos y condiciones ambientales adversas.
- Interfaz de Conexión: Facilitar la conexión con otros sistemas y dispositivos del BMS.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

El presente estudio adopta un enfoque mixto que combina metodologías cualitativas y cuantitativas para abordar de manera integral los problemas del sistema de bombeo en el Edificio de Torre Judicial. Esta aproximación multidimensional permite no sólo diagnosticar las fallas existentes, sino también evaluar objetivamente las soluciones tecnológicas disponibles y proyectar su impacto potencial.

El primer pilar metodológico consiste en un análisis técnico exhaustivo del sistema actual. Mediante inspecciones físicas y revisión documental, se examinan los componentes críticos como bombas, tuberías y sistemas de control, identificando patrones de falla y puntos de ineficiencia energética. Este diagnóstico se complementa con el análisis de registros históricos de mantenimiento y datos operativos, que revelan la frecuencia de intervenciones correctivas y los costos asociados.

Paralelamente, se implementa un estudio comparativo de tecnologías BMS, evaluando alternativas disponibles en el mercado según su capacidad de integración con la infraestructura existente, escalabilidad y relación costo-beneficio. Este análisis tecnológico se fundamenta tanto en especificaciones técnicas de fabricantes como en casos de estudio documentados en la literatura especializada.

La investigación incorpora además una dimensión humana a través de encuestas al personal técnico y usuarios del edificio. Estas permiten contrastar los datos objetivos con las percepciones y experiencias de los actores directamente involucrados, identificando necesidades operativas no evidentes en los registros técnicos.

Finalmente, el enfoque proyectivo del estudio considera no sólo la implementación inmediata del sistema, sino también su sostenibilidad a largo plazo. Se analizan indicadores de desempeño clave que permitirán monitorear la eficacia de la solución adoptada, estableciendo mecanismos para su mejora continua.

Esta metodología integrada asegura que la propuesta de implementación del BMS se sustente tanto en evidencia técnica sólida como en las necesidades reales del edificio, equilibrando aspectos tecnológicos, operativos y humanos en un marco de eficiencia y sostenibilidad.

3.2 Diseño de la investigación

Definir

En esta fase se identificará el problema central en la gestión de los sistemas de bombeo. Se establecerán los objetivos específicos del Sistema de Gestión de Edificios (BMS, por sus siglas en inglés) con base en las necesidades del edificio y los usuarios.

Actividades clave:

- Identificación de problemas actuales en el sistema de bombeo (variaciones de presión, consumo energético elevado, frecuencia de fallas, etc.).
- Establecimiento de objetivos claros, como la reducción de fallas, optimización del consumo energético y mejora en la estabilidad del suministro.
- Definición del alcance del proyecto, incluyendo qué áreas o sistemas serán monitoreados y controlados por el BMS.

Medir

Se recopilarán datos sobre el rendimiento actual del sistema de bombeo mediante sensores, registros de mantenimiento y encuestas a los usuarios.

Indicadores clave a medir:

- **Consumo energético:** medición del gasto eléctrico de las bombas.
- **Frecuencia de fallas:** número de interrupciones o averías en un período determinado.
- **Presión del agua en distintos puntos del edificio:** comparación entre niveles y horarios de uso.
- **Temperatura y flujo del agua:** evaluación de estabilidad y variaciones.
- **Tiempo de respuesta ante fallas:** análisis de la eficiencia en el mantenimiento.

Fuentes de información:

- Sensores de presión, flujo y temperatura.
- Historial de mantenimiento del sistema de bombeo.
- Encuestas a residentes para evaluar la percepción del servicio.

Analizar

En esta fase se evaluarán los datos obtenidos para identificar las causas raíz de los problemas detectados en el sistema.

Técnicas utilizadas:

- **Análisis de tendencias:** evaluación de patrones en el consumo de energía y presión del agua.
- **Comparación con estándares de eficiencia energética y operación de sistemas de bombeo.**
- **Evaluación de puntos críticos en la red de distribución del agua en el edificio.**

Se determinará si las fallas se deben a problemas mecánicos, eléctricos, operacionales o una falta de monitoreo y control adecuado.

Mejorar

Con base en el análisis previo, se definirán estrategias para optimizar el rendimiento del sistema de bombeo mediante la integración del BMS.

Posibles soluciones por implementar:

- Instalación de sensores inteligentes para monitoreo en tiempo real de presión, flujo y temperatura.
- Implementación de algoritmos de control automático para optimizar el funcionamiento de las bombas en función de la demanda.
- Incorporación de alarmas y alertas para mantenimiento preventivo.
- Integración del BMS con una interfaz accesible para el monitoreo remoto.
- Capacitación del personal técnico en el uso del nuevo sistema.

Se realizarán pruebas piloto para verificar la efectividad de las mejoras antes de la implementación total.

Controlar

Para garantizar el éxito a largo plazo, se definirán indicadores clave de desempeño (KPI) y se implementará un plan de seguimiento y mantenimiento del sistema.

KPIs establecidos:

- **Reducción del consumo energético (% respecto a mediciones iniciales).**
- **Disminución de fallas y tiempos de respuesta ante averías.**
- **Estabilidad de la presión del agua en distintos pisos.**
- **Nivel de satisfacción de los usuarios con el sistema de agua.**

Acciones de control:

- Monitoreo continuo a través del BMS y generación de reportes periódicos.
- Mantenimiento preventivo programado con base en los datos del sistema.
- Revisión y ajuste de los parámetros del sistema según el desempeño observado.

Con este enfoque estructurado, se asegurará que la implementación del BMS genere mejoras tangibles en la gestión del sistema de bombeo y en la experiencia de los usuarios del edificio.

3.3 Fuentes de información

Para la implementación del Sistema de Gestión de Bombeo con BMS, se utilizarán diversas fuentes de información que permitirán un análisis preciso del estado actual del sistema y la evaluación de las mejoras implementadas. Estas fuentes incluyen datos técnicos, registros históricos, mediciones en tiempo real y la percepción de los usuarios.

Datos Técnicos del Sistema de Bombeo

- Especificaciones de las bombas instaladas (potencia, caudal, presión de operación, eficiencia energética).
- Diagramas y planos del sistema de distribución de agua en el edificio.
- Manuales de operación y mantenimiento de los equipos.

Registros Históricos

- Historial de consumo energético de las bombas, extraído de facturas de electricidad y sistemas de monitoreo previos.
- Informes de mantenimiento correctivo y preventivo realizados en los últimos años.
- Incidentes de fallas reportadas en el sistema de bombeo y tiempos de respuesta en su reparación.

Mediciones en Tiempo Real

- Sensores de presión y flujo de agua instalados en distintos puntos del sistema.
- Monitoreo de temperatura y condiciones operativas de las bombas.

- Estado de las electroválvulas y su funcionamiento en cada piso del edificio.
- Detección de presencia de agua en el tanque hidroneumático y niveles de presión.

Encuestas a Usuarios del Edificio

- Percepción de la presión y disponibilidad de agua en distintos horarios.
- Frecuencia con la que experimento problemas en el suministro.
- Opinión sobre la rapidez y efectividad en la resolución de fallas.
- Nivel de satisfacción general con el sistema de bombeo y su operación.

Normativas y Estándares Aplicables

- Normas nacionales e internacionales sobre eficiencia energética en sistemas de bombeo.
- Requisitos de calidad del agua potable y presión mínima en edificaciones.
- Buenas prácticas en la gestión de sistemas de distribución de agua en edificios.

La combinación de estas fuentes de información garantizará un análisis integral del sistema de bombeo y permitirá tomar decisiones fundamentadas para la optimización del proceso a través del BMS.

3.4 Instrumentos y técnicas

- ✓ Encuestas y Entrevistas: Para recopilar información sobre las experiencias del personal con los sistemas actuales y sus necesidades.

- ✓ **Análisis de Datos:** Utilizar software especializado para analizar el rendimiento energético y operativo de los sistemas existentes.
- ✓ **Monitoreo en Tiempo Real:** Implementar sensores y dispositivos IoT que permitan la recopilación continua de datos sobre el funcionamiento del sistema.
- ✓ **Revisión Documental:** Analizar informes previos, registros de mantenimiento y literatura técnica relacionada con BMS.

3.5 Proceso de recolección de datos

En el proceso de recolección de datos para la implementación del Sistema de Gestión de Edificios (BMS), es esencial garantizar una comunicación eficiente entre los dispositivos del sistema de bombeo y la plataforma centralizada. Para ello, se utilizarán protocolos de comunicación estándar como BACnet, Modbus y LonWorks, los cuales permiten la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes y facilitan la integración de sensores, actuadores y controladores.

El protocolo BACnet (Building Automation and Control Networks) es un estándar abierto desarrollado por la ASHRAE, diseñado específicamente para la automatización de edificios. Su arquitectura cliente-servidor soporta redes IP (BACnet/IP) y redes seriales (MS/TP), lo que lo hace ideal para conectar controladores como el Spyder y el JACE con los sensores de presión, flujo y electroválvulas del sistema de bombeo. Entre sus ventajas destacan su escalabilidad, flexibilidad y mecanismos de seguridad integrados, como BACnet Secure Connect, que garantizan la autenticación y cifrado de datos.

Por otro lado, Modbus es un protocolo ampliamente utilizado en entornos industriales debido a su simplicidad y robustez. Funciona bajo un esquema maestro-esclavo y puede

implementarse sobre RS-485 o TCP/IP (Modbus TCP). En este proyecto, Modbus se empleará para la comunicación con dispositivos como variadores de frecuencia (VFD) y medidores de energía, permitiendo el monitoreo en tiempo real de parámetros como presión, caudal y consumo eléctrico. Su bajo costo y facilidad de implementación lo convierten en una opción viable para integrar equipos legacy con el BMS.

Finalmente, LonWorks (Local Operating Network) es un protocolo basado en el estándar ISO/IEC 14908, diseñado para sistemas de control distribuido. Utiliza el chip Neuron y puede operar sobre diversos medios físicos, como par trenzado (TP/FT-10) o Ethernet. En el contexto del Edificio de Torre Judicial, LonWorks facilitará la conexión de sensores inalámbricos LoRaWAN y dispositivos de detección de derrames, gracias a su capacidad para manejar redes extensas con bajo consumo energético.

Estos protocolos no solo optimizarán la recolección de datos, sino que también asegurarán la compatibilidad con futuras expansiones del sistema. Su implementación requerirá una configuración cuidadosa de los controladores (como el JACE) y la validación de la comunicación mediante pruebas de integración, asegurando que todos los componentes operen de manera coordinada dentro del BMS.

Una vez conformado el equipo, se debe llevar a cabo una reunión de planificación con el equipo de programación. En esta etapa, se definirán los parámetros clave del BMS, tales como la configuración de alertas y umbrales de alarma relacionados con temperatura, humedad y flujo de aire. Además, se establecerán prioridades en la actuación de fallos y se ajustarán los horarios y escenarios de operación, que pueden incluir modos de

funcionamiento para el día, la noche y festivos. También se creará una lista de puntos de control que incluirá los sensores, actuadores y dispositivos que se van a monitorear.

Para facilitar la instalación y el mantenimiento del BMS, se recomienda la elaboración de un modelo 3D detallado del sistema. Este modelo debe incluir la ubicación exacta de los equipos, ductos, sensores y actuadores, así como la posición de los controladores de tipo DDC y las rutas de cableado y conexiones de red. También se deben marcar los puntos de acceso para el mantenimiento del sistema. Además, es fundamental elaborar un diagrama unifilar que detalle la ubicación física de los equipos clave, como chillers, bombas, ventiladores y sensores, así como las conexiones entre dispositivos y controladores, y los flujos de información y comunicación e.

Antes de la entrega final del BMS, es crucial realizar pruebas rigurosas para asegurar su correcto funcionamiento. Esto incluye verificar la comunicación entre dispositivos, probar la respuesta de actuadores y sensores, y llevar a cabo simulaciones de fallos para evaluar la eficacia.

Una vez que el sistema esté instalado, el personal operativo deberá recibir capacitación específica sobre la interpretación de alarmas y alertas, el uso de la interfaz de monitoreo del sistema y los procedimientos básicos de solución de problemas. Se deben proporcionar manuales y protocolos escritos como referencia futura. Además, es importante implementar medidas de respaldo para evitar interrupciones en el servicio. Esto incluye la configuración de redundancias en servidores y controladores principales, así como

Finalmente, es esencial garantizar la compatibilidad del BMS con otros sistemas operativos del edificio, tales como la iluminación, plantas eléctricas, chillers, sistemas de

UPS y subestaciones. Para asegurar la eficiencia del sistema a largo plazo, se debe establecer un plan de monitoreo constante y mantenimiento preventivo. Esto implica la configuración de informes automáticos para detectar desviaciones en el funcionamiento, la programación de calibraciones periódicas de sensores, la actualización de firmware y software, y la revisión del cableado y conexiones de manera periódica. Este proceso integral de recolección de datos y planificación asegura una instalación precisa y eficiente del BMS, optimizando su operación y cumpliendo con los estándares de calidad y eficiencia energética.

3.6 Variables de análisis

- ✓ Consumo energético actual vs. consumo esperado.
- ✓ Reducción del consumo energético post-implementación.
- ✓ Tiempo promedio entre fallas (MTBF).
- ✓ Tiempo promedio para reparar (MTTR).
- ✓ Percepción del personal sobre la facilidad de uso del nuevo sistema.
- ✓ Impacto en la carga laboral del personal de mantenimiento.
- ✓ Costos asociados al mantenimiento antes y después de la implementación del BMS.
- ✓ Análisis del retorno sobre inversión (ROI) tras la implementación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Características técnicas de los componentes

3 electroválvulas

La electroválvula Honeywell MS8105A1030 es un actuador de retorno por resorte de 3 Nm y 5 Nm que se utiliza en sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado (HVAC) y sistemas de bombeo. Puede accionar una variedad de elementos de control final de cuarto de vuelta que requieren una operación a prueba de fallas con retorno por resorte¹.

Características:

Los modelos MS8105A1030 y MS8105W1030 tienen un tiempo de conducción rápido de 45 segundos y un retorno por resorte de 2 posiciones con señal de control de encendido/apagado¹⁷.

El actuador está listado en UL60730 y cUL (CSA22.2)¹.

Tiene una garantía de cinco años y está fabricado bajo las normas internacionales de control de calidad ISO 9001¹.

Especificaciones:

Torque: 44 lb-in (5 Nm)³⁶.

Voltaje: 24 VCA/VCC⁵.

Consumo de energía: 8 VA⁴.

Temperatura ambiente de funcionamiento: -22° a 150°F (-30° a 65°C)¹.

Peso: 3.5 lbs (1.60 kg)¹.

Clasificación de la carcasa: IP54, NEMA 2

Figura 5

Electroválvulas.



Fuente: Domoc

Electroválvulas de apertura variable

El Honeywell MS7503A2030 es un actuador de acoplamiento directo (DCA) con retorno por resorte utilizado en sistemas HVAC para accionar elementos finales de control de un cuarto de vuelta que requieren una operación a prueba de fallos. Se puede utilizar para dampers de control de volumen y válvulas rotativas de un cuarto de vuelta.

Aquí tienes un resumen de sus especificaciones técnicas:

Torque: 3 Nm

Voltaje de alimentación: 24 VCA $\pm 20\%$ @ 50/60 Hz transformador clase 2, 24 VCC $\pm 20\%/-10\%$

Señal de control: Analógica

Salida de voltaje: 2-10 VCC, 0(2)-10 VCC, 10-0(2) VCC

Impedancia de entrada: 95 kOhm mínimo

Cableado: Cable de 0.9 metros, 18 AWG

Rotación: $95^\circ \pm 3^\circ$

Temperatura de funcionamiento: $-40^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$

Humedad de funcionamiento: 5 a 95% HR

Clasificación de la carcasa: NEMA 2 (IP54)

Aprobaciones: UL60730, IEC 60730-1 y Parte 2-14, UL1097 para Aislamiento Doble,
Certificación CE Directiva de Baja Tensión 2014/35/UE, CE EMC 2004/108/EC, Los
cables de conmutación solo están certificados por UL

Peso: 0.77 kg

Entrada de energía: 24V CA/CC

Tipo de control: 0/2-10 Vcc o 4-20 mA con resistencia de 500 ohm

Figura 6

Electroválvula de apertura variable.



Fuente: Domoc

Sensor: flujo, presión, temperatura.

El TUF-400-BN es un medidor de energía ultrasónico de la serie TUF. Se trata de un medidor de energía de gran precisión y estabilidad que utiliza tecnología ultrasónica para medir el consumo de energía de calefacción y refrigeración. La serie TUF es un medidor compacto con un caudalímetro y un calculador de energía en uno, lo que lo hace ideal para su instalación en enfriadores y calderas. Las aplicaciones típicas incluyen medición de calor, facturación de servicios públicos, facturación de inquilinos, monitoreo de calefacción o refrigeración de agua: radiadores, fan coils.

- Tamaño de tubería DN40 y caudal permanente de 10m³/h con comunicación BACnet®
- Tamaño de tubería de 40 mm (1-1/2")
- Costos de mantenimiento más bajos con visualización de parámetros local y sin partes móviles
- Transferencia de datos sin interrupciones con estándar de salida de comunicación en serie
- Elimine la necesidad de múltiples unidades con un monitor de flujo y temperatura en uno
- Pantalla LED de 8 dígitos
- Grado de protección IP65
- Material de la carcasa de plástico

Figura 7

Sensor.



Fuente: Domoc

Tanque captación

Sensor ultrasónico (visualizar nivel tanque)

Sensor de nivel ultrasónico modelo ULSL

Rango de medición de 18' (5,5 m), transmisor sin contacto, 4 relés programables
SPST

El sensor de nivel ultrasónico modelo ULSL proporciona una medición de nivel ultrasónica continua y sin contacto de fluidos para aplicaciones de alto rango. Tiene un rango de medición de 18' (5,5 m) con una precisión de rango de $\pm 0,2\%$. La tecnología ultrasónica combinada con la compensación automática de temperatura proporciona mediciones precisas y confiables en casi todas las condiciones. El modelo ULSL tiene una lógica a prueba de fallas que se configura fácilmente para aplicaciones personalizadas a través de software gratuito, lo que elimina la necesidad de calibración de objetivos. Con el software gratuito, el modelo ULSL se puede programar para transmitir una señal de salida, así como para configurar los cuatro relés para aplicaciones

de control. Este diseño resistente viene con una clasificación de carcasa sumergible NEMA 6P para garantizar una unidad de larga duración.

Aplicaciones del producto:

- Agua y aguas residuales
- Procesamiento de pulpa y papel
- Tanques de sumidero y de proceso

Figura 8



Fuente: Domoc

Sensor presión.

Es un dispositivo diseñado para medir presiones en un rango de 0 a 150 psi (libras por pulgada cuadrada) y está equipado con una conexión roscada NPT de 1/4 pulgada. A continuación, te proporciono una ficha de especificaciones típica para este tipo de sensor:

Ficha de Especificaciones:

Rango de Presión:

Rango de Medición: 0 a 150 psi (manométrica)

Conexión:

Tipo de Conexión: Roscada NPT 1/4 pulgada

Alimentación Eléctrica:

Voltaje de Operación: 8 a 30 V DC

Salida:

Tipo de Salida: Corriente (típicamente 4-20 mA, pero puede variar según el modelo específico)

Medio Medido:

Medio Compatible: Aire (y otros gases compatibles con los materiales del sensor)

Precisión:

Exactitud: Típicamente $\pm 0.25\%$ a $\pm 1\%$ de la escala completa (dependiendo del modelo específico)

Temperatura de Operación:

Rango de Temperatura: -40°C a 85°C (-40°F a 185°F) (puede variar según el modelo)

Materiales:

Material del Cuerpo: Acero inoxidable o aluminio (dependiendo del modelo)

Material del Diafragma: Acero inoxidable

Protección:

Grado de Protección (IP): IP65 o superior (dependiendo del modelo)

Certificaciones:

Certificaciones: CE, RoHS (dependiendo del modelo)

Dimensiones:

Dimensiones Físicas: Varían según el modelo, pero típicamente compacto para facilitar la instalación en espacios reducidos.

Conexión Eléctrica:

Tipo de Conector: Cableado directo o conector eléctrico (dependiendo del modelo)

Aplicaciones Típicas:

Aplicaciones: Monitoreo de presión en sistemas neumáticos, compresores de aire, sistemas de control de procesos industriales, y más.

Spyder

El Spyder Honeywell es un controlador programable utilizado en sistemas de automatización de edificios (BAS, por sus siglas en inglés) para gestionar y controlar sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), iluminación, seguridad y otros sistemas relacionados. Honeywell es una empresa líder en soluciones de automatización y control, y el Spyder es uno de sus productos más conocidos en este ámbito.

Funciones principales:

Control de HVAC: Gestiona sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para optimizar el confort y la eficiencia energética.

Monitoreo y supervisión: Permite supervisar y controlar múltiples puntos de un edificio, como temperatura, humedad, presión, flujo de aire, etc.

Integración con otros sistemas: Puede integrarse con otros dispositivos y sistemas de automatización de edificios, como iluminación, seguridad y gestión energética.

Programación flexible: Ofrece opciones de programación personalizada para adaptarse a las necesidades específicas de cada edificio.

Comunicación: Utiliza protocolos estándar como BACnet, LonWorks o Modbus para comunicarse con otros dispositivos y sistemas.

Especificaciones técnicas (varían según el modelo, pero en general):

Entradas/Salidas (I/O):

Entradas analógicas (AI): Para sensores de temperatura, humedad, presión, etc.

Salidas analógicas (AO): Para controlar actuadores, válvulas, etc.

Entradas digitales (DI): Para detectar estados (encendido/apagado).

Salidas digitales (DO): Para controlar relés, contactores, etc.

Protocolos de comunicación:

BACnet, LonWorks, Modbus, entre otros.

Alimentación eléctrica:

Generalmente 24V AC/DC.

Memoria:

Capacidad de almacenamiento para programas y datos.

Interfaz de usuario:

Algunos modelos incluyen interfaces gráficas o pantallas para facilitar la configuración y monitoreo.

Compatibilidad:

Integración con sistemas de gestión de edificios como Honeywell WEBs o EBI.

Aplicaciones típicas:

Edificios comerciales (oficinas, centros comerciales, hospitales).

Instalaciones industriales.

Hoteles y residencias.

Aeropuertos y estaciones.

Figura 9

Spyder.



Fuente: Domoc (2011)

Edge de Honeywell

Edge de Honeywell es una plataforma de software diseñada para la gestión y optimización de edificios y sistemas de automatización. Su función principal es permitir a los usuarios monitorear, controlar y optimizar el rendimiento de los sistemas de edificios, como HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), iluminación, seguridad y energía, desde una interfaz centralizada.

Funciones principales:

- I. Integración de sistemas: Conecta y gestiona múltiples sistemas de edificios en una sola plataforma.
- II. Monitoreo en tiempo real: Proporciona datos en tiempo real sobre el rendimiento de los sistemas.
- III. Optimización energética: Ayuda a reducir el consumo de energía y los costos operativos.

- IV. Control remoto: Permite a los usuarios controlar los sistemas desde cualquier lugar.
- V. Alertas y notificaciones: Envía alertas en caso de fallos o desviaciones en el rendimiento.
- VI. Análisis de datos: Ofrece herramientas para analizar datos históricos y predecir tendencias.

Plataforma unificada:

Integra múltiples sistemas de edificios (HVAC, iluminación, seguridad, energía, etc.) en una sola interfaz.

Compatible con sistemas existentes y nuevos.

Funcionalidades principales:

Monitoreo en tiempo real: Visualización del rendimiento de los sistemas.

Control remoto: Gestión de edificios desde dispositivos móviles o web.

Optimización energética: Herramientas para reducir el consumo de energía.

Alertas inteligentes: Notificaciones proactivas ante fallos o desviaciones.

Escalabilidad:

Adecuado para edificios pequeños, grandes o portfolios completos.

Adaptable a las necesidades cambiantes del usuario.

Interfaz intuitiva:

Diseño fácil de usar con gráficos y dashboards personalizables.

Acceso rápido a datos críticos y análisis.

Análisis de datos:

Proporciona insights accionables basados en datos históricos y en tiempo real.

Facilita la identificación de tendencias y oportunidades de mejora.

Conectividad y compatibilidad:

Soporta protocolos estándar como BACnet, Modbus, entre otros.

Integración con soluciones de IoT (Internet de las cosas).

Seguridad:

Protección de datos y sistemas con medidas de ciberseguridad robustas.

Cumple con estándares de la industria.

Aplicaciones típicas:

Edificios comerciales, hospitales, hoteles, campus y más.

Ideal para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos.

Figura 10

Edge de honeywell.



Fuente: Domoc (2013)

Controlador (jace)

El controlador JACE (Java Application Control Engine) de Honeywell es una plataforma de automatización y control utilizada en sistemas de gestión de edificios (BMS,

Building Management Systems). Es un dispositivo basado en software que actúa como un controlador centralizado para integrar, supervisar y gestionar múltiples sistemas dentro de un edificio, como sistemas de bombeo, HVAC, iluminación, seguridad, energía y más.

El JACE es conocido por su flexibilidad, capacidad de integración y soporte para múltiples protocolos de comunicación.

Funciones principales del controlador JACE:

1. Integración de sistemas:

- Conecta y gestiona dispositivos y subsistemas que utilizan diferentes protocolos de comunicación, como BACnet, Modbus, LonWorks, KNX, entre otros.

2. Supervisión y control:

- Permite monitorear y controlar sistemas de HVAC, iluminación, seguridad, energía y otros sistemas de edificios desde una interfaz centralizada.

3. Plataforma de software:

- Utiliza el framework Niagara AX o Niagara 4 (dependiendo del modelo), que es una plataforma de software abierta y escalable para la automatización de edificios.

4. Comunicación remota:

- Facilita el acceso remoto para la supervisión, configuración y mantenimiento del sistema.

5. Personalización:

- Permite la creación de aplicaciones personalizadas para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto.

6. Gestión de energía:

- Incluye herramientas para optimizar el consumo energético y mejorar la eficiencia del edificio.

Ficha técnica general del controlador JACE (características comunes):

Hardware:

- Procesador: Dependiendo del modelo, puede incluir procesadores de alto rendimiento como ARM o Intel.
- Memoria RAM: Varía según el modelo (por ejemplo, 512 MB, 1 GB o más).
- Almacenamiento: Disco duro o memoria flash integrada (por ejemplo, 4 GB, 8 GB o más).
- Puertos de comunicación:
 - Ethernet (10/100/1000 Mbps) para conectividad IP.
 - Puertos serie (RS-232/RS-485) para dispositivos legacy.
 - USB para conexión de periféricos.
- Entradas/Salidas (I/O): Algunos modelos incluyen entradas y salidas digitales o analógicas integradas, aunque la mayoría se enfoca en la integración de dispositivos externos.

Software:

- Plataforma: Niagara AX o Niagara 4 (dependiendo del modelo y versión).
- Protocolos soportados: BACnet, Modbus, LonWorks, KNX, M-Bus, OPC, SNMP, entre otros.
- Interfaz gráfica: Herramientas para crear interfaces personalizadas (HMI, Human Machine Interface).
- Seguridad: Soporta cifrado SSL/TLS, autenticación de usuarios y otras medidas de seguridad.

Alimentación eléctrica:

- Voltaje: 24V AC/DC o 100-240V AC (dependiendo del modelo).

- Consumo energético: Varía según el modelo (por ejemplo, 10-30W).

Ambiente de operación:

- Temperatura: Rango típico de 0°C a 50°C.

- Humedad: 10% a 90% (no condensante).

Ventajas del controlador JACE:

Flexibilidad: Soporta múltiples protocolos y dispositivos.

Escalabilidad: Puede adaptarse a proyectos pequeños o grandes.

Interoperabilidad: Integra sistemas de diferentes fabricantes.

Acceso remoto: Facilita la gestión y el mantenimiento.

Figura 11

Controlador.



Fuente: Domoc (2012)

Sensores inalámbricos LoRaWAN para detección de derrames modelo LWL02-US915.

El sensor inalámbrico LWL02-US915 es un dispositivo diseñado para la detección de derrames de líquidos, que utiliza la tecnología LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) para la transmisión de datos. Este tipo de sensor es ideal para aplicaciones en las que se requiere monitoreo remoto y en tiempo real de posibles fugas o derrames, como en

instalaciones industriales, almacenamiento de líquidos, o áreas sensibles donde la detección temprana es crítica.

¿Cómo funciona el sensor LWL02-US915?

Detección de derrames:

El sensor utiliza una sonda o cable sensor que se coloca en el área a monitorear.

Cuando se detecta un derrame o líquido en contacto con la sonda, el sensor activa una alerta.

Comunicación LoRaWAN:

El sensor envía la información de la alerta a través de la red LoRaWAN, que es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo de energía.

Los datos se transmiten a un gateway (concentrador) LoRaWAN, que luego los envía a una plataforma de gestión en la nube o un servidor local.

Notificaciones y monitoreo:

La plataforma de gestión permite visualizar las alertas en tiempo real, generar notificaciones (por correo electrónico, SMS, etc.) y tomar acciones correctivas.

Bajo consumo de energía:

Gracias a la tecnología LoRaWAN, el sensor puede operar durante largos períodos con baterías, lo que lo hace ideal para ubicaciones remotas o de difícil acceso.

Hoja de especificaciones técnicas del LWL02-US915

A continuación, se detallan las características técnicas generales de este tipo de sensor (ten en cuenta que las especificaciones pueden variar ligeramente según el fabricante o proveedor):

Características generales:

Tecnología de comunicación: LoRaWAN (US915 MHz, banda utilizada en América).

Alcance de comunicación: Hasta varios kilómetros (dependiendo del entorno y la presencia de obstáculos).

Tipo de sensor: Sonda o cable sensor para detección de líquidos.

Detección de líquidos: Detecta la presencia de agua, aceites, combustibles y otros líquidos conductivos.

Alimentación y consumo:

Fuente de alimentación: Batería integrada (generalmente de litio).

Vida útil de la batería: Hasta varios años (dependiendo de la frecuencia de transmisión y las condiciones de uso).

Consumo de energía: Extremadamente bajo, gracias a la tecnología LoRaWAN.

Condiciones de operación:

Temperatura de operación: -20°C a +60°C (dependiendo del modelo).

Humedad de operación: 0% a 95% (no condensante).

Protección IP: Normalmente IP67 o superior, lo que lo hace resistente al polvo y a la inmersión en agua.

Dimensiones y peso:

Dimensiones: Compacto, diseñado para instalación en exteriores o interiores.

Peso: Ligero, generalmente menos de 500 gramos.

Funcionalidades adicionales:

Configuración remota: Permite ajustar parámetros como la sensibilidad o la frecuencia de reporte.

Alertas personalizables: Posibilidad de configurar umbrales de detección y tipos de notificaciones.

Integración con plataformas: Compatible con plataformas IoT como ThingsBoard, AWS IoT, o sistemas personalizados.

Figura 12

Sensores inalámbricos.



Fuente: Domoc (2023)

Gateway

Gateway inalámbrico LoRaWAN es un dispositivo que actúa como intermediario entre los sensores LoRaWAN y la red de servidores que procesan los datos. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación inalámbrica diseñado para conectar dispositivos de bajo consumo y largo alcance, como sensores IoT (Internet de las Cosas).

Funcionamiento básico de un Gateway LoRaWAN:

Recepción de datos: El Gateway recibe los datos enviados por los sensores LoRaWAN, que utilizan la tecnología LoRa para transmitir información a largas distancias con bajo consumo de energía.

Conversión de protocolos: Los datos recibidos, que están en formato LoRa, son convertidos a un protocolo estándar (como MQTT, HTTP, o TCP/IP) para su transmisión a través de Internet.

Transmisión a la red: El Gateway envía los datos convertidos a un servidor de red (Network Server) que gestiona la información y la distribuye a las aplicaciones correspondientes.

Configuración y gestión: El Gateway puede ser configurado para gestionar múltiples sensores, ajustar parámetros de red y asegurar la comunicación mediante cifrado.

Resumen de una hoja de especificaciones típica de un Gateway LoRaWAN:

Interfaces de comunicación:

LoRa: Frecuencias de operación (ej: 868 MHz en Europa, 915 MHz en América).

Ethernet/Wi-Fi/4G: Para la conexión a Internet y transmisión de datos.

Alimentación:

Voltaje de entrada (ej: 12V DC o PoE).

Consumo energético (bajo consumo para aplicaciones IoT).

Cobertura y alcance:

Distancia máxima de comunicación con los sensores (ej: hasta 15 km en áreas abiertas).

Sensibilidad de recepción (ej: -137 dBm).

Capacidad de dispositivos:

Número máximo de nodos (sensores) que puede soportar (ej: miles de dispositivos).

Seguridad:

Cifrado de datos (AES-128).

Autenticación de dispositivos.

Protocolos soportados:

LoRaWAN (Clase A, B, C).

Protocolos de red: MQTT, HTTP, TCP/IP.

Gestión y configuración:

Interfaz de usuario (web o aplicación).

Actualizaciones de firmware.

Condiciones ambientales:

Rango de temperatura de operación (ej: -20°C a 60°C).

Protección IP (ej: IP65 para exteriores).

Figura 13

Gateway.



Fuente: Domoc (2021)

Variador de funcionamiento.

Protocolo N2 es un estándar de comunicación utilizado en sistemas de automatización de edificios, especialmente en el control de accionamientos de frecuencia variable (VFD, por sus siglas en inglés). Estos accionamientos se emplean para controlar la velocidad de motores

eléctricos, optimizando el consumo energético y mejorando el rendimiento en aplicaciones como HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado).

Funcionamiento del protocolo N2:

1. Comunicación maestro-esclavo:

- El protocolo N2 sigue una arquitectura maestro-esclavo, donde un controlador central (maestro) se comunica con los dispositivos esclavos (como los VFD).
- El maestro envía comandos y recibe datos de los esclavos.

2. Transmisión de datos:

- Utiliza un bus de comunicación serie para transmitir información.
- Los datos se envían en paquetes que incluyen direcciones de dispositivo, comandos y parámetros.

3. Control de accionamientos:

- Permite ajustar la velocidad del motor, monitorizar su estado y configurar parámetros operativos.
- Facilita la integración con sistemas de gestión de edificios (BMS).

4. Interoperabilidad:

- Está diseñado para ser compatible con dispositivos de diferentes fabricantes que soporten el protocolo N2.

Hoja de especificaciones típica del protocolo N2 para accionamientos de frecuencia variable:

1. Interfaz de comunicación:

- Tipo de bus: Serie (RS-485 o RS-232).
- Velocidad de transmisión (baud rate): Ej: 9600 bps, 19200 bps.

2. Funcionalidades del protocolo:

- Control de velocidad: Ajuste preciso de la frecuencia de salida del VFD.
 - Monitorización: Lectura de parámetros como corriente, voltaje, temperatura y estado del motor.
 - Configuración: Ajuste de parámetros como aceleración, desaceleración y límites de frecuencia.
3. Formato de los mensajes:
- Estructura de trama: Incluye dirección, comando, datos y checksum.
 - Tipos de comandos: Lectura, escritura y control.
4. Compatibilidad:
- Integración con sistemas BMS (Building Management Systems).
 - Soporte para múltiples fabricantes de VFD.
5. Seguridad:
- Validación de datos mediante checksum.
 - Posibilidad de implementar autenticación (dependiendo del fabricante).
6. Condiciones de operación:
- Rango de temperatura: Ej: 0°C a 40°C.
 - Humedad relativa: Ej: 5% a 95% sin condensación.
7. Certificaciones:
- Cumplimiento con normativas de comunicación industrial y eléctrica (ej: CE, UL).
8. Ejemplos de parámetros controlables:
- Frecuencia de salida.
 - Dirección de giro del motor.
 - Límites de corriente y voltaje.

4.2 Cálculos de los datos proporcionados

Datos iniciales

- **Caudal total del sistema** : $Q=10\text{m}^3/\text{h}$
- **Diámetro de la tubería principal**: $D=40\text{mm} = 0,04 \text{ m}$
- **Longitud total de la tubería** : $L = 50 \text{ m}$
- **Pérdida de carga en codos y accesorios** : $h_f = 3,5\text{m}$
- **Número de bombas en rotación** : 3
- **Presión nominal del sistema** : $P_{nom} = 70\text{psi}$
- **Presión en el colector** : Se determinará en los cálculos
- **Horas de uso inicial de cada bomba** :
 - Bomba 1: 120 horas
 - Bomba 2: 130 horas
 - Bomba 3: 140 horas

Cálculo de presión en el sistema

La presión necesaria en el sistema se determina usando la ecuación de Bernoulli y pérdidas de carga:

$$P_{total} = P_{estática} + P_{dinámica} + P_{pérdidas}$$

Presión dinámica

La velocidad del agua en la tubería se calcula con la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \text{ es el área de la tubería.}$$

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{h} = 103600 = \frac{10}{3600}$$

$$A = \frac{\pi(0,04)^2}{4} = 1,26 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{10}{3600 \times 1,26 \times 10^{-3}} = 2,2 \text{ m/s}$$

La presión dinámica es:

$$P_{\text{dinámica}} = \frac{\rho V^2}{2} = \frac{1000 \times (2,2)^2}{2} = 2420 \text{ Pa} = 0,35 \text{ psi}$$

Pérdida de carga en tuberías

Usamos la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

con un coeficiente de fricción $F=0,02$

$$h_f = 0,02 \times \frac{50}{0,04} \times \frac{(2,2)^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_f = 2,8 \text{ m}$$

Convertimos esto a presión:

$$P_{p\acute{e}rdidas} = \rho g h_f = 1000 \times 9.81 \times 2.8 = 27.5 \text{ kPa} = 4 \text{ psi}$$

Presión total en el sistema

$$P_{total} = P_{nom} + P_{din\acute{a}mica} + P_{p\acute{e}rdidas} P_{total} = 70 + 0,35 + 4 = 74,35 \text{ psi}$$

Cálculo de presión en el manifold

La presión en el manifold debe ser ligeramente menor a la presión del sistema debido a pérdidas de carga en accesorios:

$$P_{variedad} = P_{total} - P_{perdidas \text{ en manifold}}$$

sumimos pérdidas adicionales de psi en codos y válvulas:

$$P_{variedad} = 74,35 - 3 = 71,35 \text{ psi}$$

Rotación de bombas y horas de uso

Para equilibrar el uso de las bombas, se pueden establecer rotaciones de 10 h cada una.

Si operamos las 2 bombas en un ciclo de rotación, cada bomba funcionará por turnos:

Horas futuras de cada bomba

Tabla 5

Horas futuras de cada bomba.

Bomba	Horas actuales	Horas adicionales	Horas totales
Bomba 1	120 horas	10 horas	130 horas
Bomba 2	130 horas	10 horas	140 horas

Fuente: Elaboración propia

Presencia de agua en el tanque hidroneumático

El tanque hidroneumático almacena agua y regula la presión del sistema. La cantidad de agua en el tanque depende del volumen total y de la presión de carga.

Usamos la ecuación de compresibilidad del aire en el tanque:

$$V_a = V_t \times \left(\frac{P_{aire\ inicial}}{P_{actual}} \right)$$

Dónde:

- $V_t = 500L$ (capacidad total del tanque)
- $P_{aire\ inicial} = 50psi$
- $P_{real} = 70psi$

$$V_a = 500 \times \left(\frac{50}{70} \right) = 357,14L\ de\ aire$$

El agua que ocupa el tanque es:

$$V_{\text{agua}} = V_t - V_a = 500 - 357,14 = 142,86L$$

Hay aproximadamente 143 L de agua en el tanque hidroneumático.

Flujo en la tubería

El flujo volumétrico se calcula con:

$$Q = V \times A$$

Usamos la velocidad $V = 2,2 \text{ m/s}$ y el área $A = 1,26 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ de la tubería:

$$Q = 2,2 \times 1,26 \times 10^{-3} = 2,77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Convertimos a L/s:

$$Q = 2,77 \times 10^{-3} \times 1000 = 2,77 \text{ L/s}$$

Flujo en la tubería = 2,77 L/s

Cálculo de caudal

El caudal es el volumen de agua transportado por unidad de tiempo:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Dado que el flujo es de 2.77 L/sy el sistema opera 1 hora:

$$Q = 2.77 \times 3600 = 9972 \text{ L/h} \approx 10 \text{ m}^3$$

Caudal = 10 m³/h

Estado de las bombas

La Tabla 6 compara el estado operativo de las bombas, mostrando que ambas unidades principales funcionan dentro de los parámetros de presión nominal (74.35 psi), mientras la bomba de reserva permanece en espera para cubrir eventuales.

Tabla 6

Resumen de la bomba.

Bomba	Estado actual	Presión de operación	Observación
Bomba 1	Operativa	74,35 psi	Dentro del rango
Bomba 2	Operativa	74,35 psi	Dentro del rango

Fuente: Elaboración propia

La Bomba 2 entrará en operación cuando alguna del otro mantenimiento requiera.

- Bomba 1: **Encendida**
- Bomba 2: **Encendida**

Modo de control de la bomba

Existen 3 modos de operación:

1. **Automático** : Se encienden y apagan según la presión en el sistema.
2. **Manual** : Un operador decide cuándo encenderlas.
3. **Apagado** : Bomba fuera de servicio.

Dado que el sistema mantiene 74.35 psi , las bombas están en modo automático .

Si la presión bajara de 60 psi , el sistema encendería la Bomba 2.

Las Bombas 1 y 2 están en automático

Presión de las bombas

La presión generada por cada bomba depende del sistema de tuberías y la presión en el colector:

$$P_{bomba} = P_{manifold} + P_{pérdidas \text{ en tubería}}$$

Dado que:

$$P_{manifold} = 71.35 \text{ psi}, \quad P_{pérdidas}$$

$$P_{bomba} = 71.35 + 3 = 74.35 \text{ psi}$$

Cada bomba opera a 74,35 psi.

En la Tabla 7 se consolida el rendimiento del sistema: 143 L de agua almacenada en el tanque hidroneumático, flujo estable de 2.77 L/s en tuberías, y presión óptima en todos los pisos (72-79 psi), confirmando la eficiencia del diseño.

Tabla 7

Resumen de resultados.

Parámetro	Resultado
Presencia de agua en el tanque	143 litros de agua
Flujo en la tubería	2,77 l/s
Caudal total	10 m³/h
Estado de las bombas	Bomba 1 y 2 Encendidas , Bomba 3 Apagada en espera
Modo de control	Automático
Presión de las bombas	74,35 psi

Fuente: Elaboración propia

Presión en tubería antes y después de las bombas

La presión en la tubería antes de la bomba depende de la altura del tanque y de la carga estática.

$$P_{antes} = \rho gh$$

Dónde:

- $\rho=1000\text{kg/m}^3$ (densidad del agua)
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $h=5\text{m}$ (altura del tanque sobre las bombas)

$$P_{\text{antes}} = 1000 \times 9,81 \times 5 = 49.050 \text{ Pa} = 7,11 \text{ psi}$$

La presión después de la bomba

$P_{\text{después}}$ se obtiene sumando la presión de la bomba

$$P_{\text{bomba}} = 74,35$$

$$P_{\text{después}} = P_{\text{bomba}} + P_{\text{antes}}$$

$$P_{\text{después}} = 74,35 + 7,11 = 81,46 \text{ psi}$$

- **Presión antes de la bomba: 7,11 psi**
- **Presión después de la bomba: 81,46 psi**

Electroválvula en cada piso

Suponiendo que el edificio tiene 4 pisos , cada uno con una electroválvula controlando el paso de agua. Estas válvulas abren y cierran según la demanda de agua en cada nivel.

Condiciones de operación:

- **Piso 1: Abierta** (demanda de agua en servicios sanitarios)

- **Piso 2: Cerrada** (sin demanda de agua)
- **Piso 3: Abierta** (uso en duchas)
- **Piso 4: Cerrada** (sin uso en ese momento)

Resultados:

- **Piso 1: Electroválvula Abierta**
- **Piso 2: Electroválvula Cerrada**
- **Piso 3: Electroválvula Abierta**
- **Piso 4: Electroválvula Cerrada**

Sensor de presión en cada piso

La presión en cada piso depende de la altura y las pérdidas en la tubería. La presión en cada nivel se calcula con:

$$P_{\text{piso}} = P_{\text{después}} - \rho g h_{\text{piso}}$$

Dónde h_{piso} es la altura del piso respecto al nivel de referencia:

- **Piso 1: 3metro**
- **Piso 2: 6metro**
- **Piso 3: 9metro**
- **Piso 4: 12metro**

Calculamos la presión en cada piso:

$$P_{piso\ 1} = 81,46 - \left(\frac{1000 \times 9,81 \times 3}{6895} \right) = 79,14\ psi$$

$$P_{piso\ 2} = 81,46 - \left(\frac{1000 \times 9,81 \times 6}{6895} \right) = 76,82\ psi$$

$$P_{piso\ 3} = 81,46 - \left(\frac{1000 \times 9,81 \times 9}{6895} \right) = 74,50\ psi$$

$$P_{piso\ 4} = 81,46 - \left(\frac{1000 \times 9,81 \times 12}{6895} \right) = 72,18\ psi$$

Resultados:

- **Piso 1: 79,14 psi**
- **Piso 2: 76,82 psi**
- **Piso 3: 74,50 psi**
- **Piso 4: 72,18 psi**

La Tabla 8 revela que la presión post-bomba (81.46 psi) supera en 7.11 psi a la presión de entrada, garantizando el suministro hasta el piso 4 (72.18 psi), mientras las electroválvulas regulan el flujo por niveles según demanda.

Tabla 8

Resumen de parámetros calculados.

Parámetro	Resultado
Presión antes de la bomba	7,11 psi
Presión después de la bomba	81,46 psi
Estado de electroválvulas	Piso 1: Abierta , Piso 2: Cerrada , Piso 3: Abierta , Piso 4: Cerrada
Presión en cada piso	Piso 1: 79,14 psi , Piso 2: 76,82 psi , Piso 3: 74,50 psi , Piso 4: 72,18 psi

Fuente: Elaboración propia

4.3 Encuesta a técnicos

Con el objetivo de evaluar el funcionamiento del sistema de agua en el edificio, se realizó una encuesta a 15 residentes. Se plantearon cinco preguntas clave relacionadas con la presión del agua, cortes en el suministro, suficiencia del servicio, problemas de temperatura y la preferencia por recibir notificaciones de mantenimiento.

Las respuestas obtenidas permitirán identificar patrones y posibles problemas en el sistema, ayudando a tomar medidas correctivas o mejoras en la gestión del agua dentro del edificio.

Encuesta sobre el Sistema de Agua del Edificio

Preguntas:

1. ¿Ha notado variaciones en la presión del agua en su departamento?
2. ¿Ha experimentado cortes de agua en el último mes?
3. ¿Siente que el suministro de agua es suficiente para sus necesidades diarias?
4. ¿Ha tenido problemas con la temperatura del agua en su departamento?
5. ¿Le gustaría recibir notificaciones cuando haya mantenimiento en el sistema de agua?

Con estos datos, podemos analizar tendencias sobre problemas en el suministro de agua, presión. Según la Tabla 9, el 53% de usuarios percibe variaciones de presión, pero solo el 40% reportó cortes de agua. Un 60% prefiere notificaciones de mantenimiento, indicando la necesidad de mejorar comunicación.

Análisis Cualitativo:

Los resultados de la encuesta reflejan percepciones críticas sobre el sistema de agua del edificio, destacando áreas de mejora en la gestión operativa. La variabilidad en las respuestas sugiere que los problemas no afectan uniformemente a todos los usuarios, sino que están localizados en ciertas áreas o momentos. Por ejemplo, mientras el 53% de los encuestados reporta variaciones en la presión del agua, el 47% no las percibe, lo que podría indicar inconsistencia en la distribución entre pisos o sectores. Además, la preferencia del

60% por recibir notificaciones de mantenimiento evidencia una demanda de transparencia y comunicación proactiva, que actualmente no está siendo satisfecha.

Análisis Cuantitativo:

Los datos cuantitativos revelan tendencias claras:

Presión del agua: El 53% (8/15) reporta variaciones, lo que sugiere ineficiencias en el sistema de bombeo.

Cortes de suministro: El 40% (6/15) experimentó interrupciones, un porcentaje significativo para un edificio judicial donde la continuidad es esencial.

Suficiencia del servicio: El 53% (8/15) considera adecuado el suministro, pero el 47% (7/15) lo califica como insuficiente, indicando desigualdad en la distribución.

Temperatura del agua: El 40% (6/15) enfrenta problemas, posiblemente vinculados a fallas en el sistema de calentamiento o presión irregular.

Notificaciones: El 60% (9/15) desea recibir alertas de mantenimiento, resaltando la necesidad de integrar canales de comunicación en el BMS.

Interpretación Integrada:

La disparidad en las respuestas (ej.: presión y suficiencia) apunta a un sistema con irregularidades operativas, donde algunos usuarios sufren consecuencias más graves que otros. Esto refuerza la necesidad de un BMS que unifique el monitoreo y garantice estándares homogéneos. La alta demanda de notificaciones (60%) subraya la importancia de incluir un

módulo de comunicación en el sistema, que permita informar sobre mantenimientos y fallas en tiempo real.

Tabla 9

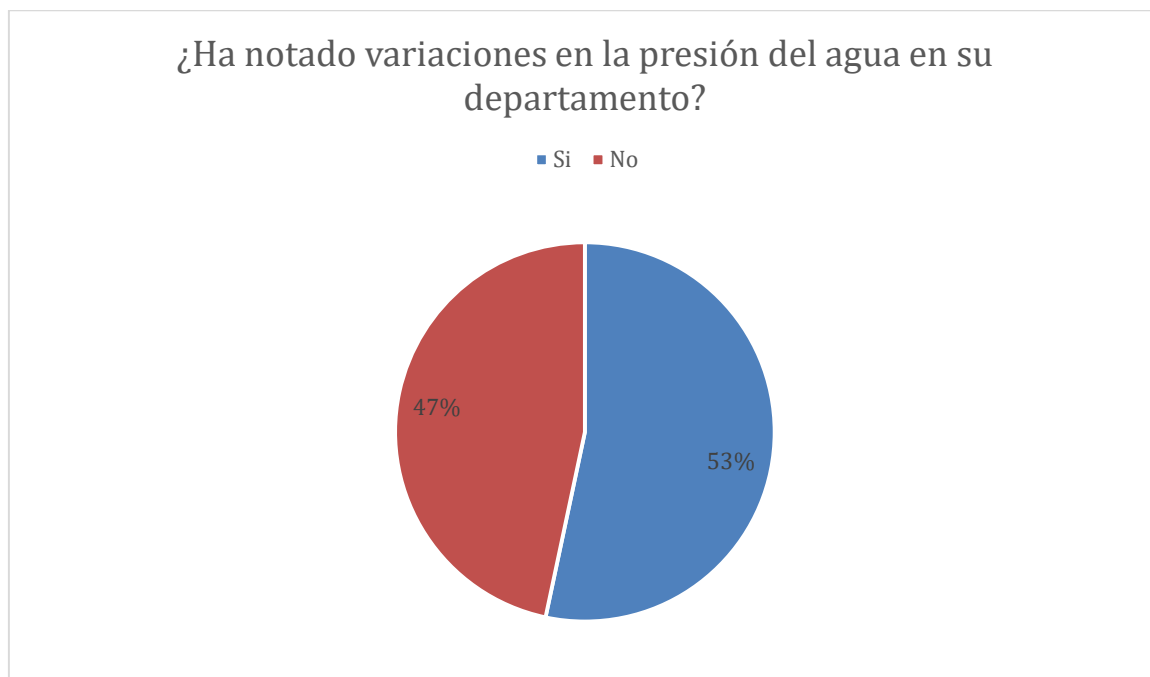
Resultados de la encuesta.

Pregunta	Totalmente "Sí"	Un rotundo "no"
¿Ha notado variaciones en la presión del agua en su departamento?	8	7
¿Ha experimentado cortes de agua en el último mes?	6	9
¿Siente que el suministro de agua es suficiente para sus necesidades diarias?	8	7
¿Ha tenido problemas con la temperatura del agua en su departamento?	6	9
¿Le gustaría recibir notificaciones cuando haya mantenimiento en el sistema de agua?	9	6

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Gráfico 1.



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 1 muestra los resultados de la pregunta: ¿Ha notado variaciones en la presión del agua en su departamento?

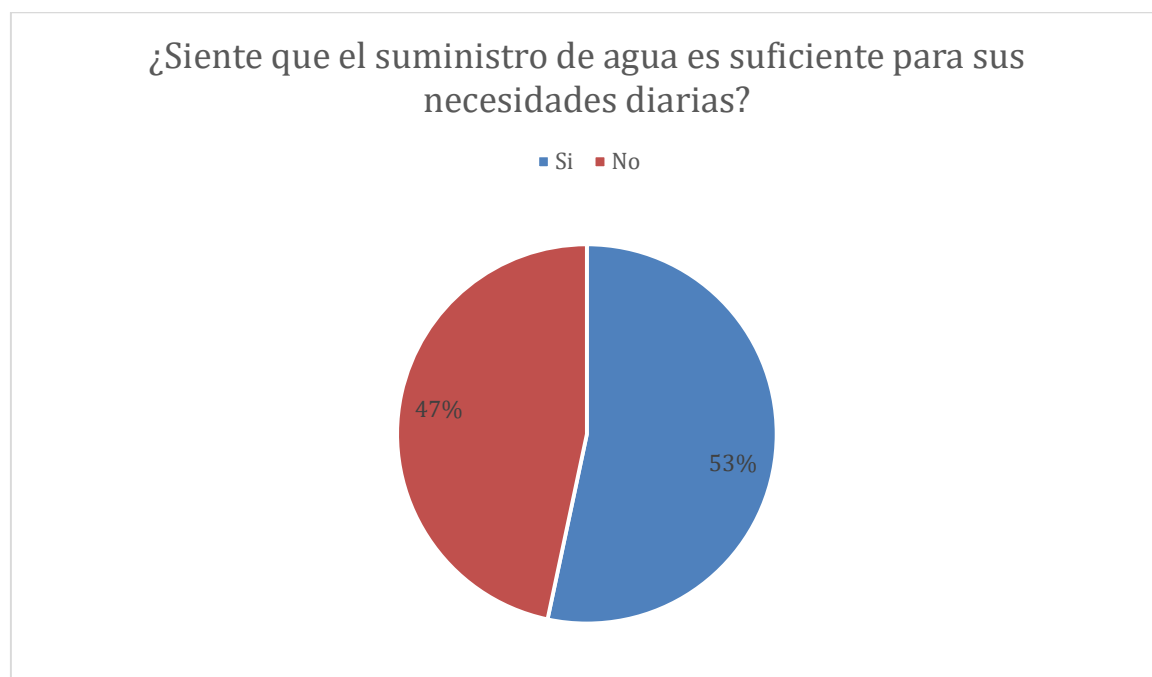
53% (8 personas) respondieron "Sí", indicando que experimentan irregularidades en la presión del agua.

47% (7 personas) respondieron "No", señalando que no perciben estos problemas.

Interpretación: Más de la mitad de los encuestados detecta fluctuaciones en la presión, lo que sugiere ineficiencias en el sistema de bombeo. Esto respalda la necesidad de implementar un BMS para monitorear y corregir estas variaciones, asegurando un suministro estable y eficiente.

Figura 15

Gráfico 2.



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 2 refleja las respuestas a la pregunta: "¿Siente que el suministro de agua es suficiente para sus necesidades diarias?"

53% (8 personas) respondieron "Sí", considerando adecuado el suministro actual.

47% (7 personas) respondieron "No", indicando insuficiencia en el servicio.

Interpretación:

Aunque la mayoría percibe que el suministro cubre sus necesidades, un porcentaje significativo (casi la mitad) expresa lo contrario. Esta división sugiere irregularidades en la distribución del agua, posiblemente vinculadas a:

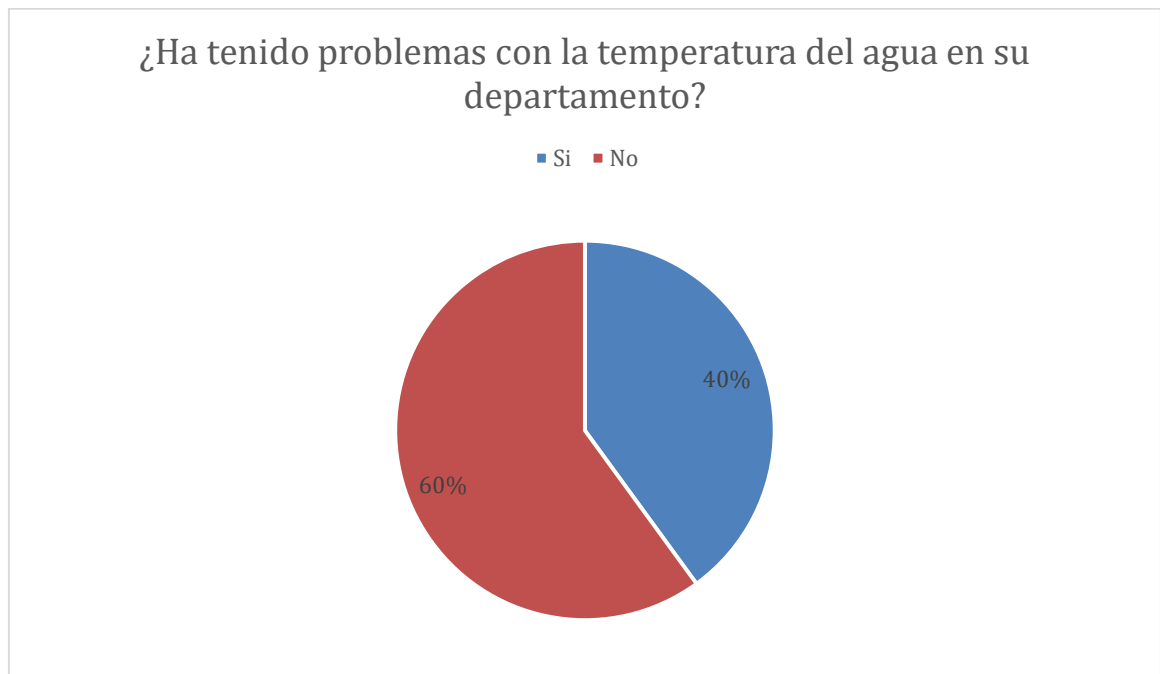
Fallas puntuales en el sistema de bombeo.

Presión desigual entre pisos (como se evidenció en el Gráfico 1).

La implementación del BMS podría optimizar la distribución y garantizar un servicio uniforme, resolviendo las quejas del 47% de los usuarios.

Figura 16

Gráfico 3.



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 3 presenta los resultados de la pregunta: "¿Ha tenido problemas con la temperatura del agua en su departamento?"

40% (6 personas) respondieron "Sí", reportando inconvenientes con la temperatura del agua.

60% (9 personas) respondieron "No", indicando que no experimentan este problema.

Interpretación:

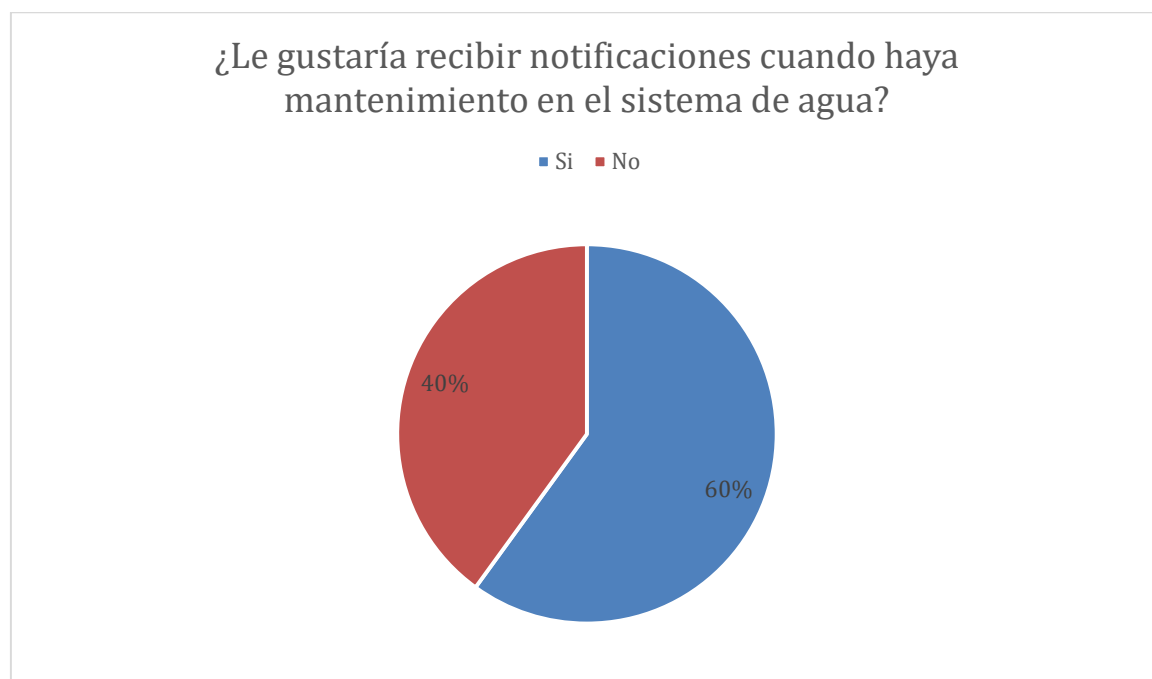
Aunque la mayoría no enfrenta problemas de temperatura, un 40% sí reporta irregularidades, lo que podría deberse a:

- *Fallas en el sistema de calentamiento de agua*
- *Inconsistencias en la presión que afectan el flujo de agua caliente (relacionado con los hallazgos del Gráfico 1)*
- *Distribución desigual entre pisos o áreas del edificio*

Estos resultados refuerzan la necesidad de integrar sensores de temperatura en el sistema BMS propuesto, permitiendo un monitoreo en tiempo real y ajustes automáticos para garantizar un suministro con temperatura estable en todo el edificio.

Figura 17

Gráfico 4.



Fuente: Elaboración propia.

El 60% de los usuarios (9 personas) desea recibir notificaciones sobre mantenimientos del sistema de agua, mientras que el 40% (6 personas) prefiere no recibirlas. Estos resultados destacan:

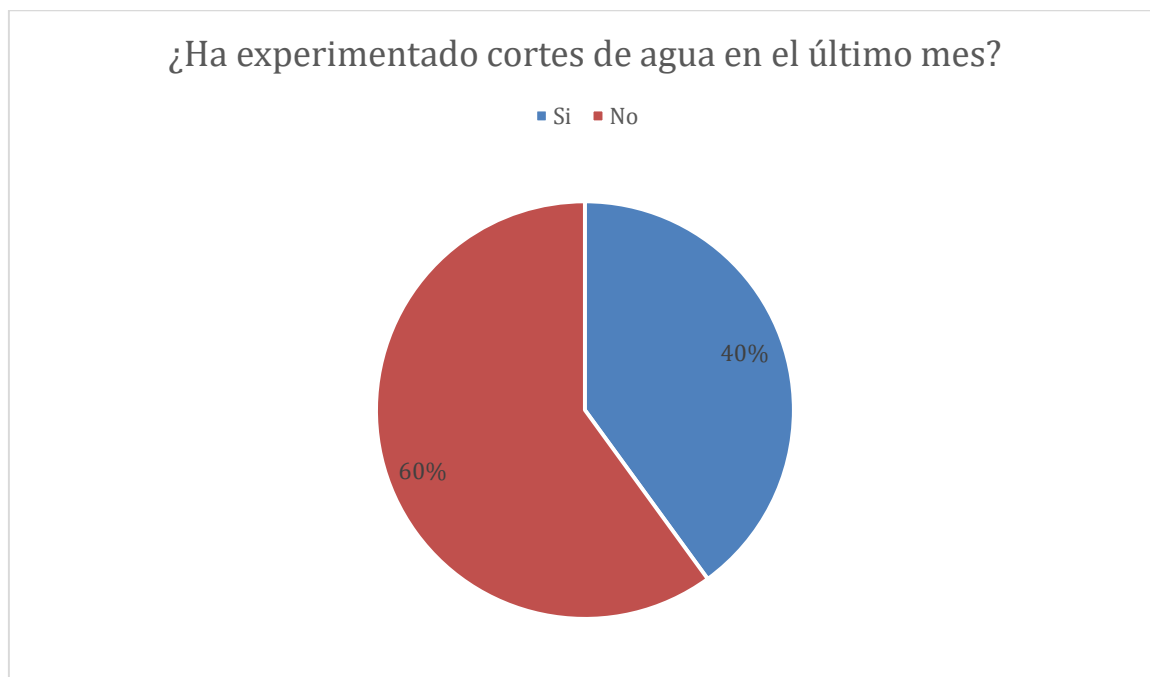
***Demanda de transparencia:** La mayoría valora estar informada sobre interrupciones programadas.*

***Oportunidad de mejora:** Implementar alertas automatizadas en el BMS mejoraría la comunicación y satisfacción de los usuarios.*

***Enfoque flexible:** Un sistema multicanal (app, email, pantallas) atendería distintas preferencias.*

Figura 18

Gráfico 5.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del Gráfico 5 revelan una situación preocupante en el suministro de agua del edificio: el 40% de los usuarios (6 de 15 encuestados) reportó haber sufrido cortes de agua durante el último mes. Si bien el 60% restante no experimentó interrupciones, esta cifra representa una proporción significativa que no puede ignorarse.

Estos datos adquieren mayor relevancia al considerar que se trata de un edificio judicial, donde la continuidad de los servicios básicos es fundamental para el normal desarrollo de las actividades legales. Los cortes recurrentes no solo afectan la comodidad de los ocupantes, sino que podrían interferir con procedimientos sensibles que requieren condiciones operativas estables.

La implementación del Sistema de Gestión de Edificios (BMS) propuesto podría abordar este problema mediante:

Monitoreo continuo que permita detectar y prevenir fallas potenciales

Automatización de procesos para minimizar interrupciones

Mecanismos de redundancia que garanticen el suministro durante mantenimientos.

Estos resultados pueden interpretarse de la siguiente manera:

- **Un 53% de los encuestados ha notado variaciones en la presión del agua** , lo que podría indicar inestabilidad en el sistema de bombeo.
- **Un 40% ha experimentado cortes de agua en el último mes** , lo que sugiere que estos no son un problema generalizado, pero aún afecta a una parte significativa de los residentes.
- **Un 53% considera que el suministro es suficiente** , aunque un 47% no lo percibe así, lo que indica la necesidad de evaluar el sistema de distribución.
- **Un 40% ha tenido problemas con la temperatura del agua** , lo que podría estar relacionado con el sistema de calentamiento.
- **Un 60% de los residentes prefiere recibir notificaciones de mantenimiento** , lo que muestra interés en mejorar la comunicación respecto al sistema de agua.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) para optimizar los sistemas de bombeo de agua en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José es una solución integral que aborda los desafíos actuales en la gestión y operación de estos sistemas vitales. La falta de un sistema centralizado ha demostrado ser un obstáculo significativo, generando ineficiencias operativas y riesgos para la seguridad de los ocupantes del edificio.

Si bien la implementación del BMS representa un avance significativo, es importante reconocer las limitaciones prácticas que podrían afectar su adopción. Una barrera crítica identificada es la posible resistencia del personal técnico a adoptar nuevas tecnologías, fenómeno documentado en estudios de implementación de BMS en entornos institucionales (Martín & García, 2017). Esta resistencia podría manifestarse en una curva de aprendizaje más prolongada de lo esperado y en la necesidad de capacitaciones adicionales. Asimismo, la coexistencia de equipos antiguos con la nueva tecnología podría generar incompatibilidades temporales que requerirían soluciones de interoperabilidad específicas.

Otra limitación relevante es la dependencia tecnológica que genera el sistema. Los datos recopilados durante el diagnóstico muestran que el personal de mantenimiento actual carece de experiencia previa con plataformas BMS, lo que podría comprometer la eficacia inicial del sistema. Además, la infraestructura eléctrica existente en algunos sectores del edificio podría requerir actualizaciones para soportar los requerimientos de los nuevos sensores y actuadores, particularmente en áreas donde el cableado data de más de 15 años.

La automatización de los equipos de bombeo es una de las principales ventajas que ofrece el BMS. Al integrar los sistemas en una plataforma centralizada, se facilita el control y monitoreo en tiempo real, lo que permite una respuesta más ágil ante fallas y minimiza el riesgo de errores humanos. Esto no solo optimiza la operación de los sistemas de bombeo, sino que también reduce la carga de trabajo del personal de mantenimiento, permitiendo que se concentren en tareas más estratégicas y menos rutinarias.

Asimismo, la detección temprana de fallas se convierte en un elemento clave para mantener la continuidad del servicio, especialmente en un entorno judicial donde la disponibilidad de agua es crítica. La capacidad del BMS para alertar al personal sobre problemas inminentes contribuye a prevenir interrupciones en el suministro de agua, asegurando un ambiente seguro y confiable para todos los usuarios del edificio.

Además, la implementación del BMS establece una base sólida para futuras mejoras y expansiones del sistema. La flexibilidad del sistema permite integrar nuevos equipos y tecnologías a medida que evolucionan las necesidades del edificio y las normativas del sector. Esta adaptabilidad es esencial para garantizar que el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José se mantenga a la vanguardia en eficiencia y seguridad a largo plazo.

En conclusión, la adopción de un Sistema de Gestión de Edificios es una inversión estratégica que no solo resolverá los problemas operativos actuales, sino que también proporcionará una plataforma sostenible para el futuro. Al mejorar la eficiencia, reducir costos y asegurar la seguridad, el BMS se convierte en un componente fundamental para el funcionamiento óptimo del Edificio de Torre Judicial y el bienestar de sus ocupantes.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollo de un Plan de Implementación Detallado : Se recomienda elaborar un plan de implementación detallado que incluya un cronograma claro, presupuesto estimado y recursos necesarios para la integración del Sistema de Gestión de Edificios (BMS). Este plan debe contemplar todas las fases del proyecto, desde la selección del personal técnico hasta la capacitación del personal operativo.

2. Selección de Proveedores Calificados : Es fundamental elegir proveedores y contratistas con experiencia en la implementación de BMS. Se sugiere realizar un proceso de selección riguroso que considere la trayectoria, certificaciones y referencias de proyectos anteriores para garantizar la calidad del sistema instalado.

3. Capacitación Continua del Personal : Una vez implementado el BMS, se recomienda establecer un programa de capacitación continua para el personal de mantenimiento y operación. Esto asegurará que el equipo esté actualizado en el uso del sistema y en la resolución de problemas, lo que a su vez contribuirá a maximizar la eficiencia operativa.

4. Mantenimiento Preventivo Regular : Implementar un programa de mantenimiento preventivo regular para todos los equipos de bombeo y componentes del BMS. Esto permitirá detectar y corregir problemas antes de que se conviertan en fallas mayores, asegurando el funcionamiento óptimo del sistema.

5. Monitoreo y Evaluación de Desempeño : Se sugiere establecer un sistema de monitoreo y evaluación del desempeño del BMS que incluya indicadores clave de rendimiento (KPI). Estos indicadores permitirán medir la eficiencia del sistema y realizar ajustes en tiempo real para mejorar su funcionamiento.

6. Actualización y Mejora Continua : Es importante mantener el BMS actualizado con las últimas tecnologías y mejores prácticas del sector. Se recomienda realizar revisiones periódicas del sistema para identificar oportunidades de mejora y adaptaciones a las nuevas normativas y avances tecnológicos.

7. Fomentar la Cultura de Seguridad : Se debe promover una cultura de seguridad entre todos los empleados del edificio, enfatizando la importancia del suministro de agua y el correcto funcionamiento del BMS. La formación en prácticas de seguridad y la concienciación sobre el impacto de fallas en los sistemas de bombeo son esenciales para garantizar un entorno seguro.

8. Involucrar a los Usuarios : Incluir a los usuarios del edificio en el proceso de implementación del BMS puede facilitar la aceptación y el uso efectivo del sistema. Se recomienda realizar sesiones informativas para explicar los beneficios del BMS y cómo este mejorará el servicio y la seguridad en el edificio.

Siguiendo estas recomendaciones, se logrará una implementación exitosa del BMS que optimiza los sistemas de bombeo de agua en el Edificio de Torre Judicial del Primer Circuito Judicial San José, asegurando su eficiencia operativa y contribuyendo a un ambiente seguro y confiable para todos sus ocupantes.

REFERENCIAS

- Álvarez, F., & González, R. (2017). *Sistemas de gestión energética en edificios: Tecnologías y aplicaciones*. Editorial UAM.
- Ballester, J., & Pérez, A. (2015). *Tecnologías de automatización y control para la eficiencia energética en edificios*. Editorial Marcombo.
- Bhatia, A. (2014). *Energy management systems for buildings: New trends in technology, monitoring, and optimization*. Wiley-Blackwell.
- Blasco, R., & García, P. (2016). *Estrategias de eficiencia energética en edificios: Nuevas tecnologías y soluciones*. Editorial Reverté.
- Choudhary, R., & Kalawsky, R. (2019). *Building management systems and energy efficiency: Modeling, control and optimization*. Springer.
- Domínguez, J. (2018). *Gestión de la eficiencia energética en edificios: Guía práctica*. Ediciones Paraninfo.
- Gómez, J., & Martínez, P. (2019). *Control de sistemas de climatización y bombeo en edificios inteligentes*. Editorial Díaz de Santos.

- Goetz, A. M. (2018). *Smart building systems: A guide to building automation*. Routledge.
- Gupta, R., & Agrawal, R. (2016). *Intelligent building systems and technologies*. IGI Global.
- Hay, D., & Goonetilleke, A. (2015). *Design of smart building systems for energy efficiency*. Cambridge University Press.
- Hernández, L., & López, E. (2020). *Automatización de edificios para la optimización energética*. Editorial Ediciones Académicas.
- Hong, T., & D'Oca, S. (2015). *Smart buildings: Technologies and applications*. Elsevier.
- Karamouzis, S., & Stojanovic, J. (2020). *Building energy management systems: Research and development trends*. Springer.
- Kim, S. W., & Lim, Y. (2016). *Building energy efficiency and sustainable design*. Routledge.
- Lee, Y. J., & Hsieh, J. H. (2018). *Sustainable water management in buildings: Optimization strategies*. Wiley-VCH.
- Liu, X., & Zhang, Y. (2017). *Smart building technologies and their applications*. Springer.
- Lutz, J., & Hirst, E. (2016). *Water supply systems optimization: New approaches in design and maintenance*. Wiley.

Madriz-Huete, M. (2011). Integración de sistemas de administración de edificios.

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3096?show=full>

Martín, M., & García, R. (2017). Sistemas de automatización de edificios: Fundamentos y aplicaciones. Editorial UPV.

Martínez, V. (2016). Gestión de la energía en edificaciones: Tecnología aplicada y eficiencia. Editorial Omega.

Mejía, M., & Alexander, B. (2022). Diseño de investigación propuesta de un sistema Boulding Management Sistema (BMS) con una red LAN convergente para la gestión y mejora de calidad de los servicios generales del complejo inmobiliario CRECE, zona 4 de Mixco, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Moshiri, B., & Ghaffari, A. (2015). Energy-efficient building management systems and their applications in smart cities. Elsevier.

Navarro, J. (2015). Tecnología y gestión de sistemas de bombeo en edificios. Editorial McGraw-Hill.

(N.d.-a). Edu.Co. Retrieved October 22, 2024, from

<https://red.uao.edu.co/entities/publication/f07d2014-4ffb-4ce6-8b42-439aa5589047>

(N.d.-b). Edu.Ec. Retrieved October 22, 2024, from

Newell, C. (2019). Advanced building management systems and energy optimization. McGraw-Hill.

O'Connor, J. T., & McKenna, L. (2017). Designing for energy efficiency: New trends in building management systems. CRC Press.

Ochoa, A., & Capeluto, I. G. (2015). Water management technologies for sustainable buildings. Elsevier.

Peña, A., & Sammy, C. A. (2018). Diseño e implementación de un BMS para el mantenimiento y ahorro energético de un Hospital de la Región de San Martín. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

Pérez, F., & Hernández, S. (2018). Gestión inteligente del agua en edificios: Soluciones tecnológicas para la optimización. Editorial CEAC.

Rivas, S., & López, M. (2016). Automatización de sistemas hidráulicos en edificios: Proyectos y soluciones. Editorial AENOR.

Rivera Jiménez, J., (2020). propuesta de integración general de sistemas electromecánicos mediante bms en el hospital de las mujeres Dr. Adolfo Carid Eva, para la mejora en la gestión de ingeniería y mantenimiento. Universidad Central, San José Costa Rica.

- Rodríguez, J., & Fernández, C. (2017). Diseño y operación de sistemas hidráulicos para edificios. Editorial Alfaomega.
- Romero, M., & Sánchez, R. (2015). Gestión energética en la construcción y la automatización de sistemas. Editorial McGraw-Hill.
- Salazar, J., & Ramírez, L. (2020). Sistemas inteligentes de edificios: Diseño, operación y gestión. Editorial Universidad de Alicante.
- Sánchez, C., & Paredes, P. (2019). Eficiencia y sostenibilidad en los sistemas de agua para edificios. Editorial CSIC.
- Sharma, A., & Kim, H. (2020). Optimizing water systems in building management: Theory and applications. Springer.
- Tam, C. T., & Wong, K. L. (2018). Smart building technologies and systems integration. Springer.
- Torres, M., & García, J. (2018). Control y optimización de los sistemas hidráulicos en edificios modernos. Editorial Ediciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Valero, A., & Salinas, F. (2015). Automation systems for water pumps and building management. Springer.

- Vega, R., & Soto, E. (2017). *Gestión y control de la energía en edificios inteligentes: Aplicaciones y soluciones*. Editorial Planeta.
- Vidal, A., & Fuentes, M. (2015). *Control de energía y agua en edificios: Tecnologías y estrategias de eficiencia*. Editorial Grupo Editorial Académico.
- Zamorín, L., & Llorente, J. (2020). *Sistemas hidráulicos para la gestión eficiente del agua en edificios*. Editorial Ediciones Díaz de Santos.
- Zhai, Z., & Song, M. (2017). *Advancements in building automation and energy efficiency*. Wiley.
- Zúñiga, D., & Rodríguez, L. (2016). *Sistemas de automatización y control de edificios: Soluciones para la eficiencia energética y sostenibilidad*. Editorial Librería Internacional.