

Propuesta de mejora para el servicio de aires acondicionados en la Pontificia Universidad Javeriana Cali

Miguel Ángel López Gómez ^{1a,c}, Maria Alejandra Maya Chacón ^{2a,c}, Natalia Pachón Buchelli ^{3a,c}, Juan Pablo Pinzón Martínez ^{4a,c}

Juan Camilo Paz Ph.D ^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

^dEntidad y área donde realizó el estudio

Resumen en español

En la Pontificia Universidad Javeriana Cali se busca proporcionar una educación de alta calidad en un entorno propicio, en el que las personas que hacen uso de las instalaciones de la institución se encuentren en ambientes satisfactorios. En línea con esta política la universidad construyó un distrito de enfriamiento que ha permitido reducir el consumo de energía, eliminar el ruido y reducir los costos de mantenimiento de los aires acondicionados. No obstante, el centro de Recursos Físicos y ambientales de la universidad ha tenido una percepción de aumento de las quejas frente al mal funcionamiento del sistema de aires acondicionados durante este último semestre, lo que indica que el sistema no funciona óptimamente y afecta negativamente a los usuarios. Para abordar el problema, se realizó un estudio preliminar para identificar el estado actual de percepción y satisfacción de los usuarios del sistema mediante una encuesta a 245 usuarios. Por otro lado, se realizaron mediciones de temperaturas en los espacios de los edificios Lago y Palmas donde hay más incidencia de reportes de fallas de acuerdo con la percepción de los usuarios encuestados.

Los resultados del estudio mostraron deficiencia en el sistema en cuanto a los tiempos de respuesta a requerimientos, fallas recurrentes en los aires acondicionados, poca disponibilidad de aires acondicionados en funcionamiento y al desperdicio en cuanto a la ocupación de los espacios cuando el aire se encuentra encendido. Como propuesta de mejoramiento del problema, este proyecto presenta el diseño de dos modificaciones al sistema de control de operación de la prestación del servicio de aires acondicionados basados en la integración de elementos de automatización e internet de las cosas. Los sistemas diseñados se verificaron a nivel técnico con opinión de expertos, y se evaluaron considerando las implicaciones de la implementación de cada sistema a nivel financiero.

Palabras claves: Satisfacción de los usuarios, Sistema de aire acondicionado, Automatización sistema aire acondicionado, Administración de tareas, Requerimientos.

Abstract

In Pontificia Universidad Javeriana Cali, the aim is to provide high-quality education in a conducive environment, ensuring that users of the institution's facilities are in satisfactory surroundings. In line with this policy, the university has constructed a cooling district that has reduced energy consumption, eliminated noise, and lowered air conditioning maintenance costs. However, the university's Physical and Environmental Resources Center has noted an increase in complaints regarding the malfunction of the air conditioning system over the last semester, indicating suboptimal performance negatively impacting users. To address this issue, a preliminary study was conducted to assess current user perception and satisfaction with the system through a survey of 245 users. Additionally, temperature measurements were taken in the Lago and Palmas buildings, where reports of failures are most frequent according to user feedback.

The study revealed deficiencies in the system regarding response times to requests, recurring air conditioning failures, limited availability of functioning units, and inefficiencies in space occupancy when air conditioning is active. As a proposed improvement, this project introduces two modifications to the air conditioning service operation control system, integrating elements of automation and the Internet of Things. These systems were technically validated with expert input and evaluated considering the financial implications of each implementation.

Keywords: User satisfaction, Air conditioning system, Air conditioning system automation, Task management, Requirements.

Tabla de Contenido

I.	PROJECT CHARTER	5
II.	DEFINIR	6
	A. Contexto del problema y justificación (¿por qué?).....	6
	B. Planteamiento del problema	10
	C. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?).....	10
	D. Requerimientos	13
	1) Restricciones de diseño (Factibilidad)	13
	2) Especificaciones de diseño (Características)	13
	3) Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas).....	14
III.	MEDIR	15
	A. Modelo del sistema actual.....	15
	B. Desempeño del sistema actual	19
	C. Revisión de literatura	20
IV.	ANALIZAR.....	24
	A. Alternativas de diseño [6]	24
	B. Selección de alternativa de diseño.....	27
	C. Objetivos	29
	D. Recolección y análisis de datos	29
	E. Plan de trabajo (PdT).....	34
V.	DISEÑAR.....	34
	A. Propuesta de esquema conceptual para la clasificación de niveles de automatización en sistemas de aire acondicionado:.....	35
	B. Caracterización sistema actual de aire acondicionado en la Universidad Javeriana Cali.....	37
	Procesos.....	37
	Elementos	40
	Procedimientos.....	41
	C. Definición del sistema de control de aires acondicionados propuestos	41
	1) Sistema 1: sistema de aire acondicionado con automatización parcial	42
	Procesos.....	42
	Elementos	44
	Procedimientos.....	45
	2) Sistema 2: sistema de aire acondicionado con automatización avanzada	45
	Procesos.....	46

Elementos	47
Procedimientos.....	48
VI. VERIFICAR.....	49
VII. GLOSARIO.....	52
VIII. REFERENCIAS	52
IX. ANEXOS.....	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Áreas de diseño de ingeniería industrial relacionadas con el problema.....	10
Tabla 2. Matriz Impacto Vs Influencia grupos de interés.	11
Tabla 3. Símbolos y definiciones variables de indicadores.	19
Tabla 4. Indicadores de desempeño.	20
Tabla 5. Aplicación de mejora de satisfacción de usuarios en sistemas de aires acondicionados.	21
Tabla 6. Criterios de selección de las alternativas de diseño.....	27
Tabla 7. Evaluación de las alternativas.....	27
Tabla 8. Edificios donde hay mayor insatisfacción frente a los aires acondicionados.....	32
Tabla 9. Resumen estadística descriptiva temperatura de los salones.....	33
Tabla 10. Resúmenes indicadores de desempeño.....	33
Tabla 11. Plan de trabajo (PdT).....	33
Tabla 12. Niveles de Automatización de la Selección de Decisiones y Acciones.....	34
Tabla 13. Niveles de Automatización de los sistemas propuestos y sistema actual de acuerdo con cada función de procesamiento de la información	39
Tabla 14. Niveles de Automatización de los sistemas propuestos y sistema actual de acuerdo con cada función de procesamiento de la información.....	40
Tabla 15. Resumen elementos a utilizar en sistema 1 con automatización parcial.....	43
Tabla 16. Resumen elementos a utilizar en sistema 2 con automatización avanzada.	46
Tabla 17. Resultados costo anual uniforme equivalente para el sistema 1 con automatización parcial, teniendo en cuenta análisis de sensibilidad.	48
Tabla 19. Resultados costo anual uniforme equivalente para el sistema 2 con automatización Avanzada, teniendo en cuenta análisis de sensibilidad.	48

Índice de Figuras

Fig.1 Sistema de aire acondicionado en la Universidad Pontificia Javeriana Cali del año 2015.....	8
Fig.2. Mapa sistema de aire acondicionado en la Universidad Pontificia Javeriana Cali	8
Fig.3 Distrito de enfriamiento en la Universidad Pontificia Javeriana Cali.....	9
Fig.4 Impacto Vs Influencia de los grupos de interés.....	12
Fig.5 Diagrama SIPOC sistema de aires acondicionado en la institución académica	16
Fig.6 Diagrama de flujo en carriles para mantenimiento preventivo.....	17
Fig.7 Diagrama de flujo en carriles para mantenimiento correctivo.....	18
Fig.8 Diagrama espina de pescado para identificación de posibles causas del problema.....	24
Fig.9 Brainwriting de alternativas de diseño.....	25
Fig.10 Monitor de estrés térmico.....	30
Fig.11 Termo anemómetro.....	30
Fig.12 Satisfacción del funcionamiento de los aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.....	30
Fig.13 Satisfacción de la temperatura de los aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.....	31

Fig.14 Satisfacción frente a la resolución de requerimientos de los aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.....31

Fig.15 Diagrama de dispersión de temperatura.....32

Fig.16 Modelo de un Sistema Coactivo36

Fig.17 Sistema actual de disponibilidad del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.....37

Fig.18 Sistema actual de la operación del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.....38

Fig.19 Sistema actual del servicio correctivo de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.....39

Fig.20 Sistema con automatización parcial de la disponibilidad del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.....41

Fig.21 Sistema con automatización parcial de la operación del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.....42

Fig.22 Sistema con automatización parcial del servicio correctivo de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali...43

Fig.23 Integración de los elementos en el sistema 1 con automatización parcial.44

Fig.24 Sistema con automatización avanzada del servicio disponibilidad de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.....45

Fig.25 Integración de los elementos en el sistema 2 con automatización avanzada.....46

I. PROJECT CHARTER

Descripción (<i>Business case</i>)	Planteamiento del problema (<i>Problem statement</i>)		
<p>Según un estudio de Joshua Goodman y otros investigadores de Harvard y la UCLA [1], reveló que el aumento de temperatura se relaciona con una disminución del rendimiento escolar y la productividad laboral.</p> <p>La Pontificia Universidad Javeriana Cali reconoce la importancia de proporcionar un entorno educativo satisfactorio y de alta calidad, lo cual está intrínsecamente relacionado con las condiciones de los espacios, considerando que el 70% del gasto energético de la institución proviene de los aires acondicionados. Para optimizar su rendimiento, se hace énfasis en una gestión eficiente de mantenimiento basada en políticas de confiabilidad de equipos, que busca no solo satisfacer a los usuarios sino también reducir los costos asociados con reparaciones y aumentar la durabilidad del sistema.</p> <p>Con el objetivo de mejorar su sistema de enfriamiento, la universidad pasó de un sistema descentralizado a uno centralizado llamado Distrito de Enfriamiento, compuesto por tres chillers de enfriamiento que abastecen todos los edificios de la institución. Este sistema ha demostrado reducir el consumo energético en un 50% en comparación con el sistema anterior, además de eliminar ruidos, reducir costos de mantenimiento y centralizar el control. Sin embargo, a pesar de estas mejoras, persisten las solicitudes de mantenimiento y reparación por parte de los usuarios, lo que sugiere que se necesitan esfuerzos adicionales para alcanzar las expectativas de satisfacción del usuario en cuanto al funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado.</p> <p>El impacto se mide en una escala de 1-5 puntos:</p> <p>Oficina de recursos físicos y ambientales: Proyecto de reestructuración del sistema de aire acondicionado para reducir costos y mejorar la satisfacción del usuario, con un enfoque en mantenimiento y eficiencia térmica. 3 puntos</p> <p>Proveedores de aires acondicionados y SECAR INGENIERIOS S.A: Colaboración para obtener información valiosa sobre tecnología, tiempos de temperatura adecuada, implementación óptima de equipos y programación de mantenimientos preventivos. 2 puntos</p> <p>Estudiantes, profesores y usuarios de aulas del campus: Evaluadores clave de la calidad del servicio de aire acondicionado, con impacto directo en la calidad educativa y productividad. Enfoque sistémico para mejorar concentración y desempeño. 5 puntos</p> <p>Departamento de ingeniería: Capacidades para resolver problemas y mejorar la eficiencia del sistema de aire acondicionado, beneficiando a todos los usuarios en términos de comodidad y productividad. 3 puntos</p> <p>Instituciones educativas: Posibilidad de compartir mejores prácticas en la gestión de sistemas de aire acondicionado para reducir costos y aumentar la productividad en el entorno educativo. 2 puntos</p>	<p>Actualmente, existe una brecha entre el estado actual del nivel de satisfacción del sistema de aires acondicionado y los requerimientos que se esperan del sistema en cuanto a su funcionamiento y tiempo de respuestas frente a fallas, lo que puede estar explicado por la existencia de múltiples fallas reportadas sobre los equipos de aires acondicionados, además hay una percepción ineficiente en cuanto a la respuesta por parte del equipo de mantenimiento, esto ha ocasionado una insatisfacción en los usuarios de la institución educativa y por ende puede estar generando un impacto en los costos de mantenimientos correctivos de los equipos.</p>		
	<p>Presupuesto: Se dispone de un presupuesto anual de \$1.600.000.000 de pesos, distribuidos en \$1.000.000.000 para mantenimiento y \$600.000.000 para renovación o implementación de nuevos equipos.</p> <p>Aspectos Ambientales: Es fundamental cumplir con las directrices ambientales de la universidad, priorizando la eficiencia energética, la reducción de emisiones contaminantes y el control de consumo de agua. Se establece un límite diario de consumo de agua de 260 m3, proveniente de la planta de tratamiento del río Pance. Además, se debe minimizar el consumo de energía, con un estándar de 0.82 kWh/TR para equipos de enfriamiento.</p> <p>Aspectos Sociales: Los sistemas deben cumplir con normativas universitarias de seguridad y accesibilidad.</p> <p>Seguridad: La manipulación de los equipos debe ser segura para el personal encargado. Se requiere etiquetado y aseguramiento de interruptores para evitar accidentes durante el mantenimiento.</p>	<p>-Distrito de Enfriamiento.</p> <p>-Bombas de agua: Se requiere una presión de 60 psi para que se garantice un caudal de 60 litros /segundo.</p> <p>-Termostatos: capacidad de medir la temperatura ambiente y enviar una señal a la planta central.</p> <p>-Personal de mantenimiento de los aires acondicionados</p> <p>-Satisfacción del usuario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normativa norte americana ASHRAE • La Norma Técnica Colombiana NTC 205. • La Resolución 909 de 2008.
Impacto de los actores (<i>Stakeholder's business needs</i>)	Restricciones	Especificaciones	Marco legal
Indicadores de Desempeño (<i>KPI's</i>)			
Variable	Actualidad	Meta	
Desviación media meta Temperatura Aires Acondicionados.	Existe un promedio de desviación meta de 2,51 grados Celsius	Minimizar la desviación meta entre la temperatura real de los espacios y la temperatura de referencia de 24 grados Celsius, Desviación de 1 grado Celsius.	

Nivel de satisfacción de los usuarios.	El índice de satisfacción con relación al funcionamiento de los aires acondicionados es de 33,47%.			Porcentaje de satisfacción del 95%	
Porcentaje de disponibilidad	El 55% de las veces, los aires acondicionados se encontraban funcionando y de ese 55%, 32% de las veces los salones se encontraban desocupados.			Maximizar este indicador con el fin de que haya mayor disponibilidad en el funcionamiento de los equipos y menor número de fallas.	
Objetivo general (Goal statement)					
Diseñar el sistema de control de aires acondicionados en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, basado en técnicas de automatización inteligente.					
Objetivos específicos (Project scope)					
<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar el nivel de automatización del sistema actual de servicio de aires acondicionados en la universidad Javeriana Cali, con el fin de reconocer los recursos y capacidad operativa del sistema para identificar puntos de mejora. 2. Definir el sistema de control de aires acondicionados en términos de requerimientos tecnológicos y operativos. 3. Validar los impactos e implicaciones del sistema de control de aires acondicionados para analizar el rendimiento técnico y la viabilidad financiera de cada sistema. 					
Plan de Trabajo (Project Plan)				Equipo de trabajo (Team members)	
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE	Nombre	Rol
Marco Conceptual Automatización.	Febrero 17 2024	Marzo 3 2024	Análisis y Mejora de Sistemas	Miguel Ángel López Gómez	
Diseño conceptual sistemas de automatización propuestos.	Marzo 8 del 2024	Abril 2 del 2024	Análisis y Mejora de Sistemas	Maria Alejandra Maya Chacón	
Investigar tecnologías de automatización aplicables al servicio de aires acondicionados	Abril 5-2024	Mayo 20-2024	Ingeniería de métodos	Natalia Pachón Buchelli	
Diseñar proceso operativo de cada sistema de control.	Abril 17-2024	Mayo 20-2024	Ingeniería de métodos	Juan Pablo Pinzón Martínez	
Evaluar el rendimiento de cada propuesta	Mayo 14-2024	Mayo 22-2024	Evaluación y Diseño de Trabajo		
Realizar un análisis técnico y financiero de cada sistema de control.	Mayo 19-2024	Mayo 19-2024	Evaluación y Diseño de Trabajo		

II. DEFINIR

A. Contexto del problema y justificación (¿por qué?)

De acuerdo a un estudio realizado por Joshua Goodman y otros investigadores en las universidades de Harvard y la UCLA (Universidad de California, Los Angeles) con aproximadamente 10 millones de estudiantes durante 13 años, se obtuvo como resultado que cuando aumenta el calor, disminuye el rendimiento escolar. Conforme a los resultados de los exámenes PSAT (examen preliminar SAT para la admisión a universidades de Estados Unidos.) los expertos calcularon que por cada aumento de 0,55 grados Celsius en la temperatura promedio durante el año, ocurre una caída del 1% del aprendizaje, además la reducción en el aprendizaje comienza a ser detectable cuando la temperatura sube por encima de los 21 grados y se acelera a partir de los 32 grados Celsius, por ende el calor genera que los estudiantes tengan tendencia a una mayor falta de concentración y agotamiento tanto físico como mental. De igual manera, en cuanto el ambiente laboral, las altas temperaturas afectan tanto la productividad

como el confort de los trabajadores [1]. La demanda energética para el enfriamiento de espacios se ha triplicado durante los últimos 30 años, convirtiendo a los aires acondicionados en el sistema con el mayor crecimiento de consumo de energía a nivel global. En el 2019, alrededor del 8,5% del uso de la electricidad global proviene de los aires acondicionados [2].

La Pontificia Universidad Javeriana Cali es una institución de educación superior cuyo objetivo es proporcionar una educación de alta calidad en un entorno propicio, de manera que las personas que hacen uso de las instalaciones se encuentren en ambientes de satisfacción, teniendo en cuenta que la calidad de desempeño de la Universidad está ligada a las condiciones en las que se encuentren los espacios. Dentro de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, se reconoce la importancia de un sistema de acondicionamiento de aire que se desempeñe de manera eficiente y sostenible, buscando alcanzar la comodidad y la productividad de los usuarios dentro del entorno educativo, adicionalmente se refleja en que aproximadamente el 70% del costo de la energía de la universidad es por aires acondicionados indicando altos costos y posible incorrecta implementación de estos dispositivos en los diferentes espacios. Para lograr una correcta implementación de los equipos y satisfacción de los usuarios por el servicio brindado por la entidad, es fundamental una buena gestión de mantenimiento de los equipos de aire acondicionado para satisfacer al cliente y mitigar los altos costos que se presenten. Esta gestión debe estar basada en políticas que hacen referencia a la confiabilidad de los equipos respecto al funcionamiento continuo. La eficiente gestión de mantenimiento de los equipos genera optimización, confiabilidad, rentabilidad, cumplimiento, baja inversión en las actividades correctivas y contribuye al funcionamiento continuo de los equipos. Asimismo, se ve beneficiada la satisfacción de los usuarios del sistema, ya que la percepción que tienen los usuarios finales acerca de la calidad y el funcionamiento del servicio de suministro de aires acondicionados depende directamente de la calidad del servicio que la oficina de recursos físicos y ambientales ofrece [3].

Actualmente el mantenimiento es fundamental para tener un servicio constante que conlleve al uso correcto de los dispositivos de aire acondicionado, lo cual busca aumentar la fiabilidad del funcionamiento de los equipos manteniendo las condiciones de eficiencia. El término confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo funcione adecuadamente durante un periodo de tiempo determinado bajo operaciones fijas, donde se realizan no solo mantenimientos correctivos sino también preventivos. La confiabilidad de los equipos de aire acondicionado es clave, ya que puede influir en la satisfacción de los usuarios, de forma que un sistema confiable funcionará lo más consistente posible y proporcionará la temperatura adecuada constantemente. Los usuarios depositarán su confianza en la capacidad de los aires acondicionados para operar de manera consistente y brindar la sensación deseada de confort térmico. También la fiabilidad del sistema se verá reflejada en menos probabilidades de sufrir algún tipo de fallo que podría causar molestias y periodos de incomodidad a los usuarios. Esto también se refleja en los costos de mantenimiento, ya que con una menor incidencia de fallas en el sistema, se necesitarán menos reparaciones. Un mantenimiento correcto o preventivo a lo largo del tiempo contribuirá a la durabilidad del sistema. De esta manera se puede asegurar satisfacción entre los usuarios que los ayude a ser más proactivos en sus actividades dentro de la Universidad.

La universidad ha venido buscando realizar mejoras al sistema de enfriamiento de aires acondicionados para optimizar su funcionamiento. En el año 2015 se obtuvo una cantidad de 17.000 requerimientos por parte de los usuarios de la universidad, dentro de los cuales el 25% eran relacionados a problemas de aire acondicionado e insatisfacción de los usuarios. Anteriormente se contaba con equipos satélites que alimentaban solamente algunos sectores de la universidad, estos se encontraban divididos por chillers de enfriamiento. Había tres equipos los cuales se encontraban descentralizados, generando altos costos de mantenimiento y operativos, además cada uno de los sistemas utilizaban un programa de cómputo diferente, por lo que el control de fallas en el sistema era más difícil de identificar. De esta manera, en este año se empezó a trabajar en el proyecto de distrito de enfriamiento. La figura 1 presenta uno de los chillers antiguos.



Fig.1. Sistema de aire acondicionado en la Universidad Pontificia Javeriana Cali del año 2015.

Después del año 2020, en la institución educativa se implementó un sistema de aire acondicionado centralizado, conocido como Distrito de enfriamiento, el cual se encarga de alimentar todos los edificios de la universidad mediante la utilización de tres chillers de enfriamiento. La figura 2 y 3 presenta el mapa de la distribución del sistema de aire acondicionado y el Distrito de enfriamiento de la Universidad, en el cual se indica los diferentes equipos que se encuentran en los edificios de la universidad.

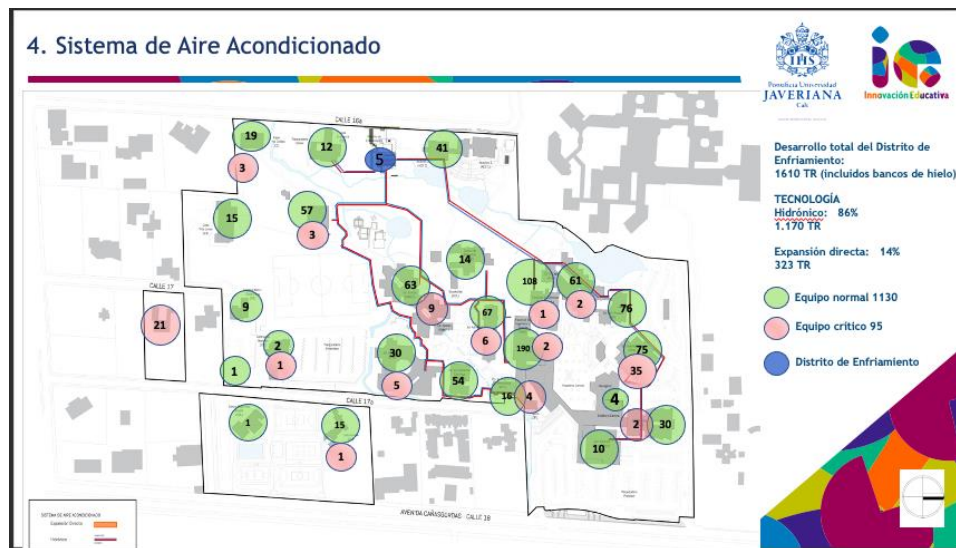


Fig.2. Mapa sistema de aire acondicionado en la Universidad Pontificia Javeriana Cali [4]



Fig.3. Distrito de enfriamiento en la Universidad Pontificia Javeriana Cali.

El distrito de enfriamiento permite tener una carta de navegación completa del aire acondicionado, ya que es un sistema muy sensible para toda la comunidad, tiene 2 km de tuberías con 120 m³ de agua, que tienen aislamiento térmico que garantiza que las temperaturas de salida sean igual en cualquier punto de la red de tuberías. Asimismo, el sistema de enfriamiento tiene un configurador de circuito que son válvulas instaladas al inicio de cada edificio para garantizar el caudal de agua necesario y cumplir con la demanda para cada edificio considerando el factor de simultaneidad ya establecido por la oficina de recursos físicos y ambientales, que indica que la oferta de aire acondicionado abastece al menos el 60 % de la demanda por edificio. De esta manera, los 3 chillers del distrito de enfriamiento cada uno cuenta con una capacidad de 3.000 TR (toneladas de refrigeración), sin embargo, para abastecer a toda la universidad solo se prenden 2 chillers de enfriamiento y se utiliza 600 TR. Para tener control frente a la temperatura de los sistemas, los chillers cuentan con termómetros internos que permiten monitorear la temperatura interna y cumplir con los estándares establecidos para la temperatura, de igual manera, los horarios de funcionamiento preestablecidos para los aires acondicionados de los salones son de 7:00 am a 9:30 pm, se interrumpe el sistema de funcionamiento entre 1 y 2 pm debido a que es el horario de almuerzo. Para garantizar el cumplimiento de los horarios, los aires se encienden a las 6:45 am y se apagan a las 8:45 pm debido a la inercia térmica. Por otro lado, para el edificio Cedro Rosada y el auditorio Alfonso Raúl Posada está implementado un sistema BMS (*Building Management System*) el cual contiene sensores que permite medir la temperatura en tiempo real, para así aumentar o disminuir la temperatura de manera automática, asimismo permite que las personas a cargo se den cuenta de las fallas del sistema antes que los usuarios, debido a que hay un constante monitoreo de las variables de interés. Con la implementación del distrito de enfriamiento se redujo el consumo de energía en un 50% a comparación al sistema que se tenía en el 2015, se logró eliminación del ruido, reducción de costos de mantenimiento y centralidad del sistema.

El nuevo sistema no implica que no sigan existiendo requerimientos de colaboradores, profesores y estudiantes en la mesa de servicios, por las diferentes fallas de los aires acondicionados. La mesa de servicio es una plataforma que permite indicar los debidos requerimientos frente a servicios de la universidad, principalmente relacionados con energía, aires acondicionados o reparaciones de espacios. Desde el inicio del semestre 2022-2 hasta el 31 de agosto del 2023 se han registrado 1.214 solicitudes, de las cuales el 20% corresponde a fallos en los aires acondicionados de los edificios. Además, con la instalación del distrito de enfriamiento, la universidad generó un sistema de costos para los mantenimientos preventivos, que tienen un contrato In-house con SECAR INGENIEROS S.A. por 732 millones de pesos colombianos al año, 13 trabajadores involucrados en mantenimientos de los aires y un personal de Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud para disminuir los riesgos de un fallo. Sin embargo, a pesar de que exista un proyecto para mantenimientos preventivos, aún se encuentran muchas fallas en los aires acondicionados reportadas por los usuarios, lo cual ha generado que no se cumpla con las expectativas de satisfacción del usuario frente a los funcionamientos y el mantenimiento de los sistemas de aires acondicionados.

B. Planteamiento del problema

En la Pontificia Universidad Javeriana Cali, el centro de recursos Físicos y Ambientales ha logrado evidenciar un aumento de las quejas respecto al mal funcionamiento del sistema de aires acondicionado durante los últimos semestres. Las quejas se han manifestado en forma de temperaturas inadecuadas en los diferentes espacios de trabajo, ya sea salones u oficinas.

Puede que el sistema central de enfriamiento esté funcionando bien, sin embargo, es probable que las unidades específicas en los edificios de la Universidad sean las que estén fallando en cuanto al control de la temperatura. Además, existe una percepción de aumento por parte del personal administrativo de mantenimiento y por los usuarios, frente al número de solicitudes y requerimientos en relación con fallos de los aires.

Los requerimientos se realizan en horarios donde se necesitan los aires acondicionados por la temperatura del exterior, lo que impacta negativamente en la satisfacción de la comunidad universitaria, reflejándose en una disminución en la calidad del ambiente de aprendizaje y trabajo.

Lo anterior se ha evidenciado con una encuesta de entre uno y cinco, en donde cinco es el puntaje máximo, que ayudó a identificar los factores que influyen en la percepción de los usuarios frente al funcionamiento de los aires acondicionados en la institución académica.

Con una muestra de 245 usuarios, estudiantes, profesores y colaboradores, se obtuvo como resultado en cuanto a la satisfacción del usuario un promedio ponderado de 2,9 puntos en el cual la expectativa es de 4,5 puntos en todos los ámbitos de satisfacción. Lo anterior se refleja en que los usuarios reportan que la temperatura de los equipos no es la adecuada o esperada por el usuario, con un promedio ponderado de 3 puntos de 5. Además, se evidenció que el 56,9% de los encuestados reportaron la falla de no enfriamiento, como la falla de mayor ocurrencia. También es importante mencionar que, en cuanto al tiempo de respuesta por parte del equipo de mantenimiento cuando se realiza una queja, se obtuvo un promedio ponderado de 3 puntos.

De esta manera se puede observar que existe una brecha entre el estado actual del nivel de satisfacción del sistema de aires acondicionado y los requerimientos que se esperan del sistema en cuanto a su funcionamiento y tiempo de respuestas frente a fallas, lo que puede estar explicado por la existencia de múltiples fallas reportadas sobre los equipos de aires acondicionados y que hay una percepción ineficiente en cuanto a la respuesta por parte del equipo de mantenimiento, esto ha ocasionado una insatisfacción en los usuarios de la institución educativa y por ende puede estar generando un impacto en los costos de mantenimientos correctivos de los equipos.

En la Tabla I se indican las áreas de diseño de ingeniería industrial que se relacionan con el problema.

Áreas de diseño	Marcar con "X"
Diseño de productos y servicios	
Diseño de procesos de transformación	
Diseño de redes de suministro	
Diseño de operaciones	
Diseño de instalaciones	
Diseño de sistemas de transporte y manejo de materiales	
Diseño de sistemas de almacenes y centros de distribución	
Diseño de procesos de soporte	X

C. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)

Con base a el aumento de demanda de energía para los sistemas de aire acondicionado, debido al constante incremento de temperatura en el exterior, surge una gran preocupación entorno al impacto de estos equipos en el consumo de electricidad. En este proyecto se buscan alternativas que logren disminuir la insatisfacción que ha presentado los usuarios frente al funcionamiento de los aires acondicionados y asimismo generar un posible efecto en el costo de electricidad en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, por lo tanto, la gestión eficiente y sostenible de estos equipos u sistemas son esenciales para mantener un entorno propicio en el espacio que se hagan uso estos equipos.

Un aspecto importante es la gestión en torno al mantenimiento de los equipos de aire acondicionado, en el que implican reparaciones y mantenimiento constante para aumentar la satisfacción del usuario y la eficiencia del equipo a largo plazo. Lo cual podría generar beneficios como optimización del sistema implementado, satisfacción del usuario y mayor rentabilidad debido a que disminuirían los costos de energía producidos por el aire acondicionado.

Para la elaboración de este proceso se resaltan ciertos grupos de interés:

Oficina de recursos Físicos y ambientales: Al tener una alternativa, la cual disminuya costos y mejore la satisfacción del usuario, implica una reestructuración entorno a la organización de los diferentes elementos que hacen parte del sistema de aire acondicionado, por lo cual en el desarrollo de este proyecto se puede evidenciar un cambio en ciertos aspectos que influyan en el mantenimiento y eficiencia de los aires acondicionados entorno a la temperatura.

Proveedores de aires acondicionados y SECAR INGENIERIOS S.A: Las empresa que suministran a la universidad los equipos y el servicio de mantenimiento logran evidenciar información valiosa sobre la tecnología implementada por cada aire acondicionado, como cuánto tiempo se logra tener una temperatura adecuada en un espacio por parte del equipo, cuánto sería el tiempo adecuado de implementación equipo para no influir de manera rápida en la degradación del equipo y aumentar su vida útil sin afectar la gran problemática, de igual manera la empresa de mantenimiento tendría un mayor conocimiento sobre los tiempos y la programación para generar mantenimientos preventivos.

Estudiantes, profesores y personas que utilicen las aulas del campus: Al ser los usuarios finales los cuales evalúan y hacen uso de este servicio. Son los encargados de dar la valoración u retroalimentación sobre la eficiencia, calidad y comodidad del servicio brindado. Como se explicó anteriormente, la calidad educativa también va ligada de la calidad del entorno en la cual se brinda ella, teniendo un pensamiento sistémico lograría elevar la calidad y productividad por parte del estudiante para tener más enfoque, concentración en las actividades propuestas por el campus.

Departamento de ingeniería: La universidad al ser una institución de alta calidad, cuenta con personas que tienen la capacidad para resolver problemáticas, el cual sería de gran interés por parte de muchas personas resolver o dar una mejor implementación sobre este servicio para lograr una mejor eficiencia de él, el departamento de ingeniería hace referencia a la facultad de profesores de las diferentes ingenierías. Además, todos los usuarios se verían beneficiados de este proyecto, su comodidad y productividad están ligadas con el funcionamiento eficiente de este sistema.

Instituciones educativas: La universidad al ser parte de una comunidad que se enfoca en brindar un servicio de educación, compite con otras instituciones las cuales tienen el mismo propósito brindar una educación de alta calidad. Debido a que esta problemática de la eficiencia de los aires acondicionados muchas instituciones pueden guiarse para disminuir costos en torno al impacto de los aires acondicionados y a su vez aumentar la productividad por parte de los usuarios que hacen uso de estos equipos.

Al presentar los grupos de interés se debe enfatizar el nivel de importancia de cada grupo. Se presentará en la tabla II, la matriz sobre impacto vs. la influencia, en la cual se detallará que grupo de interés tiene más influencia en torno a los efectos que logren tener en el proyecto. En la tabla se presentan unos valores que hacen referencia a la calificación de 1 a 5, reflejando los valores 1 como la menor influencia que puede tener el grupo de interés, por otro lado, el valor máximo 5 hacen referencia que tiene un gran impacto en el proyecto.

Tabla 2. Matriz Impacto Vs Influencia grupos de interés.

Partes interesadas	Descripción	Efecto (del proyecto hacia grupos de interés)	Impacto	Influencia
Oficina de recursos Físicos y ambientales.	Logran evidenciar aspectos sobre la organización del sistema en torno a la infraestructura del campus y en cada uno de los edificios.	<p>Puede requerir ciertos cambios en la infraestructura relacionada con los aires acondicionados. Se encarga de tomar decisiones sobre la asignación de recursos y la planificación.</p> <p>Lograría reducir costos operativos, lo que lograría oportunidades de inversión y mejoras en el campus de la universidad, además al ofrecer al usuario un sistema de alta calidad, mejoran la satisfacción de este.</p>	3	4

Proveedores de aires acondicionados y SECAR INGENIERIOS S.A	Pueden ofrecer información sobre posibles avances tecnológicos en los equipos y de servicios de mantenimiento. Es fundamental porque son los que suministran los equipos y realizan el mantenimiento.	Si los equipos de aire acondicionado suministrados son de alta calidad y eficientes, mejorará la imagen del proveedor y posiblemente aumentará la demanda de estos equipos, además si se presta un servicio de alta calidad de mantenimiento, aumenta la demanda de este servicio.	2	4
Estudiantes, profesores y personas que utilizan el campus.	Usuarios finales que utilizan este servicio en el campus universitario. Debido a que son críticos para la percepción y la satisfacción del proyecto.	Generaría un gran impacto en la productividad de los usuarios. Al tener un ambiente cómodo y eficiente elevaría los niveles de productividad.	5	2
Departamento de Ingeniería.	Por la gran variedad de profesores con gran experiencia laboral y de conocimiento, que brindarían apoyo técnico.	Pueden aprovechar la oportunidad de aplicar ciertos conocimientos, los cuales contribuirán a avances un poco más técnicos.	3	3
Instituciones educativas.	Las instituciones externas no tienen una influencia en el proyecto, ya que no hay una relación directa.	Si se logra un avance en torno a la eficiencia energética, podría influir positivamente en la eficiencia energética de otras instituciones que tengan esta misma problemática.	2	2

Teniendo como base la matriz presentada sobre los grupos de interés con su influencia e impacto sobre el proyecto, se realiza un diagrama el cual exponga la ubicación cartesiana de cada uno de ellos, con el objetivo de mostrar mediante una representación gráfica cual grupo de interés cuenta con mayor impacto e influencia en el proyecto.

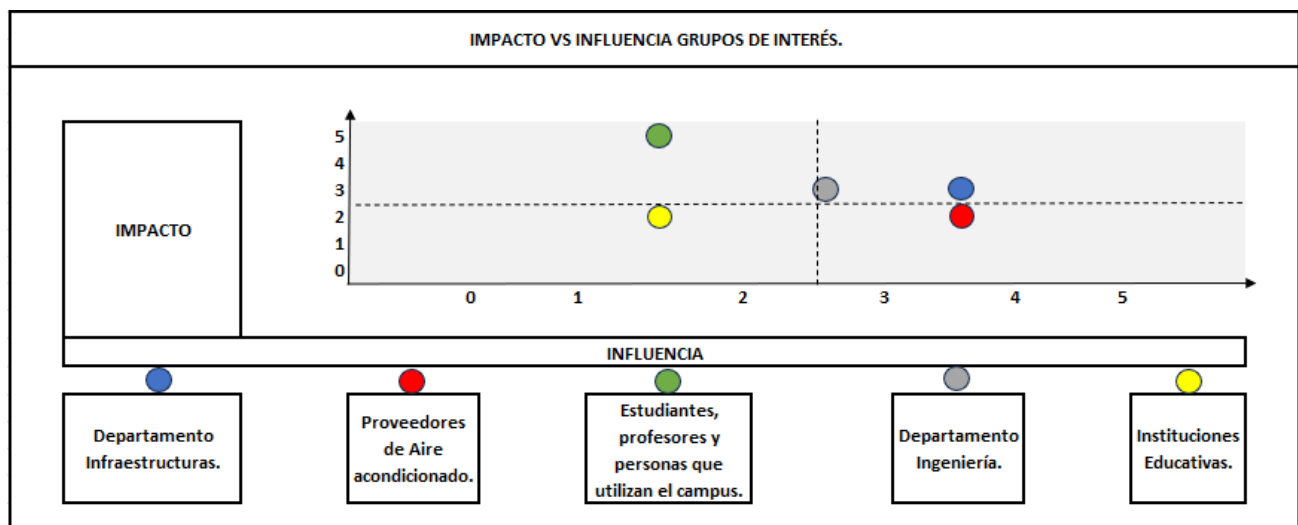


Fig.4 Impacto Vs Influencia de los grupos de interés.

En la Figura 4 se observa que el grupo de interés que presenta mayor influencia e impacto es el departamento de infraestructuras, seguido del departamento de ingeniería, proveedores de aire acondicionado, estudiantes, profesores y personas que utilizan el campus y por último las instituciones educativas.

D. Requerimientos

1) Restricciones de diseño (Factibilidad)

Para poder identificar la factibilidad del proyecto, se optó por hablar con las partes que involucran el funcionamiento del sistema de aires acondicionados, en este caso con el centro de Recursos Físicos y Ambientales, en el cual nos brindaron información pertinente sobre el funcionamiento del sistema de enfriamiento de la universidad. Para evaluar la factibilidad del proyecto el equipo debe tener en cuenta las siguientes restricciones de diseño:

- **Presupuesto:** Es importante tener el conocimiento del presupuesto con el que cuenta la universidad para el desarrollo del proyecto, debido a que el presupuesto define los recursos disponibles, alcance, calidad, rentabilidad del proyecto. Este tiene que ver no solo con la implementación, sino también con el mantenimiento del mismo durante el tiempo. Para el mantenimiento anual de los equipos de aires acondicionados, se tiene un presupuesto de \$1.000.000.000 de pesos, el cual se distribuye en \$150.000.000 y \$850.000.000 para mantenimientos correctivos y preventivos, respectivamente. A su vez, existe un presupuesto anual de \$600.000.000 para la renovación o implementación de nuevos equipos.
- **Ambientales:** El sistema de aires acondicionados debe cumplir con las directrices ambientales de la universidad, lo que significa que debe ser eficiente en el uso de energía y debe procurar generar la mínima contaminación posible, debe tener en cuenta factores ambientales, como reducir el consumo de energía, minimizar la emisión de gases y controlar el uso de gases refrigerantes. Asimismo, la universidad cuenta con una planta de tratamiento de agua que potabiliza el agua del río Pance y cuenta con un permiso por parte del DAGMA que establece un límite diario de consumo de agua igual o inferior a 260 m³, Este suministro debe distribuirse entre todos los espacios y diferentes equipos que requieren agua en la universidad. Por otro lado, el consumo de energía por parte de los equipos del distrito de enfriamiento es de 0.82 kWh/TR
- **Sociales:** El sistema de aires acondicionados debe cumplir con las normas establecidas por la universidad. Debe ser seguro y accesible para todos los usuarios. Como la institución educativa está en una zona residencial, es fundamental garantizar un nivel mínimo de ruido en los equipos de enfriamiento central y en las obras del campus. El nivel de decibeles debe ser lo más bajo posible.
- **Seguridad:** La forma en la que se traen los equipos y se introducen a la Universidad debe ser segura para las personas encargadas. Además, los equipos deben ser accesibles para poder hacerles el mantenimiento de manera segura. Para evitar accidentes, los interruptores de los equipos deben estar etiquetados y asegurados durante cualquier manipulación.

Las restricciones de diseño enumeradas anteriormente son estimaciones. La Universidad proporcionará información adicional y pertinente sobre estas restricciones a medida que el proyecto avance.

2) Especificaciones de diseño (Características)

La mejora de la satisfacción de los usuarios de aires acondicionados en la universidad es muy importante para el proyecto, por lo que hay que garantizar que la temperatura, el caudal de agua y la presión del sistema de aires estén en los rangos especificados.

A continuación, se especifican los componentes principales del sistema de aires acondicionados de la universidad.

- **Distrito de Enfriamiento:** El sistema debe contar con una planta central de refrigeración que sea capaz de generar la capacidad de enfriamiento necesaria para satisfacer los requerimientos de temperatura.
- **Bombas de agua:** El sistema debe contar con bombas de agua capaces de transportar el agua a la velocidad necesaria. Se requiere una presión de 60 psi para que se garantice un caudal de 60 litros /segundo. Estas bombas deben estar constantemente monitoreadas por sensores de caudal de agua y de presión que envíen señales cuando no se cumplan los respectivos requerimientos.
- **Termostatos:** El sistema debe contar con termostatos que tengan la capacidad de medir la temperatura ambiente y enviar una señal a la planta central, de manera que la temperatura se encuentre entre 23 y 25 grados Celsius, garantizando así un confort térmico en los usuarios.

- En cuanto al personal de mantenimiento de los aires acondicionados, la universidad cuenta con un aproximado de 13 personas a cargo de esta operación. Hay contrato In House con la empresa SECAR INGENIEROS S.A en donde seis personas se encargan del mantenimiento preventivo, cuatro del mantenimiento correctivo, una persona para SISO y un supervisor. A nivel interno de la institución hay un supervisor de mantenimiento y está el ingeniero coordinador.

En cuanto a la satisfacción, esta se medirá mediante encuestas a los usuarios de los espacios acondicionados. Las encuestas incluyen preguntas relacionadas con la temperatura, el funcionamiento general de los aires en los espacios que utilizan los usuarios y los tiempos de respuesta por parte del equipo de mantenimiento ante fallas. La eficacia del sistema se evaluará comparando los resultados de las encuestas antes y las metas de satisfacción y de los distintos requerimientos.

3) *Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas)*

La universidad Javeriana busca adaptar principalmente la normativa norte americana ASHRAE. Las normas ASHRAE abarcan la calefacción, la ventilación y la refrigeración, la calidad del aire interior, la refrigeración, la gestión de la energía, la fiabilidad de los equipos, la hidráulica y la sostenibilidad. Se utilizan en edificios residenciales y comerciales. Las normas ASHRAE constan de 12 partes, 22 capítulos y más de 1.000 páginas. Abarcan desde el diseño del sistema de ventilación del edificio hasta el cálculo de la carga de BTU (unidades térmicas británicas) de un sistema central de HVAC [5].

Componentes de las normas:

- Primera parte: Cubre las disposiciones generales de las normas, incluyendo el alcance de las normas y la organización que las publica.
- Segunda parte: Cubre el diseño de los sistemas de calefacción y refrigeración.
- Tercera parte: Cubre el diseño y el funcionamiento del sistema de ventilación del edificio y la calidad del aire interior.
- Cuarta parte: Cubre el confort térmico y la calidad del aire interior, teniendo en cuenta las temperaturas interiores aceptables y los niveles de humedad relativa para las actividades del edificio.
- Quinta parte: Cubre el diseño y el funcionamiento de los sistemas HVAC.
- Sexta parte: Cubre el diseño y el funcionamiento de los sistemas de refrigeración.
- Séptima parte: Cubre los criterios de diseño, incluyendo el diseño de edificios energéticamente eficientes.
- Octava parte: Cubre las herramientas de simulación utilizadas para calcular las cargas de calefacción, refrigeración y realizar otras funciones en relación con la calidad del aire interior.
- Novena parte: Controla la calidad del aire interior, incluyendo el funcionamiento del sistema de ventilación del edificio respecto a su calidad.
- Décima parte: Cubre el servicio hidrónico del edificio, incluyendo el funcionamiento de los sistemas y equipos hidrónicos

En las normas ASHRAE se tiene en cuenta el confort térmico, en donde se busca que la sensación térmica de los espacios sea la adecuada. Según la normativa, las aulas deben encontrarse en una temperatura mínima de 22 grados centígrados en invierno y 24 grados centígrados en verano, con una humedad relativa del 40%-60%.

La universidad Javeriana también debe adoptar ciertas normativas y regulaciones colombianas respecto al funcionamiento del aire acondicionado en búsqueda de lograr la protección del medio ambiente y acatar las normas impuestas por la legislación colombiana. Dentro de las normativas se encuentran:

La Norma Técnica Colombiana NTC 205, es un documento técnico-legal para Colombia emitido por el Ministerio de Minas y Energía, cuyo objetivo es dar a conocer los principales parámetros para una instalación eléctrica segura, priorizando la seguridad de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. La norma establece los requisitos para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de aire acondicionado en edificios, garantizando la eficiencia energética y reducción de los gases contaminantes.

La normativa presenta los siguientes objetivos en relación con el uso de la energía y el funcionamiento de los equipos (aires acondicionados):

- Fijar las condiciones para evitar accidentes por contactos eléctricos directos e indirectos.
- Minimizar las deficiencias en las instalaciones eléctricas.
- Establecer claramente los requisitos y responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, operadores, propietarios y usuarios de instalaciones eléctricas, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos.
- Unificar las características esenciales de seguridad de productos eléctricos de más utilización, para asegurar mayor confiabilidad en su funcionamiento.
- Prevenir los actos que puedan inducir a error a los usuarios, tales como la utilización o difusión de indicaciones incorrectas o falsas o la omisión de datos verdaderos que no cumplen las exigencias del presente Reglamento.
- Exigir confiabilidad de los productos y equipos eléctricos mencionados expresamente.
- Establecer las condiciones para prevenir incendios causados por electricidad.

En la sección 440 de la norma se hace referencia a los equipos de aire acondicionado y refrigeración. Esta sección establece las consideraciones especiales necesarias para los circuitos de alimentación de motocompresores con refrigerante hermético y de todos los equipos de aire acondicionado o refrigeración [6].

La Resolución 909 de 2008. La presente resolución establece los límites máximos permisibles, normas y estándares de las emisiones atmosféricas para las fuentes fijas en Colombia, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas. Las empresas deben realizar pruebas periódicas para garantizar que sus sistemas se encuentren dentro de los límites establecidos. En el capítulo 18 de la resolución se hace referencia a la medición de emisiones para fuentes fijas, teniendo en cuenta los procedimientos de evaluación de emisiones, la realización de estudios de emisiones atmosféricas y la vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas. Los artículos 75 y 76 se relacionan directamente con el cumplimiento y mediciones de las emisiones atmosféricas que deberían cumplir los sistemas de aire acondicionado en el caso de la universidad Javeriana.

Artículo 75. Medición continua de las emisiones. “El Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, debe determinar las condiciones a partir de las cuales las autoridades ambientales competentes podrán exigir mediciones continuas de emisiones contaminantes. Las condiciones deben incluir por lo menos la carga de los contaminantes emitidos, la cercanía con el estándar de emisión admisible de los contaminantes y la distancia entre la fuente y las poblaciones cercanas” [7].

Artículo 76. Cumplimiento de estándares. “El cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes se debe determinar mediante medición directa en cada fuente individual, para lo cual la fuente fija debe contar con un punto de descarga, de no contar con punto de medición directa, la verificación del cumplimiento se realizará teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de balance de más o factores de emisión” [7].

III. MEDIR

A. *Modelo del sistema actual*

En esta sección, se realizó un análisis exploratorio para el desarrollo del modelo actual del sistema de los aires acondicionado en la Universidad Javeriana de Cali, mencionado antes, y así poder comprender y evaluar el sistema actual. Para esto hay que analizar sus componentes, funcionamiento, recursos y eficacia. A lo largo de la explicación, se analizarán los aspectos clave que permitan entender el sistema actual, lo que a su vez puede ser crucial para la toma de decisiones, realizar mejoras en el proceso que existe y el poder implementar cambios.

Se utilizaron diferentes herramientas que permitirán tener una visión precisa del estado del sistema desde la visión más estratégica hasta la más detallada. La figura 5 representa un diagrama SIPOC que da una visión del modelo actual del sistema de aires acondicionados de la institución, con las entradas, el proceso, las salidas y los clientes del sistema.

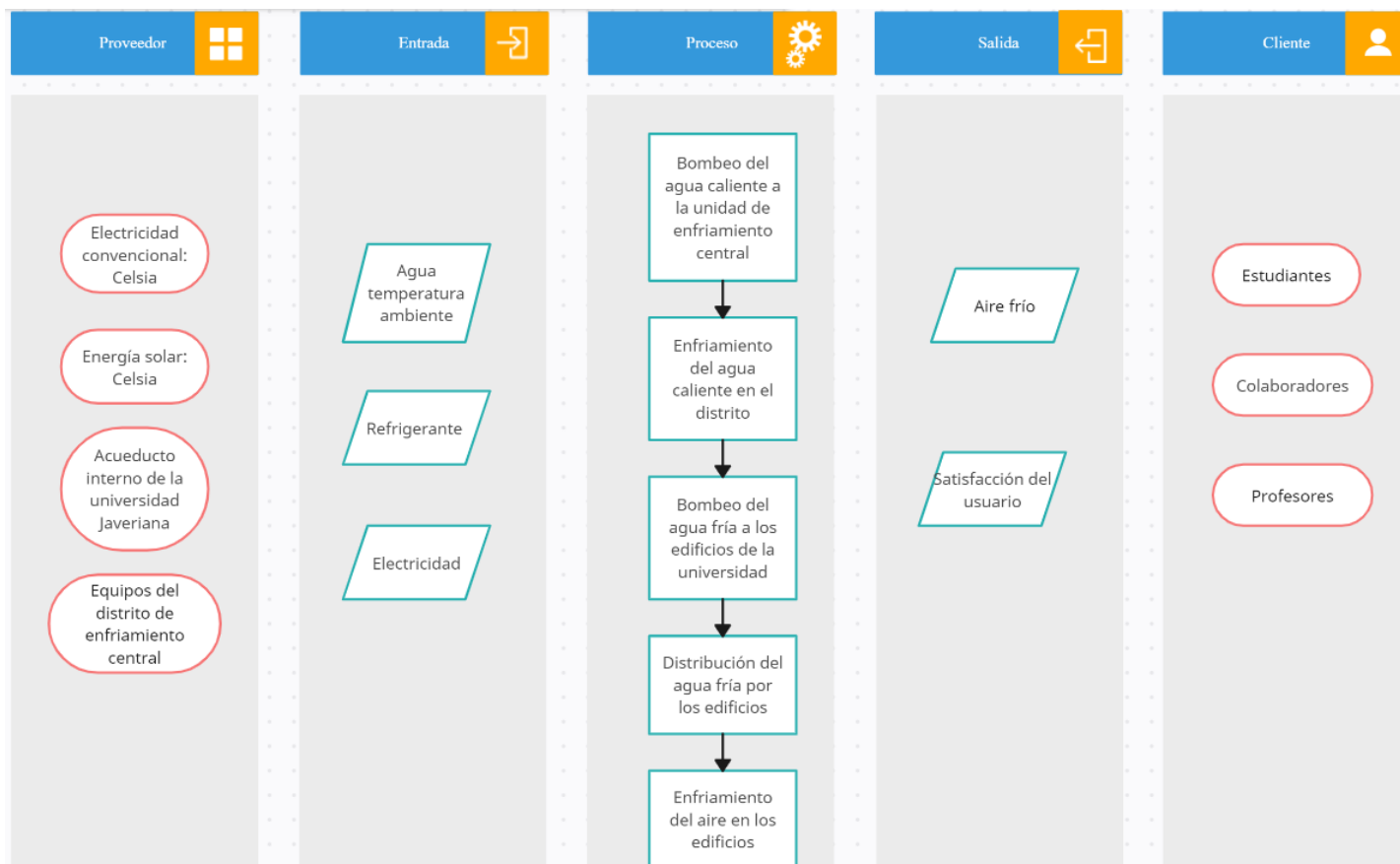


Fig.5 Diagrama SIPOC sistema de aires acondicionado en la institución académica.

Adicionalmente, es necesario entender cómo se encuentra el sistema actual de mantenimiento para aires acondicionados. El mantenimiento se clasifica en correctivo y preventivo. El correctivo se realiza después de que ha ocurrido una falla y es un mantenimiento reactivo, ya que se lleva a cabo después de que se reporte un problema. Por el otro lado, el mantenimiento preventivo se realiza para evitar fallas, es un mantenimiento proactivo, ya que se realiza antes de que se presente o se reporte un problema.

Actualmente, la oficina de Recursos Físicos y Ambientales ha establecido un programa de mantenimiento preventivo que realiza el mantenimiento de los equipos de los edificios aproximadamente de cuatro a seis veces al año. Este mantenimiento se realiza con un mapa de rutas generado por el programa de cómputo, indicando dónde se necesita realizar según el ciclo de vida y el estado de los diferentes equipos. En este mantenimiento intervienen el ingeniero coordinador de Recursos Físicos y Ambientales, el supervisor interno de la universidad y los técnicos contratados de la empresa SECAR INGENIEROS S.A. El proceso es en horarios nocturnos con seis técnicos, y se deben cumplir las normas de seguridad y salud en el trabajo.

El proceso de mantenimiento preventivo de aires acondicionados se puede dividir en las siguientes etapas:

- **Solicitud de mantenimiento:** La oficina de recursos físicos y ambientales solicita mantenimiento preventivo del aire acondicionado a SECAR INGENIEROS S.A. La solicitud se puede hacer por teléfono, correo electrónico o por radio a los contratistas de la Universidad.
- **Planificación del mantenimiento:** Se planifica el mantenimiento preventivo. La planificación incluye la asignación del técnico de mantenimiento, la programación del mantenimiento y la recopilación de información arrojada por el mapa de ruta sobre el aire acondicionado.

- Realización del mantenimiento: El técnico de mantenimiento de la empresa SECAR INGENIEROS S.A realiza el mantenimiento preventivo, las cuales ya están estipuladas en un contrato previo. Las tareas de mantenimiento preventivo pueden incluir:
 - Limpieza de los filtros de aire.
 - Revisión del sistema de refrigeración y de los chillers del distrito central de enfriamiento.
 - Carga de refrigerante.
 - Lubricación de las piezas móviles.

En la Figura 6 se presenta el estado actual del sistema de mantenimiento preventivo de los aires acondicionados, utiliza un diagrama de flujos en carriles con el fin de identificar las entradas y salidas del proceso, los actores y el flujo de información y tareas del proceso.

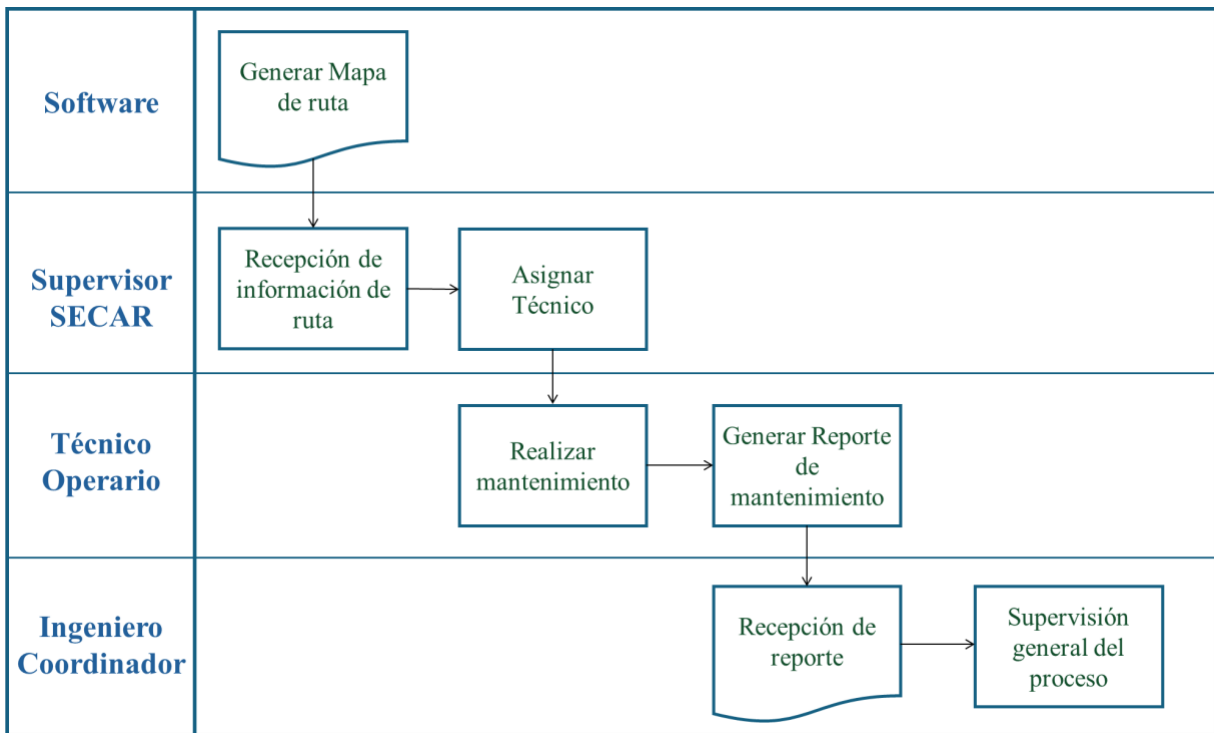


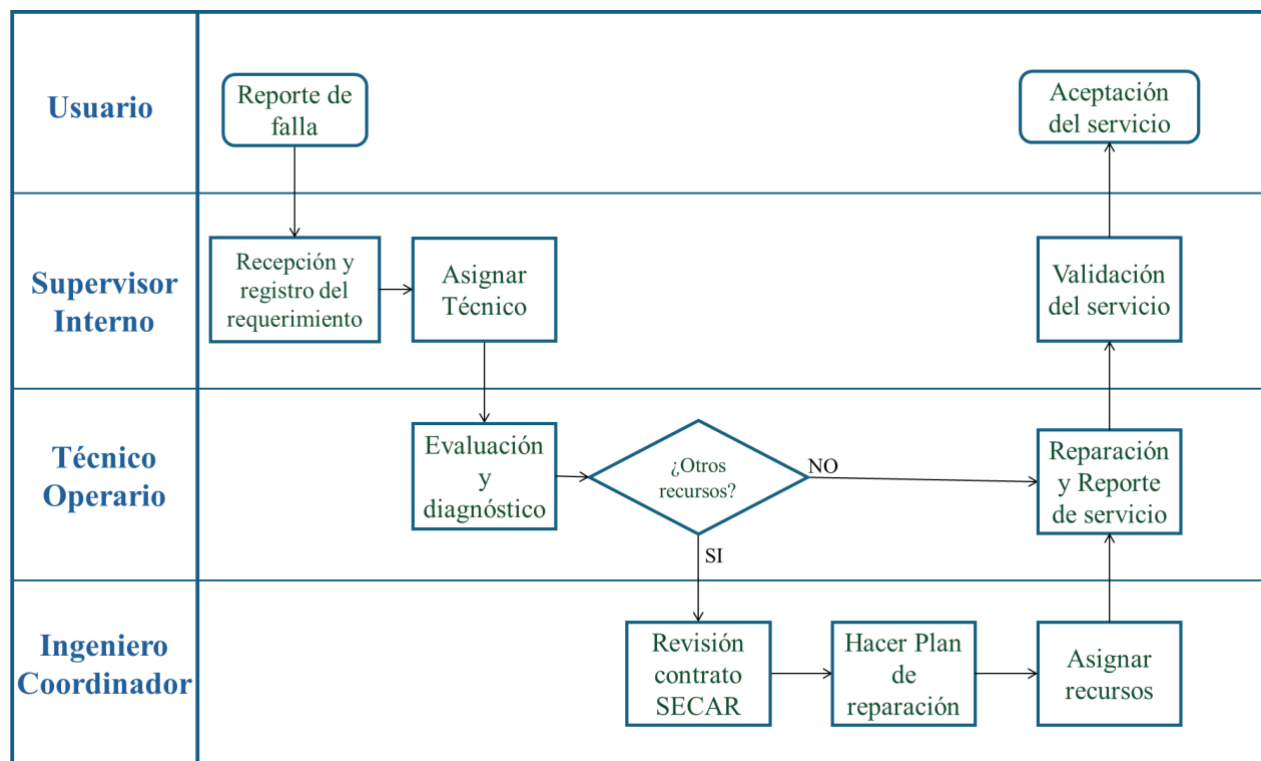
Fig.6 Diagrama de flujo en carriles para mantenimiento preventivo.

Es de suma importancia analizar cómo se encuentra el sistema actual de mantenimiento preventivo, con el fin de identificar posibles mejoras, ya que cuanto más se realicen trabajos de prevención, se reducen las probabilidades de fallos en los equipos. De igual manera, se incurre en una reducción de costos, ya que se evitarían los costos correctivos si se realiza un buen mantenimiento preventivo.

Por otro lado, el sistema actual de mantenimiento correctivo se lleva a cabo a lo largo de todo el día y cuenta con la colaboración de cuatro técnicos contratados de la empresa SECAR INGENIEROS S.A. Estos técnicos trabajan en parejas, lo que implica que dos de ellos están presentes en el campus universitario desde las 7:00 a.m. hasta las 3:00 p.m., mientras que los otros dos están en servicio de 2:00 p.m. a 10:00 p.m. Su responsabilidad principal es atender las solicitudes de los usuarios relacionadas con el funcionamiento del aire acondicionado, y sus tareas son asignadas por el supervisor.

En este proceso participan varios actores, incluyendo a los usuarios quienes reportan la falla, el ingeniero coordinador de Recursos Físicos y Ambientales, el supervisor interno de la universidad y los técnicos y trabajadores contratados de la empresa SECAR INGENIEROS S.A. El proceso de mantenimiento correctivo de aires acondicionados se puede dividir en las siguientes etapas:

- **Reporte de falla:** El usuario (ya sea profesor, colaborador o estudiante) reporta una falla del aire acondicionado. El reporte puede realizarse por el teléfono del aula, correo electrónico o a través del portal mesa de servicio.
- **Solicitud de servicio:** El supervisor interno de aires acondicionados recibe el reporte de falla e indica información sobre el aire acondicionado, la falla reportada y la ubicación del aire acondicionado.
- **Asignación de servicio:** El supervisor interno comunica a través de la radio al ingeniero coordinador la falla reportada y asigna a uno de los dos técnicos disponibles en horario laboral para que inspeccione el equipo con la falla reportada.
- **Diagnóstico de la falla:** El técnico de mantenimiento realiza el diagnóstico de la falla. El diagnóstico incluye la inspección del aire acondicionado y la evaluación de las posibles causas del problema. Posteriormente, se genera un informe detallado al respecto.
- **Evaluación financiera de la reparación:** Con base en el tipo de falla reportada, el ingeniero coordinador revisa el contrato In house que se tiene con SECAR INGENIEROS S.A. Luego, elabora un plan que incluye los costos necesarios para llevar a cabo la reparación y los recursos que deben solicitarse, teniendo en cuenta el presupuesto establecido por el vicerrector administrativo de la universidad.
- **Reparación de la falla:** El técnico de mantenimiento realiza la reparación correspondiente. La reparación puede incluir:
 - Reemplazo de piezas
 - Ajustes de los componentes
 - Limpieza de los componentes
- **Aceptación del servicio:** La oficina de recursos físicos y ambientales acepta el servicio. Se debe verificar que el aire acondicionado funcione correctamente después del mantenimiento.



La Figura 7 muestra el estado actual del sistema de mantenimiento correctivo de los aires acondicionados. Utiliza un diagrama de flujo en carriles para identificar las entradas y salidas del proceso, los actores involucrados, y el flujo de información y tareas en el proceso.

Fig.7 Diagrama de flujo en carriles para mantenimiento correctivo.

Es de vital importancia analizar el estado actual del sistema de mantenimiento correctivo con el propósito de identificar áreas de mejora. Además, es fundamental destacar que el proceso se ejecuta exclusivamente de forma oral, a través de llamadas telefónicas y comunicación por radio, sin la creación de ningún registro escrito. Esto resulta en una solicitud de servicio deficiente, ya que no se genera ningún informe o reporte en respuesta a la falla comunicada. Como resultado, no se mantiene un registro de los tiempos de recepción y resolución de los requerimientos.

B. Desempeño del sistema actual

Para medir el desempeño del sistema de servicio de aire acondicionado en la institución académica, hay que establecer indicadores de desempeño que permitan evaluar las posibles alternativas de diseño, con el objetivo de mejorar la satisfacción de los usuarios finales. Estos indicadores proporcionarán una visión detallada de cómo funcionan los sistemas de aire acondicionado actuales y cómo podrían mejorarse para cumplir con los estándares de calidad y eficiencia deseados. Actualmente, no existen datos históricos del sistema y su comportamiento, por lo que este análisis de los indicadores de desempeño servirá como una guía hacia soluciones más efectivas y sostenibles que benefician y satisfacen las necesidades de la comunidad académica.

Para evaluar el rendimiento del sistema de aire acondicionado, hay que definir las variables de los indicadores que se utilizarán y cuáles son las características que se medirán. En la Tabla 3 se definen las variables con sus símbolos y una descripción de cada una. El símbolo es una abreviatura que se utiliza para representar la variable. La descripción es una explicación de lo que mide la variable.

Tabla 3. Símbolos y definiciones variables de indicadores.

Símbolo	Unidad de medida	Definición
<i>Temp. medida</i>	[Celsius]	Temperatura real medida por el termostato.
<i>Temp. Referencia.</i>	[Celsius]	Según el intervalo de confort térmico, la temperatura que se desea alcanzar.
<i>T Recep</i>	[min]	Tiempo que transcurre desde que el usuario envía el requerimiento hasta que el servicio de atención al usuario lo recibe.
<i>T Asignación</i>	[min]	Tiempo que transcurre desde que el requerimiento es recibido por el servicio de atención, hasta que se asigna a un técnico.
<i>T Ejecución</i>	[min]	Tiempo que transcurre desde que el técnico llega al lugar del mantenimiento hasta que lo finaliza.
Número de usuarios satisfechos	[Und]	Número de usuarios que en la encuesta realizada respondieron que el funcionamiento de los aires se encontraba entre cuatro y cinco puntos.
<i>Disponibilidad Aire Acondicionado.</i>	0-1	Indicador binario frente al funcionamiento de los aires acondicionados.

En la Tabla 4 se muestran los indicadores de desempeño definidos. Los indicadores de desempeño son herramientas que se utilizan para cuantificar los resultados del proyecto y verificar que se están cumpliendo los objetivos. En este caso, los indicadores se definieron teniendo en cuenta los requisitos de los grupos de interés. Las variables más relevantes del problema para buscar el beneficio de los grupos de interés son:

- Desviación media meta de la temperatura: mide el grado en que la temperatura se mantiene dentro del rango deseado.
- Tiempo medio para respuesta a requerimiento: mide el tiempo que se tarda recursos físicos en responder a una solicitud del usuario.
- Nivel de satisfacción de los usuarios: mide el grado en que los usuarios están satisfechos con el funcionamiento de los aires acondicionados.

- Porcentaje de disponibilidad de los aires acondicionados: mide el porcentaje de disponibilidad de los aires acondicionados, frente a su funcionamiento.

Estos indicadores se pueden utilizar para evaluar el rendimiento del proyecto y para identificar áreas donde se pueden realizar mejoras

Tabla 4. Indicadores de desempeño

Indicador de desempeño	Fórmula	Valor actual	Meta sugerida
Indicador #1 Desviación media meta Temperatura Aires Acondicionados.	$\Delta T = Temp. medida - Temp. Referencia.$	Actualmente, no hay registro de la desviación de las temperaturas en cada espacio de la universidad, pero se busca realizar un plan de medición por parte del equipo de proyecto de grado, en los salones de los edificios reportados con mayor número de fallas, para medir cómo se encuentra este indicador.	Minimizar la desviación meta entre la temperatura real de los espacios y la temperatura de referencia de 24 grados Celsius, con el fin de cumplir con la normativa ASHRAE y el confort térmico.
Indicador #2 Tiempo medio de respuesta a requerimientos.	$= \frac{Tiempo\ medio\ repuesta}{\sum T\ Recep + T\ Asignación + T\ Ejecución} = \frac{Tiempo\ medio\ repuesta}{Total\ Requerimientos}$	No existe un programa de cómputo robusto que mida la trazabilidad de este indicador, que permita arrojar datos y hechos para medir el tiempo medio de respuesta a requerimientos. Sin embargo, mediante la mesa de servicio, se puede obtener información sobre el momento en que se realiza un requerimiento y el final del requerimiento; aunque este portal no es frecuente por los usuarios, ya que se realizan los requerimientos por llamadas y no hay un historial de registro de estas.	Minimizar el tiempo medio de respuesta a los requerimientos de los usuarios frente a fallas en los aires acondicionados.
Indicador # 3 Nivel de satisfacción de los usuarios.	$= \frac{\% de\ satisfacción}{\frac{Número\ de\ usuarios\ satisfechos}{Número\ total\ e\ usuarios\ encuestados}} \times 100$	Mediante una encuesta realizada a 245 usuarios, entre ellos estudiantes, profesores y colaboradores, el índice de satisfacción con relación al funcionamiento de los aires acondicionados fue de 33,47%.	Maximizar el nivel de satisfacción de los usuarios. Obtener un porcentaje de satisfacción del 95%
Indicador #4 Porcentaje de disponibilidad	$= \frac{\% de\ disponibilidad}{\frac{Equipos\ en\ funcionamiento}{Numero\ de\ observaciones}}$	Actualmente, no hay un plan de medición ni un programa de cómputo que permite tener información sobre el porcentaje de disponibilidad de los equipos. Sin embargo, se propone realizar una medición a los salones de Lago y Palmas, con el fin de verificar si los equipos se encuentran en funcionamiento.	Maximizar este indicador con el fin de que haya mayor disponibilidad en el funcionamiento de los equipos y menor número de fallas. Evitando así incurrir en mantenimientos correctivos.

C. Revisión de literatura

El problema relacionado con el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado es de gran relevancia tanto para organizaciones en el ámbito educativo como en la industria. En los últimos años, se ha prestado una considerable atención a los desafíos vinculados con el establecimiento de políticas de confiabilidad que generen valor en el mantenimiento de estos sistemas, dado que la obtención de resultados positivos puede traducirse en una mayor disponibilidad de los equipos dentro de la organización y, a su vez, en una reducción de los costos operativos.

Esta sección se enfoca en la presentación de diversos estudios con aplicaciones prácticas que se centran en la mejora y prevención de fallos en los equipos de aire acondicionado. La Tabla 5 proporciona una síntesis de siete casos en los que se abordan de manera concisa el problema específico, el método empleado y la propuesta de solución correspondiente.

Tabla 5. Aplicación de mejora de satisfacción de usuarios en sistemas de aires acondicionados.

Título	Problema Abordado	Objetivo	Método	Propuesta de Solución	Referencia
<p>Gestión de Confiabilidad en Mantenimiento para Equipos de Aire Acondicionado de Precisión en IT (Information Technology).</p> <p>Autores: Christian J. Becerra, Gari S. Calderón, John J. Ortiz.</p> <p>Año: 2022</p>	<p>Aumentar la confiabilidad en los equipos de aires acondicionados. Esto implica actualizar procedimientos, gestionar el mantenimiento y operación de los equipos de aires acondicionados para garantizar la disponibilidad operativa. Mediante el diseño y ejecución de planes de contingencia para situaciones de emergencia e indisponibilidad, asegurando una rápida respuesta y solución para evitar incumplimientos en la prestación del servicio y dar pronta solución a fallas presentadas.</p>	<p>Propuesta para incrementar la confiabilidad en mantenimiento para equipos de aire acondicionado usados en la infraestructura IT.</p>	<p>La metodología se basó en identificar los tipos de fallas más recurrentes, su causa raíz, la probabilidad y su impacto, enfocándose en tres objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Determinar un procedimiento de mantenimiento que abarque prevención, predicción y corrección, evaluando instalaciones previas y el historial de fallos. -Establecer estrategias para reducir la recurrencia de fallos en los sistemas, garantizando su operatividad. -Definir procedimientos que aseguren la continuidad del servicio frente a impactos generados por fallos en los sistemas de aire acondicionado 	<p>Se realiza un análisis exhaustivo del sistema para planificar el mantenimiento preventivo o predictivo, considerando el uso. Se utiliza una ficha técnica para identificar las especificaciones de cada equipo. Además, se evalúan factores externos que pueden influir en el rendimiento de los equipos de aire acondicionado. Se propone una técnica que se basa en un análisis riguroso de modos y efectos de falla (FMEA), con probabilidades de falla calculadas matemáticamente basadas en una combinación de datos de diseño, datos históricos, intuición, sentido común, datos experimentales y modelados. Un cronograma de actividades basado en el tiempo de funcionamiento de las máquinas. Se establecen actividades de mantenimiento autónomo, inspección visual y capacitaciones técnicas para el personal especializado.</p>	<p>[3]</p>
<p>Medición de la calidad del servicio técnico de climatización de ELECLIRE de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil</p> <p>Autores: Joffre Víctor Ochoa Montoya</p> <p>Año: 2018</p>	<p>ELECLIRE, una empresa especializada en brindar servicios de mantenimiento, reparación y asesoramiento en sistemas de climatización ha enfrentado una serie de reclamos por parte de sus clientes en el último año. Estas quejas se han originado, en su mayoría, debido a la demora en la atención de las solicitudes de servicio. La demora se atribuye a la escasa disponibilidad de personal técnico capacitado, la restricción de horarios de atención limitados al horario de oficina y a que el gerente y</p>	<p>Evaluar la calidad de servicio técnico de climatización de la empresa ELECLIRE, mediante el análisis de la situación actual de la empresa en parámetros de satisfacción del cliente, calidad e identificar los factores que influyen en la percepción del cliente.</p>	<p>La metodología utilizada en la investigación adoptó un enfoque mixto. En el aspecto cuantitativo, se optó por emplear el modelo SERVPERF, con un enfoque descriptivo que busca evaluar el desempeño basándose en las percepciones de 821 clientes registrados en la base de datos, de los cuales se seleccionaron 262 para ser encuestados.</p>	<p>Los hallazgos de la investigación se inclinaron hacia la tendencia de contar con un personal insuficiente, problemas de puntualidad en los lugares de servicio y una percepción de falta de capacitación adecuada en el personal. La propuesta se centra en tres aspectos fundamentales: la capacitación del personal, el aumento de la fuerza laboral con habilidades técnicas, y</p>	<p>[8]</p>

	propietario supervisa personalmente cada solicitud de servicio. Estas circunstancias han generado que el cliente no se sienta atendido a satisfacción.		Para el enfoque cualitativo, se incluyeron preguntas dirigidas al personal interno de la empresa y a uno de los clientes, lo que da una perspectiva directa sobre la opinión sobre el servicio ofrecido por la compañía.	la adquisición de vehículos que contribuirán a mejorar la calidad del servicio técnico de climatización que la empresa proporciona.	
Elaboración de un plan de mejora para el mantenimiento preventivo en los sistemas de aire acondicionado de la red de telefónica del Perú zonal Norte, basado en la metodología Ishikaea-Pareto Autores: Giancarlo G. Costta José G. Guevara Año: 2015	Con el fin de optimizar la competitividad y reducir costos operativos, Telefónica del Perú empezó a finales de los años 90 un proceso progresivo de tercerización en muchas de sus áreas operativas. Es así como adjudica a la Empresa Huawei del Perú S.A.C. el mantenimiento de sus sistemas de energía y aire acondicionado. Esto ha causado quejas y reclamos añadiendo un exceso en los costos del mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado, lo que lleva a cuestionar la eficacia del plan actual de mantenimiento preventivo de la empresa.	Elaborar un plan de mejora para el mantenimiento preventivo de los sistemas de aire acondicionado del operador telefónica del Perú S.A., mediante la aplicación de la metodología de gestión de calidad Ishikawa.	Mediante el uso de variables cuantitativas se realizaron mediciones de las condiciones del aire acondicionado, en conjunto de encuestas realizadas a los trabajadores en busca de las principales causas de las fallas en los aires. Se realizó el procesamiento de la información mediante las metodologías de Ishikawa y Pareto.	Se obtuvieron distintos planes de mejora en las dimensiones relacionadas con el problema: recursos humanos, métodos de trabajo, recursos y equipamiento, recursos de gestión. Se creó un plan de trabajo en cada dimensión para mejorar el rendimiento, costos, la compra de instrumentos y capacitación de los empleados.	[9]
Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado, en una empresa metalúrgica, Lima-Perú Autores: Yessica R. Huillca Ruth Jeri Guillen Año: 2020	La empresa metalúrgica en Lima presentaba fallas y quejas con respecto a la disponibilidad de los aires acondicionados, la insuficiencia del mantenimiento e insatisfacción con el servicio por parte de los usuarios.	Determinar en qué medida el plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado en una empresa metalúrgica Lima, 2020	Se empleó el método deductivo, con un estudio de tipo aplicada, nivel descriptivo, explicativo y diseño preexperimental, con 12 semanas de pretest y post. La población lo conformaron 18 equipos de aire acondicionado y la muestra 9 equipos críticos. Las técnicas fueron la observación, análisis documental y el instrumento la ficha de recolección de datos.	Se observó que la empresa no contaba con plan de mantenimiento, por ende, la disponibilidad inicial correspondió un 91.13%; luego de aplicar las mejoras, se obtuvo un 97.43%. Se hizo evidente una mejora luego de realizar el plan de mantenimiento preventivo. Se recomendó utilizar un software de mantenimiento de acuerdo con las necesidades de la empresa para optimizar tiempos y procesos. Asimismo, se sugirió profundizar el tema financiero a mayor detalle y los costos generales involucrados en el mantenimiento.	[10]
Evaluación del funcionamiento actual del sistema de aire acondicionado de la central hidroeléctrica “Francisco de Miranda” Autores: Luis Fernando Izaguirre Silva Año: 2017	El sistema de aire acondicionado de la central hidroeléctrica Francisco de Miranda está experimentando problemas de funcionamiento debido a fallas en los enfriadores. Estos problemas están causando que el sistema no cumpla con la demanda	Evaluar el funcionamiento actual del sistema de aire acondicionado de la central hidroeléctrica	La metodología del proyecto se basa en un método mixto que combina técnicas cualitativas y cuantitativas. En la fase 1, se recopiló información sobre el sistema mediante	1. Recargar los enfriadores con refrigerante. Esta es la acción más urgente, ya que es la causa principal de las fallas actuales. 2. Implementar un plan de mantenimiento preventivo. Esto ayudará	[11]

	total, lo que está afectando el confort de los trabajadores y el funcionamiento de los equipos.	“Francisco de Miranda”	entrevistas, observación directa y revisión documental. En la fase 2, se analizó la información recopilada para identificar los problemas y oportunidades de mejora. En la fase 3, se desarrollaron recomendaciones específicas para mejorar el sistema. Y en la fase 4, se implementaron las recomendaciones desarrolladas.	a evitar fallas futuras y a prolongar la vida útil de los equipos. 3. Capacitar al personal de operaciones sobre el funcionamiento y mantenimiento del sistema de aire acondicionado. Esto ayudará a garantizar un funcionamiento adecuado del sistema.	
Desarrollo de una propuesta de mejora en el desempeño energético de los sistemas de acondicionamiento de aire en el campus el bosque de la UNAB. Autores: Silvia Johana Mora Niño Año: 2017	El reto al implementar sistemas de aire acondicionado es el reto de mantener mejor el nivel de confort térmico de los ocupantes y, a la vez, consumir energía de manera eficiente, para lograrlo se debe utilizar un sistema acorde a las exigencias térmicas del local, es necesario conocer la carga térmica para poder dimensionar el sistema de acondicionamiento de aire a usar, pero a menudo este cálculo es tedioso y presenta cierta dificultad, ya que la carga térmica para un sistema de aire acondicionado es variable en el tiempo y depende de variables proporcionales al tamaño del recinto.	Dentro de los aspectos por estudiar y analizar en los sistemas de aire acondicionado del Campus Universitario, se encuentran la tecnología de operación y control, el tipo de sistema de climatización empleado en aulas, oficinas y zonas comunes cerradas, así como el Uso y Consumo Energético de estos sistemas. Esta propuesta de trabajo pretende, una vez se han identificado y caracterizado energéticamente los sistemas de climatización en el Campus, realizar una evaluación técnico-económica de diferentes opciones y estrategias para su operación eficiente.	1. Realizar una recopilación de información para identificar las instalaciones y sistemas de climatización. 2. Realizar el levantamiento de cargas eléctrico, para tomar datos de potencia, voltaje y corriente de cada equipo existente en el campus. 3. Analizar la información obtenida y establecer el método con el cual se establecerá la línea base, en este caso se hará mediante el diagrama de Pareto, esta gráfica permitirá identificar que sistemas tienen mayor consumo. 4. Plantear las propuestas de mejora a implementar en los sistemas de mayor consumo con su respectivo potencial de ahorro respecto al consumo de energía eléctrica actual. 5. Realizar y analizar la evaluación financiera de cada propuesta planteada para saber cuál es la de mejor inversión.	Se llevó a cabo una identificación de los equipos y sistemas de climatización actuales en el campus El Bosque. Se realizó un levantamiento de cargas, abarcando tanto las térmicas como las eléctricas. Además, se efectuó una caracterización energética detallada de los equipos. Se identificaron los dispositivos de mayor consumo para someterlos a un análisis más exhaustivo, y se les presentaron propuestas de mejora. Finalmente, se realizó una evaluación financiera para determinar las opciones de inversión óptimas.	[12]
Diseño del programa de mantenimiento preventivo basado en la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado de la universidad tecnológica de Bolívar	El sistema de aire acondicionado de la universidad tecnológica de Bolívar no presenta registros de las actividades de mantenimiento realizadas en algunos equipos desde su instalación, generando como consecuencia el deterioro e	Diseñar un plan de mantenimiento programado basado en la eficiencia energética para el sistema de aire acondicionado de la universidad tecnológica de	Se realizó una metodología práctica y esquematizada, que permitiera corregir las fallas en los sistemas de aire acondicionado de la universidad mediante técnicas que	La creación del plan de mantenimiento realizada bajo los parámetros de la eficiencia energética, modos de falla, tiempo medio entre fallas de los equipos y análisis de riesgos, esto permitirá utilizar de manera	[13]

Autores: Carlos E. Castang, Alexander Castilla Año: 2007	incremento del consumo energético en la universidad.	Bolívar. Establecer de qué forma incide la utilización errónea de los activos en los costos producidos por un mantenimiento no programado y además su incidencia en el consumo energético.	proporcionaran el restablecimiento de las funciones normales. Se reconocieron las principales fallas de los equipos, las partes críticas y después se realizó una ficha técnica y hoja de vida de los equipos para crear una base de datos con las actividades de mantenimiento.	confiable los equipos de la Universidad ahorrando costos en tiempos muertos por reparación de los equipos. La universidad contará con un historial de mantenimiento de cada equipo de aire acondicionado lo que permitió facilitar labores de mantenimiento, decisiones a largo plazo y determinar la rentabilidad del mantenimiento de un equipo o la adquisición de uno nuevo.	
---	--	--	--	--	--

IV. ANALIZAR

A. *Alternativas de diseño* [6]

El proceso de ideación es una herramienta creativa que se utiliza para generar soluciones a problemas complejos. Este proceso se basa en la generación de ideas libres y sin restricciones, con el objetivo de encontrar soluciones innovadoras y creativas.

En este caso, se utilizarán técnicas de ideación para generar alternativas de diseño para mejorar la satisfacción de los usuarios del sistema de suministro de aire acondicionado en la universidad javeriana Cali. Las alternativas de diseño se describirán de manera general a un nivel estratégico, para poder considerar una amplia gama de posibilidades. Estas alternativas para el sistema planteado deben ser viables, innovadoras y creativas, para así poder evaluar cada una de ellas y seleccionar la mejor alternativa.

En primer lugar, en el proceso de generación de ideas de diseño, se realizó una sesión de grupo focal con el equipo de trabajo del proyecto de grado, el profesor director del proyecto, Luis Fernando Guevara (Ingeniero Coordinador de Recursos Físicos y Ambientales) y Silver Andrés Uribe (Jefe de Recursos Físicos). Las conclusiones, metodología de trabajo y el objetivo de la sesión se registraron en el Anexo #3.

Antes de generar alternativas de diseño para abordar la insatisfacción de los usuarios con el suministro de aire acondicionado en la institución, el grupo identificó las posibles causas del problema. Esto se basó en observaciones obtenidas a través de mediciones y en las causas discutidas por Silver Andrés Uribe durante la sesión de grupo focal. Utilizamos la herramienta del diagrama de espina de pescado para clasificar las causas identificadas como grupo de trabajo en relación con el problema. La Figura 8 muestra el diagrama de espina de pescado.

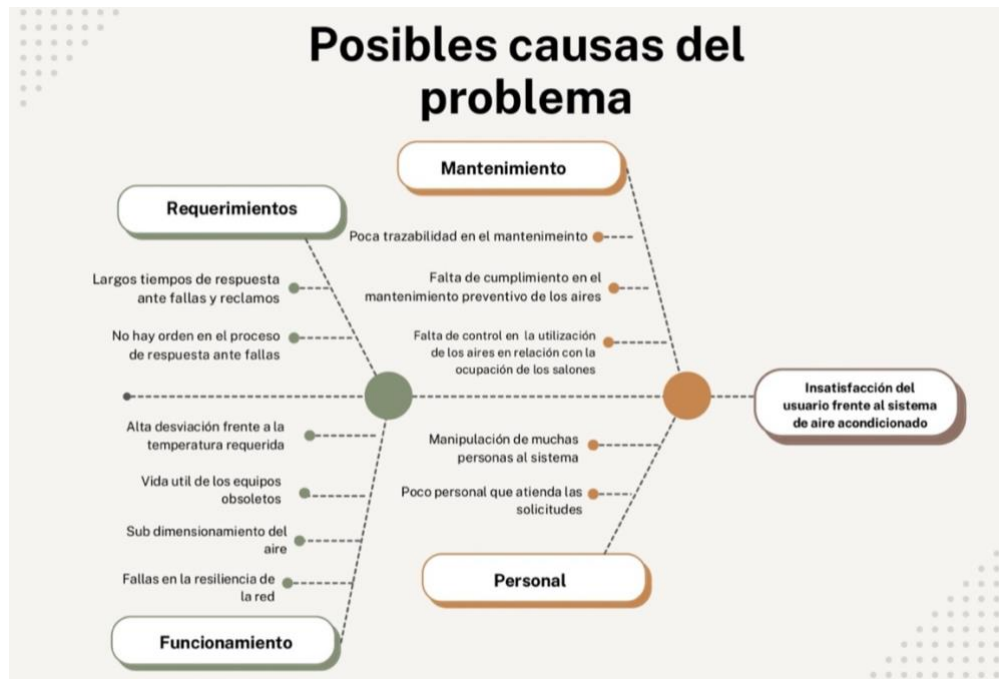


Fig.8 Diagrama espina de pescado para identificación de posibles causas del problema.

Tras la sesión de grupo focal, con conclusiones más claras sobre las causas del problema y las posibles soluciones aportadas por Silver Andrés Uribe y Luis Fernando Guevara y con el diagrama de pescado elaborado, se realizó una sesión de Brainwriting, una técnica de lluvia de ideas en la que los participantes escriben sus ideas en lugar de expresarlas verbalmente. Tras unos minutos, intercambian sus hojas de papel con otro participante, quien trabaja en el desarrollo de las ideas iniciales. Como resultado, se generaron dos ideas alternativas de diseño por participante, lo que llevó a ocho posibles ideas para su implementación. La Figura 9 muestra el *brainwriting* realizado.

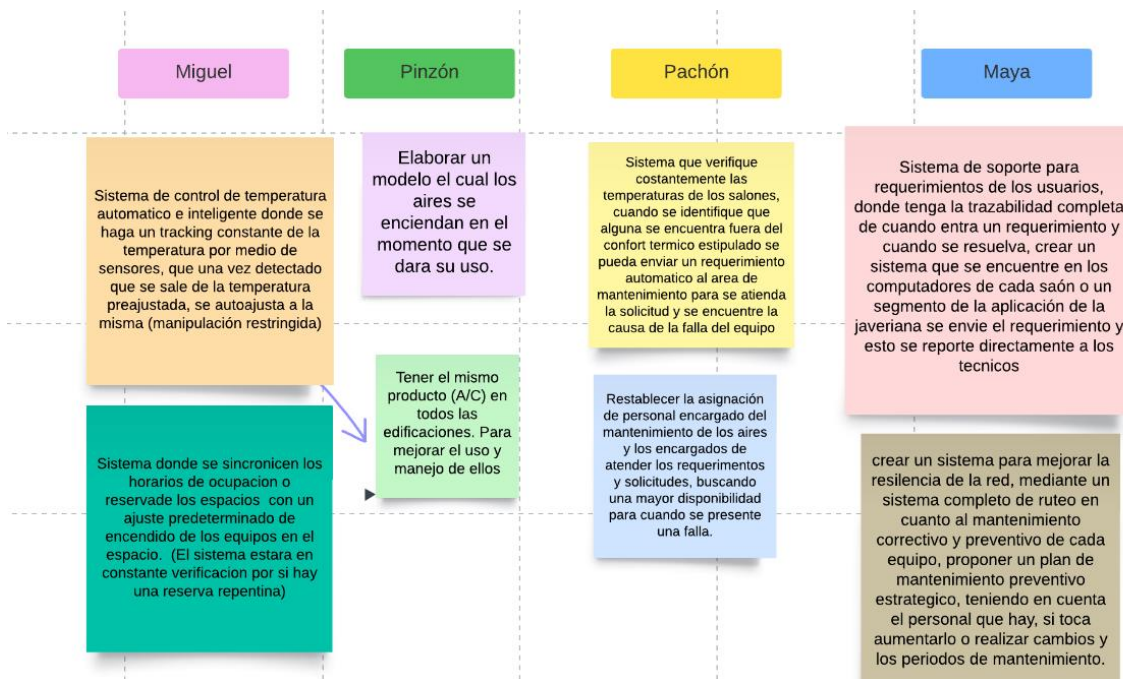


Fig.9 Brainwriting de alternativas de diseño.

Después de llevar a cabo el proceso de brainwriting, se presentaron las ideas registradas en el brainwriting al profesor director del proyecto de grado. Estas ideas fueron discutidas y profundizadas, y posteriormente se registraron las posibles alternativas de diseño. A continuación, se presentan estas alternativas de diseño.

- **Automatización para la habilitación de recursos de los salones de clase:** Instalar tecnología que permita crear un sistema de control de temperatura automático e inteligente, donde se haga un seguimiento constante de la temperatura y permita habilitar los recursos del aula de clase. La automatización del salón contaría con un dispositivo activado con el carnet o con una llave inteligente que permitirían habilitar los recursos del salón, energía y aires y, si la llave, habilita también el uso del espacio. El dispositivo podría ser un lector de tarjetas RFID [20], que en este caso sería el carnet del usuario, preferiblemente del docente a cargo de la clase. El lector se conecta con un programa de cómputo que enviaría una señal a los interruptores o contactores que controlan la energía y el aire acondicionado. Al recibir la señal, los interruptores o contactores habilitarían los recursos, después de haber validado la información brindada por el carnet.
- **Monitoreo de temperatura en tiempo real:** El monitoreo en tiempo real de la temperatura en los espacios de clase puede lograrse mediante sensores de temperatura y un programa de cómputo. Este sistema verificaría constantemente que las temperaturas estén dentro de los rangos de confort térmico predefinidos. Si se detecta que la temperatura está fuera de estos límites, se enviaría automáticamente una solicitud al área de mantenimiento para ajustar la temperatura del aire acondicionado central. La Oficina de Recursos Físicos y Ambientales es la encargada de establecer las temperaturas de salida de los aires. Para implementar esta idea de diseño, se podría utilizar un termómetro USB que se conecta a un puerto USB de una computadora, mide la temperatura ambiente y transmite la información a la computadora.
- **Plataforma de servicio de soporte para requerimientos del aire acondicionado por salón:** Se propone la creación de un proceso de soporte para atender las necesidades y fallas de los aires acondicionados. Este sistema ofrece una trazabilidad completa de los requerimientos, lo que agiliza el registro y el tiempo de respuesta a las solicitudes. El sistema estará disponible en los computadores de cada salón y automáticamente generará un reporte al técnico en servicio para que atienda la solicitud. La plataforma podría incluir un formulario de solicitud que permita a los usuarios proporcionar información detallada sobre el problema que están experimentando. Sistema de seguimiento que debe permitir a los usuarios ver el estado de sus solicitudes de soporte. Herramientas de colaboración para permitir a los usuarios interactuar con el equipo de soporte.
- **Sistema de control de acceso para los aires acondicionados:** Se plantea la creación de un sistema o programa de cómputo que sincronice los horarios de ocupación y reservas de los salones con un ajuste predeterminado para encender los equipos de climatización en esos espacios. Este sistema estará en constante verificación de las reservas en tiempo real, lo que permitirá habilitar el aire acondicionado en caso de una reserva inesperada de un aula de clase. Por ejemplo, si el salón está reservado para una clase a las 10:00 AM, el software de control de acceso activaría los aires acondicionados a las 9:30 AM. Si la clase termina a las 12:00 PM, el software de control de acceso los apagaría a las 11:30 AM.
- **Ruteo o programación de mantenimiento:** Se propone un ruteo automatizado mediante el uso de un software para generar un plan de mantenimiento. El software tendría en cuenta: una base de datos de la ubicación de los salones de la universidad, el tipo de aire acondicionado instalado en cada salón y la frecuencia de mantenimiento recomendada para cada tipo de aire acondicionado. Adicionalmente, El software debería tener en cuenta la disponibilidad de los técnicos para realizar el mantenimiento y la prioridad de los salones para el mantenimiento. Finalmente, el software indicaría el día y la hora en que cada salón debería ser visitado.
- **Ruteo dinámico de personal para la programación de espacios y requerimientos:** Se plantea la creación de un sistema de ruteo dinámico para el personal encargado de encender los aires acondicionados de los edificios y a su vez sincronizarlo con los requerimientos que lleguen en tiempo real durante el día. El sistema propuesto se basaría en los siguientes principios: algoritmo de optimización para generar una ruta que minimice el tiempo de desplazamiento del técnico y la cantidad de viajes necesarios. Sincronizar el ruteo con el sistema de información sobre los horarios de clase de cada salón. Esto permitiría generar una ruta inicial para habilitar los aires acondicionados de acuerdo con los horarios de clase. Recalcular constantemente los requerimientos y solicitudes de los usuarios, esto permitiría brindar una mejor ruta para el técnico, teniendo en cuenta los cambios en los horarios de clase o las solicitudes de los usuarios

El sistema puede ayudar a garantizar que los aires acondicionados estén encendidos cuando se necesiten y apagados cuando no se necesiten. Esto puede ayudar a ahorrar energía y dinero. Adicionalmente, el sistema permitirá mayor

flexibilidad ya que puede adaptarse a cambios en los horarios, las prioridades, requerimientos de mantenimiento o la disponibilidad de los técnicos.

- **Evaluación técnica y financiera de automatización para los salones:** Se propone evaluar técnica y financieramente la tecnología necesaria para implementar un sistema de automatización de los aires acondicionados en los salones de clase. Este sistema permitirá controlar la disponibilidad de recursos, como energía y aire acondicionado, y regular la temperatura deseada en los espacios.

La evaluación técnica se centraría en identificar los beneficios técnicos de la implementación del sistema y los componentes necesarios para la automatización de los aires acondicionados. Estos componentes pueden incluir controladores, sensores de movimiento, sensores de temperatura, actuadores, software de control de acceso, lectores y otros dispositivos relacionados.

Adicionalmente, se llevaría a cabo un estudio y evaluación financiera del proyecto, que abarcará los costos de automatización, los costos de implementación y los costos de mantenimiento. También se tiene en cuenta los beneficios económicos y de satisfacción del usuario asociados con la implementación del sistema, como el ahorro de energía y la mejora en la comodidad de los usuarios.

- **Propuesta basada en automatización para mejorar el servicio de aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali:** Se propone diseñar una mejora en el proceso de administración de tareas del servicio de aires acondicionados mediante la evaluación del grado de automatización del sistema en la Universidad Javeriana Cali. La evaluación comparará la implementación de un sistema completamente automatizado, un sistema de automatización parcial que incluye el ruteo dinámico del personal para programación de espacios y mantenimiento, y el sistema manual actual de suministro de aire acondicionado en la universidad.

La metodología establecerá los objetivos, diseño del proceso de cada sistema y tareas para cada sistema a evaluar. Además, considerará las implicaciones de la automatización completa y del diseño del ruteo dinámico. La decisión sobre el grado de automatización se tomará teniendo en cuenta las implicaciones, viabilidad y preferencias de la institución. También se evaluarán las implicaciones de cada sistema, incluyendo la eficacia, eficiencia, flexibilidad, costos, análisis de capacidad y las tecnologías a implementar, a través de proyecciones y estimaciones.

B. Selección de alternativa de diseño

En este apartado se hará énfasis en establecer los criterios de selección y la rúbrica que se utilizará para evaluar y hacer la selección de la mejor alternativa de diseño. En el modelo de decisión que se implementara, se asignaran puntajes a cada alternativa de acuerdo con su desempeño en cada criterio mediante análisis, debates y pensamientos subjetivos. La ponderación adecuada permitirá que se puedan comparar de manera equitativa. La rúbrica de evaluación será la guía donde se detallan los criterios a evaluar.

La Tabla 6 presenta los criterios de selección escogidos para realizar la selección de la alternativa de diseño. Además, se indica una ponderación que hace referencia al peso relativo de cada criterio, teniendo en cuenta que se prioriza la eficiencia operativa de cada sistema.

Tabla 6. Criterios de selección de las alternativas de diseño

Criterio	Definición	Ponderación
Eficiencia Operativa	Evalúa la capacidad de cada alternativa para optimizar el servicio de aires acondicionados de acuerdo a las necesidades y requerimientos de los usuarios	25%
Adaptabilidad	Mide la flexibilidad de cada alternativa ante algún cambio de horario, prioridades o mantenimientos.	20%
Viabilidad Económica	Considera los costos asociados con el desarrollo de cada alternativa	15%
Viabilidad Técnica	Analiza la viabilidad técnica de cada alternativa, considerando la integración con sistemas existentes y la capacidad de implementación.	20%
Aplicabilidad en Área de Diseño	Evalúa la coherencia de la alternativa con los principios y conocimientos del área de diseño seleccionado.	20%

Cada alternativa será calificada de uno a cinco de acuerdo al nivel que cumpla en cada criterio. Después se obtendrá la calificación final de cada alternativa para evidenciar cuál es la que mejor cumple con los criterios de selección.

La Tabla 7 muestra la calificación de cada alternativa en cada criterio y su calificación ponderada de acuerdo a los pesos relativos de cada criterio.

Tabla 7. Evaluación de las alternativas

Criterios Alternativas	Eficiencia Operativa	Adaptabilidad	Viabilidad Económica	Viabilidad Técnica	Aplicabilidad en Área de Diseño	Calificación Ponderada
Automatización para la habilitación de recursos de los salones de clase	4	4	3	4	4	3.8
Monitoreo de temperatura en tiempo real	4	2	3	3	4	3.2
Plataforma de servicio de soporte para requerimientos del aire acondicionado por salón	3	3	5	3	2	3.2
Sistema de control de acceso para los aires acondicionados	4	2	3	4	4	3.4
Ruteo o programación de mantenimiento	4	3	2	3	4	3.2
Ruteo dinámico de personal para la programación de espacios y requerimientos	4	3	2	3	4	3.2
Evaluación técnica y financiera de automatización para los salones	3	3	4	3	3	3.2
Diseñar una propuesta basada en automatización para mejorar el servicio de aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.	5	5	4	4	5	4.6

Después de realizarse la calificación de las distintas alternativas de diseño, la elegida corresponde a la propuesta basada en automatización para mejorar el servicio de aires acondicionados en la Pontificia Universidad Javeriana. En la alternativa se propone hacer una evaluación completa del grado de automatización del sistema de aires acondicionados en la universidad,

buscando obtener mejoras en el proceso de soporte en el servicio de aire acondicionado. Primero, se deberá investigar los posibles grados de automatización de un sistema de aires acondicionados, para así establecer una escala de grado de automatización y la descripción de cada uno de estos, después, se caracterizará y registrará el nivel de automatización actual del sistema implementado en la universidad, buscando opciones de mejora y los recursos con los que cuenta la universidad actualmente. Después, se diseñará la operación para cada sistema de automatización de aires acondicionados previamente establecidos, describiendo que tecnologías se van a utilizar, proveedores, cotizaciones, tecnologías disponibles, políticas y compatibilidad de los equipos.

Por último, se deberá evaluar la propuesta en términos financieros, de capacidad y rendimiento, como también la eficacia y eficiencia, buscando validar la viabilidad de la propuesta. Se podrá realizar mediante una simulación ya que permitirá evaluar y realizar proyecciones y estimaciones acerca del rendimiento de cada sistema en diferentes escenarios y de acuerdo a los criterios establecidos. Para así finalmente poder informar y proponer a la Universidad Javeriana Cali que sistema de automatización de aires acondicionados es el óptimo a implementar en la institución.

C. Objetivos

Objetivo General:

Diseñar el sistema de control de aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali, basado en técnicas de automatización inteligente.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar el nivel de automatización del sistema actual de servicio de aires acondicionados en la universidad Javeriana Cali, con el fin de reconocer los recursos y capacidad operativa del sistema para identificar puntos de mejora.
2. Definir el sistema de control de aires acondicionados en términos de requerimientos tecnológicos y operativos.
3. Validar los impactos e implicaciones del sistema de control de aires acondicionados para analizar el rendimiento técnico y la viabilidad financiera de cada sistema.

D. Recolección y análisis de datos

La recolección de datos es una parte fundamental del proyecto de diseño. En este caso, la recolección de datos estuvo guiada por las alternativas de diseño planteadas y los índices de desempeño del sistema. La metodología de recolección de datos del equipo se basó en dos instrumentos principales: una encuesta a los usuarios para obtener la percepción de los usuarios sobre el funcionamiento del sistema actual y un plan de medición por salones. Con el objetivo de extraer información relevante de los datos recopilados para identificar los puntos de mejora del sistema actual.

La encuesta a los usuarios se diseñó para identificar cómo se encontraba la percepción de los usuarios frente al funcionamiento del sistema actual de aires acondicionados y soporte técnico. La encuesta tenía como objetivo identificar los siguientes aspectos:

- Percepción frente al funcionamiento y la temperatura que arroja el sistema.
- Satisfacción frente a los tiempos de respuesta por parte de los técnicos frente a requerimientos o fallas en el sistema.
- Edificios de la institución en donde mayor insatisfacción hay frente a el sistema.

El plan de medición por salones se diseñó para recopilar datos sobre el rendimiento de los aires acondicionados en cada salón. Se estableció un plan de medición que consistió en la toma de datos diarios a diferentes horas durante las jornadas de clases, durante un período de dos semanas, en todos los salones de los edificios de Palmas y Lago; con el fin de obtener información sobre los indicadores de rendimiento previamente definidos. El plan de medición abarcó los siguientes aspectos:

- Registro de la ocupación de los salones mediante un sistema binario, donde '1' indicaba la presencia de personas en clase y '0' la ausencia de ocupación.

- Registro del funcionamiento de los equipos en cada salón a través de un sistema binario, donde '1' representaba que el aire acondicionado estaba en funcionamiento y '0' indicaba lo contrario.
- Registro de la temperatura seca del espacio en grados Celsius teniendo en cuenta la temperatura meta en la que se debe encontrar.
- Registro de la temperatura de salida indicada por el equipo o el control.
- Fecha y hora de la recolección de datos.
- Observaciones de los estados de los equipos, el funcionamiento de los aires acondicionados y comentarios proporcionados por los usuarios que hacen uso frecuente del salón medido.

Las herramientas utilizadas para la medición de las temperaturas en los salones fueron las siguientes:

Monitor de estrés térmico: Mide y evalúa las condiciones ambientales relacionadas al calor y a la humedad de un espacio.



Fig.10 Monitor de estrés térmico

Termo anemómetro: Mide simultáneamente la velocidad de salida del aire y la temperatura en un entorno específico.



Fig.11 Termo anemómetro

La encuesta de satisfacción se realizó a 245 usuarios, difundida a personas de la universidad mediante correo institucional. Los resultados arrojados por la encuesta son los siguientes:

La escala de uno a cinco se utilizó para responder a cada pregunta de percepción. La Figura 12 muestra la percepción de los trabajadores sobre el funcionamiento de los aires acondicionados en el área de trabajo.

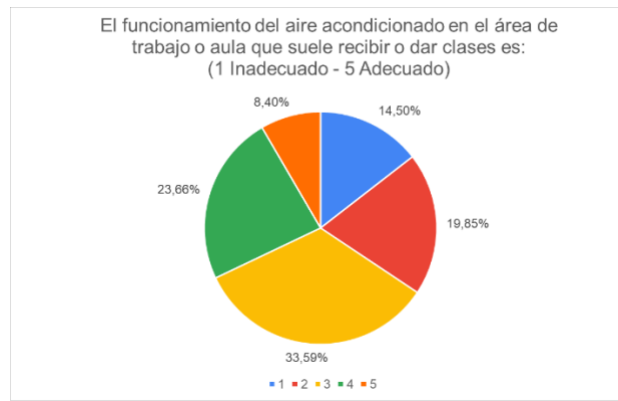


Fig.12 Satisfacción del funcionamiento de los aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.

Según los resultados, se obtuvo un promedio ponderado de 2.92, lo cual se considera bajo. Esto es especialmente notorio dado que se espera que los usuarios tengan, como mínimo, una percepción del sistema con una puntuación de 4 en cada una de las preguntas.

En la Figura 13 se muestra el resultado de la pregunta relacionada con la percepción de la temperatura de los aires acondicionados.

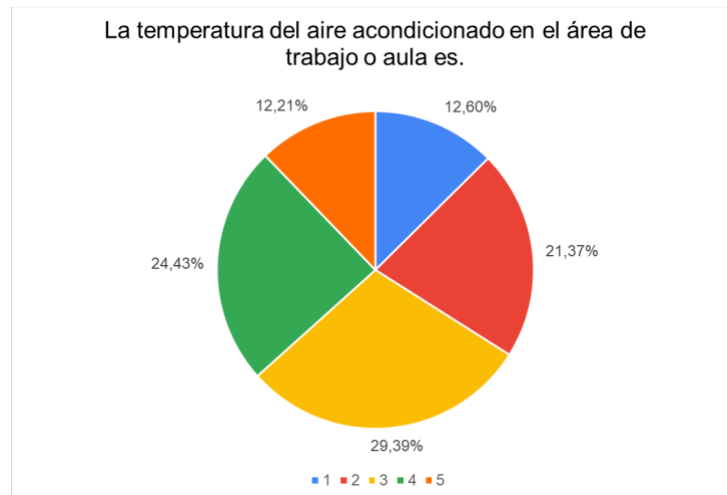


Fig.13 Satisfacción de la temperatura de los aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.

Considerando el puntaje objetivo, se puede observar un nivel bajo de satisfacción con respecto a la temperatura, ya que el promedio ponderado fue de 3.02.

En la Figura 14 se muestra el resultado de la pregunta relacionada con la satisfacción en cuanto a los tiempos de respuesta por parte del equipo de mantenimiento ante las fallas reportadas en los aires acondicionados.



Fig.14 Satisfacción frente a la resolución de requerimientos de los aires acondicionados en la Universidad Javeriana Cali.

En este caso, el promedio ponderado fue de 3.09, y al igual que en las demás preguntas, se evidencia un bajo nivel de satisfacción con respecto al sistema de aires acondicionados.

Por último, se identificaron los edificios en los que la insatisfacción con el sistema de aires acondicionados era mayor. En la Tabla 8 se presentan los resultados de la pregunta.

Tabla 8. Edificios donde hay mayor insatisfacción frente a los aires acondicionados.

Edificio	Porcentaje
Lagos	39,76%
Palmas	20,87%
Samán	9,45%
Guayacanes	9,06%
Cedro Rosado	8,27%
Educación Continua	5,51%
Acacias	1,97%
Almendros	1,97%
Biblioteca	1,18%
Zona Administrativa	0,79%
En ninguno	0,79%
Facultad de Ingeniería y Ciencias	0,39%

De acuerdo a los resultados, se pudieron identificar los edificios donde los usuarios han tenido más inconvenientes frente al sistema de aires acondicionados. En este caso, los edificios fueron Lago y Palmas, en los cuales se hicieron las respectivas mediciones.

Por otro lado, se realizaron 100 mediciones a los salones de Palmas y Lago, en donde el registro de la medición se encuentra en el Anexo #4 y se obtuvieron como resultado los siguientes valores e indicadores:

Primero, se elaboró un diagrama de dispersión para obtener una visión general del comportamiento de la temperatura en cada salón evaluado con relación a la temperatura objetivo de confort térmico.

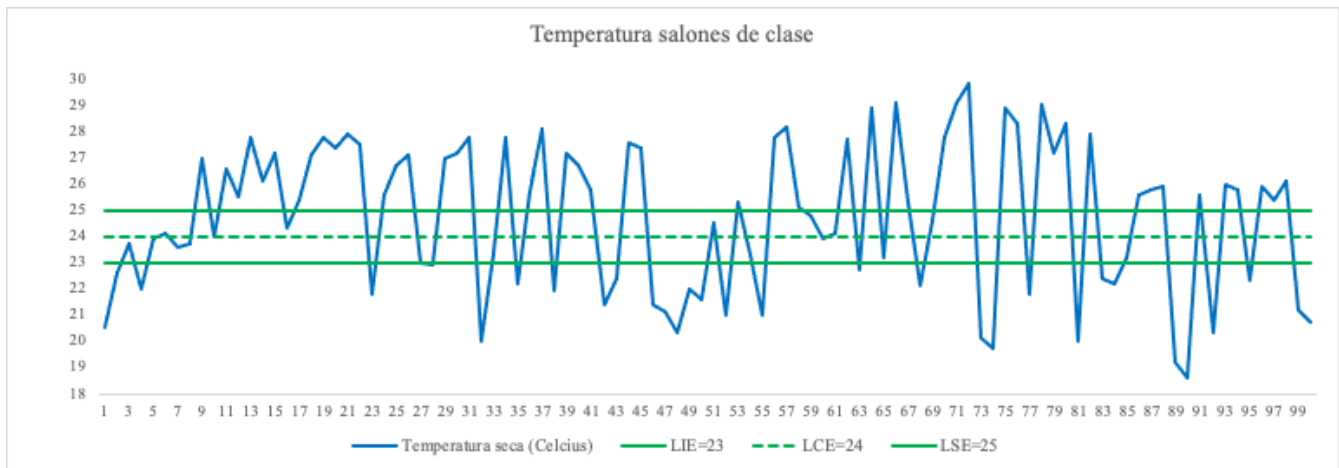


Fig.15 Diagrama de dispersión de temperatura

En la Figura 15, se aprecia una amplia dispersión en las mediciones, lo cual sugiere que esto se debe a la falta de funcionamiento de los aires acondicionados en algunos salones, lo que resulta en altas temperaturas, y en otros casos, la temperatura de salida de los equipos es demasiado baja, lo que contribuye a una alta variabilidad de las temperaturas. Además, se observa en el gráfico de dispersión que, en la mayoría de las mediciones, la temperatura no se encuentra dentro del rango de confort térmico que debe situarse entre 23 y 25 grados Celsius, con un límite central de especificación de 24 grados Celsius. Esto indica que no se cumple con la normativa vigente.

Tabla 9. Resumen estadística descriptiva temperatura de los salones.

Temperatura seca	
Promedio desviación meta media	2,5101
Curtosis	-1,0654451
Coefficiente de asimetría	-0,2230099
% De no cumplimiento	73%
% De no cumplimiento por el límite superior.	46%

Según la Tabla 9, se observa que las mediciones de temperatura no se ven afectadas por factores externos, como errores en las mediciones, datos ficticios o cambios en el método de registro. Por tanto, presentan un comportamiento normal, ya que su curtosis y el coeficiente de simetría están en el rango de -2 a 2.

Sin embargo, a pesar de este comportamiento normal, el 73% de las mediciones de temperatura no cumplen con las especificaciones establecidas, y el 46% de las temperaturas superan los 25 grados Celsius. Este último aspecto es crucial de analizar, ya que temperaturas demasiado altas pueden afectar la satisfacción de los usuarios, el rendimiento académico y la dinámica de las clases. Además, la desviación promedio de las temperaturas con respecto al valor objetivo de 24 grados es de 2.5 grados.

En cuanto a la revisión de los indicadores de desempeño establecidos previamente, se realizaron las respectivas mediciones:

Tabla 10. Resumen de indicadores de desempeño.

Indicadores de desempeño	
% De no ocupación	32%
% De disponibilidad	55%

Según la Tabla 10, el porcentaje de no ocupación se refiere a las ocasiones en que, durante las revisiones, se encontraron salones vacíos con los aires acondicionados en funcionamiento. Se observó que esto ocurrió en un 32% de las ocasiones, lo que representa un desperdicio significativo en términos de costos, energía, utilización y vida útil del equipo.

Adicionalmente, el porcentaje de disponibilidad indica que, en solo el 55% de las mediciones realizadas, los aires acondicionados estaban funcionando. Esto es un motivo de preocupación, ya que los usuarios informan y se quejan de que los aires acondicionados no están operando y de que el sistema no es eficiente.

De acuerdo con los resultados de las mediciones y de la encuesta, se obtiene que el sistema no está cumpliendo con la meta sugerida y con los objetivos esperados por la oficina de recursos físicos y ambientales.

E. Plan de trabajo (PdT)

En este apartado se presenta el plan de trabajo, que se concibe como una ruta estratégica para desarrollar la propuesta de automatización para mejorar el servicio de aires acondicionados de la Universidad Javeriana de Cali. En la Tabla 11 se presentan las actividades a realizar de acuerdo con cada objetivo específico.

Tabla 21. Plan de trabajo (PdT)

Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Específico 1	Análisis y Mejora de Sistemas	Mapeo de procesos	Establecer los diferentes niveles de automatización en sistemas de control de aires acondicionados.	Se entregará diagrama de niveles de automatización y un documento del mapeo de procesos donde se especifiquen las áreas de oportunidad y las necesidades identificadas	Marzo 8 -2024
			Realizar entrevistas con el personal encargado del servicio de aires acondicionados para comprender el funcionamiento actual del sistema		Marzo 20 -2024
			Recopilar datos y documentación relacionada con el sistema de aires acondicionados		Marzo 20- 2024
			Identificar y documentar los procesos actuales mediante el mapeo de procesos		Marzo 22 -2024
Específico 2	Ingeniería de Métodos	Desarrollo de Propuestas	Investigar tecnologías de automatización aplicables al servicio de aires acondicionados	Informe detallado de las propuestas de los sistemas con diferentes niveles de automatización con sus respectivas especificaciones técnicas.	Abril 5-2024
			Diseñar proceso operativo de cada sistema de control.		Abril 17-2024
Específico 3	Evaluación y Diseño de Trabajo	Análisis técnico-financiero	Evaluar el rendimiento de cada propuesta	Informe de resultados de las pruebas con análisis técnico financiero	Mayo 14-2024
			Realizar un análisis técnico y financiero de cada sistema de control.		Mayo 19-2024

V. DISEÑAR

En este apartado, el equipo presenta el diseño de la alternativa seleccionada para el proyecto, realizada mediante diferentes secciones. Primero, se realizó un marco conceptual para introducir y caracterizar los diferentes conceptos relacionados con automatización. En segundo lugar, se caracterizó el sistema actual de servicios de aire acondicionado en la universidad javeriana Cali, para reconocer en qué nivel de automatización se encuentra y sus diferentes recursos y capacidad operativa. Posteriormente, se propusieron y caracterizaron dos sistemas de automatización adicionales. Por otra parte, se diseñó la operación interna de cada

sistema propuesto. Finalmente, se evaluó la viabilidad de implementar las diferentes técnicas de automatización, midiendo los impactos e implicaciones de cada sistema, para analizar el rendimiento técnico y financiero.

A. Propuesta de esquema conceptual para la clasificación de niveles de automatización en sistemas de aire acondicionado:

El auge de la automatización la convierte en una herramienta fundamental para optimizar diversos sectores, incluyendo el de los sistemas de aire acondicionado. Para caracterizar el nivel de automatización actual en la Universidad Javeriana Cali y evaluar la implementación de soluciones inteligentes, se propone un esquema conceptual propio tomando como referencia un marco conceptual que se introducirá en primer lugar por niveles de automatización y en segundo lugar por la interacción entre humanos y tecnologías automatizadas detallando la forma de automatizar el procesamiento de la información, asimismo se utiliza un modelo gráfico que permite representar la interacción máquina-humano en cada sistema.

La automatización ha experimentado un auge significativo hoy, convirtiéndolo en un factor importante en sectores como la manufactura, la agricultura, la atención médica y los servicios financieros. Las computadoras y las tecnologías emergentes ahora pueden realizar muchas funciones que antes solo podían ser realizadas por humanos. Aunque el concepto de automatización se ha definido de diversas maneras, la automatización se refiere a un sistema o dispositivo capaz de realizar de forma independiente una función humana, de manera total o parcialmente, que reemplaza tareas ejecutadas por humanos. El nivel de automatización varía desde la acción u operación manual completa hasta la automatización total [21].

De acuerdo con Parasuraman et al [21], 10 niveles de automatización se han propuesto con el fin de definir y representar la autonomía de un dispositivo o sistema sobre una acción humana, la Tabla 12 se muestra la escala propuesta.

Tabla 12. Niveles de Automatización de la Selección de Decisiones y Acciones [21]

Nivel	Descripción	Puntaje
10	La computadora decide todo, actúa de manera autónoma, ignorando al humano.	ALTO
9	Informa al humano solo si así lo decide la computadora.	
8	Informa al humano solo si se le pregunta.	
7	Ejecuta automáticamente y luego informa necesariamente al humano.	
6	Le da al humano un tiempo limitado para vetar antes de la ejecución automática.	
5	Ejecuta una sugerencia si el humano lo aprueba.	
4	Sugiere una alternativa.	
3	Reduce la selección a unas pocas opciones.	
2	La computadora ofrece un conjunto completo de alternativas de decisión/acción.	
1	La computadora no ofrece ninguna ayuda. El humano debe tomar todas las decisiones/acciones.	BAJO

De acuerdo con Tabla 12, los sistemas de automatización pueden funcionar en diferentes niveles. En un nivel básico (2), el humano tiene varias opciones para elegir y el sistema no interviene en la decisión final. En un nivel intermedio (4), el sistema sugiere una opción, pero el humano puede aceptarla o elegir otra. En un nivel más avanzado (6), el sistema brinda al humano un tiempo limitado para rechazar la opción sugerida antes de implementarla. Abarcando así diferentes niveles que van desde lo manual hasta lo automático [21]. Asimismo, esta escala permite la adaptabilidad de la automatización a aplicar en un sistema o dispositivo, el nivel de automatización no es fijo, ya que podría diseñarse a la demanda del momento.

En el año 2000, Parasuraman et al. [21] diseñaron un modelo que aborda la interacción entre los seres humanos y las tecnologías automatizadas, detallando cuatro categorías de funciones de aplicación de la automatización: 1) Obtención de información, 2) Evaluación de información, 3) Proceso de decisiones y elección de acciones, y 4) Ejecución de acciones.

Según Parasuraman et al. [21] las cuatro etapas del procesamiento de la información se pueden automatizar:

1. Adquisición de información:

Se centra en obtener y registrar datos de diversas fuentes, abarcando la orientación de los receptores sensoriales, el procesamiento sensorial, la primera manipulación de datos antes de lograr una percepción completa y la atención selectiva. En el nivel más básico, la automatización puede mover sensores para escanear y observar, además se utilizan cámaras y bases de datos que recopilan datos.

2. Análisis de información:

Implica procesar la información para comprender su significado. Engloba la conciencia perceptiva y la manipulación de datos procesados almacenados en la memoria de trabajo, se llevan a cabo operaciones cognitivas como el ensayo, la integración y la inferencia, antes del momento de la toma de decisiones. Se utilizan algoritmos que identifican patrones, tendencias y anomalías en los datos.

3. Toma de decisiones y selección de acciones:

Se realizan las decisiones basadas en dicho procesamiento cognitivo. Los sistemas automatizados toman decisiones y seleccionan acciones.

4. Implementación de acciones:

Es la ejecución de la decisión tomada. La automatización puede reemplazar la acción humana en diferentes niveles, desde la asistencia hasta la ejecución completa de la respuesta o Acción. Robots y otros sistemas ejecutan las acciones.

Por otro lado, según Matthew Johnson, líder en la investigación de interacción humano-robot, los Coactive Design son una solución única para el desarrollo rápido de la tecnología moderna. El término coactivo implica que la interdependencia es la principal cualidad que considerar para que así se cree un sistema eficiente de actividades conjuntas [22].

Coactive Design, según Matthew Johnson [22], es una solución innovadora para la evolución de la tecnología actual. Esta se enfoca en la integración fluida entre humanos y máquinas, donde el sistema se convierte en un colaborador activo en lugar de simplemente reemplazar las tareas humanas. A diferencia de los niveles de automatización, que simplemente indican el grado de reemplazo de tareas humanas por máquinas, los diseños coactivos integran las máquinas en el sistema de manera similar a la participación humana, permitiendo una interacción más dinámica y adaptativa. Esto significa que el sistema no solo responde a comandos predefinidos, sino que también considera las necesidades y preferencias de los usuarios.

La Figura 16 proporciona una representación visual del modelo del sistema coactivo, que incorpora estas tres características para construir un sistema integral y coherente.

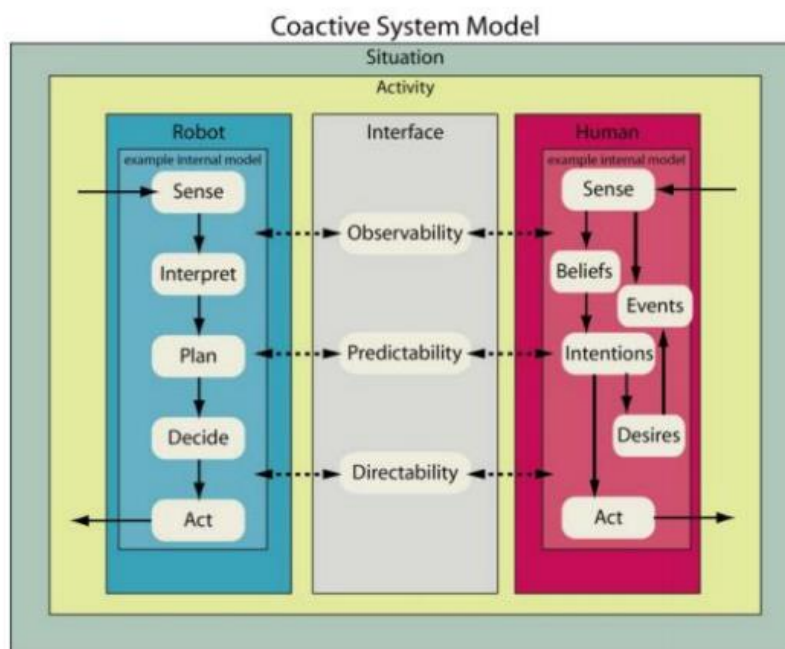


Fig.16 Modelo de un Sistema Coactivo [22]

De acuerdo con la figura 16 se observa que el diseño de un modelo coactivo implica evaluar qué aspectos pueden automatizarse y cómo se configura la interfaz de usuario. Para un ingeniero industrial, la ergonomía de la interfaz es crucial al determinar qué automatizar. Un sistema coactivo ideal distribuye la conciencia de la situación entre el humano y la máquina [23].

Finalmente, se emplean los niveles de automatización, las cuatro funciones de aplicación y el diseño coactivo para desarrollar dos sistemas para el aire acondicionado de la Universidad Javeriana de Cali y caracterizar el sistema actual. El propósito es medir la automatización en relación con las funciones de procesamiento de información mediante un Coactive Design Model. Esto permitirá a fabricantes, instaladores y usuarios de sistemas de aire acondicionado comprender mejor el nivel de automatización presente en dichos sistemas y facilitará la comparación entre diferentes modelos en términos de automatización alcanzada. Esta información capacitará a los interesados para tomar decisiones informadas respecto a la selección, instalación y uso de nuevos sistemas de aire acondicionado.

B. Caracterización sistema actual de aire acondicionado en la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Este apartado se enfoca en la descripción y análisis del sistema de aire acondicionado del edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali. Se abordará la caracterización de las cuatro funciones principales del procesamiento de la información en el contexto del sistema actual, considerando los tres sub-servicios del sistema: Disponibilidad, Operación del sistema y Mantenimiento correctivo. Adicionalmente, se describirán los requisitos específicos del sistema actual, así como en la definición de sus elementos y en la elaboración de los procesos, procedimientos y protocolos correspondientes al servicio.

El sub-servicio de Disponibilidad se refiere a la capacidad del sistema para estar operativo cuando se requiere, asegurando un suministro constante de aire acondicionado. La operación del sistema implica la ejecución de actividades preventivas para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema y la temperatura adecuada a lo largo del tiempo. Por último, el mantenimiento correctivo se refiere a la capacidad de responder de manera eficiente y efectiva a cualquier anomalía o problema que surja en el sistema.

Además, se evaluará el nivel de automatización de cada función utilizando el marco conceptual establecido previamente. Esta caracterización permitirá identificar las fortalezas y debilidades del sistema actual, así como proponer estrategias para optimizar su funcionamiento e identificar áreas de mejora en cada uno de los sub-servicios mencionados del servicio de los equipos de aire acondicionado del edificio.

Procesos

a) Disponibilidad del Sistema:

El Sistema Actual se centra en el sistema de aire acondicionado actual del edificio Lago de la Universidad Javeriana Cali. En este sistema, el servicio de aire acondicionado se maneja de manera manual. Para encender cada unidad de aire acondicionado, es necesario activar previamente los chillers, los cuales son ajustados por la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales para funcionar automáticamente de 6:45 a.m. a 8:45 p.m. todos los días, suministrando agua a las unidades de aire acondicionado de la universidad. Luego, dos operarios son responsables de encender y apagar cada unidad de los salones utilizando un control remoto, realizando estas acciones en las horas de la mañana y la noche, respectivamente. La Figura 17, representa un diagrama de flujo de carriles del sistema de disponibilidad del servicio de aire acondicionado actualmente en el edificio Lago.

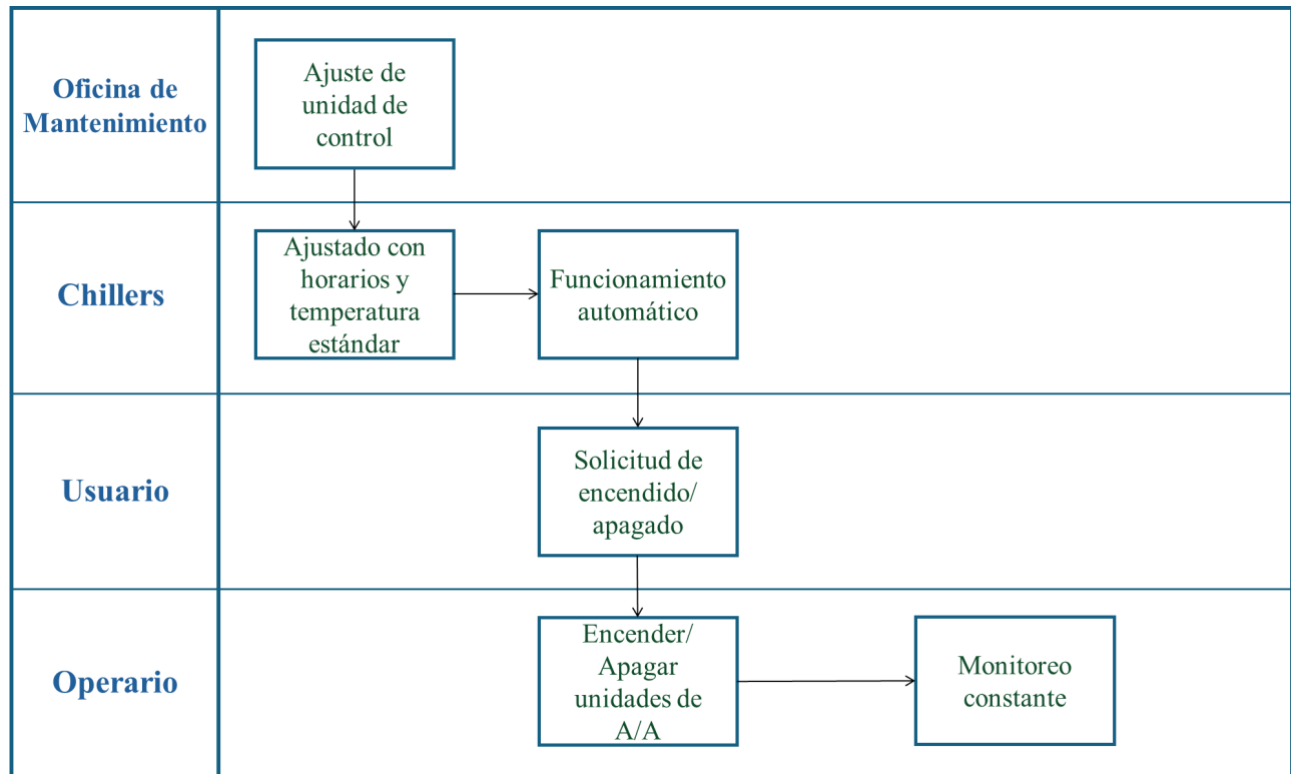


Fig.17 Sistema actual de disponibilidad del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

b) Operación del sistema:

En cuanto al mantenimiento operativo del sistema actual, cada unidad de aire acondicionado cuenta con un sistema interno que ajusta automáticamente la temperatura según los factores externos. Sin embargo, cualquier solicitud de cambio de temperatura por parte del usuario debe ser enviada a la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales por teléfono o correo electrónico. Los dos operarios designados se encargan de visitar cada salón para ajustar la temperatura según lo solicitado, procurando mantenerla dentro del rango de confort térmico de 23 a 24 grados Celsius. A continuación, la Figura 18, representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de mantener la operación del sistema de aire acondicionado actualmente en el edificio Lago.

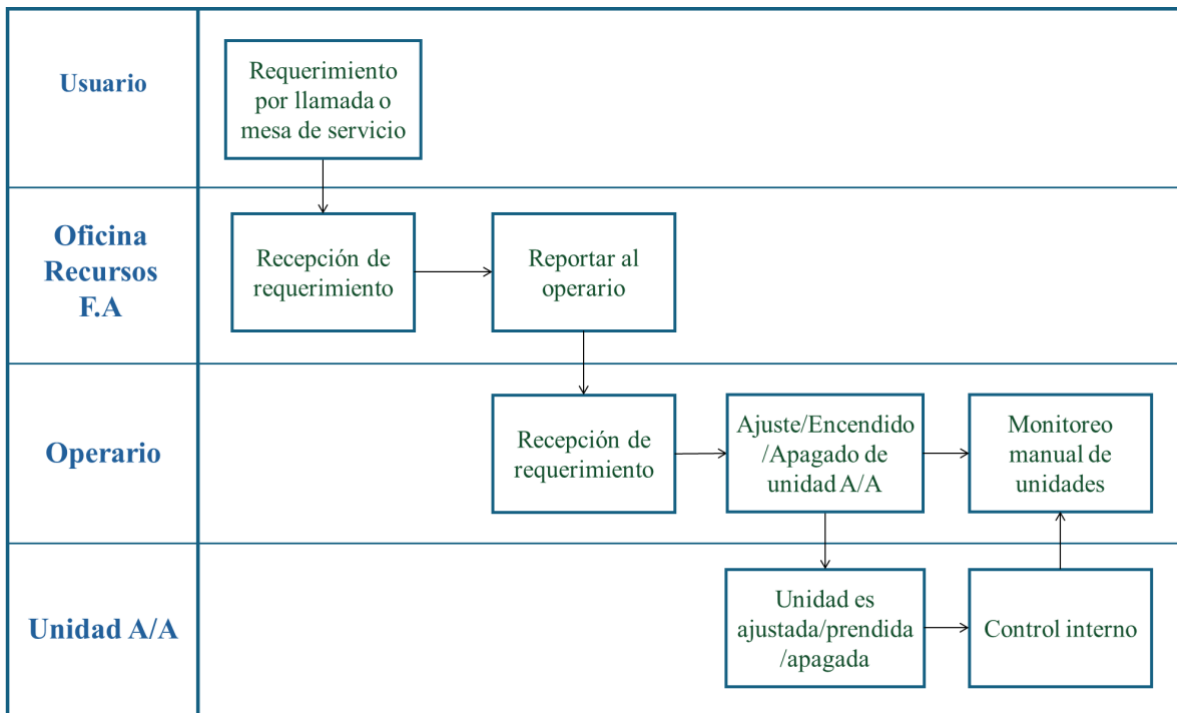


Fig.18 Sistema actual de la operación del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

c) Mantenimiento correctivo del sistema:

Finalmente, para todo servicio correctivo, los dos operarios reciben los requerimientos de los usuarios para cualquier servicio correctivo. Estos requerimientos pueden ser realizados tanto por llamada telefónica como a través del portal de la mesa de servicio ofrecido por la universidad. La oficina de recursos físicos y ambientales recibe el requerimiento ante cualquier falla y asigna a uno de los operarios para llevar a cabo la corrección. Sin embargo, si la falla requiere de una pieza adicional o de una acción correctiva más extensa, se consideran factores como el contrato In-House y previas cotizaciones de fallas, así como la necesidad de personal adicional. Todo el procedimiento de detección de fallas se realiza de manera manual, ya sea mediante la percepción del usuario o a través de la percepción e investigación del operario. La Figura 19, representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de correcciones ante fallas del sistema de aire acondicionado actualmente en el edificio Lago.

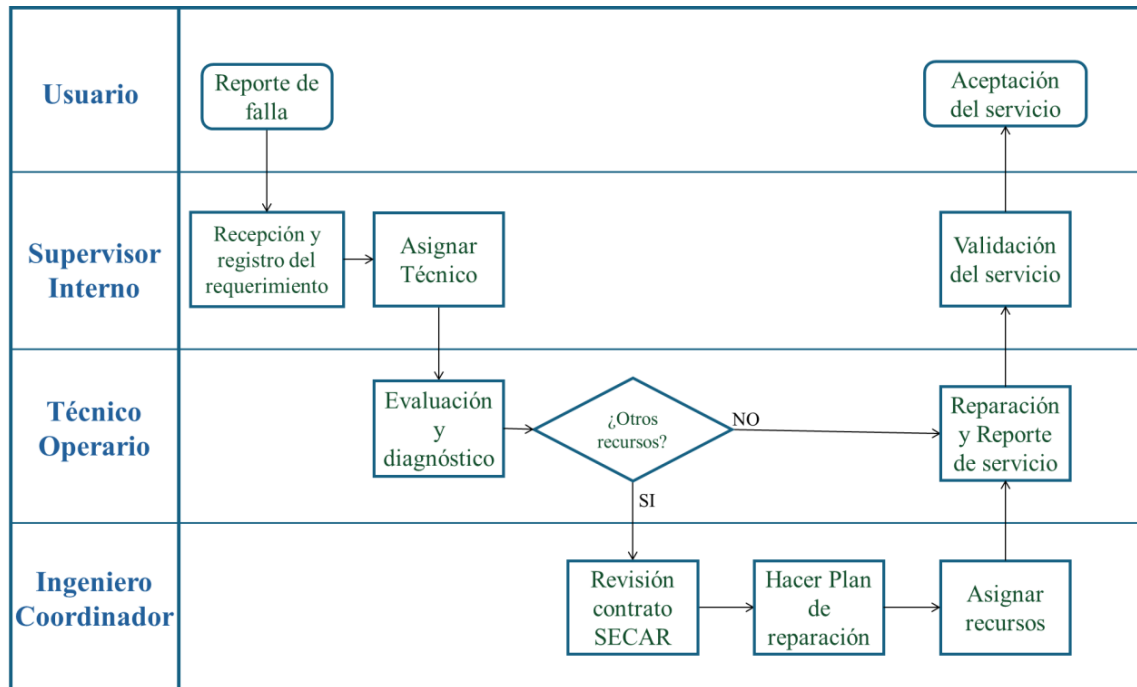


Fig.19 Sistema actual del servicio correctivo de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

Elementos

A continuación, se presenta un resumen en la Tabla 13 de los recursos y elementos específicos utilizados en el sistema actual en el edificio El Lago.

Tabla 13. Resumen elementos en el sistema actual de aires acondicionados en el edificio Lago.

SISTEMA	ELEMENTOS			
	Unidades de Aire	Controles Remotos	Comunicación	Sistema de Registro
Piso 0 (Salones 0.1 a 0.5)	6 unidades fancoil 60000 BTU	Para estos equipos se utiliza el mismo control remoto con la referencia Midea R05/BGCE RG05F2/BGEU1	La comunicación se efectúa por radio teléfonos, que tienen frecuencias de los servicios de parqueadero, recursos físicos y aseo.	Correo Electrónico: Otra vía de comunicación para solicitudes de ajuste de temperatura o reportes de fallas. Portal de la Mesa de Servicio: Plataforma digital proporcionada por la universidad para reportar fallas y gestionar solicitudes de mantenimiento correctivo.
Piso 1 (Salones 1.0 a 1.8)	16 unidades tipo Cassete Starlight - TRANE	Control remoto universal: Estos dispositivos pueden sincronizarse con las frecuencias de las unidades específicas, permitiendo a los usuarios operar múltiples tipos de unidades con un solo control remoto.	Teléfono: Utilizado para que los usuarios se comuniquen con la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales para solicitar cambios de temperatura o reportar fallas.	
Piso 2 (Salones 2.0 a 2.14)	16 unidades tipo Cassete Starlight - TRANE			
Piso 3 (Salones 3.1 a 3.6)	12 unidades tipo Cassete Starlight - TRANE			
Piso 4 (Salones 4.0 a 4.8)	18 unidades tipo Cassete Starlight - TRANE			

Procedimientos

En este apartado se describe brevemente un manual de usuario para el sistema de aire acondicionado del edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali. Este manual está dirigido a tres grupos específicos de usuarios: los operarios, la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales, y los estudiantes y docentes. Para los operarios, se detallan los procedimientos de encendido y apagado de las unidades de aire acondicionado, ajustes de temperatura según las solicitudes de los usuarios, y las acciones necesarias para el mantenimiento correctivo. La Oficina de Recursos Físicos y Ambientales encontrará directrices sobre la gestión y supervisión del sistema, asegurando que los equipos funcionen dentro del horario programado y coordinando las comunicaciones con los usuarios y operarios.

Por último, el manual proporciona a los estudiantes y docentes las instrucciones necesarias para solicitar ajustes de temperatura y reportar cualquier anomalía en el sistema, garantizando así un ambiente confortable. Los detalles completos de estos procedimientos y directrices están disponibles en el Anexo # 5.

C. Definición del sistema de control de aires acondicionados propuestos

En este apartado, se proponen dos sistemas adicionales para mejorar el servicio de aire acondicionado en la Universidad Javeriana Cali. teniendo en cuenta los niveles de automatización planteados y las cuatro funciones de procesamiento de la información. Asimismo, se presenta el diseño de los requisitos específicos de cada sistema, así como en la definición de sus elementos y en la elaboración de los procesos, procedimientos y protocolos correspondientes a cada servicio. Este análisis detallado permitirá establecer las bases sólidas necesarias para la implementación eficiente y efectiva de los sistemas, garantizando un funcionamiento coherente y una operación fluida en todos los niveles.

Por otro lado, los sistemas propuestos están adaptados a los salones de clase del edificio lago de la universidad Javeriana Cali, por lo que es importante destacar que la implementación de cualquiera de estos sistemas requiere una inversión inicial en nuevos equipos de unidad de aire acondicionado para los salones del edificio, dado que las unidades actuales son muy antiguas, están desgastadas, presentan numerosos daños y no hay uniformidad en las unidades de los salones.

A continuación, la Tabla 14 representa los niveles de automatización propuestos en cada sistema, basados en la tabla 12 propuesta anteriormente, teniendo en cuenta cada función de procesamiento de la información.

Tabla 14. Niveles de Automatización de los sistemas propuestos y sistema actual de acuerdo con cada función de procesamiento de la información.

Funciones	SISTEMAS					
	Sistema 0 (Actual): sistema de aire acondicionado completamente manual.		Sistema 1: sistema de aire acondicionado con automatización parcial.		Sistema 2: sistema de aire acondicionado con automatización avanzada.	
	Nivel	Descripción	Nivel	Descripción	Nivel	Descripción
Adquisición de la información	1	Recopilación manual por parte de los dos operarios o por el usuario, limitada, recepción de solicitudes por radio, llamadas o mesa de servicio.	4	Sensores, mayor precisión	5	Sensores, identificación del usuario, mayor precisión
Análisis de la información	1	Básico y subjetivo por operador o usuario.	4	Análisis en tiempo real, detección de anomalías	8	Verificación de clase/reserva, ajuste automático
Toma de decisiones	1	Decisiones en el momento por operarios.	4-5	Decisiones automáticas, notificaciones al operario	6-7	Decisiones automáticas, revisión por parte del operario. Ajuste automático de la programación en función de eventos inesperados

						(como cambios de horarios de reserva).
Implementación de la acción	1	Acciones manuales por operarios como encender/apagar, ajustar temperatura y acción correctiva a cada unidad.	6	Regulación automática y manual de temperatura, intervención manual en caso de anomalías	6-7	Control automático temperatura y encendido, intervención manual en caso necesario

1) Sistema 1: sistema de aire acondicionado con automatización parcial

Procesos

El Sistema 1 propone una solución de aire acondicionado con automatización parcial, que combina características de automatización parcial e intermedia para controlar la temperatura, disponibilidad, registro de solicitudes y manejo de averías del sistema. Se describen las cuatro funciones principales del procesamiento de información en el contexto del sistema, considerando los tres sub-servicios de este: Disponibilidad, Operación del sistema y Mantenimiento correctivo.

a.) Disponibilidad del Sistema:

La disponibilidad del sistema se establece mediante la programación previa de los chillers por parte de la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales, como en el sistema actual. Sin embargo, además, la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales realiza una programación interna de cada unidad de aire acondicionado de los salones, mediante un microcontrolador ESP32. Estas unidades se encenderían automáticamente en un horario programado de 7:00 am a 8:00 pm, eliminando la necesidad de operarios para encender y apagar cada unidad manualmente. A continuación, la Figura 20 representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de disponibilidad del sistema de aire acondicionado propuesto con automatización parcial en el edificio Lago.

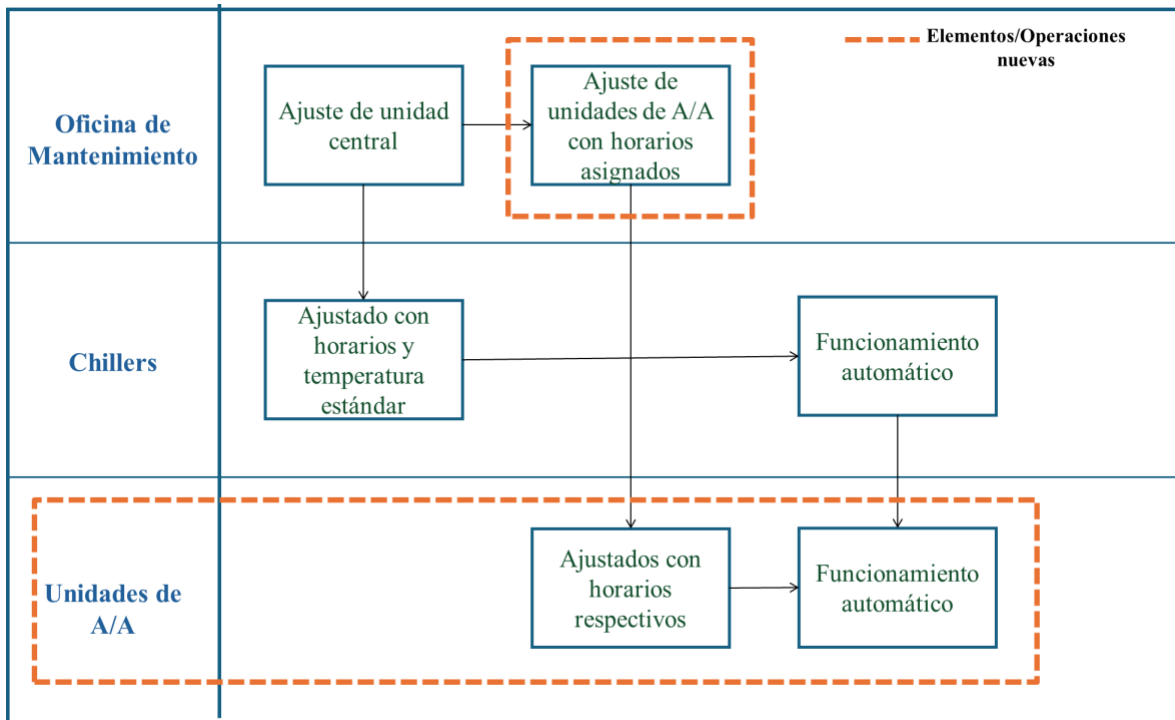


Fig.20 Sistema con automatización parcial de la disponibilidad del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

b.) Operación del sistema:

En lo referente a la operación del sistema, cada unidad de aire acondicionado está equipada con un sistema interno que ajusta automáticamente la temperatura en función de los factores externos. Además, se instalan sensores externos a la unidad de aire acondicionado en los salones para detectar los niveles de dióxido de carbono (CO2) en el ambiente. Los sensores miden constantemente los niveles de dióxido de carbono en el aire. El sistema de aire acondicionado compara los niveles de CO2 medidos por los sensores con los rangos aceptables (que deben encontrarse en 800 ppm con una desviación promedio de ± 100 ppm). Si los niveles de CO2 en el interior del salón comienzan a subir y se acercan al punto establecido de 900 ppm, el sistema de aire acondicionado lo interpreta como una señal de que se necesita más aire fresco. Basándose en esta comparación, el sistema puede ajustar automáticamente la ventilación del salón de clases para introducir más aire fresco del exterior y así diluir el CO2 acumulado. Esto se logra mediante el ajuste de los ventiladores de la unidad de aire acondicionado que permiten la entrada de aire exterior. Cuando los niveles de CO2 vuelven a caer por debajo del punto establecido de 800 ppm, el flujo de aire exterior regresa a sus niveles normales.

Por otro lado, los sensores envían una alerta al centro de control cuando los niveles se encuentran por encima de los 900 ppm, lo que permite a los operarios ajustar la temperatura de la unidad según sea necesario, o bien, los sensores ajustan automáticamente la inyección de aire y los niveles de ventilación. Esto puede ahorrar mucha energía en espacios con mucha gente y en lugares con climas extremos. Asimismo, se propone implementar una interfaz de usuario que permita enviar solicitudes de cambio de temperatura mediante una aplicación móvil, donde los operarios pueden recibirlas y ajustar la temperatura desde el panel de control móvil. La Figura 21 muestra un diagrama de flujo de carriles del servicio para mantener la operación del sistema de aire acondicionado propuesto con automatización avanzada en el edificio Lago.

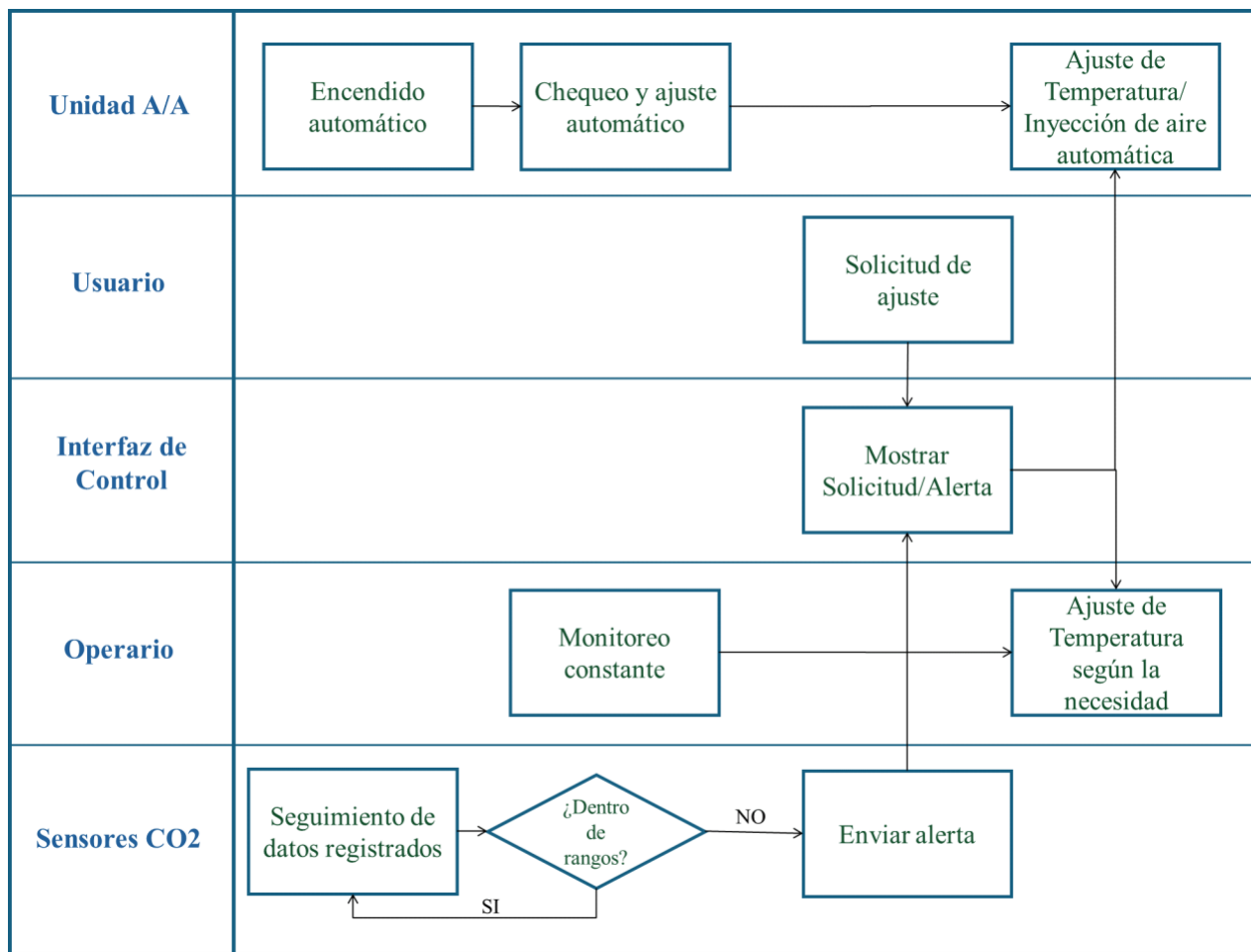


Fig.21 Sistema con automatización parcial de la operación del servicio de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

c.) Mantenimiento correctivo:

Para los servicios correctivos, los operarios reciben solicitudes de los usuarios a través del panel de control del aplicativo móvil, lo que facilita el seguimiento y asignación de tareas. Si la falla requiere una acción más extensa o la adquisición de una pieza adicional, se consideran factores como los contratos de servicio y cotizaciones previas. Aunque la detección de fallas sigue considerando un factor manual, el sistema proporciona una mayor trazabilidad y registro de estas, mediante la alerta del sensor de dióxido de carbono sobre los niveles del espacio, es un monitoreo a tiempo real que permite al operario detectar las fallas en el sistema antes que el usuario lo requiera. A continuación, la Figura 22, representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de correcciones ante fallas del sistema de aire acondicionado propuesto con automatización parcial en el edificio Lago.

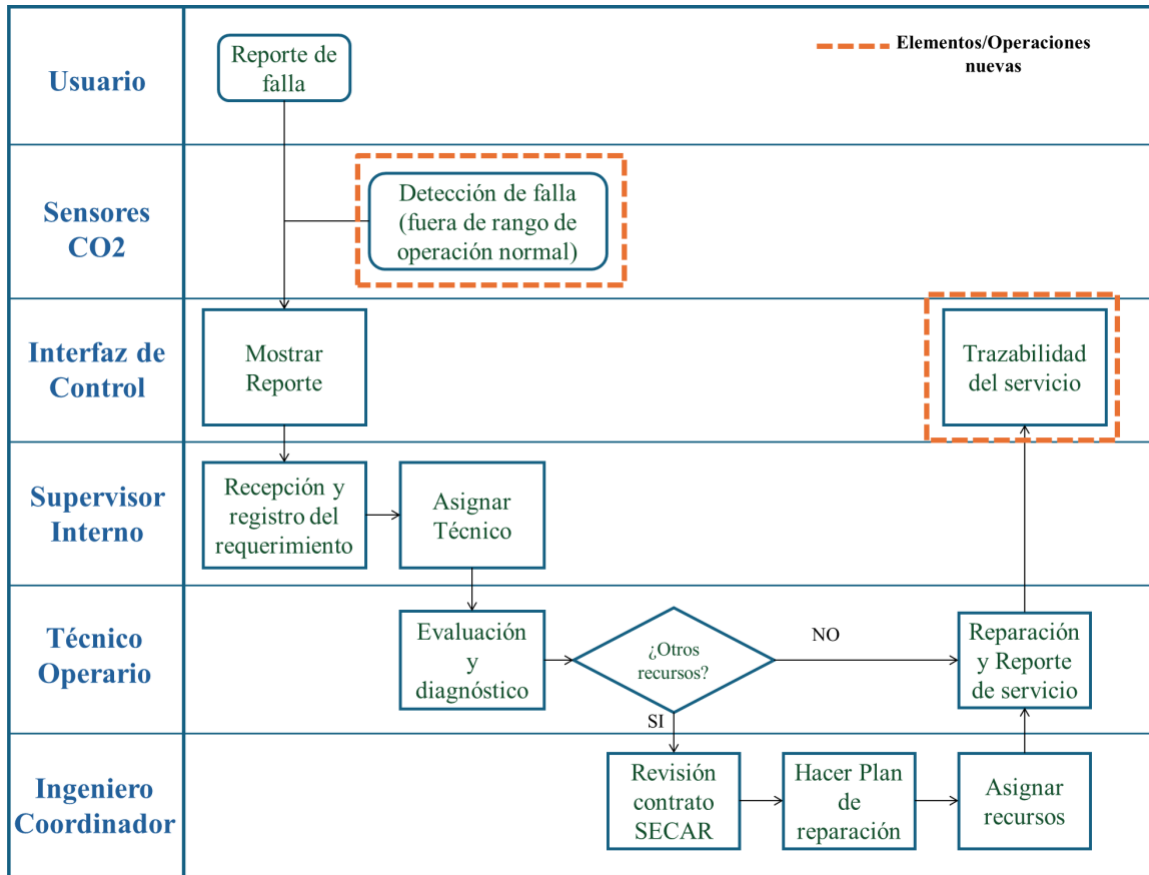


Fig.22 Sistema con automatización parcial del servicio correctivo de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

Elementos

A continuación, se presenta un resumen en la Tabla 15 de los recursos y elementos específicos utilizados en el sistema 1. El Anexo #6 tiene la información y descripción detallada de los elementos a utilizar en el sistema 1. Asimismo, el Anexo # 7 tiene la cotización realizada para las unidades de aire acondicionado nuevas a instalar.

Tabla 15. Resumen elementos a utilizar en sistema 1 con automatización parcial.

Sistema	Elementos							
Sistema 1	Unidades de aire acondicionado: 68 unidades de aire acondicionado Fan Coil Cassette,	Chillers: 3 unidades de marca Trane.	Microcontrolador ESP32: con conexión a internet que permite la interconexión entre todos los	Sensores de CO2: MH-Z19B, permite medir el nivel de Dióxido de	Batería y módulo de carga de batería: batería de polímero de litio (LiPo) LiPo 3.7V	Aplicación móvil: permite la interfaz entre el usuario, el operario y el sistema de aire	Lenguaje de programación : Firmware, programación en C++, para la programación interna de los	Base de datos y sistema de información: Oracle y PeopleSoft

	modelo ESC36 de 36 KBTU de tipo inverter, trifásico.		elementos del sistema.	carbono en el aire.	2000mAh. módulo de carga TP4056. Para alimentar el circuito.	acondicionado.	módulos con el sistema.	
--	--	--	------------------------	---------------------	--	----------------	-------------------------	--

Por otro lado, la Figura 23 representa la integración de los elementos gráficamente para describir el funcionamiento interno del sistema 1 con automatización parcial. En el Anexo #6 se encuentra la descripción detallada la integración de sus componentes y sus respectivos protocolos de comunicación considerando las tecnologías de integración que ya posee la Universidad.

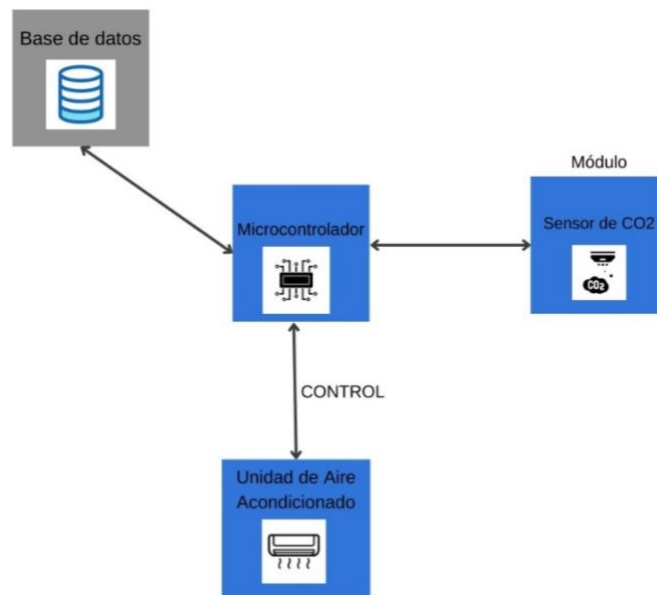


Fig.23 Integración de los elementos en el sistema 1 con automatización parcial.

Cabe resaltar que los elementos descritos en el Anexo #6 para el sistema 1 con automatización parcial se utilizan para el prototipado y no son tan robustos en términos de calidad. Sin embargo, en la validación financiera se consideraron cotizaciones de la universidad para módulos más robustos y adecuados para un sistema universitario complejo. Existen distintos niveles de calidad en componentes de IoT, desde básicos para pruebas hasta industriales para aplicaciones permanentes como es el caso.

Procedimientos

En esta sección se detallan los procedimientos del sistema a través de un manual de usuario. Este manual proporciona instrucciones claras y detalladas sobre el uso y funcionamiento del sistema de aire acondicionado con automatización parcial. Está diseñado para guiar a los usuarios a través de las principales funciones del sistema, asegurando un uso adecuado y la resolución de problemas, lo que garantiza un rendimiento óptimo y una experiencia de usuario eficiente y segura.

El Anexo #8 incluye el manual con las instrucciones necesarias para que los operarios, la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales, así como los estudiantes y docentes, puedan interactuar con el sistema de aire acondicionado con automatización parcial y aprovechar al máximo sus capacidades.

2) Sistema 2: sistema de aire acondicionado con automatización avanzada

El sistema 2 propone una solución con automatización avanzada, la cual realiza la mayoría de las tareas de manera autónoma, requiere intervención humana ocasionalmente para situaciones o toma de decisiones estratégicas. El sistema de aire acondicionado con automatización avanzada se basa en una red de sensores externos, controladores inteligentes y plataforma de software en la nube. Se describen las cuatro funciones principales del procesamiento de información en el contexto del sistema, considerando los tres sub-servicios de este: Disponibilidad, Operación del sistema y Mantenimiento correctivo.

Procesos

Para este sistema, la disponibilidad de los chillers sigue siendo gestionada mediante la misma programación previa realizada por la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales, la cual asegura el suministro de agua al sistema de aire acondicionado. Sin embargo, para garantizar la disponibilidad de cada unidad de aire acondicionado en los salones del edificio Lago, se propone la implementación de un lector de tarjeta con RFID. Este dispositivo permitiría activar el funcionamiento del aire acondicionado en cada salón, conectándose al carnet del docente o estudiante. Este carnet tendría una interfaz con un software en la nube, específicamente con el sistema de información de personas de la universidad, para verificar la reserva de espacios previamente establecida en el sistema universitario. De esta manera, la unidad de aire acondicionado del salón solo se activaría si el estudiante, profesor o colaborador tiene reservado el espacio para una clase u otros fines académicos.

a.) Disponibilidad del Sistema:

El algoritmo que opera este sistema analiza las reservas de espacios y los diferentes horarios, ajustando continuamente la programación en función de eventos inesperados, como cambios en los horarios de reserva. Este enfoque permite optimizar el rendimiento energético y la calidad del aire acondicionado, además de reducir la carga de trabajo de los operarios al eliminar la necesidad de encender o apagar cada unidad individualmente, como se hacía en sistemas anteriores. A continuación, la Figura 24, representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de disponibilidad del sistema de aire acondicionado propuesto con automatización avanzada en el edificio Lago.

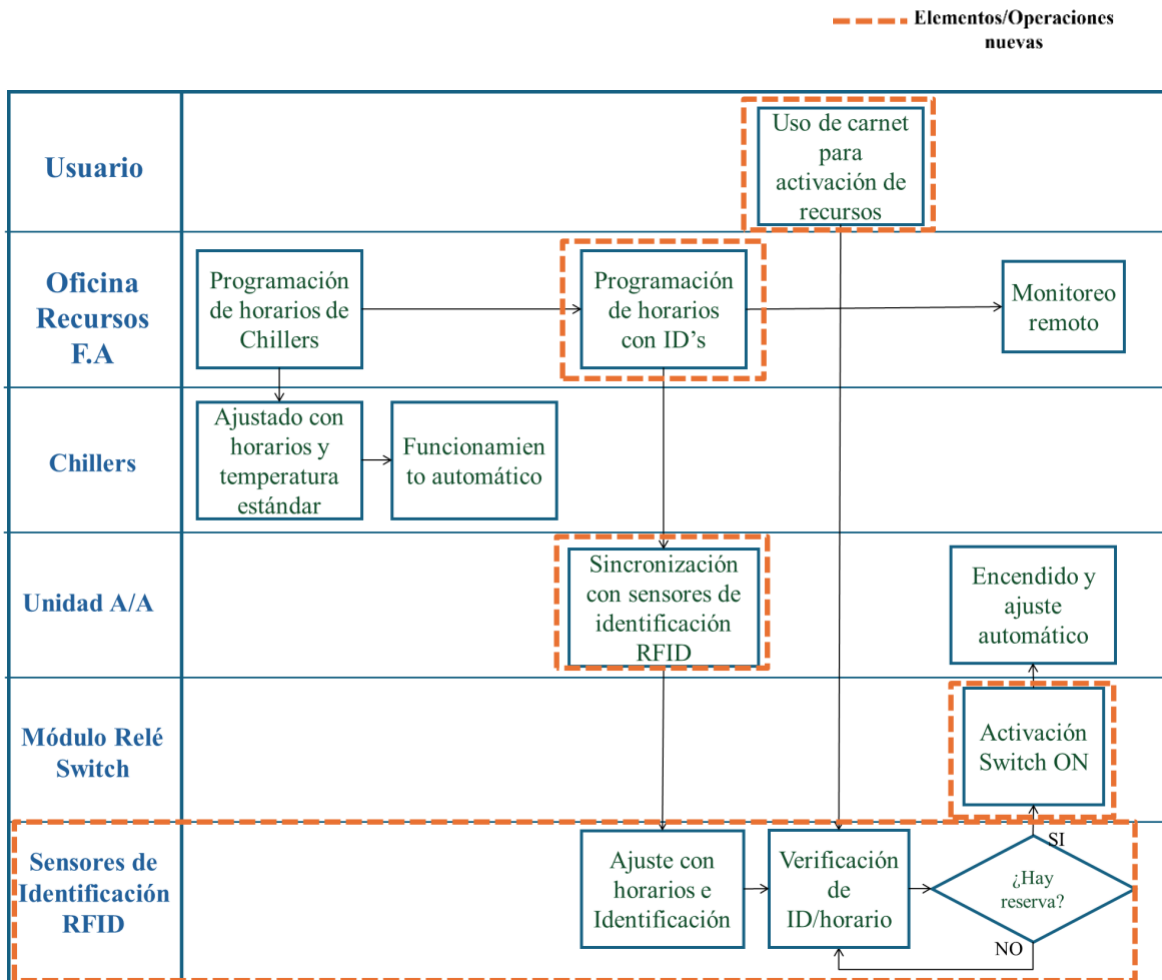


Fig.24 Sistema con automatización avanzada del servicio disponibilidad de aire acondicionado en el edificio Lago en la Universidad Javeriana Cali.

b.) Operación del sistema:

En lo referente a la operación del sistema, el sistema con automatización avanzada tiene el mismo comportamiento que el sistema anterior con automatización parcial, por ende la Figura 21, representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de correcciones ante fallas del sistema de aire acondicionado propuesto con automatización parcial o avanzada en el edificio Lago

c.) Mantenimiento correctivo:

Para los servicios correctivos, el sistema con automatización avanzada tiene el mismo comportamiento que el sistema anterior con automatización parcial. La Figura 22, representa un diagrama de flujo de carriles del servicio de correcciones ante fallas del sistema de aire acondicionado propuesto con automatización avanzada y parcial en el edificio Lago.

Elementos

A continuación, se presenta un resumen en la Tabla 16 de los recursos y elementos específicos utilizados en el sistema 2. Además, el Anexo #6 tiene la información y descripción detallada de los elementos a utilizar en el sistema 2.

Tabla 16. Resumen elementos a utilizar en sistema 2 con automatización avanzada.

Sistema	Elementos										
Sistema 1	Unidades de aire acondicionado: 68 unidades de aire acondicionado Fan Coil Cassette, modelo ESC36 de 36 KBTU de tipo inverter, trifásico.	Chillers: 3 unidades de marca Trane.	Microcontrolador ESP32: con conexión a internet que permite la interconexión entre todos los módulos.	Sensores de CO2: MH-Z19B, permite medir el nivel de Dióxido de carbono en el aire.	Batería y módulo de carga de batería: batería de polímero de litio (LiPo) LiPo 3.7V 2000mAh. módulo de carga TP4056. Para alimentar el circuito.	Carnet con sistema RFID: Todo usuario de la Universidad Javeriana Cali tiene un carné de identificación de la institución.	Sensor de RFID: RC522 RFID Reader Module. Permite la lectura del carnet.	Relé: Modulo de Relé de 5v, permite al ESP32 activar o desactivar un circuito.	Aplicación móvil: permite la interfaz entre el usuario, el operario y el sistema de aire acondicionado.	Lenguaje de programación: Firmware, programación en C++, para la programación interna de los módulos con el sistema.	Base de datos y sistema de información: Oracle y PeopleSoft

Por otro lado, la Figura 25 representa la integración de los elementos para describir el funcionamiento interno del sistema 2 con automatización avanzada. Por otro lado, el Anexo #6 incluye la explicación detallada de la integración de los elementos y su funcionamiento.

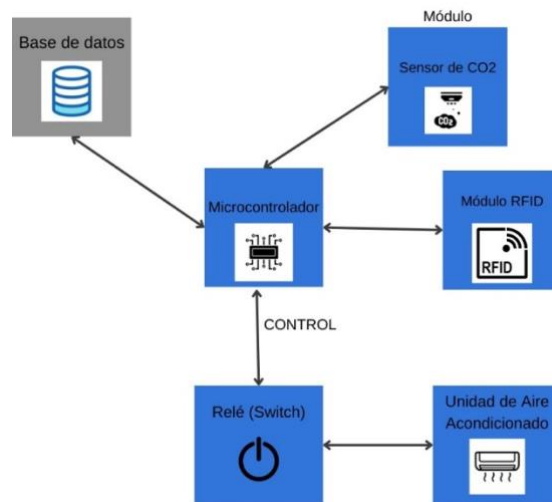


Fig. 25. Integración de los elementos en el sistema 2 con automatización avanzada.

Es importante resaltar que los elementos descritos en el Anexo #6 para el sistema 2 con automatización avanzada corresponden a componentes de prototipado, que no son tan robustos como los necesarios para una implementación final en un entorno universitario. Para la validación financiera del proyecto, se consideraron cotizaciones de módulos con mayor robustez, proporcionadas por la universidad, asegurando su adecuación para un sistema complejo y de alto rendimiento. Es importante destacar que los componentes de IoT varían en calidad, desde aquellos utilizados para pruebas y desarrollo inicial, hasta los industriales, diseñados para ofrecer mayor durabilidad y fiabilidad en aplicaciones críticas.

Procedimientos

En esta sección se detallarán los procedimientos del sistema mediante un manual de usuario. Un manual de usuario es un documento que proporciona instrucciones detalladas y claras sobre el uso y funcionamiento de un sistema, en este caso, del sistema de aire acondicionado con automatización avanzada. Este manual está diseñado para guiar a los usuarios a través de las funciones principales, el uso adecuado y la resolución de problemas del sistema, asegurando un rendimiento óptimo y una experiencia de usuario eficiente y segura.

El anexo #9 contiene el manual que proporciona las instrucciones necesarias para que operarios, la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales, y los estudiantes y docentes puedan interactuar y aprovechar al máximo el sistema.

E. Validación del diseño

En esta sección se llevará a cabo una validación técnica y financiera del proyecto. Debido a las limitaciones del diseño de proceso, que se basa en el diseño del sistema y la integración de sus elementos, es necesaria una validación técnica por parte de otra disciplina, como la ingeniería electrónica. Para ello, se validó con expertos en la materia para asegurar la correcta aplicación y funcionamiento de los sistemas propuestos en cuanto a automatización y sincronización de todos los elementos. Esta validación se llevó a cabo mediante una presentación de los sistemas propuestos a dichos expertos. Por otro lado, la validación financiera será gestionada por el CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente). Este enfoque garantizará que ambos aspectos críticos del proyecto sean evaluados de manera exhaustiva y precisa, asegurando así la viabilidad y éxito de su implementación.

Para la validación técnica, se realizaron varias reuniones: una con Silver Andrés Uribe, jefe de recursos físicos y ambientales e ingeniero electrónico; otra con un grupo de estudiantes de ingeniería electrónica que actualmente trabajan en su proyecto de grado sobre un prototipo de automatización de aires acondicionados para un salón de la Universidad Javeriana Cali; y una última reunión con Silver Andrés Uribe y Luis Fernando Guevara, ingeniero coordinador de recursos físicos y ambientales e ingeniero industrial. En los Anexos #10, #11 y #12 se encuentran las actas de cada reunión respectivamente, donde se consolidó todo lo discutido en relación con las definiciones técnicas y el funcionamiento de los sistemas propuestos. Aunque no se dispone de mediciones sobre los indicadores de desempeño, la validación técnica se realizó con expertos que evaluaron la viabilidad y la posibilidad de implementación de lo propuesto.

En cuanto a la validación financiera, el Anexo #13 presenta un modelo financiero que evalúa el costo anual uniforme equivalente (CAUE) de cada sistema propuesto. Este modelo mide el costo anual de mantener la modernización del sistema de aires acondicionados en la universidad. Dado que se trata de un proyecto por implementar, es crucial evaluar el costo de realización para garantizar un impacto positivo en el confort educativo y la satisfacción de los usuarios, quienes han reportado insatisfacción con el sistema actual de aire acondicionado de la Universidad.

Para el modelo financiero, se requiere una tasa de interés. Debido a que no tenemos acceso al WACC (Weighted Average Cost of Capital) de la Universidad Javeriana Cali, que representa el costo promedio ponderado del capital y refleja el costo promedio de utilizar tanto el capital propio (acciones) como el ajeno (deudas), hemos utilizado el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) para estimar nuestra tasa de descuento. El CAPM es un modelo financiero que determina el rendimiento esperado de un activo en función de su riesgo relativo al mercado general. En este caso, se ha seleccionado el mercado de la educación en Colombia.

Para determinar nuestra tasa de descuento en este caso el KP común, hemos utilizado la beta proporcionada por Damodaran para el sector de la educación, la tasa de prima de riesgo actualmente en Colombia y la tasa de deuda de Colombia actualmente, los cuales se encuentran en la página web de Damodaran, quien publica anualmente datos sobre el costo de capital, incluyendo betas para diversas industrias. Según el modelo, se estima que un inversionista en Colombia en la industria de la educación podría exigir una ganancia del 16.844% sobre su inversión. Dado que esta es una estimación, se ha elaborado una tabla de sensibilidad que presenta diferentes escenarios para el KP Común (costo de capital propio), cercanos al estimado previamente. El KP común se determinó a partir de la siguiente fórmula:

$$KP \text{ comun} = Rf + (Rm - Rf) \cdot Beta \quad (1)$$

$$Rf = \text{Tasa de deuda} \quad (2)$$

$$(Rm - Rf) = \text{Tasa prima de riesgo} \quad (3)$$

$$Beta = \text{Beta de Dadomaran} \quad (4)$$

Además, el modelo del CAUE también requiere información sobre el costo de mantenimiento de cada sistema y su valor de salvamento. Al no contar con datos precisos sobre el costo de mantenimiento de los sistemas propuestos, se ha realizado un análisis de sensibilidad para este costo, asumiendo que equivale a diferentes porcentajes de la inversión inicial. El valor de salvamento se ha supuesto como el 2% de la inversión inicial, ya que los materiales podrían venderse como chatarra y la finalidad del proyecto no es realizar la venta de la tecnología al final. Sin embargo, la sensibilidad del valor de salvamento tiene un impacto mínimo en el modelo. Finalmente, todo el análisis se realiza considerando una vida útil de las tecnologías de 10 años.

En la Tabla 17 y 18 se presentan los resultados de la validación financiera y el costo que implicaría para la universidad Javeriana Cali implementar los sistemas propuestos.

Tabla 17. Resultados costo anual uniforme equivalente para el sistema 1 con automatización parcial, teniendo en cuenta análisis de sensibilidad.

CAUE = Costo Anual Uniforme Equivalente (en millones)					
Sistema 1	KP común				
% Costo Mantenimiento	11.00%	13.00%	16.00%	19.00%	21.00%
15%	\$281.73	\$271.48	\$258.33	\$247.35	\$241.01
20%	\$325.95	\$312.22	\$294.61	\$279.92	\$271.45
25%	\$370.16	\$352.96	\$330.90	\$312.50	\$301.89
30%	\$414.38	\$393.69	\$367.18	\$345.07	\$332.32

Tabla 18. Resultados costo anual uniforme equivalente para el sistema 2 con automatización Avanzada, teniendo en cuenta análisis de sensibilidad.

CAUE = Costo Anual Uniforme Equivalente (en millones)					
Sistema 2	KP común				
% Costo Mantenimiento	11.00%	13.00%	16.00%	19.00%	21.00%
15%	\$322.45	\$310.71	\$295.66	\$283.09	\$275.84
20%	\$373.05	\$357.34	\$337.19	\$320.38	\$310.68
25%	\$423.66	\$403.96	\$378.72	\$357.66	\$345.51
30%	\$474.26	\$450.59	\$420.25	\$394.94	\$380.35

De acuerdo con el análisis realizado, se obtiene que para cada sistema con un KP común más alto, el costo anual uniforme del proyecto sería más bajo, por ende, el valor anual que le cuesta a la Universidad Javeriana Cali implementar el sistema 1 con automatización parcial oscila entre los \$250.000.000 y \$380.000.000 de pesos colombianos y para el sistema 2 con automatización avanzada oscila entre los \$280.000.000 y \$450.000.000 de pesos colombianos.

VI. VERIFICAR

A. Medición de los impactos

Impacto Financiero

La implementación de sistemas de automatización de aire acondicionado en la Universidad Javeriana Cali tiene implicaciones financieras significativas que deben considerarse en el contexto de las restricciones de diseño establecidas. Para ambos sistemas, el de automatización parcial (Sistema 1) y el de automatización avanzada (Sistema 2), se requiere una inversión inicial importante en nuevos equipos y tecnologías, lo que se traduce en costos anuales uniformes equivalentes (CAUE) elevados. El Sistema 1 tiene un CAUE que varía entre \$241.01 y \$414.38 millones, mientras que el Sistema 2 oscila entre \$275.84 y \$474.26 millones.

El presupuesto disponible para el mantenimiento anual de los equipos de aire acondicionado es de \$1,000 millones, distribuido en \$150 millones para mantenimiento correctivo y \$850 millones para mantenimiento preventivo. Adicionalmente, existe un presupuesto anual de \$600 millones para la renovación o implementación de nuevos equipos. Estas restricciones presupuestarias deben equilibrarse cuidadosamente con los costos de implementación y mantenimiento de los sistemas propuestos para asegurar la viabilidad financiera del proyecto.

La reducción en el consumo energético proyectada para ambos sistemas promete disminuir los costos operativos a largo plazo. Sin embargo, es crucial considerar el retorno de inversión a lo largo del tiempo, ya que los ahorros en energía deben compensar los altos costos iniciales y los gastos recurrentes. La adopción de tecnologías eficientes energéticamente también puede contribuir a una reducción en las facturas de energía, mejorando la rentabilidad del proyecto a largo plazo.

Impacto Social

El impacto social de la implementación de sistemas de automatización de aire acondicionado en la Universidad Javeriana Cali es notablemente positivo. Mejorar el confort térmico en los salones y espacios comunes influye directamente en la satisfacción y productividad de estudiantes, profesores y personal administrativo. La implementación de estos sistemas asegura un ambiente confortable y constante, lo que reduce el estrés térmico y mejora el rendimiento académico y laboral. Además, la integración de sistemas de control accesibles y seguros garantiza que todos los miembros de la comunidad universitaria puedan beneficiarse equitativamente de las mejoras en infraestructura, promoviendo un entorno inclusivo y equitativo.

La reducción de la carga de trabajo de los operarios y la mejora en la eficiencia de las operaciones también contribuyen a un ambiente de trabajo más agradable y seguro para el personal de mantenimiento. Asimismo, al mejorar las condiciones ambientales de las aulas, se fomenta un mejor ambiente educativo, lo que puede llevar a una mayor satisfacción y desempeño de los estudiantes y profesores.

Impacto Ambiental

El proyecto de automatización de los sistemas de aire acondicionado en la Universidad Javeriana Cali tiene un impacto ambiental positivo, especialmente en términos de eficiencia energética y sostenibilidad de los recursos. Ambos sistemas están diseñados para reducir significativamente el consumo de energía, disminuyendo así la huella de carbono de la universidad. El sistema avanzado incluye tecnologías como sensores de CO₂ y control automatizado que optimizan el uso de los equipos, reduciendo el desperdicio de energía y mejorando la calidad del aire.

Además, la universidad cuenta con una planta de tratamiento de agua que potabiliza el agua del río Pance, y tiene un límite diario de consumo de agua de 260 m³ según permisos del DAGMA. El uso de agua tratada para la operación de los chillers asegura un uso sostenible de los recursos hídricos. La implementación de estos sistemas no solo ayuda a cumplir con las metas de sostenibilidad de la universidad, sino que también sirve como un ejemplo de buenas prácticas ambientales para otras instituciones educativas.

B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Este apartado debe asegurar que la solución satisface la necesidad planteada mediante un plan de control. Un plan de control es un documento que describe cómo se va a gestionar y supervisar el funcionamiento de un sistema para asegurar su correcto desempeño y cumplimiento de los objetivos establecidos. El plan de control incluye detalles sobre los procedimientos operativos, responsabilidades de los involucrados, métodos de monitoreo y acciones correctivas.

En este caso, se realiza un plan de control para los tres sistemas de aire acondicionado en la Universidad Javeriana Cali, en el edificio Lago. Los sistemas son:

Sistema 0: Sistema actual de aire acondicionado en el edificio Lago.

Sistema 1: Sistema de aire acondicionado propuesto con automatización parcial.

Sistema 2: Sistema de aire acondicionado propuesto con automatización avanzada.

El plan de control para cada uno de estos sistemas abarca aspectos clave como la disponibilidad, operación y mantenimiento correctivo del aire acondicionado, asegurando que se cumplan los requisitos de confort y eficiencia energética en todos los espacios del edificio. A través de este enfoque, se garantiza que cada sistema sea monitoreado y gestionado adecuadamente para satisfacer las necesidades de los usuarios y mantener un ambiente óptimo en las instalaciones.

En el anexo #14 está disponible el plan de control detallado para todos los sistemas.

C. Conclusiones

Este apartado debe concluir si solucionó el problema de ingeniería o necesidad a través del cumplimiento de objetivos acorde al plan de trabajo propuesto.

- El proyecto logró cumplir los objetivos propuestos en el plan de trabajo teniendo en cuenta las restricciones planteadas. Se estableció un plan de control detallado para tres sistemas diferentes de aire acondicionado, abarcando aspectos como disponibilidad, operación y mantenimiento correctivo. Esto aseguró que se cumplieran los requisitos de confort y eficiencia energética en todos los espacios del edificio.
- La investigación sobre tecnologías de automatización y la elaboración de especificaciones técnicas detalladas permitieron desarrollar un sistema robusto y adaptable a las necesidades de la universidad. La integración de sensores y controles automatizados optimizará el uso y mantenimiento de los aires acondicionados.
- El mapeo de procesos y las entrevistas con el personal encargado revelaron que una gran proporción de los equipos presentaban fallas en el funcionamiento y en el proceso de soporte ante fallas; lo cual se corrige con la automatización. Este diagnóstico inicial fue crucial para diseñar soluciones efectivas y precisas que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- El proyecto brinda beneficios en términos de ahorro energético, mejora del confort, satisfacción de los usuarios y cumplimiento de normativas. La adopción de tecnologías eficientes y sostenibles no solo hace viable financieramente el proyecto, sino que también resulta beneficioso a largo plazo para la comunidad universitaria y el medio ambiente.
- Las cifras de inversión calculadas por el método CAUE en la validación financiera, permite que la inversión del proyecto sea viable considerando las restricciones sobre el presupuesto inicial de la universidad para renovación de equipos de aire acondicionado.
- Las mejoras en los sistemas de aire acondicionado incrementan el confort térmico en las instalaciones, lo que se ha traducido en una mayor satisfacción entre estudiantes, profesores y personal administrativo. Un ambiente de estudio y trabajo más confortable está directamente relacionado con un mejor desempeño académico y laboral, así como con un aumento en la productividad y el bienestar general de los usuarios.
- La validación con expertos en las áreas indicadas es fundamental para evaluar y realizar cambios pertinentes en los sistemas de automatización propuestos.

D. Recomendaciones

Este apartado debe proponer futuras mejoras o proyectos de diseño que puedan desarrollarse a partir de los resultados obtenidos.

- Extender el estudio y las mejoras implementadas a otros edificios de la universidad. Esto permitirá una evaluación más amplia del impacto del sistema automatizado de control de aires acondicionados.
- Realizar un análisis comparativo entre diferentes edificios para identificar patrones de uso y consumo que puedan optimizarse.
- Desarrollar programas de capacitación continua para el personal encargado del mantenimiento, enfocados en el uso de nuevas tecnologías y técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo.

- Ampliar el uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas) para mejorar el monitoreo y control de los aires acondicionados. Sensores adicionales pueden proporcionar datos detallados sobre la temperatura, la humedad, la calidad del aire y la ocupación en tiempo real.
- Implementar un sistema de encuestas de satisfacción continua que permita obtener retroalimentación regular de los usuarios sobre el desempeño del sistema de aire acondicionado.
- Realizar un análisis del ciclo de vida de los equipos de climatización para identificar oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad y eficiencia.
- Realizar pruebas que permitan determinar cuál nivel de automatización es más conveniente para implementarse en la universidad, considerando los costos e impactos del proyecto.

VII. GLOSARIO

Contratación in house: El reclutamiento interno se refiere a la práctica de reclutar y contratar empleados directamente dentro de la organización, en lugar de subcontratar o contratar personal temporal o externo. Esto significa que la organización es responsable de la selección, gestión y supervisión de su propio personal interno. [14]

Chiller: Los Chillers son un dispositivo mecánico que se utilizan en un sistema HVAC para enfriar un líquido como agua o una mezcla de glicol y agua. Estos sistemas se utilizan comúnmente en edificios comerciales e industriales para proporcionar aire acondicionado y refrigeración.[15]

Building Management System: Es un sistema computarizado utilizado para controlar y monitorear varios sistemas de edificios como HVAC, iluminación, seguridad. BMS ayuda a optimizar el funcionamiento del edificio y mejorar la eficiencia energética.[16]

Tonelada de refrigeración: Son una unidad de medida utilizada para describir la capacidad de enfriamiento de un sistema de aire acondicionado o refrigeración. Una tonelada de aire frío equivale a la cantidad de calor que se debe extraer para congelar una tonelada de agua en 24 horas. [17]

Sistema HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Un sistema HVAC es un sistema que controla la climatización en un espacio e incluye calefacción, ventilación y aire acondicionado. Estos sistemas se utilizan para mantener condiciones ambientales interiores adecuadas. [18]

Grupo focal: Un grupo focal es un método de investigación cualitativa en el que un pequeño grupo de personas se reúne para discutir y compartir sus opiniones, actitudes, experiencias o conocimientos sobre un tema específico. Estos grupos suelen estar dirigidos por un moderador y se utilizan para recopilar información detallada y perspectivas sobre un tema específico. [19]

Tarjetas RFID: Son dispositivos pequeños, parecen estampas y pueden colocarse en algún producto, animal o persona. Estas se componen de dos partes: un microchip en el que se almacena toda la información y una antena que transmite o capta la señal, misma que recibe o envía el lector.[20]

VIII. REFERENCIAS

[1] R. Zatarain, “*Calor y Aprendizaje*”, Revista Educarnos, jun. 2023. Acceso: Sep.14, 2023. [En línea]. Disponible: <https://revistaeducarnos.com/calor-y-aprendizaje/>

[2] IEA, T. The future of cooling. Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning, 2018.

[3] C. J. Becerra, G. S. Calderón, J. J. Ortiz, “Gestión de Confiabilidad en Mantenimiento para Equipos de Aire Acondicionado de Precisión en IT (Information Technology)”, Tesis de grado, Dep. de Ing., ECCI, Bogotá, 2022.

[4] L.F. Guevara, “Presentación recursos físicos y ambientales” [Diapositivas de Power Point].

- [5] *Una guía completa para entender y aplicar las normas ASHRAE*, Revista seguridad 360, Ene. 9, 2023. Acceso: Sep.14, 2023. [En línea]. Disponible: <https://revistaseguridad360.com/noticias/normas-ashrae/>
- [6] NORMA NTC 2050, NTC 2050, ICONTEC, Colombia, 2018.
- [7] “Resolución 909 del 2008”. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Accedido el 1 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible:<https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-909-del-2008/#:~:text=Junio%2005%20de%202008%20«Por,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones.»>
- [8] J. V. Ochoa, “Medición de la calidad del servicio técnico de climatización de ELECLIRE de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”, Tesis de maestría, Dep. de administración. UCSG, Guayaquil, 2018.
- [9] G. G. Cossta, J. G. Guevara, “Elaboración de un plan de mejora para el mantenimiento preventivo en los sistemas de aire acondicionado de la red de telefónica del Perú zonal Norte, basado en la metodología Ishikaea-Pareto”, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería, UPAO, Trujillo, 2015.
- [10] R. Y. Huilca, R. Jeri, “Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado, en una empresa metalúrgica, Lima-Perú”, Tesis de grado, Dep de Ingeniería, UCV, Lima, 2020.
- [11] L. Izaguirre, Universidad Nacional Experimental Politécnica VICE-RECTORADO puerto Ordaz Departamento de Ingeniería mecánica cátedra: Practica profesional evaluación del funcionamiento actual “Francisco de miranda,”
- [12] Mora Niño, S.J., Diaz González, C.A. and Cesar Yobany Diaz González (2017) *Desarrollo de una propuesta de mejora en el desempeño Energético de los Sistemas de Acondicionamiento de Aire en el campus el Bosque de la Unab, Desarrollo de una propuesta de mejora en el desempeño energético de los sistemas de acondicionamiento de aire en el Campus el Bosque de la UNAB*. Disponible: at: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/1473?show=full>.
- [13] C. E. Castang, A. Castilla, “Diseño del programa de mantenimiento preventivo basado en la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado de la universidad tecnológica de Bolívar”, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería. UTB, Cartagena de Indias, 2007.
- [14] T. D. Ferreira, “*El Régimen de la Contratación in house según Las Nuevas Directivas de ...*,” *EL RÉGIMEN DE LA CONTRATACIÓN IN HOUSE SEGÚN LAS NUEVAS DIRECTIVAS DE CONTRATACIÓN PÚBLICA*, <https://www.semanticscholar.org/paper/El-r%C3%A9gimen-de-la-contrataci%C3%B3n-in-house-seg%C3%BAAn-las-de-Ferreira/0d6c10179eb2f094d3e528831a20e8ad50999b37>
- [15] “¿Qué es un chiller?”, *EcoChillers*, <https://ecochillers.net/que-es-un-chiller/> (accessed Nov. 5, 2023).
- [16] “*Sistema de BMS: Qué Es y para qué sirve?*,” Cingles Comunicacions, <https://cinglescomunicacions.com/es/sistema-de-bms-que-es-y-para-que-sirve/> (accessed Nov. 5, 2023).
- [17] Cien, “*Definicion de Tonelada de Refrigeracion*,” *Definicion de tonelada de refrigeracion*, <https://refrigeracional100.blogspot.com/2017/06/definicion-de-tonelada-de-refrigeracion.html> (accessed Nov. 12, 2023).
- [18] “*Qué Es yCuál es el funcionamiento de un sistema hvac*,” El blog de la ventilación inteligente, [https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/hvac-que-es-funcionamiento/#:~:text=Un%20sistema%20HVAC%20\(heating%2C%20ventilation,y%20como%20refrigeraci%C3%B3n%20en%20verano.\)](https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/hvac-que-es-funcionamiento/#:~:text=Un%20sistema%20HVAC%20(heating%2C%20ventilation,y%20como%20refrigeraci%C3%B3n%20en%20verano.)) (accessed Nov. 5, 2023).
- [19] “*Tarjetas RFID: Qué son, cómo funcionan y tipos principales*,” Termired, <https://termired.com/tarjetas-rfid/> (accessed Nov. 5, 2023).
- [20] A. Parra, “*Grupos Focales: Qué son, tipos y guía para realizarlos*,” QuestionPro, <https://www.questionpro.com/blog/es/que-son-los-grupos-focales/> (accessed Nov. 5, 2023)

- [21] R. Parasuraman, T.B. Sheridan, and C.D. Wickens, "A model for types and levels of human interaction with automation," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 30, no. 3, pp. 286–297, May 2000. doi:10.1109/3468.844354
- [22] M. Johnson *et al.*, "Coactive design: Designing support for interdependence in joint activity," *Journal of Human-Robot Interaction*, vol. 3, no. 1, p. 43, Mar. 2014. doi:10.5898/jhri.3.1.johnson
- [23] M. R. Endsley, "From here to autonomy," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 59, no. 1, pp. 5–27, Dec. 2016. doi:10.1177/0018720816681350

IX. ANEXOS

No . Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF,HTML,Excel,Word...)
1	Anexo 1. Encuesta satisfacción	Propio	PDF
2	Anexo 2. Resultados encuesta satisfacción.	Propio	Excel
3	Anexo 3. Grupo Focal	Propio	PDF
4	Anexo 4. Ficha medición y análisis	Propio	Excel
5	Anexo 5. Manual de Usuario Sistema Actual	Propio	PDF
6	Anexo 6. Elementos de cada sistema	Propio	PDF
7	Anexo 7. Cotización Aires Acondicionados	Propio	PDF
8	Anexo 8. Manual de Usuario Sistema 1 Automatización Parcial	Propio	PDF
9	Anexo 9. Manual de Usuario Sistema 2	Propio	PDF
10	Anexo 10. Acta Validación con expertos 1	Propio	PDF
11	Anexo 11. Acta Validación técnica con estudiantes	Propio	PDF
12	Anexo 12. Acta Validación con expertos 2	Propio	PDF
13	Anexo 13. Validación Financiera	Propio y terceros	Excel
14	Anexo 14. Plan de control sistemas de aire acondicionado	Propio	PDF