

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Diseño de un plan de mantenimiento e indicadores para el sistema de aire acondicionado hospitalario en salas de cirugía.

Lorena Cadavid Pérez
Carlos Enrique Jaramillo Morales

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en gestión del mantenimiento industrial:

Asesor
Sebastián Roldán Vasco

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Medellín, Colombia
2023

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

Los quirófanos o salas de cirugía son sitios en los cuales se practican intervenciones quirúrgicas; estos lugares requieren de un cuidado especial y de unas condiciones ambientales óptimas frente al resto de lugares del centro hospitalario, ya que la contaminación cruzada y la proliferación bacteriana puede poner en riesgo la seguridad del paciente, el diseño de un plan de mantenimiento basado en indicadores para el sistema de aire acondicionado hospitalario, busca mejorar la prestación del servicio, evitar los paros no programados en los equipos y disminuir el gasto energético a través de estrategias que permitan una planificación y evaluación constante del mismo.

De esta forma se comenzó realizando el inventario de la información de los equipos de enfriamiento de las salas de cirugía para identificar las referencias y características técnicas con las que se cuenta, se identificaron los fallos del año 2022 mediante el análisis de las hojas de vida, registros históricos y plataforma de telemetría, con los datos obtenidos se jerarquizo los equipos y se crearon estrategias para intervenir cada uno de los componentes del sistema, adicionalmente se diseñaron indicadores de gestión que permitan medir los resultados de las estrategias propuestas y tomar decisiones frente a estas a mediano plazo.

Como principal conclusión se puede establecer que la falta de personal idóneo, la no gestión oportuna de disponibilidad de los equipos y la falta de planeación, son sin duda unas de las causas más importantes que afectan el funcionamiento de los equipos e incrementan el gasto energético.

Palabras clave: Quirófano, proliferación, unidad manejadora, filtros, temperatura.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría y el entendimiento para lograr los objetivos propuestos. Agradecemos a nuestras familias Cadavid Pérez y Jaramillo Morales por su comprensión, por su sabiduría, por haber hecho posible por todo lo que somos, por su eterno apoyo y cariño. A nuestro asesor Sebastián Vasco por todo su apoyo y gran colaboración.

Finalmente agradecemos a el Instituto Tecnológico Metropolitano, a los docentes y compañeros de clase por el aprendizaje y las experiencias adquiridas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

ACAIRE: Asociación de Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración.
AHRI: Instituto de Refrigeración y Aire Acondicionado.
AMFE: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos.
ASHRAE: Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
BCM: Mantenimiento Centrado en el Negocio.
CBM: Monitoreo Basado en Condición.
CO: Monóxido de carbono.
HEPA: aire de partículas de alta eficiencia.
HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado.
HVACR: calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación.
KPI: Indicador clave de rendimiento.
LCC: Costo del ciclo de vida.
NFPA: Norma para la Instalación de Sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación.
OT: Órdenes de Trabajo.
RCM: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
SMACNA: Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado.
TPM: Mantenimiento Productivo Total.
µm: Micra.
UMA: Unidad manejadora de aire.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.2	Objetivo general	14
1.1.3.	Objetivos específicos.....	14
2.	MARCO TEÓRICO	15
2.1	Estado del arte	15
2.2	Sistema de climatización	18
2.2.1	Sistema de aire acondicionado en servicios de salud	18
2.2.1.1.	La ventilación	19
2.2.1.2	La presurización	19
2.2.1.3	La filtración	19
2.3	20
	Sistemas de ventilación	20
2.3.1	Sistema de ventilación tipo I	20
2.3.2	Sistema de ventilación tipo II	21
2.3.3	Sistema de Ventilación tipo III.....	21
2.3.4	Tipos de equipos de aire acondicionado para usados en salas de cirugía.....	22
2.4	Normatividad	25
2.4.1	Ley 9 de 1979	26
2.4.2	Resolución 4445 de 1996	26
2.4.3	Norma técnica colombiana 5183	26
2.5	Recomendaciones de asociaciones de acondicionamiento de aire	27
2.5.1	Asociación colombiana de acondicionamiento del aire y la refrigeración (ACAIRE).....	27
2.5.2	Sociedad americana de aire acondicionado, refrigeración y calefacción (ASHRAE)	28
2.5.3	Instituto de Refrigeración y Aire Acondicionado (AHRI)	28

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

2.5.4 Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado (SMACNA)	29
2.5.5 NFPA 90A: Norma para la Instalación de Sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación	29
2.6 Gestión del mantenimiento	29
2.6.1 Tipos de mantenimiento	30
2.6.3 Otras técnicas de mantenimiento	31
2.7 Planificación del mantenimiento	34
2.8 Programación del mantenimiento	34
2.9 Gasto energético de equipos de aire acondicionado	35
2.9.1 Monitoreo basado en condición	35
2.9.2 Detección y diagnóstico de fallos	36
2.9.3 Análisis de criticidad	36
2.10 Gestión de indicadores	37
3. METODOLOGÍA	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 Contexto operacional	40
4.1.1. Organigrama área de mantenimiento	40
4.1.2 Gestión de mantenimiento de aires acondicionados	41
4.1.3 Gestión de la información de aires acondicionados	42
4.1.4 Tipos de aires acondicionados instalados	42
4.1.5 Fallos recurrentes	43
4.1.5.6 Causas de fallos	48
4.1.5.7 Estimación de gasto de energético	50
4.1.5.8 Indicadores de gestión	50
4.2 Estrategias propuestas	51
4.2.1 Análisis de criticidad	51
4.2.1 Diseño formato de ficha técnica	52
4.2.2. Elaboración de protocolos genéricos de mantenimiento	53
4.2.3 Personal técnico requerido	62
4.2.4 Hoja de servicio	64
4.2.5 Ruta de trabajo	64
4.2.7 Cronograma de actividades	65

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

4.2.8 Estrategias para disminución del gasto energético	66
4.3 Elaboración de indicadores de gestión	67
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	71
REFERENCIAS	73
ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Numero de renovaciones de aire por hora según el tipo de quirófano.	19
Tabla 2. Porcentaje de eficiencia mínima de filtrado según el tipo de quirófano	20
Tabla 3. Escala de criticidad.....	37
Tabla 4. Indicadores más utilizados en mantenimiento.....	38
Tabla 5. Horarios de funcionamiento de los quirófanos.....	40
Tabla 6. Unidades manejadoras instaladas.	42
Tabla 7. Unidades condensadoras instaladas.....	43
Tabla 8. Chiller instalado.....	43
Tabla 9. Horas de paro y porcentajes	44
Tabla 10. Causas de fallo/ Número de horas de paro.	49
Tabla 11. Ponderación por tipo de falla.....	52
Tabla 12. Componentes principales unidad manejadora.	53
Tabla 13. Actividades recomendadas por componente	54
Tabla 14. Tabla labor-frecuencia.....	55
Tabla 15. Actividades y frecuencias motor	56
Tabla 16. Actividades y frecuencias ventilador.....	57
Tabla 17. Actividades y frecuencia filtros.....	58
Tabla 18. Actividades y frecuencias caja de contencion	58
Tabla 19. Actividades y frecuencias gabinete porta filtros.	58
Tabla 20. Actividades y frecuencias filtros de sedimentos	59
Tabla 21. Actividades y frecuencias caja de valvulas	59
Tabla 22. Actividades y frecuencias valvulas	59
Tabla 23. Actividades y frecuencias humidificador	59
Tabla 24. Actividades y frecuencias serpentín.	60
Tabla 25. Actividades y frecuencias juntas elasticas.....	60
Tabla 26. Actividades y frecuencias purgador	60
Tabla 27. Actividades y frecuencias sensores.	60
Tabla 28. Actividades y frecuencias tableros.	61
Tabla 29. Actividades y frecuencia condensadora	61
Tabla 30. Formato de inspección diaria	62
Tabla 31. Horas empleadas en las actividades de mantenimiento.....	63
Tabla 32. Semanas requeridas para ejecución de actividades de mantenimiento	63
Tabla 33. costos de personal.....	63
Tabla 34. Plantilla de mantenimiento programación preventivo.....	66
Tabla 35. programa de capacitaciones.....	67
Tabla 36. KPI disponibilidad.....	68
Tabla 37. KPI Tiempo medio entre fallos MTBF	68
Tabla 38. KPI Porcentaje de mantenimiento preventivo.....	68
Tabla 39. KPI tiempo medio de reparación	69
Tabla 40. KPI Tasa de realización de mantenimiento correctivo.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de aire en un quirófano	20
Figura 2. Sistema de ventilación tipo I.....	21
Figura 3. Sistema de ventilación tipo II.....	21
Figura 4. Sistema de ventilación tipo III	22
Figura 5. Partes de un chiller.....	23
Figura 6. Partes de una UMA	24
Figura 7. Partes de la unidad condensadora.	25
Figura 8. Cuadro sinóptico del mantenimiento	30
Figura 9. Organigrama del área de mantenimiento	41
Figura 10. Variación de la temperatura quirófano 1	44
Figura 11. Variación de la temperatura quirófano 2	45
Figura 12. Variación de la temperatura quirófano 3	45
Figura 13. Variación de la temperatura quirófano 4	46
Figura 14. Variación de la temperatura quirófano 5	46
Figura 15. Variación de la temperatura quirófano 6	47
Figura 16. Variación de la temperatura quirófano 7.....	47
Figura 17. Variación de la temperatura quirófano 8	48
Figura 18. Consumo energético total salas de cirugía año 2022	50
Figura 19. Resultados indicador proporción de cumplimiento mantenimientos preventivos	51
Figura 20. Ruta de trabajo	65
Figura 21. comparativo de consumo energético.....	67

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de frecuencias de temperatura del Quirófano 1	76
Anexo 2. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 2.....	76
Anexo 3. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 3.....	77
Anexo 4. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 4.....	77
Anexo 5. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 5.....	78
Anexo 6. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 6.....	78
Anexo 7. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 7.....	79
Anexo 8. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 8.....	79
Anexo 9. Ficha técnica unidades manejadoras	80
Anexo 10. Ficha técnica condensadoras	82
Anexo 11. Tiempo empleado por actividad de mantenimiento.....	84
Anexo 12. Cálculo de horas y semanas empleadas para actividades mensuales.....	88
Anexo 13. Cálculo de horas y semanas empleadas para actividades semestrales	89
Anexo 14. Cálculo de horas y semanas empleadas para actividades anuales	90
Anexo 15. Hoja de trabajo semestral anual y mensual.....	91

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

GLOSARIO DE TERMINOS

Calor específico: “El calor específico se define como la energía necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de sustancia en un (1) grado Celsius.” (Diaz V, 2011)

Calor: El Calor según (Cengel Y & Boles M, 2012) a nivel molecular se define el cómo la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura, el autor (Diaz V, 2011) hace referencia a que el calor en sistemas de aire acondicionado es la manifestación de la energía del movimiento al que están expuestas las moléculas que componen los objetos, ya que cuando estos objetos se calientan, la energía cinética aumenta, produciéndose choques más o menos violentos en las moléculas. El concepto de calor expuesto por (Cengel Y & Boles M, 2012) se expresó desde el ámbito de la termodinámica y transferencia de calor, mientras que el de (Diaz V, 2011)), se refirió desde la perspectiva del tratamiento del aire acondicionado.

Ductería: La ducteria son los conductos que se utilizan básicamente para fijar el HVAC en la pared, sirven para eliminar el aire caliente o el aire intoxicado de la habitación y enfriar el espacio interno, además de brindar comodidad térmica al sistema (Li & Zheng, 2016).

Filtro HEPA: La palabra HEPA significa "filtro de partículas de alta eficiencia", los filtros HEPA generalmente se utilizan para atrapar alrededor del 99,97% de partículas de tamaños de 0,3 μm . Los filtros de HEPA se utilizan en las implementaciones que necesitan control en la contaminación (Absar Alam et al., 2023).

Humedad específica o absoluta del aire: “Es la cantidad en peso de agua contenida en una mezcla de aire húmedo, referido a un kilogramo de aire seco. La humedad absoluta se expresa en gramos de agua por kilogramo de aire seco”(Cengel Y & Boles M, 2012).

Humedad relativa del aire.: Medida del grado de saturación del aire a cualquier temperatura dada, se expresa en porcentaje de saturación, explicando que el aire saturado tiene un 100% de humedad relativa y el aire perfectamente seco tiene 0% de humedad relativa (Diaz V, 2011).

Humedad: Se puede definir como la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire a una temperatura y presión determinadas, por lo tanto, los sistemas de HVAC a menudo incluyen dispositivos de control de la humedad, como deshumidificadores y humidificadores para mantener la humedad relativa dentro de un rango óptimo para la comodidad y la eficiencia del sistema.(Absar Alam et al., 2023). Mantener la humedad en los quirófanos es fundamental para eliminar las cargas electrostáticas por lo que el valor ideal no deberá superar el 50% de humedad relativa (Ministerio de salud y protección social, 1996).

Post filtro: Son filtros sumamente eficaces, pudiendo atrapar partículas de hasta 0,3 micras. Suelen estar tejidos con fibras de vidrio. Para su mantenimiento puede ser lavado, siempre de forma suave y con agua tibia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Pre-filtro: Un prefiltro es esencial en un equipo de aire, la razón es porque prolonga la vida útil del filtro principal. Los prefiltros son perfectos para capturar residuos de mayor volumen, como el cabello, el polvo y algunos tipos de polen. Una vez que estas partículas quedan atrapadas, los otros filtros dentro del purificador de aire pueden trabajar a niveles máximos.

Presión absoluta: La representación de la presión real en un lugar se denomina presión absoluta y se mide en relación con un vacío absoluto (Cengel Y & Boles M, 2012). La presión en los quirófanos deberá ser un 10% mayor a la de los pasillos ya que se deberá mantener la presurización y evitar las corrientes de aire (Samuel Aragón et al., 2020).

Presión relativa: La presión relativa al vacío absoluto se llama presión absoluta y la diferencia entre la presión absoluta y presión atmosférica local se llama presión manométrica, donde las presiones por debajo de la presión atmosférica se llaman presiones de vacío (Cengel Y & Boles M, 2012).

Presión: “Es la fuerza normal ejercida por el fluido por unidad de área, en Newtons por metro cuadrado (N/m²), también conocida como Pascales (Pa)”(Cengel Y & Boles M, 2012).

Temperatura de bulbo húmedo: Es un índice que expresa la cantidad de agua en el aire, es decir la temperatura debida a la evaporación, relacionada con la sensación térmica.

Temperatura de bulbo seco: indica la temperatura ambiente es decir la temperatura sensible, lo que significa el contenido de calor sensible en el aire (Cengel Y & Boles M, 2012). expresan que la temperatura de bulbo seco se conoce como la temperatura ordinaria del aire atmosférico, para diferenciarla de otras formas de temperatura.

Temperatura: Se refiere a la temperatura promedio del aire limitado en un entorno determinado, puede variar según la ubicación geográfica, la hora del día, la estación del año y otros factores ambientales; la temperatura ambiente se puede regular dentro de los diferentes procesos con la ayuda de los equipos de medición que funcionan según los deseos o necesidades programadas (Absar Alam et al., 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los inconvenientes y falencias en los departamentos de ingeniería y mantenimiento de los servicios de salud es la limitada gestión del mantenimiento preventivo y la medición de variables de operación al sistema de aire acondicionado hospitalario. Teniendo en cuenta que la energía consumida por ventiladores y aire acondicionado representa el 20% de la demanda eléctrica de los edificios y el 10% de la demanda energética mundial (Bragagnolo et al., 2022), esta puede incrementar considerablemente si no se cuenta con estrategias de mantenimiento adecuadas. Estos sistemas funcionan 24 horas al día, los 7 días de la semana en las diferentes áreas hospitalarias. Estos equipos deben proporcionar condiciones de temperatura y humedad específicas en áreas críticas como las salas de cirugía, debido a la proliferación bacteriana y a las condiciones de operación de la tecnología médica. Los tiempos de paro por fallos conllevan la no prestación del servicio. Por otro lado, el personal técnico dedicado a las labores de mantenimiento de este tipo de equipos no lleva un control de cambio periódico de repuestos, rutinas de chequeo y demás estrategias de gestión que permitan asegurar la correcta operación e incrementar la confiabilidad; lo anterior redundo en el incremento de mantenimientos correctivos y poca disponibilidad para mantenimientos preventivos, generando incremento de los costos y pérdida de oportunidad en la prestación del servicio.

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de aire acondicionado hospitalario en las salas de cirugía, se deberá evitar los tiempos muertos, sobrecostos y la no prestación del servicio que ponga en riesgo la seguridad de los pacientes; se deberá realizar una investigación de estrategias de mantenimiento e indicadores aplicadas a los sistemas de aire acondicionado en estas áreas tal que garanticen la confiabilidad, evitando la contaminación cruzada de microorganismos y la mejora en la eficiencia del gasto energético, por lo que el diseño de estrategias de mantenimiento a través de la planeación, organización, dirección y control, aplicando métodos y técnicas de conservación con miras a lograr una disminución en las incidencias de fallas imprevistas, permitirá aumentar los niveles de disponibilidad en los sistemas de aire acondicionado de las salas de cirugía. Además, se debe realizar un sistema de indicadores de control y seguimiento que permita un plan de mejora continua para la toma de decisiones.

El diseño e implementación de las estrategias de mantenimiento se enfocará en las salas de cirugía de hospitales y clínicas de mediana complejidad, las cuales se tomarán como base para el diseño de estas estrategias, con la participación del personal técnico especialista en equipos de aire acondicionado, de conformidad con los hallazgos reportados en la literatura.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

1.1 Objetivos

1.1.2 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento basado en indicadores para el correcto funcionamiento del sistema de aire acondicionado hospitalario en las salas de cirugía, evaluando el gasto energético generado por el sistema de enfriamiento.

1.1.3. Objetivos específicos

- Recopilar la información del funcionamiento, operación y recomendaciones de mantenimiento del fabricante en los sistemas de aire acondicionado utilizados en las salas de cirugía.
- Seleccionar indicadores que brinden la información oportuna para evaluar las estrategias propuestas.
- Formular estrategias de gestión de mantenimiento que garanticen la mejora de la disponibilidad del equipo y permitan identificar el costo energético generado por los sistemas.

La monografía se encuentra distribuida de la siguiente manera:

En la primera parte numerales del 2.2 hasta el numeral 2.4 se encuentra el marco teórico, el cual contiene todo lo relacionado con los sistemas de aires acondicionados hospitalarios y sus definiciones, los tipos de sistema de ventilación utilizados en las salas de cirugía y sus principales características, adicional se encuentra los tipos de equipos de aire acondicionado y sus principales componentes. Posteriormente en el numeral 2.4 hasta el numeral 2.5 se encuentra todo lo relacionado con el tema normativo, el cual incluye las normas nacionales e internacionales, los parámetros dictados por estas y las respectivas recomendaciones de mantenimiento de los sistemas, incluyendo a las organizaciones dedicadas al tema.

En el numeral 2.6 hasta el numeral 2.8 se encuentra todo lo relacionado con la gestión y los tipos de mantenimiento existentes con sus principales características, posteriormente en el numeral 2.9 se encuentra todo lo relacionado con el gasto energético y su relación con el mantenimiento.

La segunda parte consta de el numeral 3 el cual contiene todo lo relacionado con la metodología de la ejecución del trabajo.

Posteriormente se encuentra el numeral 4, el cual contiene el contexto operacional y las estrategias propuestas de mantenimiento para los equipos de aire acondicionado en las salas de cirugía

Finalmente, en el numeral 5 se encuentran las conclusiones y recomendaciones.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Los hospitales y clínicas son instituciones prestadoras de salud encargadas de brindar atención a los usuarios y pueden ser de carácter público o privado. Los procesos en estas instituciones requieren sistemas de refrigeración. Los quirófanos o salas de cirugía son sitios independientes del resto de los lugares del hospital o clínica, en los cuales se practican intervenciones quirúrgicas; estos lugares requieren de un cuidado especial frente al resto de lugares del centro hospitalario y por eso se encuentran en un complejo independiente del resto de la clínica, ya que es una zona que debe permanecer libre de contaminantes.

Colombia carece de normas y estándares que regulen el diseño de aire acondicionado hospitalario. La única mención referente al tema se realiza en la Resolución 4445 de 1996, la cual indica que en las salas de cirugía “la temperatura será de 21°C, la humedad relativa del 50%, la velocidad del viento de 60 cm/s y la renovación del aire entre 25 y 30 veces por hora” (Ministerio de salud, 1996).

Existen entidades regulatorias o de normalización orientados al diseño de estos sistemas donde se presentan soluciones probadas, rentables y fiables, con reducidos costos de mantenimiento. Algunos de estos son ASHRAE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), AHRI (Instituto de Refrigeración y Aire Acondicionado), SMACNA (Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado).

La NFPA 90 A (Norma para la Instalación de Sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación), es una guía donde se consideran estrategias de control efectivas para prevenir infecciones y enfermedades por uso de aire acondicionado en centros hospitalarios, las cuales refieren recomendaciones de diseño en quirófanos como:

- La temperatura de bulbo seco deberá oscilar entre 62 °F (16,6 °C) y 82 °F (28°C).
- La humedad relativa deberá mantenerse en un rango de 45 a 55%.
- Presión positiva respecto a las áreas contiguas y esta deberá superar en 10% a las demás.
- El aire se suministrará desde un nivel superior al retorno es decir el techo, y el retorno debe situarse a no menos de 10 cm del suelo del quirófano, esto con el fin de que el aire pueda hacer un barrido de partículas sobre la zona quirúrgica.

El diseño del sistema es importante para el correcto funcionamiento, pero otro factor influyente a lo largo del tiempo es el mantenimiento realizado a estos sistemas. Estudios realizados mencionan que, si un sistema de ventilación está bien mantenido, el riesgo de transmisión de microorganismos no debería ser significativo (Qian & Zheng, 2018), con un buen mantenimiento, se quiere decir que el sistema se inspecciona periódicamente, se utilizan los filtros más eficientes, los filtros se cambian de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y los sistemas de conductos se limpian periódicamente. Si el sistema de aire acondicionado no está bien mantenido, existen dos mecanismos potenciales a través de los cuales podría contribuir a la transmisión de virus y bacterias: el sistema mismo podría recircular el aire contaminado, o podría crear condiciones interiores (temperatura y humedad) que favorezcan la supervivencia de estos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

El sistema de refrigeración de ambientes en un área hospitalaria se considera crítico dependiendo de los servicios clínicos que presta dicha área. Se hace necesario para la prestación de servicios de salud contar con condiciones ambientales óptimas, asegurar el buen funcionamiento de la tecnología y mantenimiento de un ambiente limpio y libre de gérmenes con el fin de evitar la propagación de enfermedades. Algunos estudios relacionados con los sistemas de refrigeración y aire acondicionado han analizado diferentes aspectos del problema, en los cuales evaluaron la evidencia sobre los efectos en la salud de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado y determinaron que estos tienen el potencial de promover la recuperación del paciente y aumentar la eficiencia de los procesos hospitalarios en las áreas quirúrgicas (Pardo & Cotte, 2022).

Cabe resaltar que los costos energéticos generados por estos equipos son altos, y si no se les realiza un adecuado mantenimiento este se puede incrementar. Si la eficiencia de los sistemas de refrigeración de los hospitales se incrementara en un 30 %, la huella de carbono general de este sector se reduciría en más de un 5 %, lo que también reduciría los costos operativos (Pardo & Cotte, 2022). Además, el sistema de aire acondicionado representa aproximadamente entre el 50 y el 60 % del consumo eléctrico total en hospitales, lo que puede ser manejado por estrategias que incluyan la gestión del mantenimiento y el ahorro de energía (Fotovatfard & Heravi, 2021).

No obstante, la deficiencia en los planes de mantenimiento puede generar paros no programados de los equipos lo cual conlleva a una no prestación del servicio de salud, influyendo en altos costos de operación y oportunidad afectando la seguridad del paciente. Desde el punto de vista de la gestión de costos, es importante señalar que dentro de los costos económicos no solo se tienen asociados los generados por mantenimiento; hay que tener en cuenta otros elementos como los costos de parada, el consumo energético, las emisiones atmosféricas y el envejecimiento de los equipos e instalaciones como consecuencia de operar en condiciones degradadas. Las fallas en los equipos y sistemas pueden disminuir la productividad y los ingresos del hospital o clínica, la seguridad y la satisfacción de los pacientes, retrasar su atención e incluso tener un impacto financiero (Kamal et al., 2022).

La programación de mantenimiento de estos equipos se ha visto limitada por su uso continuo, lo que reduce considerablemente el confort térmico ya que sus componentes tienen una pérdida de eficiencia energética de hasta un 24% por década (Wu et al., 2021), por lo que se requiere una programación de mantenimiento óptima para minimizar los efectos adversos de la degradación. Es indispensable contar con un programa de mantenimiento por equipo de mayor calidad, en el cual se puedan desarrollar estrategias de optimización según las características técnicas del sistema.

El programa de mantenimiento consiste en identificar factores claves para su ejecución, tales como análisis del trabajo, planificación de las actividades, programación y ejecución. Algunas de las estrategias que han propuesto diversos autores hablan del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para lograr una buena tasa de disponibilidad del equipo: esta estrategia tiene en cuenta los diferentes tipos de equipos categorizados como equipos críticos u ordinarios, el personal de mantenimiento adicional y la capacitación sobre las nuevas tendencias en mantenimiento (García & Gómez, 2017). Es esencial identificar las diferentes estrategias de mantenimiento que se pueden utilizar para mantener los activos que se configurarán dentro del sistema de gestión de mantenimiento institucional, así como en la base de conocimiento de RCM. Cada activo o equipo puede asociarse con una o más estrategias de mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida (Gabbar, 2003).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

La literatura también habla del mantenimiento productivo total (TPM), el costo del ciclo de vida (LCC) y el mantenimiento centrado en el negocio (BCM). Una de las principales características para tener en cuenta del TPM como la estrategia integral, es siempre que los empleados de la organización puedan participar en la operación y el mantenimiento de los equipos (Au-Yong et al., 2022).

Otras estrategias relacionadas con el mantenimiento y que generan una reducción significativa de costos de operación son: estrategia de reemplazo desencadenada por fallas, estrategia de reemplazo basada en la edad y la estrategia híbrida (Chen et al., 2022). A diferencia de las medidas tradicionales que reflejan solo la intensidad de la falla y la ubicación de la estructura de los componentes en sus valores de importancia, las medidas de importancia propuestas también tienen en cuenta el costo de mantenimiento del componente, así como el costo de mantenimiento asociado con la falla del sistema, proporcionando una guía más efectiva (Chen et al., 2022).

Algunos de los aspectos a considerar para implementar estrategias de mantenimiento son los siguientes: identificar los componentes críticos necesarios para los sistemas ininterrumpidos, y ejecutar los escenarios hipotéticos para encontrar las compensaciones óptimas entre los atributos del sistema (seguridad, usabilidad y mantenimiento) (Kumar et al., 2022).

La gestión del mantenimiento, incluida la priorización de tareas, la elaboración de presupuestos, el establecimiento de políticas y la planificación, se encuentra entre las cinco áreas principales de las áreas de mantenimiento en los hospitales. Dado que los costos de reparaciones están aumentando debido a las nuevas tecnologías, la complejidad y la creciente demanda de servicios, las estrategias de mantenimiento que se escojan deben ser acordes al funcionamiento de los equipos para evitar retrasos en las órdenes de trabajo establecidas (Kamal et al., 2022).

Gran parte de la literatura se ha centrado en el rendimiento de los equipos de aire acondicionado, tanto a nivel de sistema como a nivel de componente. Teniendo en cuenta que este sistema es una red de subsistemas interconectados, las estrategias centralizadas (en lugar de distribuidas) también son posibles, como los métodos de detección de fallas de los sistemas a nivel de componentes. Es por esto que planificar con anticipación las intervenciones de mantenimiento para un sistema de componentes múltiples en función de las características de las paradas, la vida útil del sistema y la criticidad de los componentes es de suma importancia a la hora de la planeación (Baldi et al., 2019). Otro aspecto importante para considerar es la renovación del equipo o sistema; para esto es importante contar con estrategias como repotenciación de los equipos, contar con un plan inicial para renovación por obsolescencia, y evaluar la probabilidad que surja la necesidad de la renovación (Takakusagi, 2021).

Uno de los grandes aliados para medir la eficacia de los mantenimientos realizados son los indicadores de gestión, pues estos permiten monitorear los resultados del mantenimiento realizado y analizar las brechas de rendimiento y llevar a una mejora continua. Entre los indicadores importantes para la planificación del trabajo se encuentran el porcentaje de trabajo planificado, el porcentaje de órdenes de trabajo que requieren reelaboración debido a la planificación y la tasa de planificación. Los indicadores de desempeño de la ejecución del trabajo ayudan a monitorear la efectividad y la eficiencia. Entre los indicadores clave de rendimiento se encuentran el cumplimiento del cronograma, porcentaje de reprocesos, porcentaje de tareas completadas sobre todas las tareas recibidas, número de tareas atrasadas y eficiencia de la mano de obra (Muchiri et al., 2011).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Por lo anterior, se considera importante definir unas estrategias de mantenimiento acordes a la criticidad y funcionamiento de los equipos de aire acondicionado hospitalario en las salas de cirugía sin afectar la prestación del servicio y sin sacrificar el tiempo de vida útil del equipo.

2.2 Sistema de climatización

Los sistemas de refrigeración o climatización corresponden a sistemas que utilizan propiedades termodinámicas para convertir energía térmica en forma de calor. están diseñados primordialmente para disminuir la temperatura de un ambiente. Los equipos de aire acondicionado proporcionan comodidad y saneamiento ambiental cumpliendo con todas las condiciones necesarias para conservar y preservar un producto o mejorar un proceso (Dossat, 2010), para lo cual estos equipos deben cumplir las siguientes características:

- Controlar la temperatura y humedad de un ambiente.
- Ventilar y proporcionar una calidad óptima del aire.
- Realizar filtrado de partículas.

2.2.1 Sistema de aire acondicionado en servicios de salud

Los sistemas de aire acondicionado y ventilación se consideran equipos esenciales para garantizar el bienestar de los usuarios y pacientes en ambientes hospitalarios, especialmente en las áreas críticas como las salas de cirugía, debido a que estos requieren mayor cuidado en sus condiciones ambientales, puesto que se tiene el riesgo de que los pacientes puedan ser afectados significativamente en su salud por contaminantes, partículas o microorganismos que se encuentren en el medio (Harley et al., 2017).

El autor hace referencia a que los quirófanos son salas que deben disponer de un ambiente limpio, desinfectado y con niveles de climatización adecuados que proporcionen el desarrollo de las diferentes actividades quirúrgicas, de ahí la importancia de su control, ya que pueden afectar de manera directa la propagación aérea de infecciones por la generación de partículas sólidas o líquidas en suspensión; por lo tanto, entre menos partículas se encuentren en el aire, menos probabilidad de propagación de contaminación microbiana.

Los quirófanos se clasifican de acuerdo con la norma internacional (ISO 14664-1, 2015) en:

- Quirófanos tipo A: Destinados a procedimientos que requieren alta tecnología relacionados con trasplante de órganos, cirugías cardiacas, neurocirugías, prótesis, entre otras.
- Quirófano tipo B: Destinados a cirugías convencionales, procedimientos de urgencias y cirugía mayor ambulatoria.
- Quirófanos tipo C: Destinados a cirugías menores y salas de partos.

Para tener una calidad del aire optima, existen tres métodos que disminuyen los riesgos de infecciones en las salas de cirugía, los cuales son la ventilación, la presurización y la filtración, las cuales se detallan a continuación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

2.2.1.1. La ventilación

Es una de las formas de mejorar la calidad del aire; haciendo una continua sustitución del aire por uno limpio esto ayudará a reducir la concentración de elementos patógenos y de monóxido de carbono (Co) en los espacios acondicionados y mantiene un diferencial de presión entre las áreas críticas y las colindantes. Las renovaciones de aire por hora recomendadas según el tipo de quirófano se muestran en la Tabla 1, en la cual se evidencia la clasificación de los quirófanos mencionada anteriormente de acuerdo con la norma (ISO14664-1, 2015) por ende, indica el número de las renovaciones por hora y si se requiere un sistema de extracción por cada tipo u clase de quirófano.

Tabla 1. Numero de renovaciones de aire por hora según el tipo de quirófano. Fuente: (ASHRAE, 2019).

Tipo de quirófano	Renovaciones por hora	Extracción
TIPO A	400-640	SI
TIPO B	140-350	SI
TIPO C	40-60	SI

2.2.1.2 La presurización

Se logra teniendo un exceso de aire circulado, evitando la entrada de los microorganismos contaminantes y la flora microbiana a los espacios críticos por medio de un diferencial de presión, con el fin de que el aire circule del área más limpia al área contaminada o sucia.

2.2.1.3 La filtración

La filtración garantiza un mínimo número de partículas en suspensión en los espacios críticos, una buena filtración va acompañada de una renovación adecuada del aire tratado. La Tabla 2 ilustra los tipos de filtración utilizados según el tipo de quirófano definido en la norma (ISO 14664-1, 2015) En donde se puede observar, según la clasificación del quirófano el porcentaje de filtración cambia de acuerdo con la posición la posición del filtro en la máquina de aire acondicionado, los cuales son el prefiltro, filtro medio y post filtro.

Los filtros en los sistemas de HVAC sirven para limpiar el aire que circula a través del sistema y protegerlo de contaminantes, partículas y alérgenos. Los filtros atrapan estas partículas en suspensión y evitan que se dispersen por el aire en el interior, mejorando así la calidad del aire interior y reduciendo el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias. Además, los filtros en los sistemas de HVAC también ayudan a mantener limpios los componentes del sistema, impidiendo que la suciedad y el polvo se acumulen en los conductos, los ventiladores, los serpentines y otros componentes del sistema, lo que puede reducir su eficiencia y acortar su vida útil. Existen diferentes tipos de filtros para sistemas de HVAC, desde los más simples y económicos hasta los más sofisticados y especializados. Los filtros se clasifican por su eficiencia de filtrado, que se mide por el tamaño de las partículas que pueden retener y por su capacidad para resistir el flujo de aire. Los filtros de alta eficiencia pueden retener partículas tan pequeñas como bacterias y virus, mientras que los filtros más simples pueden retener solo las partículas más grandes, como el polvo y el cabello. En general, se

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

recomienda cambiar los filtros de los sistemas de HVAC con regularidad, para mantener la eficiencia y la calidad del aire interior y proteger la inversión en el sistema HVAC (Li & Zheng, 2016).

Tabla 2. Porcentaje de eficiencia mínima de filtrado según el tipo de quirófano. Fuente: (ACAIRE, 2013).

Aplicación	Pre-filtro	Filtro	Post filtro
Tipo I (clase a)	60-65%	90-95%	99.97% HEPA
Tipo II (clase b)	30-35%	90-95%	99.9% HEPA
Tipo III (clase c y d)	30-35%	60-65%	90-95%

2.3 Sistemas de ventilación

Los sistemas de ventilación se utilizan en las salas de cirugía con el fin de prevenir la propagación de microorganismos ya que estos circulan a través de las corrientes de aire y pueden ser inhalados o contaminar heridas abiertas, todo esto hace que se requiera un sistema de ventilación adecuado para que la calidad del aire sea lo más aséptica posible la cual se evidencia en la Flujo de aire en un quirófano. Fuente: (Samuel Aragón et al., 2020)**Figura 1** (Samuel Aragón et al., 2020).

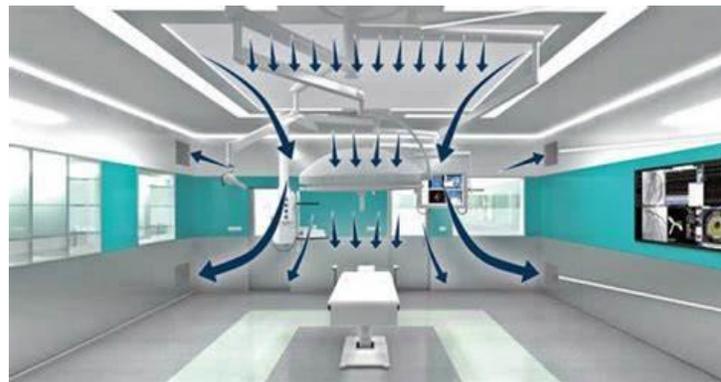


Figura 1. Flujo de aire en un quirófano. Fuente: (Samuel Aragón et al., 2020)

2.3.1 Sistema de ventilación tipo I

Conocido como sistema con difusor laminador, este tipo de ventilación genera menos propagación de bacterias, se utiliza para salas usadas en intervenciones complejas, ya que protege al paciente e instrumentación por ser de flujo laminar vertical, este tipo de ventilación se puede observar en la **Figura 2**, la cual muestra en el techo la filtración Hepa y el aire descendiendo unidireccionalmente a través de líneas paralelas verticales y con mínimas turbulencias, dicho flujo barre todas las partículas en el aire para ser extraídas en las partes laterales de los quirófanos a través del sistema de extracción.

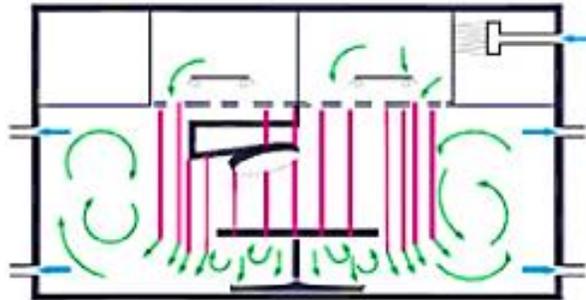


Figura 2. Sistema de ventilación tipo I. Fuente: (Samuel Aragón et al., 2020)

2.3.2 Sistema de ventilación tipo II

Se denomina sistema con rejilla perforada, solo es utilizado en salas para intervenciones quirúrgicas simples, en este tipo las renovaciones de aire son 20 por hora y el conteo de bacterias es inferior a 200 bacterias por metro cubico, en **Figura 3** se puede observar como el aire ingresa por un costado del quirófano lo que hace que este no baje de manera uniforme hasta la mesa quirúrgica, produciendo turbulencias las cuales puedes arrastrar bacterias a diferentes puntos del mismo, los sistemas de extracción se identifican en los costados.

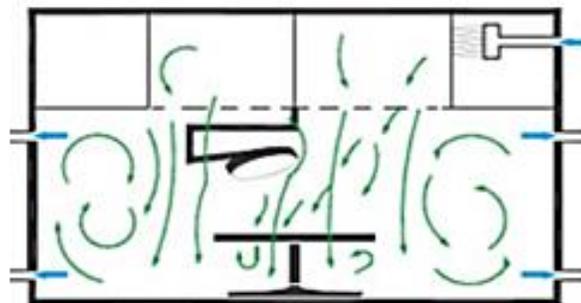


Figura 3. Sistema de ventilación tipo II. Fuente: (Samuel Aragón et al., 2020)

2.3.3 Sistema de Ventilación tipo III

Conocido como sistema combinado, el cual mezcla el aire de entrada con el aire del quirófano, utilizado en salas para pequeña cirugía, el número de renovaciones de aire es de 6 por hora y el conteo de bacterias debe ser inferior a 500 por metro cubico, este tipo de ventilación se puede observar en la **Figura 4**, en donde se evidencia la mezcla de aire y las turbulencias generadas por esta, no es un aire uniforme y perpendicular.

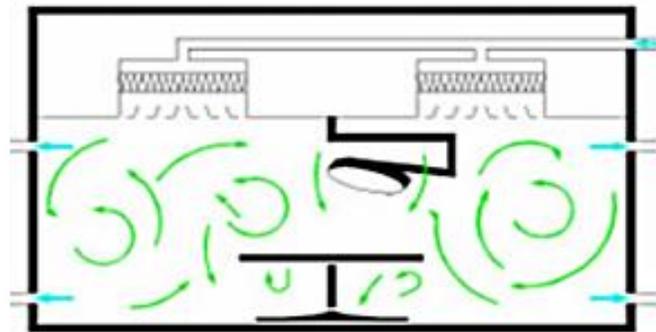


Figura 4. Sistema de ventilación tipo III. Fuente: (Samuel Aragón et al., 2020).

2.3.4 Tipos de equipos de aire acondicionado para usados en salas de cirugía

Los equipos de aire acondicionado en las salas de cirugía generalmente son robustos ya que deben tener una capacidad superior para realizar un enfriamiento adecuado, además de contar con todas las barreras de seguridad para evitar que partículas ingresen al quirófano, los siguientes son los equipos más usados.

2.3.4.1 Chiller

Un enfriador o chiller es un dispositivo con una gran capacidad de enfriamiento, adecuado para sistemas de aire acondicionado. Funciona mediante el acondicionamiento de agua, es capaz de bajar la temperatura de esta usando el principio de refrigeración coopera con otros equipos para hacer circular el refrigerante Utiliza una sustancia pura llamada refrigerante, que puede ser natural o sintética. Si se habla del tipo de compresores para sistemas de enfriamiento de agua (Chiller), los compresores pueden ser rotativos, centrífugos, reciprocantes y Scroll.

En la **Figura 5** se puede observar las partes de un chiller, el cual de manera simple funciona de la siguiente manera, el refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el evaporador (11) y este absorbe calor por ahí es por donde ingresa el agua, el compresor (1) eleva la presión del fluido del refrigerante para la continuidad del sistema posteriormente el condensador (2) disipa el calor y la válvula de expansión (9) permite el paso del líquido de alta a baja presión en una mezcla de líquido y vapor para su total evaporación y completar el ciclo (Herbert W, 2016).

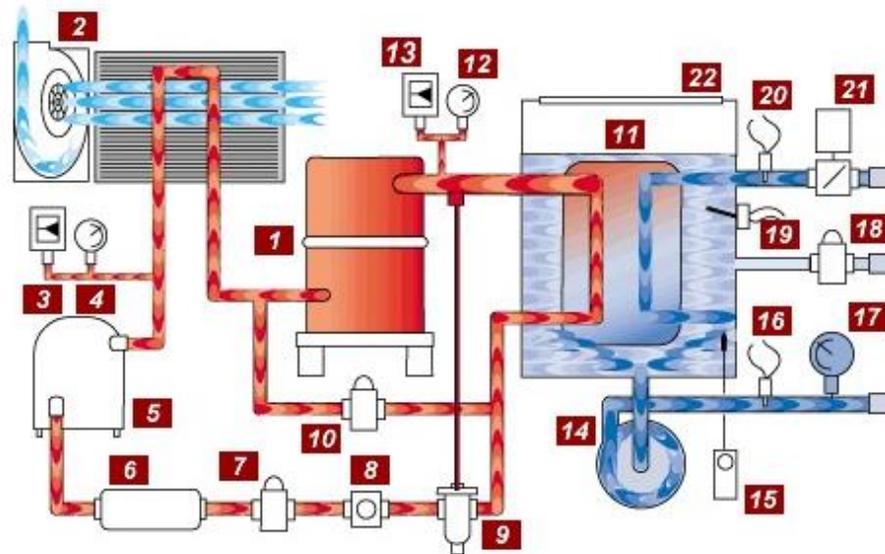


Figura 5. Partes de un chiller. Fuente: (Airson Ingenieros, 2022)

En la Figura 5, se tienen las siguientes partes:

- | | |
|---|---|
| 1. Compresor | 12. Indicador en baja presión |
| 2. Condensador | 13. Límite de presión baja |
| 3. Límite de alta presión | 14. Bomba de refrigerante |
| 4. Manómetro de presión alta | 15. Límite de Freezestat |
| 5. Receptor de líquido | 16. Sonda del sensor |
| 6. Filtro Secador | 17. Manómetro de refrigerante |
| 7. Solenoide de línea de líquido | 18. Solenoide, |
| 8. Vista de refrigerante | 19. Interruptor flotador nivel depósito |
| 9. Válvula de expansión | 20. La Sonda del sensor de proceso |
| 10. Válvula de derivación de gas caliente | 21. Interruptor de flujo del evaporador |
| 11. Evaporador | 22. Depósito. |

2.3.4.2. Unidad manejadora de aire (UMA)

La UMA es el elemento encargado de suministrar el aire frío a un área específica. En la **Figura 6** se puede observar sus componentes principales. El ventilador centrífugo se encarga de mantener el flujo de aire que entra y sale de la UMA. Por otro lado, se encuentra el dámper de enfriamiento, en el cual ocurre la transferencia de calor entre el agua fría y el aire de suministro. Para lograr un nivel de pureza adecuado en el aire de suministro, las UMAS constan de filtros de aire capaces de retener las partículas de polvo e incluso otros agentes contaminantes, los cuales deben ser cambiados periódicamente (Herbert W, 2016).

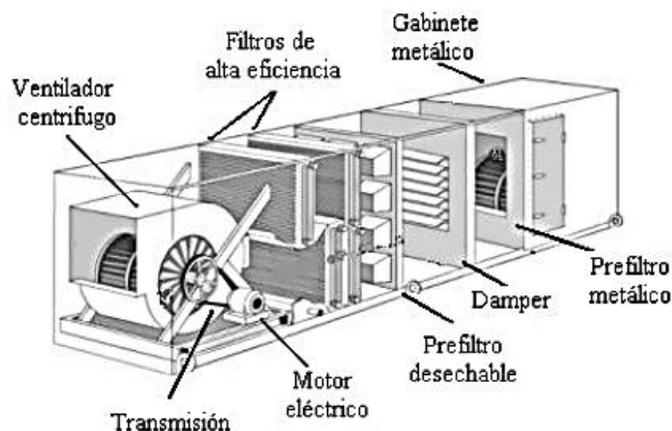


Figura 6. Partes de una UMA. Fuente: (Herbert W, 2016)

Para entender las partes principales de las unidades manejadoras estas se dividen en tres partes, en el primer compartimento se encuentran los filtros eficiencia de 35 y 65% y el intercambiador de calor, en el segundo compartimento se encuentran los filtros de eficiencia del 95% y los filtros HEPA del 99% y en el último compartimento se encuentra un ventilador centrífugo el cual se encarga de transportar el aire a través de los ductos metálicos.

Otra parte fundamental del sistema son varios ventiladores de extracción de aire, estos equipos producen la circulación de aire tratado y las permanentes renovaciones de aire.

2.3.4.3 Unidad condensadora

Es una maquina frigorífica la cual se encarga de realizar las etapas de la compresión y la condensación en el refrigerante. Es parte fundamental para que la UMA funcione correctamente. En general está ubicada en la cubierta o techo de las instalaciones en la **Figura 7** se puede evidenciar cada una de sus partes (José Alarcón Creus, 2005).

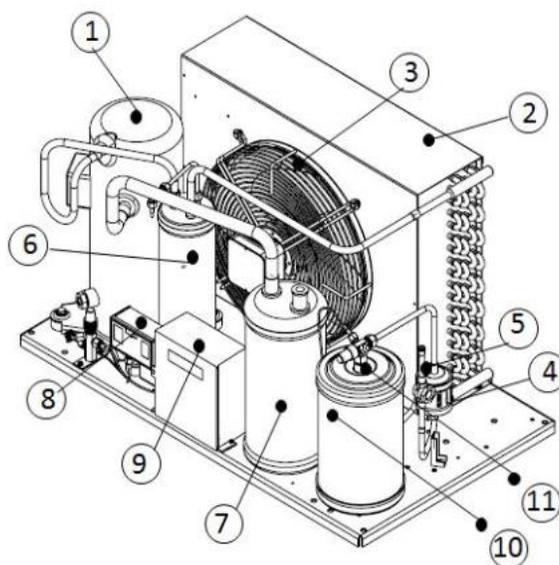


Figura 7. Partes de la unidad condensadora. (José Alarcón Creus, 2005)

En la Figura 7, se tienen las siguientes partes:

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Compresor | 7. Separador de líquido |
| 2. Condensador | 8. Presostato |
| 3. Motor | 9. Caja eléctrica |
| 4. Filtro secador | 10. Tanque de liquido |
| 5. Visor | 11. Válvula |
| 6. Separador de oleo | |

2.4 Normatividad

El uso de los equipos de aire acondicionado hospitalario ha sido reglamentado internacionalmente bajo las normas de la Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE), la cual define límites y condiciones para sostener la calidad del aire en un ambiente específico, a través de los avances tecnológicos relacionados a la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación (HVACR).

Estas normas proponen distintas pautas para diferentes áreas y ambientes respecto a la calidad del aire. En el caso de los equipos de aire acondicionado utilizados en salas de cirugía estas áreas son denominadas “zonas blancas”. El propósito principal de esta normatividad es brindar seguridad y evitar incidentes y eventos a los usuarios que acuden a los establecimientos de salud ya que tienen alto riesgo de contagio por contaminación cruzada. En las zonas blancas se concentran muchos microorganismos y partículas que son fuentes de contaminación bacteriana y viral, las cuales provienen de fuentes internas como

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

pacientes, visitantes, empleados, entre otros, por lo que el sistema de aire acondicionado debe mantener una calidad en el recinto y deberá ser el adecuado para evitar la reproducción y crecimiento de estos microorganismos patógenos para el usuario. En Colombia no se cuenta con una norma específica que regule la instalación, seguimiento, puesta en marcha y vida útil de los equipos de aire acondicionado hospitalarios, pero se cuenta con la Asociación de Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración (ACAIRE), la cual propone unos lineamientos para la instalación y mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado hospitalario.

Actualmente se cuenta con los siguientes lineamientos normativos relacionados con el mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado hospitalario:

2.4.1 Ley 9 de 1979

Es una norma dictada por el Ministerio de salud y de la Protección Social en la cual se dictan los pasos para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979. Corresponde a todo lo referente a las condiciones sanitarias y a los requisitos básicos y mínimos de infraestructura que deben cumplir las edificaciones. Así mismo reglamenta el plan de mantenimiento anual hospitalario, dictado en el artículo 241 (Ministerio de salud y protección social, 1996).

2.4.2 Resolución 4445 de 1996

Los Estándares Ambientales de Colombia indican que las áreas de quirófano tienen manejo especial, denotando las variables mínimas que deben ser satisfechas, pero sin mencionar el mantenimiento en sí:

- Mantener una temperatura de 21 °C.
- 50% de humedad relativa.
- Velocidad del viento de 60 cm/s
- 25 a 30 cambios de aire por hora.

2.4.3 Norma técnica colombiana 5183

La regla se aplica a todos los espacios interiores o cerrados que las personas pueden ocupar. Esta norma considera los contaminantes químicos, físicos y biológicos que pueden afectar la calidad del aire. Los requisitos de confort térmico no están incluidos en esta norma, como recomendaciones en general de mantenimiento se tienen las siguientes:

- Diseñar un manual de operaciones y mantenimiento y se mantendrá en el sitio. Este manual se actualizará como sea necesario. El manual deberá incluir, como mínimo, los procedimientos de operación y mantenimiento, los planos definitivos, los cronogramas de operación y mantenimiento y cualquier cambio de estos, así como los requisitos y las frecuencias de mantenimiento.
- Cambiar los filtros y dispositivos de acuerdo con el manual.
- Revisar el aire exterior, rejillas y controladores, cada tres meses.
- Revisar los humidificadores, cada tres meses.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

- Revisar los deshumidificadores del serpentín regularmente cuando es probable que se produzca la deshumidificación, pero no menos de una vez por año.
- Revisar las pantallas para impedir la entrada de aves, por lo menos cada seis meses o como lo especifique en el manual.
- Revisar los sensores usados para control dinámico del aire externo mínimo cada seis meses o periódicamente de acuerdo con el manual.
Revisar las torres de enfriamiento de acuerdo con el manual o según el tratamiento propuesto para el sistema drenajes en el piso.

2.5 Recomendaciones de asociaciones de acondicionamiento de aire

2.5.1 Asociación colombiana de acondicionamiento del aire y la refrigeración (ACAIRE)

Los lineamientos pertinentes de las Guías de la Asociación Colombiana de Aire Acondicionado y Refrigeración establecen que los sistemas de aire acondicionado en las instalaciones que brindan servicios de salud deben seguir los procedimientos de mantenimiento recomendados por cada fabricante de equipos. Además, es obligatorio los siguientes puntos (ACAIRE, 2013).

- Inspeccionar los bancos de filtros, específicamente verificando si hay fugas que puedan dejar pasar el aire sin filtrar.
- Reemplazar los filtros y terminales HEPA con una frecuencia no menor a cada tres años, y no menos frecuente si la caída de presión excede el umbral recomendado por el fabricante.
- Llevar un registro de las actividades de mantenimiento que se entregará a las autoridades sanitarias, en particular un registro de las fechas de reemplazo de los filtros para respaldar la compra de filtros nuevos.
- Almacenar los filtros, siempre que estén empacados para evitar la contaminación y se mantengan alejados de condiciones desfavorables de temperatura, humedad y calidad del aire.
- Cumplir las pautas de instalación, operación y mantenimiento descritas en el manual.

Los siguientes temas deben ser cubiertos como mínimo en la capacitación que reciba el personal de mantenimiento a cargo de los sistemas de aire acondicionado en los centros de salud.

- Los tipos de sistemas que se encuentran en el centro médico.
- Mantenimiento de rutina en cada equipo.
- Sistema de control, tipo de sistema de control y lógica de control.
- Inspección de equipos y alertas de sitios de riesgo de contaminación.
- Funcionamiento de los amortiguadores de equilibrio.
- Mantenimiento de ductos y redes.
- Los diferentes tipos de filtros y lo que los hace funcionar.
- Procedimientos de cambio de filtro y formas de monitorear el estado de los filtros y sus marcos.
- Lectura de manómetros, rangos de saturación típicos para varios filtros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

2.5.2 Sociedad americana de aire acondicionado, refrigeración y calefacción (ASHRAE)

De acuerdo con los estándares de ASHRAE, el aire en las áreas antes mencionadas debe asegurar las siguientes características:

- Temperatura ajustable entre 17 y 21 °C.
- La humedad relativa debe mantenerse entre 45 y 55%.
- Suministrar más del 15% de aire con respecto a la presión positiva en el área adyacente.
- Contar con un manómetro para verificar la diferencia de presión entre el interior y el exterior del área.
- La temperatura y la humedad deben ser fácilmente legibles en el área requerida.

La sociedad definió los siguientes lineamientos enfocados al mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado específicamente de las zonas bancas, es decir, en salas de cirugía (ASHRAE, 2019):

- Cada seis meses o de acuerdo con un programa de mantenimiento preventivo eficiente, se recomienda verificar la presión positiva en cada quirófano.
- Cuando hay filtros HEPA en el difusor de los quirófanos, se debe cambiar el filtro en función de la caída de presión.
- Salvo periodos de mantenimiento, los sistemas de ventilación de quirófanos y salas de cesárea funcionarán en todo momento.
- Cuando esté presente un paciente inmunocomprometido, las habitaciones deben mantenerse bajo presión positiva en relación con todas las habitaciones adyacentes. se recomiendan controles diarios de la presión positiva.
- Los filtros de las unidades serpentín-ventilador y las bombas de calor deben revisarse mensualmente o de acuerdo con un ciclo de mantenimiento preventivo eficiente para verificar las caídas de presión. Cuando estas caídas de presión resultan en una disminución del flujo de aire, se deben reemplazar los filtros.
- La unidad fancoil y las bandejas de drenaje de la bomba de calor deben limpiarse cada mes o como parte de un ciclo de mantenimiento preventivo eficiente.
- Revisar de la caída de presión de los filtros; si resulta en una disminución en el flujo de aire, deben ser reemplazados. Las bandejas de drenaje de la bomba de calor y la unidad fancoil ubicadas debajo de los serpentines de enfriamiento deben limpiarse una vez al mes o como parte de un ciclo de mantenimiento preventivo.
- Las unidades de radiación de tubo aleteado, las unidades de inducción y las unidades de convección deben limpiarse cada trimestre o de acuerdo con un ciclo de mantenimiento preventivo.
- Revisión de las Unidades terminales con ventilador, cuando la caída de presión da como resultado una disminución en el flujo de aire, se deben reemplazar los filtros de la unidad terminal, esta caída de presión de estos filtros debe verificarse mensualmente o como parte de un ciclo de mantenimiento preventivo eficaz.

2.5.3 Instituto de Refrigeración y Aire Acondicionado (AHRI)

Se encarga de asegurar la productividad, seguridad y confort mediante un programa de certificación para ayudar al ahorro de energía y conservación del medio ambiente, dicta y evalúa lineamientos para diseños de aire acondicionado de hospitales, es la asociación estadounidense que representa al 90%

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

de los fabricantes de aires acondicionados producidos en el país, se especializa en el diseño y evaluación de equipos de enfriamiento en sala de cirugía.

Mediante esta certificación los proveedores garantizan a sus clientes y usuarios que obtienen el rendimiento requerido en cada unidad adquirida.

2.5.4 Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado (SMACNA)

Es una asociación internacional dedicada al desarrollo de temas relacionados con los equipos de aire acondicionado, especialmente con la fabricación, diseño, montaje y mantenimiento de la dicterio en general. Esta asociación fija los estándares y desarrolla los manuales para la industria, ayudando a los contratistas a reducir costos, anticipar los requisitos técnicos y, además, a aumentar la eficiencia y la productividad.

Los estándares y manuales de SMACNA direccionan todas las facetas de la hoja de metal de la industria, desde conducto de la construcción y de la instalación para la calidad del aire y control de la contaminación ambiental, y de recuperación de energía para los tejados.

2.5.5 NFPA 90A: Norma para la Instalación de Sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación

Es un estándar de cuidado y protección de los sistemas de aire acondicionado y ventilación dedicado a las personas y la propiedad, se basa en estándares contra incendios, humo y gases que resultan de incendios o condiciones similares.

Este documento aborda todos los aspectos de la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado y ventilación, incluyendo los filtros, conductos y equipos relacionados., Uno de los códigos más importantes es el NFPA 90A, es que establece los requisitos mínimos para la ventilación y el control de humo en sistemas HVAC.

2.6 Gestión del mantenimiento

El mantenimiento hospitalario, y específicamente el mantenimiento de los equipos usados en este, se define como el proceso que integra un conjunto de procedimientos técnicos y administrativos diseñados para prevenir averías, mantener, mejorar y restablecer la infraestructura y la dotación hospitalaria a su estado normal de funcionamiento (Ministerio de salud y Protección Social, 1994). Para proteger su infraestructura física y equipamiento, los hospitales en Colombia deben realizar inversiones anuales de mantenimiento. El mantenimiento es una actividad obligatoria y se lleva a cabo dependiendo de las estrategias elegidas por la administración de la clínica u hospital (Ministerio de salud y protección social, 1993).

En el año 1997, la Superintendencia Nacional de Salud, como autoridad destinada por el Gobierno para atender los Sistemas Generales de Seguridad Social, emitió la circular número 29, la cual define la necesidad de desarrollar un plan de mantenimiento anual hospitalario. La circular define los objetivos de mantenimiento de la siguiente manera:

- Garantizar la seguridad de los pacientes y el personal quienes administran y utilizan los recursos físicos del hospital.
- Apoyar el servicio de salud en el cumplimiento de los objetivos de calidad ordenados por la ley.
- Asegurar la disponibilidad y el funcionamiento eficiente de los recursos físicos necesarios para prestar servicios de salud y ayudar a reducir los costos de operaciones de la institución.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

2.6.1 Tipos de mantenimiento

Los sistemas de aire acondicionado se pueden gestionar según los diferentes tipos de mantenimiento propuestos en la **Figura 8**.

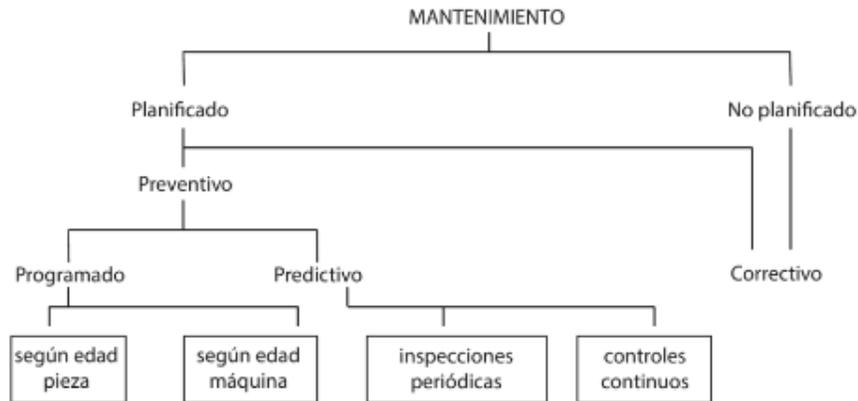


Figura 8. Cuadro sinóptico del mantenimiento. Fuente: (Juan Manuel Franco, 2013).

2.6.1.1 Mantenimiento planificado

2.6.1.1.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo hace referencia a una serie de tareas planeadas previamente, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de las funciones para las que fue creado un activo (García S, 2010).

Ventajas:

- El Mantenimiento genera una reducción en los costos de mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Proporciona una mayor disponibilidad.
- Mejora la selección de recambios y repuestos.
- Aumenta la calidad en el servicio ofrecido.

Desventajas:

- Si el mantenimiento no es el adecuado se pueden generar costos que no implica una mejora en las condiciones de operación.
- La rutina origina falta de motivación en los operarios de mantenimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

2.6.1.1.3 Mantenimiento Programado

El mantenimiento programado son todas aquellas tareas asignadas a un técnico con un plazo definido.

2.6.1.1.4 Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento permite conocer el estado y operatividad de las diferentes componentes del equipo permitiendo adelantarse a fallas futuras y corregirlas a tiempo. Las técnicas predictivas de mayor implementación son (Ballesteros F, 2014).

- Análisis de vibraciones.
- Inspecciones termográficas.
- Análisis de aceites.
- Detección de ultrasonidos.
- Análisis de motores eléctricos.

2.6.2 Mantenimiento no planificado

El mantenimiento no planificado hace referencia al mantenimiento correctivo el cual es un tipo de mantenimiento diseñado para corregir un mal funcionamiento de equipos en el momento que ocurren, Su objetivo es restablecer el buen estado de funcionamiento.

2.6.3 Otras técnicas de mantenimiento

En los últimos veinte años ha habido un crecimiento de técnicas de mantenimiento. Los nuevos desarrollos incluyen herramientas de soporte para la toma de decisiones a corto plazo, los cuales se describen a continuación (Moubray John, 1997).

2.6.3.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Es una metodología usada para determinar, los pasos a ejecutar para que los activos continúen ejerciendo su función por el usuario, en el contexto operacional presente, es una metodología derivada de la investigación de la aviación y utiliza de herramientas como el análisis de modo de falla, efecto y grado crítico.

La aplicación adecuada de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, permite de forma eficiente, optimizar los procesos y disminuir al máximo los posibles riesgos, que traen consigo los fallos de los equipos

Esta estrategia asegura que se usen las acciones oportunas de mantenimiento preventivo o predictivo y suprime las tareas que no producen algún impacto en la frecuencia de fallas. (Moubray John, 1997).

2.6.3.1.1 Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE)

El AMFE es un proceso estructurado para el análisis de la operación de un equipo que permitirá identificar las fallas que pudieran presentarse y que engloba las etapas de fallas funcionales, modos de falla y efectos de la falla (Moubray John, 1997).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Está compuesto por:

- Función: cada elemento o sistema del equipo.
- Fallas funcionales: evento imprevisto que impide que el activo alcance el rendimiento esperado en el entorno operativo en el que opera.
- Modos de falla: la descripción del evento que conduce a las fallas funcionales.
- Los efectos de falla: aspectos que se hacen evidentes cuando ocurre un modo de falla específico.

El AMFE puede ejecutarse según los siguientes pasos básicos:

- Funciones y estándares de funcionamiento.
- Criterios de funcionamiento.
- Síntomas de la falla.
- Fallos funcionales.
- Modos de fallo.
- Efectos de fallo.
- Consecuencias de los fallos.
- Selección de las tareas de mantenimiento.

2.6.3.2 Monitoreo Basado en Condición (CBM)

El CBM representa una evolución en el mantenimiento porque parte de un análisis previo, identificando equipos críticos y de ahí la evaluación de componentes a los cuales se pueden supervisar y diagnosticar con técnicas predictivas.

Todo esto con el fin de evitar que una falla potencial se convierta en falla funcional o total (Ballesteros F, 2014).

El sistema basado en la condición es la unión de los mantenimientos proactivo y predictivo, genera mayor aporte en realización de tareas que prolonguen la vida útil de máquinas y equipos.

El CBM proporciona ganancias de productividad, genera recursos económicos y humanos en el área de mantenimiento según lo programe el sistema en funcionamiento. Poco a poco el sistema ha ingresado en distintas empresas industriales como ayuda de gran escala generando: orden de procesos, equipos o máquinas según la utilidad.

Los programas de mantenimiento han sido utilizados por la mayoría de las compañías, el monitoreo de condición es la medición de una variable fija que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indiquen si el equipo está en buen estado o deteriorado, la información de condición dada por el mantenimiento predictivo es la llave integradora para balancear las prácticas de mantenimiento preventivo y proactivo

Objetivos del mantenimiento basado en condición (CBM), el principal objetivo de este tipo de mantenimiento es obtener el máximo producto por el mínimo de costo (utilidad), y es la práctica de monitorear periódicamente la máquina y establecer tendencias de la condición mecánica y rendimiento de esta, mediante la predicción de si un elemento va a fallar o posiblemente cuando va a fallar.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Los resultados que se quieren obtener mediante el CBM son:

- Basándose en la criticidad de los equipos establecer frecuencias óptimas de monitoreo en los equipos rotativos y alternativos considerados críticos.
- Aplicar las tecnologías predictivas necesarias para evaluar la condición de los equipos y evitar las consecuencias de los modos de falla.
- Evitar intervenciones innecesarias en los equipos rotativos y alternativos críticos mediante un correcto diagnóstico de la condición del equipo.
- El ahorro que significaría intervenir un equipo si los trabajos fuesen realizados en función del análisis de condición del equipo y no por tiempos cumplidos.
- Intervenciones más económicas mediante la detección del fallo, evitando que la máquina funcione hasta la rotura.
- Averías reparadas más rápidamente mediante el conocimiento oportuno de cuál es el elemento defectuoso antes de abrir la máquina.
- Control de calidad del trabajo realizado luego de efectuado un mantenimiento.
- Establecer los niveles de alarma apropiados para equipos que sean evaluados como críticos.

Pasos para seguir para implementación

- La recopilación de información (datos y señales) relevantes para conocer el estado del sistema: datos de eventos y datos de monitoreo de condición (variables)
- Procesamiento y manejo de información (datos y señales) para su posterior análisis y una mejor comprensión e interpretación de estos
- Toma de decisiones de mantenimiento en base a lo extraído y analizado, para recomendar políticas de mantenimiento eficientes

2.6.3.3 Mantenimiento productivo total (TPM)

Es una estrategia basada en el mejoramiento del sistema de mantenimiento preventivo, destinada a lograr la eliminación de las grandes pérdidas de las máquinas/equipos, para poder hacer factible la producción Just inTime, la cual tiene como objetivo la eliminación sistemática de desperdicios (Mwanza & Mbohwa, 2015).

Las grandes pérdidas se hallan directa o indirectamente relacionadas con las máquinas/equipos de las industrias, dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo, en tres aspectos fundamentales:

- Averías y tiempos de preparación que ocasionan tiempos muertos o de vacío
- Funcionamiento a velocidad reducida y los tiempos en vacío, todo lo cual genera pérdidas de velocidad del proceso
- Pérdidas de productos y procesos defectuosos ocasionados por los defectos de calidad y repetición del trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Mejorar los tres aspectos mencionados anteriormente tiene relación directa con mejorar los indicadores Disponibilidad, Porcentaje de producto conforme, Confiabilidad y Mantenibilidad.

El TPM adopta como filosofía el principio de Kaizen o mejoramiento continuo, aplicados al mantenimiento y a la gestión de equipos.

A diferencia de los sistemas de mantenimiento preliminares (correctivo, programado, preventivo, predictivo), el TPM no se centra en las máquinas/equipos; inicialmente se enfoca en las personas para sensibilizarlas, capacitarlas, cambiarles para bien su actitud en el trabajo, su visión de la vida; posteriormente estas personas centrarán su atención en la producción (instalaciones, procesos, máquinas y equipos), con miras a incrementar la productividad, y por ende a ser más competitivos como personas y como organización. En fases avanzadas el TPM debe ser una filosofía de vida, y no de trabajo (Mishra et al., 2021).

El TPM maneja un concepto en materia de mantenimiento, basado en los siguientes cinco principios fundamentales:

- Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo
- Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. De tal forma se trata de llegar a la eficacia global.
- Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas de manera tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y se consigan los objetivos propuestos.
- Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el Mantenimiento Autónomo.
- Aplicación de los sistemas de gestión a todos los aspectos, diseño, producción, desarrollo, ventas, postventa y dirección.

2.7 Planificación del mantenimiento

La planificación de mantenimiento en un equipo es explicada como el proceso de asignación de recursos tanto físicos, financieros y humanos para las labores que tienen que realizarse en un determinado momento en un equipo. También es necesario asegurar que los trabajadores, los insumos, repuestos y los materiales estén disponibles antes de realizar una tarea de mantenimiento. Además, se debe estimar el tiempo requerido necesario para completar las tareas programadas. Es por esto por lo que se deben tener en cuenta los tres tipos de planificación del mantenimiento preventivo (Reyes D, 2009)

- Largo plazo: cubre un período de cinco años.
- Mediano plazo: planes de un mes hasta un año.
- Corto plazo: planes diarios y semanales.

2.8 Programación del mantenimiento

La programación del mantenimiento debe tener en cuenta las siguientes características (Reyes D, 2009)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

- Órdenes de Trabajo (OT) que derivan del proceso de planificación.
- Estándares de tiempo.
- Información acerca de la disponibilidad de operarios.
- Información sobre la disponibilidad de equipo y herramientas especiales, necesarios para el mantenimiento.
- Acceso al programa de producción y conocimiento del momento en que las instalaciones estarán disponibles para el mantenimiento.
- Prioridades bien definidas para el trabajo de mantenimiento.

2.9 Gasto energético de equipos de aire acondicionado

Desde la revolución industrial, la energía ha sido una necesidad global esencial, no solo en los sectores industrial y de transporte, sino también en el sector de la salud, Por lo tanto, la gestión de la energía es esencial para estabilizar los precios de los combustibles y ayudar a mantener los recursos energéticos. La implementación de tecnologías renovables y energéticamente eficientes ha tenido como objetivo mejorar el rendimiento energético de los edificios.; sin embargo, la mejora esperada del rendimiento energético en la fase de diseño y la reducción de energía en la modernización o renovación no están garantizadas y pueden aumentar la brecha de rendimiento. Cualquier aumento en el consumo de energía del edificio debe ser monitoreado e investigado para encontrar la causa y la solución para minimizar esta anomalía. En general, un sistema de aire acondicionado defectuoso aumenta el consumo de energía y las emisiones de carbono, lo que genera mayores costos y pérdidas ambientales. Además, la caracterización temprana y el diagnóstico de fallas reducirán el consumo de energía, los costos de cierre del edificio, las emisiones, el tiempo de inactividad debido a los posibles plazos de entrega prolongados para las piezas de repuesto y la gestión de existencias (Alghanmi et al., 2022).

Por lo tanto, mejorar el mantenimiento de los edificios puede tener un impacto significativo en la mejora de la eficiencia energética de los edificios.

La mejora de la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado se puede lograr mediante la instalación de tecnologías altamente eficientes o el desarrollo de estrategias operativas. Sin embargo, todavía existe la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento adecuadas para reducir el consumo de energía, algunas de las estrategias indicadas por los autores son las siguientes:

2.9.1 Monitoreo basado en condición

El monitoreo de condición es el proceso de monitorear continuamente el equipo. Para predecir la necesidad de mantenimiento antes de que ocurra la degradación o la ruptura, y se basa en la condición real del sistema Las fallas en los sistemas de aire acondicionado evolucionan, lo que lleva al deterioro de los equipos y una operación ineficiente, lo que a su vez conduce a mayores costos de energía.(de Lima Munguía et al., 2023) Por lo tanto, el operador del equipo necesita un plan sólido para detectar fallas incipientes y corregirlas de inmediato. Se utilizan diferentes técnicas en el monitoreo de las características del equipo, incluido el análisis de aceite, análisis de vibración , análisis de circuito

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

de motor , termografía infrarroja, monitoreo ultrasónico, interferometría láser, monitoreo eléctrico y monitoreo de desempeño (Cristiansen Bryan, 2019).

2.9.2 Detección y diagnóstico de fallos

consta principalmente de dos pilares: detección y diagnóstico. Su objetivo es decidir si los sistemas e instalaciones del edificio están funcionando adecuadamente (detección) y, en caso de un funcionamiento irregular o inadecuado, averiguar la causa raíz (diagnóstico).

Su objetivo es identificar fallas en sus etapas incipientes, para mejorar el rendimiento energético del edificio, reducir el desperdicio de energía y aumentar la vida operativa de un sistema de construcción. El diagnóstico de detección temprana de fallas en el sistema HVAC podría reducir el desperdicio de energía del 25 al 50% a menos del 15% (Guo et al., 2018).

Principalmente para el sistema HVAC, establecer un umbral que pueda equilibrar el verdadero positivo y la falsa alarma es un desafío porque la operación HVAC no es lineal y se rige por diferentes factores, como la configuración del termostato y el horario de ocupación. En la fase de diagnóstico, la falla detectada se define con mayor profundidad identificando los sensores, componentes o subsistemas involucrados y luego describiendo una causa de falla en particular (Mittal et al., 2017).

2.9.3 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es el proceso de asignar a los equipos una calificación de criticidad basada en su riesgo potencial. Basados en que no puede cuantificarse realmente, el riesgo, en este caso, se considera como todas las formas posibles en que los equipos puedan fallar y los posibles efectos que la falla puede tener en el sistema y la operación de estos.

El análisis de criticidad se realiza mediante unas clasificaciones y ponderaciones establecidas en la **Tabla 3**.

La fórmula definida es criticidad = probabilidad de ocurrencia × severidad

Para el contexto operacional de las clínicas se clasifican los rangos para determinar la matriz de criticidad de la siguiente manera:

- **Frecuencia**

Frecuentemente (5) = si se tienen fallos de 70 horas en el mes
Probable (4) = si se tienen fallos entre 50 y 69 horas en el mes
Ocasional (3) = si se tienen fallas entre 30 y 49 horas en el mes
Remota (2) = si se tienen fallas entre 10 y 29 horas en el mes
Improbable (1) = si se tienen fallas entre 1 y 9 horas en el mes

- **Nivel de severidad**

Insignificante (1) = No afecta la operación del equipo, daría espera para la intervención del equipo
Marginal (2) = moderado debido a que la intervención se realiza en menos de 1 hora
Crítico (3) = la intervención puede durar más de 1 hora con la posibilidad de aplazar cirugías

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Catastrófico (4) = Poner en riesgo al paciente por una posible infección bacteriana.

Tabla 3. Escala de criticidad. Fuente: elaboración propia

Frecuencia de ocurrencia del efecto de fallo	Nivel de severidad			
	1.Insignificante	2.Marginal	3.Critico	4. Catastrófico
5.Frecuentemente	5	10	15	20
4.Probable	4	8	12	16
3.Ocasional	3	6	9	12
2.Remoto	2	4	6	8
1.Improbable	1	2	3	4

2.10 Gestión de indicadores

La gestión requiere herramientas para determinar el logro de las metas institucionales y de proceso una de las herramientas más utilizadas son los indicadores de gestión, una herramienta ideal para monitorear y medir el desempeño de sus procesos relacionados. Facilitan a la alta dirección la Revisión del sistema de gestión y la toma de decisiones cuando no se alcanzan los objetivos planificados. Un indicador es una variable o atributo, que apunta a medir metas institucionales o estratégicas y metas de procesos. No es conveniente utilizar indicadores que no midan ningún objetivo, ya que no permitirían la toma de decisiones y consumirían recursos (Mora L, 2009).

Algunos de los indicadores más utilizados en el área de mantenimiento se pueden observar en la **Tabla 4** la cual contiene el nombre del indicador y su respectiva formula.

Las siguientes son las definiciones de los indicadores más comunes:

- **Disponibilidad:** este indicador es definido como la capacidad del equipo de realizar una acción en un periodo de tiempo determinado sin sufrir paros o averías durante este tiempo, se propone calcular de manera mensual.
- **Tiempo medio entre fallos MTBF:** Este indicador mide el tiempo que opera el equipo sin paros ni fallas asociados a estos.
- **Porcentaje de mantenimiento preventivo:** permite conocer la ejecución real de las actividades de mantenimiento preventivo versus as actividades programadas, entre más se acerque 100% el indicador mejor resultado se obtendrán.
- **Tiempo medio de reparación:** permite conocer el tiempo empleado entre cada reparación de los equipos, lo ideal es tener un tiempo menor a una hora en reparaciones.
- **Tasa de realización de mantenimiento correctivo:** permite conocer la proporción de mantenimientos correctivos realizados durante el mes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 4. Indicadores más utilizados en mantenimiento. Fuente: elaboración propia.

Indicador	Formula
Tasa de Disponibilidad	$\frac{\text{Horas totales} - \text{horas de parada}}{\text{horas totales}} \times 100$
Tasa de Rendimiento	$\frac{\text{cantidad de produccion real}}{\text{cantidad produccion teorica}} \times 100$
Costos de operación	$\frac{\text{costos de opeacion de mantenimiento}}{\text{valor de los activos}} \times 100$
Tiempo medio entre fallas	$\frac{\text{tiempo total disponible} - \text{tiempo de inactividad}}{\text{numero de paradas}}$
Tiempo medio de reparación	$\frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{numero de reparaciones}}$
Tasa de realización de mantenimientos preventivos	$\frac{\text{numero de actividades realizadas}}{\text{numer de actividades planificadas}} \times 100$
Tiempo de inactividad del equipo	$\frac{\text{horas de parada}}{\text{horas totales de trabajo}} \times 100$
Tiempo de retraso en el mantenimiento	$\frac{\text{tiempo de ejecucion actividades pendientes}}{\text{capacidad labotal por semana}} \times 100$
Tasa de consumo energético derivado de mantenimiento	$\frac{\text{gasto de energia derivado de las actividades de mantenimiento}}{\text{gasto de energia total}} \times 100$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la propuesta, se comenzó levantando un inventario de los equipos de enfriamiento utilizados en las salas de cirugía, tales como unidades manejadoras y condensadoras, el cual fue realizado tomando en cuenta la placa física de los equipos la cual contiene información técnica importante para el inventario, luego se analizó el contexto operacional de los mismos, identificando horarios de uso, actividades de mantenimiento actuales, fallos frecuentes, tiempos de paro en el año 2022, utilizando el sistema de gestión de la información institucional.

Se realizó una búsqueda en literatura de los tipos de equipos utilizados para proveer las condiciones ambientales en las salas de cirugía, los cuales deben cumplir con ciertas condiciones normativas entre la más importante que su temperatura no sobrepase los 21 °C, acto seguido se revisó en los manuales de los fabricantes de las marcas York by Johnson Control y Trox Technik las condiciones operación de los equipos instalados y las recomendaciones de mantenimiento de estos con el fin de identificar acciones de mejora.

Con el fin de verificar la mayor cantidad de fallos posibles se realizó una extracción de datos almacenados desde mayo del 2021 hasta diciembre de 2022 de la plataforma de telemetría institucional llamada industrias Falcon, datos relacionados al comportamiento de la temperatura en cada uno de los ocho (8) quirófanos, la información puso ser extraída ya que esta almacena los datos en el servidor, esta tecnología capta por medio de un sensor de temperatura la variable cada minuto.

Se analizaron los paros detectados durante el año 2022 y se realizó un análisis de criticidad con el fin de planificar un programa de trabajo acorde a las necesidades encontradas, teniendo en cuenta las actividades más críticas para evaluar las frecuencias con las que se generara el plan de mantenimiento.

Continuando con la evaluación de los diferentes parámetros de medición y variables a controlar se realizó una búsqueda, selección y adaptación de indicadores de desempeño, que permitieran la apropiada gestión de los equipos de aire acondicionado y servicios de soporte que potencien la eficiencia y sostenibilidad en las salas de cirugía.

Posteriormente en la literatura se validaron las metodologías de mantenimiento, teniendo como base las exigencias en todas las etapas de planeación, implementación y seguimiento a la confiabilidad de la prestación del servicio que permitan centrarse en la eficiencia y disponibilidad de los equipos, basándose en las recomendaciones utilizadas en la normatividad internacional, permitiendo optimizar el costo asociado generado por el funcionamiento de estos, adicionalmente se tuvo en cuenta una revisión general no especializada del gasto total energético en el área, este último se tomó de los consolidados del año 2022 de los datos registrados en los medidores internos ubicados en el servicio de cirugía.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contexto operacional

Esta monografía se realiza con el fin de crear estrategias de mantenimiento que permitan mejorar los fallos y las falencias presentadas en los equipos de aire acondicionado en las salas de cirugía, se toma como base una institución de salud de alto nivel de complejidad ubicada en el valle del aburra, la cual cuenta con ocho quirófanos en funcionamiento.

En la **Tabla 5** se puede observar los horarios de funcionamiento de estos.

Tabla 5. Horarios de funcionamiento de los quirófanos. Fuente: Elaboración propia

No. Quirófano	Horarios
1	24 horas
2	6:00 am - 8:00 pm
3	6:00 am - 8:00 pm
4	6:00 am - 8:00 pm
5	24 horas
6	6:00 am - 8:00 pm
7	24 horas
8	6:00 am - 8:00 pm

4.1.1. Organigrama área de mantenimiento

La clínica cuenta con un área de mantenimiento establecida, la cual se compone tal y como lo muestra la *Figura 9* en general. Con respecto a la intervención de los equipos de climatización se identifica que cuenta con un técnico en refrigeración.

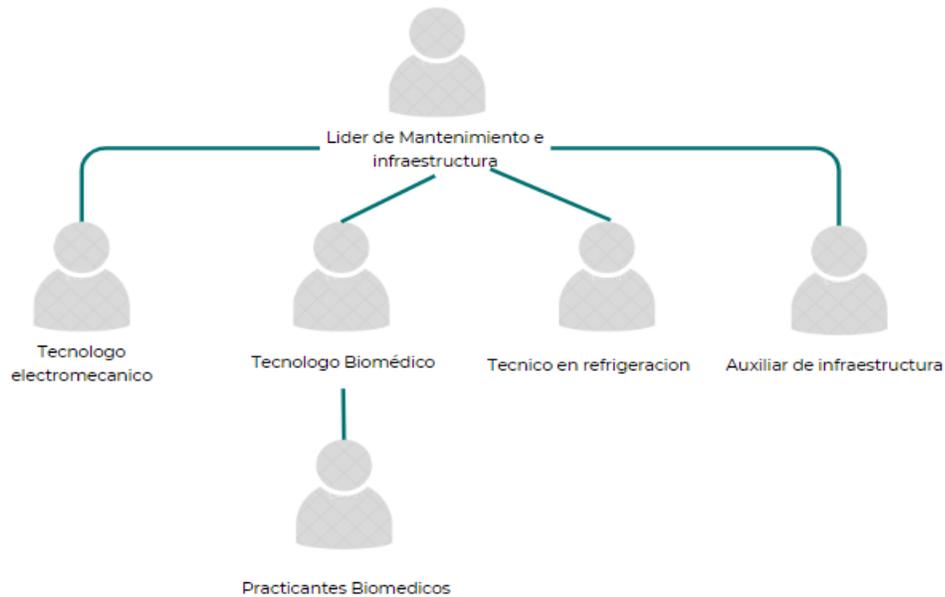


Figura 9. Organigrama del área de mantenimiento. Fuente elaboración propia

Con respecto a la **Figura 9** las funciones establecidas para el equipo de trabajo en mención son las siguientes:

- Líder de mantenimiento e infraestructura: profesional en el área de la ingeniería encargado de coordinar y programar los mantenimientos preventivos y o correctivos de los equipos de climatización.
 - Personal técnico en refrigeración: a la fecha la institución cuenta con una persona técnica contratada directamente por la clínica, con estudios en sistemas de refrigeración la cual es la encargada de realizar los mantenimientos a los equipos de aire acondicionado, teniendo en cuenta que esta persona no solo se encarga de las Unas de los quirófanos, sino de todos los equipos en general de la institución, a excepción de los chiller y las torres de enfriamiento la cuales están subcontratadas con personal externo.
- Personal externo: es el encargado de realizar mantenimiento preventivo y o correctivo a los chiller y torres de enfriamiento de la institución.

4.1.2 Gestión de mantenimiento de aires acondicionados

La institución realiza las siguientes actividades de mantenimiento:

- Diariamente se realiza una rutina de Inspección, donde se realiza verificación visual de los equipos, no se cuenta con formato establecido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

- Se cuenta con un cronograma de mantenimiento de los equipos, el cual está definido de manera mensual.
- No se cuenta con protocolos de mantenimiento preventivo establecidos, el mantenimiento se realiza a base de la experiencia del técnico.
- No se cuenta con análisis de causa raíz.
- Los equipos generalmente se llevan a la falla lo que conlleva a paros del equipo más prolongados.

4.1.3 Gestión de la información de aires acondicionados

La institución cuenta con un software de almacenamiento propio denominado “mesa de ayuda”, el cual permite asignar ordenes de trabajo reportadas desde los diferentes servicios, la gestión de hojas de vida y almacenamiento de reportes en línea.

Algunas de las falencias evidenciadas son las siguientes:

- Las hojas de vida no cuentan con las especificaciones técnicas de los equipos.
- La información se diligencia y almacena de manera manual, lo que cualquier fallo humano representa pérdida de esta.

4.1.4 Tipos de aires acondicionados instalados

4.1.4.1 Unidades Manejadoras

Cada quirófano cuenta con una unidad manejadora, en la **Tabla 6** se evidencia la marca modelo y capacidad de cada una.

Tabla 6. Unidades manejadoras instaladas. Fuente: elaboración propia

Quirófano	Marca	Modelo	Capacidad
1	York by Johnson Control	YSM- 25M0909HHL	20.51 kW
2	York by Johnson Control	YSM- 25M0707HHL	5.1 kW
3	York by Johnson Control	YSM- 25M0707HHL	5.1 kW
4	York by Johnson Control	YSM- 25M0707HHL	5.07 kW
5	Trox Technik	TKZ-25	12.18 kW
6	Trox Technik	TKZ-19	11.02 kW
7	Trox Technik	TKZ-25	11.20 kW
8	Trox Technik	TKZ-25	13.96 kW

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

4.1.4.2 Unidades condensadoras

Los quirófanos del denominados del número cinco al ocho son independientes del chiller y trabajan a través de unidades condensadoras las cuales están descritas en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Unidades condensadoras instaladas. Fuente: elaboración propia

Condensadora	Marca	Modelo	Capacidad
5	Midea	MDV-280(10)W/D2DN1(B)	28 kW
6	Midea	MDV-280(10)W/D2DN1(B)	31.5 kW
7	Midea	MDV-280(10)W/D2DN1(B)	28 kW
8	Midea	MDV-280(10)W/D2DN1(B)	31.5 kW

4.1.4.3 Chiller de enfriamiento

Los quirófanos del uno al cuatro trabajan a través del chiller de enfriamiento, este equipo no solo se usa para esta cuatro maquinas pues es el responsable de proveer el agua helada a los demás equipos de la clínica por lo que no se tomara en cuenta para la monografía pues supera el alcance deseado, la marca, modelo y capacidad del equipo se observan en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Chiller instalado. Fuente: Elaboración propia

Datos del chiller		
Marca	Modelo	capacidad
York by Johnson Control	YCWLO132SE17XABXX	140 t

4.1.5 Fallos recurrentes

Según la revisión realizada mediante la plataforma de telemetría se obtienen datos de los cambios de temperatura por encima y por debajo del límite establecido, es decir por encima de 21°C y por debajo de 16°C, los datos extraídos corresponden al año 2021 y 2022 para un total de 17.520 horas de mediciones.

En la

Tabla 9. Horas de paro y porcentajes. Fuente: Elaboración propia.se puede observar las horas de paro y el respectivo porcentaje.

Tabla 9. Horas de paro y porcentajes. Fuente: Elaboración propia.

Quirófano	Horas de paro		% paro vs tiempo total	
	> 21 °C	< 16°C	> 21 °C	< 16°C
1	40.5	0.7	0.2	0
2	121.9	0.9	0,7	0
3	44.2	0	0,3	0
4	56.9	0.5	0,3	0
5	18.2	0.1	0	0
6	34.2	7.6	0,2	0
7	79.2	0.6	0,5	0
8	246.5	0	1.4	0

4.1.5.1 Quirófano 1

En el **Anexo 1** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 10** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

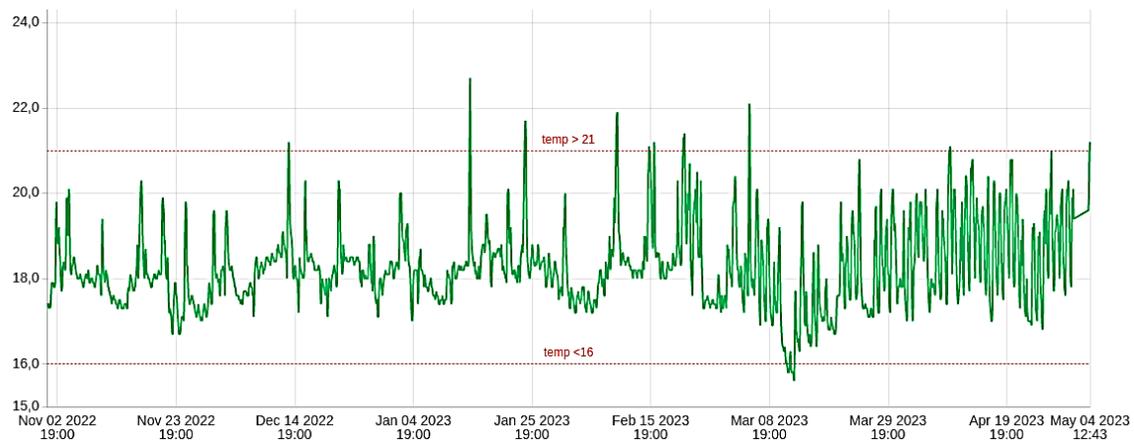


Figura 10. Variación de la temperatura quirófano 1. Fuente: Metrix, Industrias Falcon.

4.1.5.2 Quirófano 2

En el **Anexo 2** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 11** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

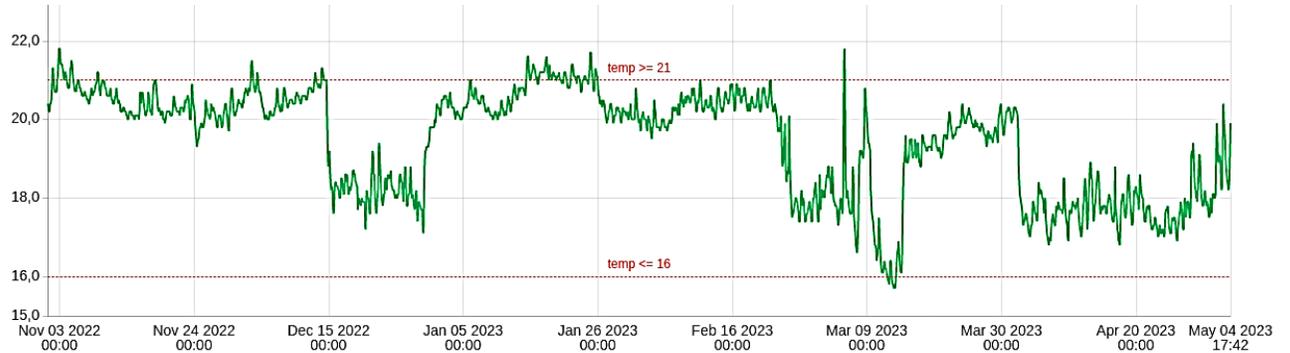


Figura 11. Variación de la temperatura quirófano 2. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

4.1.5.3 Quirófano 3

En el **Anexo 3** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en **Figura 12** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

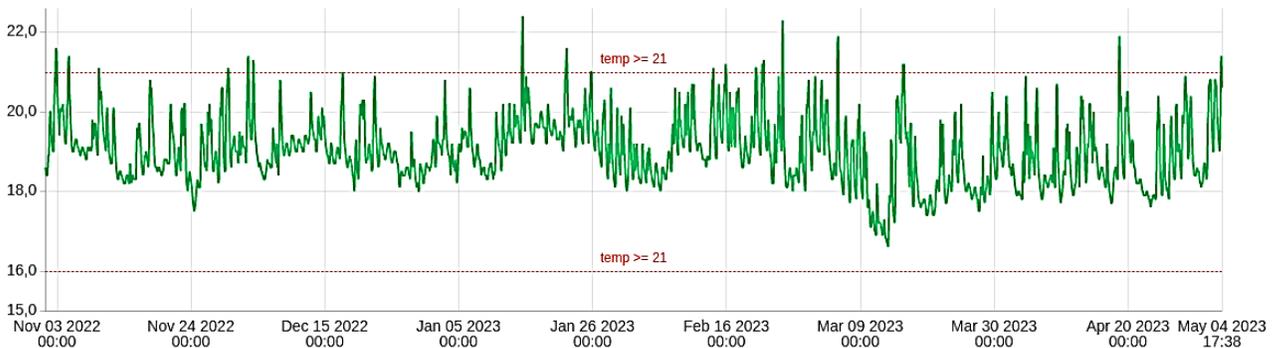


Figura 12. Variación de la temperatura quirófano 3. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

4.1.5.4 Quirófano 4

En el **Anexo 4** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 13** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

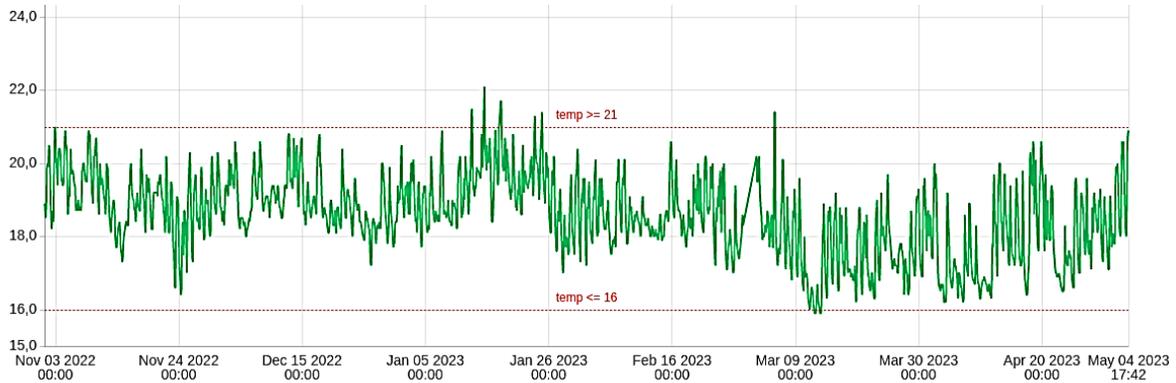


Figura 13. Variación de la temperatura quirófano 4. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

4.1.5.5 Quirófano 5

En el **Anexo 5** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 14** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

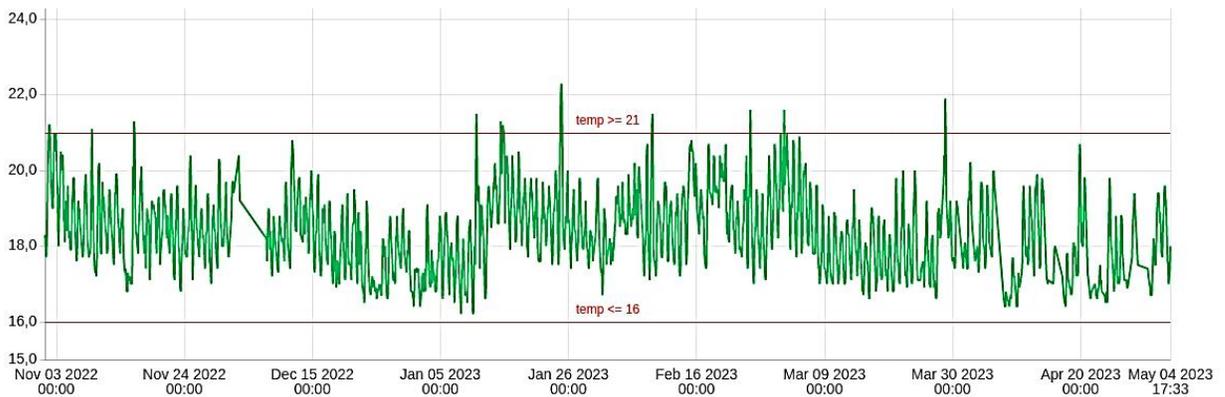


Figura 14. Variación de la temperatura quirófano 5. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

4.1.5.6 Quirófano 6

En el **Anexo 6** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 15** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

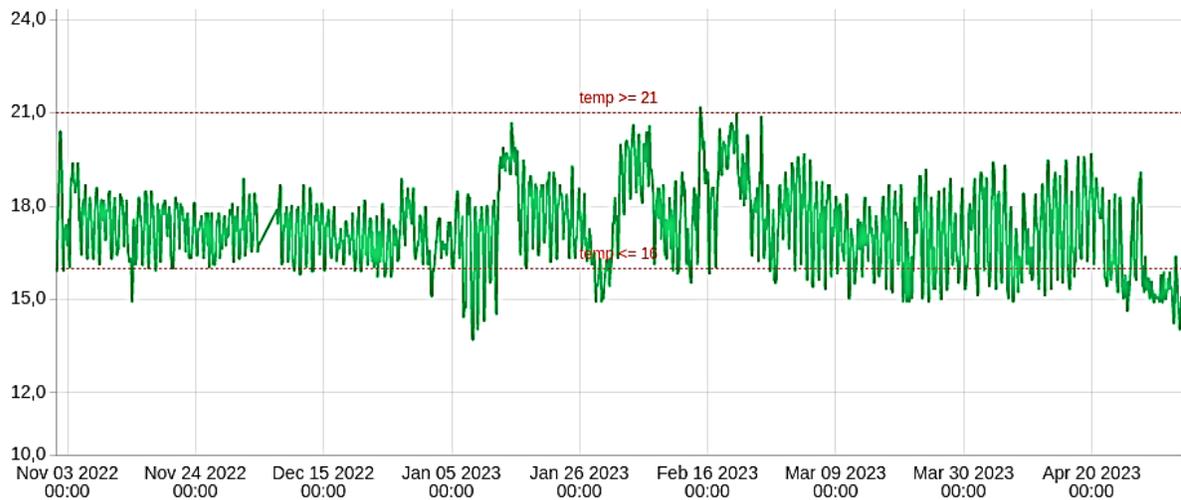


Figura 15. Variación de la temperatura quirófano 6. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

4.1.5.7 Quirófano 7

En el **Anexo 7** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 16** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

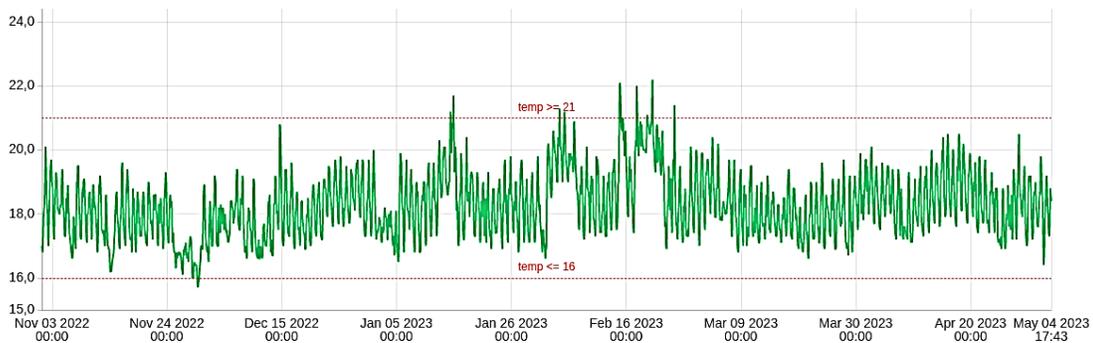


Figura 16. Variación de la temperatura quirófano 7. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

4.1.5.7 Quirófano 8

En el **Anexo 8** se observa el número de veces que el cambio de temperatura afecto las condiciones del quirófano y en la **Figura 17** se puede observar de mejor manera el comportamiento del equipo en los últimos seis meses.

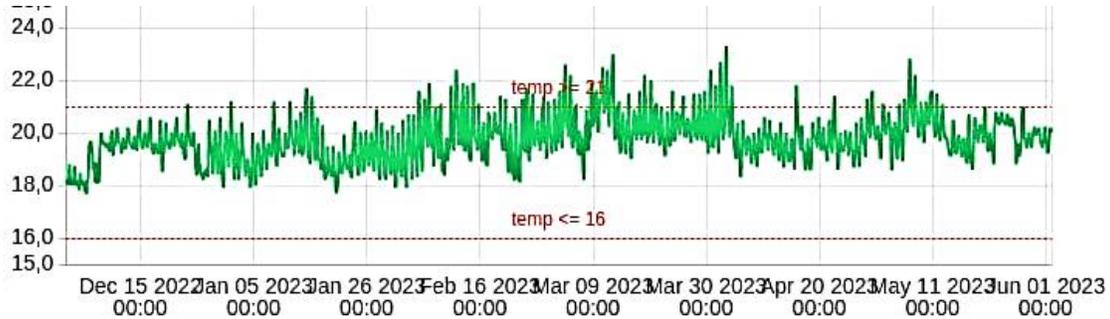


Figura 17. Variación de la temperatura quirófano 8. Fuente: Metrix, Industrias Falcon

4.1.5.6 Causas de fallos

Se realizó una búsqueda en la mesa de ayuda institucional donde se almacenan los reportes de mantenimiento, encontrando la información resumida en la **Tabla 10**, donde se pueden identificar causas propias de los componentes del equipo, causas del contexto operacional y algunas sin determinar, estas últimas por la falta de control y almacenamiento oportuno de los reportes, adicional se expresa el número de horas que el equipo estuvo parado a causa de la falla.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO					Código	FDE 089
						Version	04
						Fecha	24-02-2020

Tabla 10. Causas de fallo/ Número de horas de paro. Fuente: elaboración propia.

Causas de fallo/ Número de horas de paro	Quirófanos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Falla del pulsador de arranque (tableros)				4				
Falta de alimentación (tableros)	12	12	12	12	12	12	12	12
Falla de fusible (tableros)		3						5
Falla motor						8		
Ruptura de bandas y/o correas		12		2,9			6	
Tensión correas						3		
Temperatura alta del agua serpentín incrustado		12					8	
Válvula cerrada						1		1
Filtro de 35% mal estado		75,9						
Filtro de 65% mal estado	20,5						34,2	
Filtro de 90% mal estado				33				
Filtro Hepa mal estado			24					
Motor no arranca								70
Rodamientos frenados (Motor)			4				8	
Falla del impulsador (Tableros)					0,2			
Bajo suministro de agua	2	2	2	2	2	2	2	2
Ruptura de juntas								
Ventilador frenado						4		
Humidificador saturado						2,2		
Sensor de temperatura defectuoso			1,2					
Sensor de presión defectuoso							2	
Ducteria en mal estado								151,5
Puertas del quirófano abiertas		1			2		2	
Sala con más de 7 personas	3				1		2	
Causa desconocida	3	4	1	3	1	2	3	5
TOTAL, HORAS	40,5	121,9	44,2	52,9	18,2	34,2	79,2	246,5

4.1.5.7 Estimación de gasto de energético

Se realizó una búsqueda del histórico del consumo total de energía en el servicio de cirugía, ya que esta área cuenta con un medidor interno, determinar el consumo por equipo requiere de unas mediciones en sitio las cuales no es posible realizar por temas de presupuesto, verificando en la literatura el consumo energético de los aires acondicionados en el área puede representar entre el 50 y 60% del consumo eléctrico total, la **Figura 18** representa el consumo total de los quirófanos los datos fueron tomados de las lecturas del medidor interno del área de cirugía y se tomó como base el año 2022.

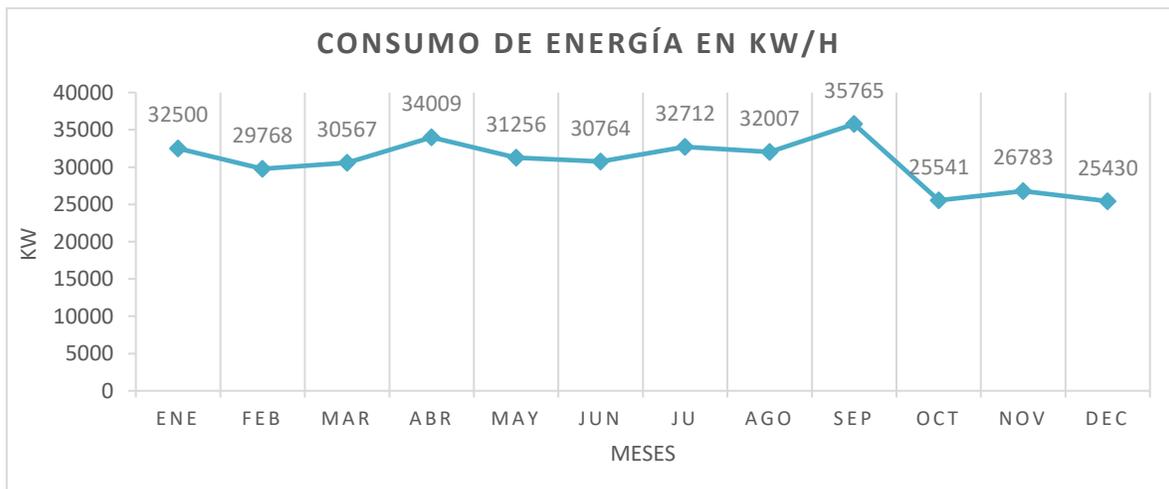


Figura 18. Consumo energético total salas de cirugía año 2022. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 18** se observa una disminución significativa en el tercer trimestre esto se debe a que durante este tiempo el nivel de producción bajó drásticamente, es decir hubo una disminución en las horas de las cirugías programadas, debido a factores del personal asistencial.

4.1.5.8 Indicadores de gestión

La Institución solo cuenta con medición de las órdenes de mantenimiento programadas versus órdenes ejecutadas, los resultados del año 2022 se muestran en la **Figura 19**.

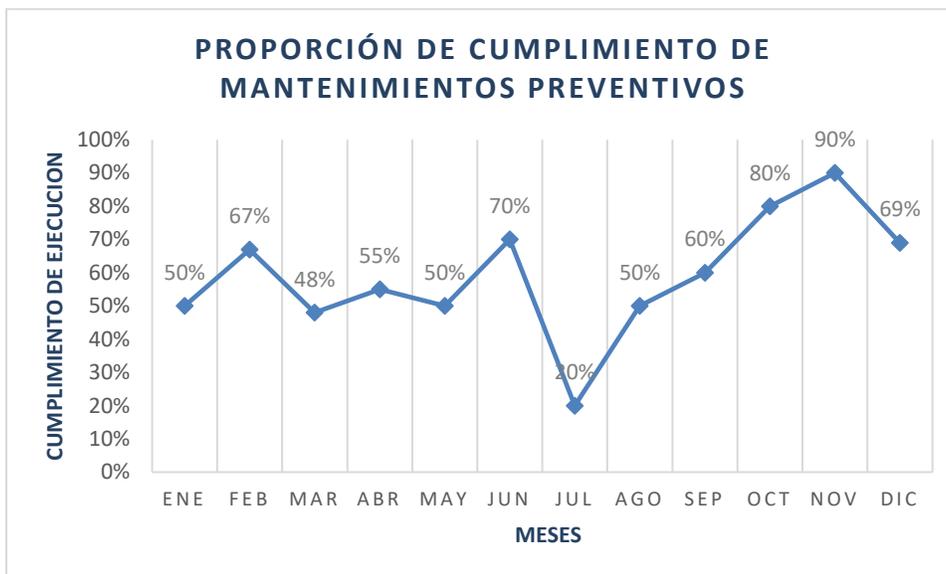


Figura 19. Resultados indicador proporción de cumplimiento mantenimientos preventivos año 2022. Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se puede observar un no cumplimiento favorable de las actividades con respecto a la meta la cual está establecida en 100%, los incumplimientos primordialmente se presentan por las siguientes razones:

- Personal técnico insuficiente.
- No disponibilidad del equipo

4.2 Estrategias propuestas

4.2.1 Análisis de criticidad

En la **Tabla 11**, Se pueden observar los fallos de las unidades manejadoras y los resultados obtenidos al aplicar el análisis de criticidad definido en la **Tabla 3**, los cuales los ubican en la tabla según su nivel de criticidad, en donde aquellos con resultados entre cero y cuatro puntos se encuentran en bajo nivel de criticidad, es decir no requieren intervenciones inmediatas. Aquellos con resultados entre cinco y diez puntos se encuentran en nivel medio de criticidad, lo cual indica que se requiere ajustar las actividades de mantenimiento y realizar inspecciones periódicas y por último aquellos con resultados mayores a diez puntos se ubican en un nivel alto de criticidad, los cuales requieren intervenciones inmediatas y acciones de mejora oportunas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 11. Ponderación por tipo de falla. Fuente: elaboración propia

Fallos detectados	Matriz
Falla del pulsador de arranque	1
Falla de alimentación tablero	15
Falla de fusible	3
Falla de motor	3
Ruptura de correa	6
Tensión de correa	3
Serpentín incrustado	6
Válvula cerrada	2
Filtro de 35% en mal estado	20
Filtro de 60% en mal estado	16
Filtro de 90% en mal estado	12
Filtro HEPA en mal estado	8
Motor no arranca	15
Rodamientos frenados (Motor)	6
Falla de impulsador (Tablero)	1
Bajo suministro de agua	4
Ventilador frenado	1
Humidificador saturado	1
Sensor de temperatura defectuoso	2
Sensor de presión defectuoso	2
Ducteria en mal estado	10
Puertas del quirófano abiertas	4
Sala con más de 7 personas	1
Causas desconocidas	4

4.2.1 Diseño formato de ficha técnica

La propuesta de ficha técnica detalla cada parte que conforma las unidades manejadoras y condensadoras, su función es ofrecer información general del equipo y permitir identificar las especificaciones de los componentes de este.

En los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 9 y el

Anexo 10 se presenta la propuesta de ficha técnica la cual incluye fotografía, función, datos técnicos de los componentes, entre otros aspectos importantes.

4.2.2. Elaboración de protocolos genéricos de mantenimiento

Con el fin de mitigar las falencias en las actividades realizadas correspondientes a los mantenimientos de los equipos de aire acondicionado, se realizó un listado de componentes claves de las unidades manejadoras el cual se puede observar en la **Tabla 12**. Componentes principales unidad manejadora. Fuente: Elaboración propia. **Tabla 12**, la cual fue realizada en base a la información técnica encontrada.

Tabla 12. Componentes principales unidad manejadora. Fuente: Elaboración propia.

1. Controlador de válvulas. eléctrico.	6. Gabinete porta filtros.	11. Tablero de control eléctrico.
2. Caja de contención.	7. Humidificadores.	12. Tablero de potencia.
3. Válvulas.	8. Juntas de dilatación elásticas.	13. Sensores.
4. Filtros de aire.	9. Motores.	14. Serpentín.
5. Filtros de sedimento	10. Trampa de aire	15. Ventiladores.

4.2.2.1 Inspecciones generales para unidades manejadoras

La primera fase consiste en realizar inspecciones generales de los equipos con el fin de mitigar fallas futuras, en la **Tabla 13** se describen actividades básicas de mantenimiento propuestas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 13. Actividades recomendadas por componente. Fuente: elaboración propia

Componente/actividad	Inspeccionar las condiciones ambientales	Inspeccionar externamente el equipo	Limpiar externamente	Limpiar Integralmente el equipo	Lubricación	Sustitución de elementos de desgaste	Ajustes	Pruebas funcionales
Controladores de válvulas	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Caja de contención	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Filtros de aire	✓	✓	✓	✓		✓		
Juntas elásticas de dilatación	✓	✓	✓		✓	✓		
Motores	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Tablero de control	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Tablero de fuerza	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Sensores	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Ventiladores	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
válvulas.		✓	✓		✓	✓		
Filtros de sedimento		✓				✓		
Gabinete porta filtros		✓	✓	✓	✓	✓		
Humidificadores		✓	✓	✓		✓		✓
Serpentín		✓	✓	✓		✓		

4.2.2.2 Mantenimiento por componentes

Según lo revisado en las normas internacionales, las asociaciones y en los manuales de los fabricantes, se realiza un listado de las actividades de mantenimiento preventivo periódico a realizar por componente del equipo las cuales se detallan a continuación.

La periodicidad se define en principal instancia por recomendaciones de fabricante y experiencia del técnico en refrigeración, una vez consolidado el proceso se propone realizar ajustes al plan basado en

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

los resultados obtenidos a mediano plazo y proponer estrategias predictivas que permitan establecer cambios de componentes antes de que ocurra el fallo.

Las siguientes son actividades planteadas por tipo de componente en la **Tabla 14** se encuentran relacionadas las indicaciones, en donde las actividades se verán reflejadas con una letra y la frecuencia con un número, en conclusión, la columna Labor-frecuencia hace relación a la actividad que se ejecutara al tipo de componente y su frecuencia establecida.

Tabla 14. Tabla labor-frecuencia. Fuente: elaboración propia

Labor	Frecuencia
E = Eléctrica	0=Diario.
M = Mecánica	1=Semanal
I = Instrumentación	2=Quincenal
R = Redes	4 =Mensual
P = Pintura	8=Bimensual
S = Software y Hardware	12=Trimestral
Z = Limpieza	24=Semestral
L = Lubricación	48=Anual

En la Tabla 15, Tabla 16,
 Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23,

Tabla 24, Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29 se encuentran las actividades a realizar por tipo de componente las cuales incluyen la labor y la frecuencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 15.Actividades y frecuencias motor. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -Frecuencia
Revisar las condiciones ambientales	I4
Revisar externamente impactos físicos	M4
Revisar externamente corrosión	M4
Lubricar	L4
Cambiar Piezas desgastadas	M4
Revisar externamente la lubricación	L4
Revisar externamente el sobrecalentamiento	I4
Revisar externamente los conectores de alimentación	E4
Revisar externamente los contactores	E4
Revisar los soportes anti vibrantes	M4
Revisar internamente los impactos físicos	M24
Revisar internamente todos los accesorios	ME24
Revisar internamente la corrosión de carcasa	M24
Revisar internamente la lubricación	L24
Revisar internamente las piezas desgastadas	M24
Revisar internamente el sobrecalentamiento	I24
Revisar internamente los conectores de alimentación	E24
Revisar el estado de los cojinetes	M24
Limpiar el exterior	Z24
Limpiar el interior	Z24
Ajustar pernos	M24
Ajustar tornillos	M24
Ajustar la tensión de las correas	M4
inspeccionar el estado de conectores eléctricos	M4
inspeccionar el estado de contactores térmicos	E4

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

inspeccionar el estado de contactores eléctricos	E4
inspeccionar el estado de contactores térmicos	E4
Medir y registrar resistencia de bobina	E4
Medir y registrar resistencia de aislamiento	E4
Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento	ME4

Tabla 16. Actividades y frecuencias ventilador. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Revisar las condiciones ambientales	I4
Revisar externamente impactos físicos	M4
Revisar externamente corrosión	M4
Lubricar	L4
Cambiar Piezas desgastadas	M4
Revisar externamente lubricación	L4
Revisar externamente sobrecalentamiento	I4
Revisar externamente los conectores de alimentación	E4
Revisar internamente los impactos físicos	M24
Revisar internamente todos los accesorios	ME24
Revisar el rodete	M24
Revisar la base	M24
Revisar internamente las piezas desgastadas	M24
Revisar internamente el sobrecalentamiento	I24
Revisar internamente los conectores de alimentación	E24
Revisar la chumacera	M24
Lubricar los rodamientos	L24
Limpiar el interior	Z24
Ajustar pernos	M24
Ajustar tornillos	M24
Ajustar la tensión de las correas	M24
inspeccionar el estado de conectores eléctricos	E24
inspeccionar el estado de contactores térmicos	E24
inspeccionar el estado de contactores eléctricos	E24
inspeccionar el estado de contactores térmicos	E24
Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento	ME24

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 17. Actividades y frecuencia filtros. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Revisar el armazón	M24
Revisar los paneles	M24
Inspeccionar las puertas	M24
Inspeccionar las bisagras	M24
Revisar la pintura	P24
Revisar los sellos	M24
Apretar tornillos	M24

Tabla 18. Actividades y frecuencias caja de contención. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Revisar el armazón	M24
Revisar los paneles	M24
Inspeccionar las puertas	M24
Inspeccionar las bisagras	M24
Revisar la pintura	P24
Revisar los sellos	M24
Apretar tornillos	M24

Tabla 19. Actividades y frecuencias gabinete porta filtros. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar el gabinete principal	M24
Revisar las puertas	M24
Inspeccionar las bisagras	M24
Revisar los burletes	M24

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Limpiar el interior	Z24
Limpiar el exterior	Z24
Apretar tornillos y pernos	M24

Tabla 20. Actividades y frecuencias filtros de sedimentos. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Limpiar el interior	Z24
Limpiar el exterior	Z24
Sustituir de rejilla	M48
Revisar el Estado de los hilos	M48

Tabla 21. Actividades y frecuencias caja de válvulas. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar visualmente	M24
Inspeccionar la unión americana	M24
Limpiar el exterior	M24
Limpiar el interior	Z24
Limpiar el Drenaje de agua	Z4

Tabla 22. Actividades y frecuencias válvulas. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar visualmente	M4
Regular el tope y apertura	M4
Limpiar el exterior	Z4
Limpiar el interior	Z4
Lubricar los tornillos	L24
Medir resistencia y voltaje	E4

Tabla 23. Actividades y frecuencias humidificador. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar el gabinete	ME4
Inspeccionar los elementos internos y conexiones	ME4
Inspeccionar la válvula	M4

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Limpiar el interior	Z4
Ajustar tornillos, bornes y pernos	M24
Medir la resistencia	E4

Tabla 24. Actividades y frecuencias serpentín. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar externamente	M4
Inspeccionar elementos internos y conexiones	ME4
Limpiar y desincrustar	ZM48
Sustitución de elementos deteriorados	M4

Tabla 25. Actividades y frecuencias juntas elásticas. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar la corrosión	M24
Inspeccionar los elementos internos y conexiones	ME24
Inspeccionar las filtraciones	M24
Limpiar el interior	Z24
Limpiar el exterior	Z24
Sustituir elementos deteriorados	M24

Tabla 26. Actividades y frecuencias purgador. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Ajustar la tornillería	M24
inspeccionar elementos internos y conexiones	ME24
Inspeccionar la Válvula	M24
Limpiar el interior	Z24
Limpiar el exterior	Z24
Sustituir elementos deteriorados	M24

Tabla 27. Actividades y frecuencias sensores. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Limpiar el Sensor	Z24
Limpiar el exterior	Z24
Sustituir elementos deteriorados	M24

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 28. Actividades y frecuencias tableros. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Inspeccionar corrosión	M24
Inspeccionar piezas flojas	M24
Inspeccionar internamente los conectores	E24
Inspeccionar el sobrecalentamiento	I24
Limpiar los relees	E24
Ajustar tornillos, bornes y terminales	ME24
Medir la resistencia de aislamiento de interruptores	E24
Medir la resistencia de contactos	E24
Medir voltajes, corrientes, temperaturas y resistencias de puesta a tierra	E24
Comprobar estado de los elementos de seguridad	ME24
Verificar la hermeticidad del tablero	E24
Verificar estado de las señales de peligro	E24

Tabla 29. Actividades y frecuencia condensadora. Fuente: elaboración propia

Actividad	Labor -frecuencia
Verificar las condiciones eléctricas	E4
Verificar el sistema de control	E4
Verificar el nivel de aceite del compresor	M4
Verificar las condiciones de aislamiento	M4
Verificar el nivel de refrigerante	M4
Verificar que no haya sobrecalentamiento	I4

4.2.2.3 Inspecciones diarias

Se agrupan actividades principales las cuales se deberán realizar diariamente con el fin de detectar cualquier anomalía que pueda frenar la prestación del servicio, para esto se propone realizar las actividades mencionadas en la **Tabla 30**, la cual figurará como un formato de diligenciamiento diario bajo la responsabilidad del personal técnico encargado del equipo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 30. Formato de inspección diaria. Fuente: Elaboración diaria

Inspección Diaria																															
Durante la rutina de inspección diaria, realice los ajustes necesarios, realizar observaciones para programar actividades pendientes siempre y cuando den espera al próximo mantenimiento.																		<input checked="" type="checkbox"/> Atendida <input type="checkbox"/> Pendiente													
Actividades a realizar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Verificación de conexiones eléctricas externas																															
Verificación de corriente del motor																															
Verificación de válvulas																															
Verificación de fusibles de apertura																															
Verificación de ruidos anormales																															
Verificar alineación de poleas y estado de las correas																															
Verificar estado de estructura de protección (deformaciones, fisura, sujeciones)																															
DÍA	OBSERVACIONES DE INSPECCIONES																														

4.2.3 Personal técnico requerido

El número de personal técnico requerido se define con respecto a las actividades y al tiempo de ejecución de cada una de estas, en el anexo 11 se puede observar el tiempo de ejecución medido por actividad, esta medición se realizó según el tiempo que demora en ejecutar las actividades el técnico en refrigeración.

Con el fin de contar con un personal idóneo para realizar las actividades propuestas se sugieren los siguientes perfiles para el personal técnico operativo.

- **Técnico en refrigeración:** personal mínimo con un año de experiencia en sistemas de refrigeración, preferiblemente en instituciones de salud, será la persona encargada de mantener y velar por que todas las condiciones en los equipos sean las óptimas tales como: la temperatura, humedad y presión, adicionalmente deberá mantener los serpentines. Humidificadores, filtros y caja de contención en excelente estado.
- **Tecnólogo electromecánico:** personal mínimo con un año de experiencia, que cuente con cursos en sistemas de refrigeración, preferiblemente en instituciones de salud, será la persona encargada de mantener todos los sistemas eléctricos y mecánicos de los equipos, tales como: válvulas, motores, ventiladores, tableros de control y potencia.

Teniendo en cuenta que para realizar las actividades propuestas se requiere un numero especifico de horas para cumplimiento de las actividades, estas se expresan en la **Tabla 31**, según los resultados obtenidos se requiere mínimamente dos personas con los perfiles mencionados anteriormente, teniendo en cuenta que estas personas solo estarían dedicadas a los equipos de cirugía, ya que para el cumplimiento de las actividades propuestas es importante complementar y contar con un apoyo y vigía en temas de inspecciones en alturas e inspecciones eléctricas, pues los equipos se encuentran ubicado en alturas, al igual que los filtros Hepa y las rejillas de aire acondicionado de los quirófanos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 31. Horas empleadas en las actividades de mantenimiento. Fuente: elaboración propia

Periodicidad	Horas/equipo	Horas totales
Diario	0.25	2
Mensual	6,3	50,3
Semestral	13,6	108,9
Anual	16,2	129,1

En el **Anexo 11** y **Anexo 12** se encuentran los cálculos de las semanas requeridas para el cumplimiento de las actividades, el cual se realizó en base al backlog (tiempo que se requiere para culminar las ordenes de mantenimiento) y el número total de semanas se expresa en la **Tabla 32**.

Tabla 32. Semanas requeridas para ejecución de actividades de mantenimiento. Fuente: elaboración propia

Actividades	No. semanas
Mensuales	1,4
Semestrales	2,7
Anuales	3.1

Se realizó un cálculo de los costos asociados que implica contratar el personal internamente o mediante un contrato de mantenimiento externo y se tienen los siguientes resultados representados en la **Tabla 33**.

Tabla 33. Costos de personal en pesos colombianos. Fuente: elaboración propia

Personal	Interno (mensual)	Externo contrato (mensual)
Tecnólogo	2.294.849,00	
Técnico	2.882.270,00	4.879.500,00
Horas extras y recargos	2.520.740,00	
Total, Sin horas extras	5.177.119,00	4.879.500,00

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

En la **Tabla 33**, se obtiene como resultado un costo más económico en contratación de personal externo, teniendo en cuenta que contar con un contrato de mantenimiento, se contara con disponibilidad del personal 24/7 sin costos adicionales, siempre y cuando las horas de mantenimiento correctivo no supere las 30 horas mensuales, tener el personal contratado directamente por la clínica implica costos de horas extras, reemplazo de vacaciones,, incapacidades, calamidades, entre otras, por lo tanto se deberán evaluar todos los costos asociados para la toma de la decisión más conveniente.

4.2.4 Hoja de servicio

La hoja de servicio se realizó con el fin de evitar que alguna de las actividades propuestas sea omitida por desconocimiento, la orden de servicio se realizó en base a la experiencia del personal, fichas catálogos y manuales del fabricante, en este documento se encuentran las recomendaciones de seguridad generales, actividades a realizar, periodicidad y duración. En los

Anexo 13, **Anexo 14** y **Anexo 15** se encuentran las horas de servicio propuestas para ejecución de actividades de las unidades manejadoras y las condensadoras.

4.2.5 Ruta de trabajo

Según la necesidad que surja en el momento ya sea una atención a un fallo o una programación de mantenimiento preventivo, se creó un diagrama de flujo de los pasos a seguir según la orden de trabajo establecida, la cual es representada gráficamente en la **Figura 20**.

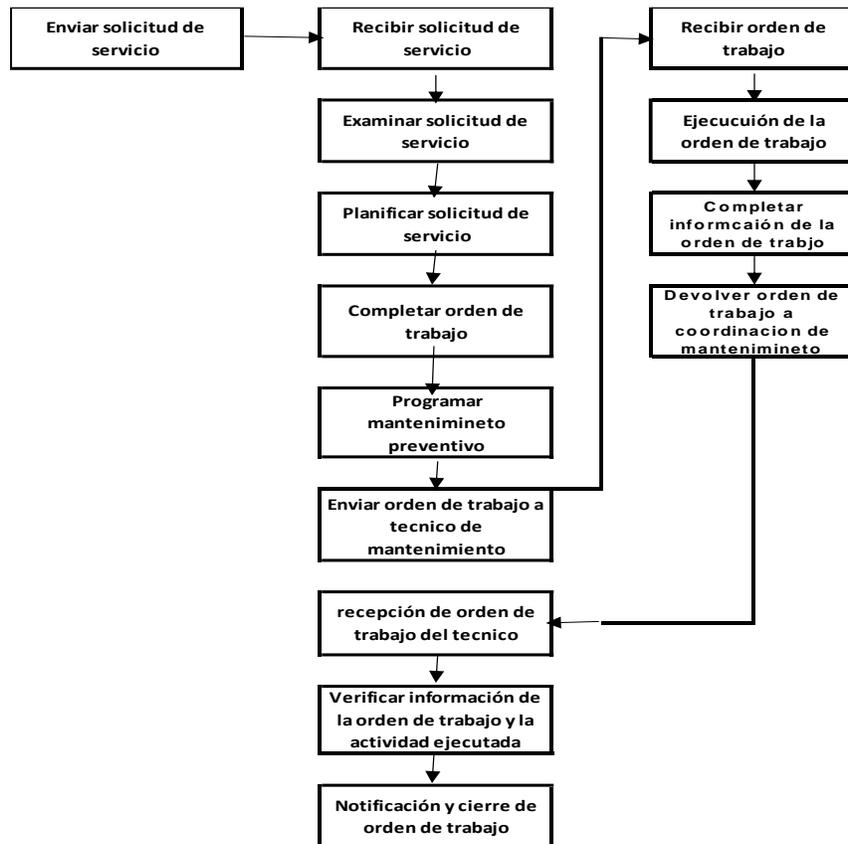


Figura 20. Ruta de trabajo. Fuente: Elaboración propia

4.2.7 Cronograma de actividades

Se realizó propuesta de un cronograma de actividades donde se especifican las fechas y los horarios más adecuados para la realización de las actividades de mantenimiento.

Para la elaboración se tuvo en cuenta horarios diurnos y nocturnos con el fin de no afectar la prestación del servicio, se programó con una jornada laboral de 5 días a la semana y nueve horas y media diarias.

Se alimentó el formato con los datos del equipo, la programación la cual contiene la fecha sugerida y horario y para finalizar se tiene la ejecución la cual se diligencia una vez realizada la actividad, con el fin de realizar una programación acertada y pactada con el servicio de cirugía se sugiere realizar esta de manera mensual, en la **Tabla 34** se muestra un ejemplo del diligenciamiento de este.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 34. Plantilla de mantenimiento programación preventivo. Fuente: elaboración propia

INSTALACIÓN/UNIDAD MANEJADORA	Datos equipo		Programación		Ejecución		
	Marca	Modelo	Ubicación	Fecha programada	Tiempo estimado (horas)	Fecha ejecutada	Horario ejecución
YORK BY JOHNSON CONTROL	YSM-25M0909HHL	QUIROFANO 1	1/06/2023	7			
YORK BY JOHNSON CONTROL	YSM-25M0707HHL	QUIROFANO 2	6/06/2023	7			
YORK BY JOHNSON CONTROL	YSM-25M0707HHL	QUIROFANO 3	8/06/2023	7			
YORK BY JOHNSON CONTROL	YSM-25M0707HHL	QUIROFANO 4	13/06/2023	7			
TROX TECHNIK	TKZ-25	QUIROFANO 5	15/06/2023	7			
TROX TECHNIK	TKZ-19	QUIROFANO 6	16/06/2023	7			
TROX TECHNIK	TKZ-25	QUIROFANO 7	20/06/2023	7			
TROX TECHNIK	TKZ-25	QUIROFANO 8	22/06/2023	7			

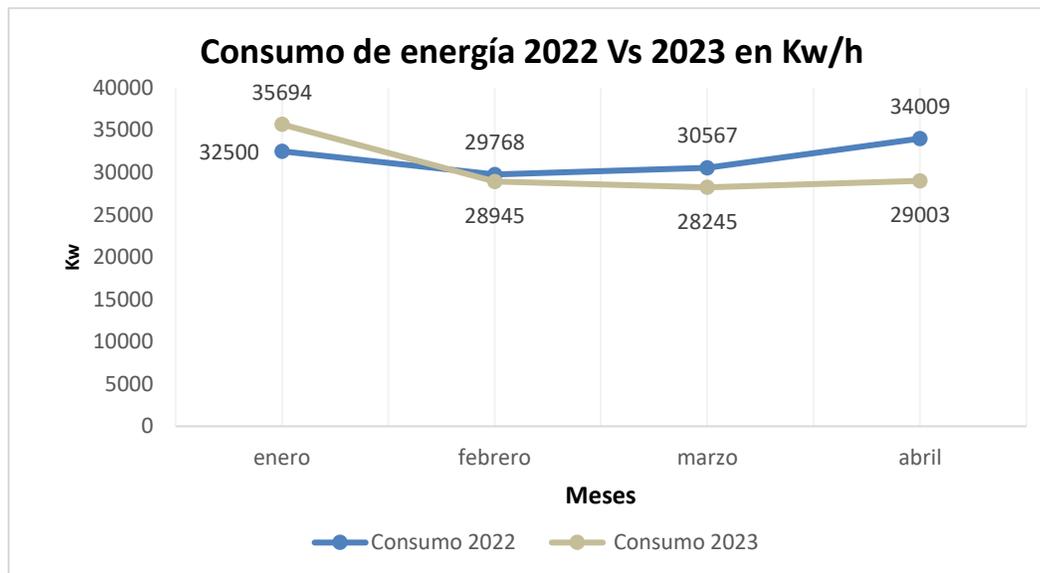
4.2.8 Estrategias para disminución del gasto energético

Según las consultas realizadas en la bibliografía una de las estrategias óptimas para la disminución del consumo energético es el mantenimiento, lavado y cambio periódico de los filtros ya que si el filtro se encuentra muy saturado y ha superado del nivel de suciedad el consumo del ventilador aumenta de forma considerable ya que debe compensar las pérdidas de presión.

Por lo anterior se estableció una prueba piloto desde enero del 2023, la cual consistió en realizar lavado de los filtros del 65% y HEPA de manera mensual, actividad que no se venía realizando y su lavado se realizaba de forma semestral, adicional se realizó cambio de los filtros del 35% los cuales no se cambiaban desde hacía 3.5 años, durante los meses de febrero, marzo y abril 2023 se realizó la rutina de lavado y durante el mes de marzo cambio de los mencionados anteriormente.

En la Figura 24 se observa una disminución en el consumo mensual, teniendo en cuenta que los quirófanos trabajaron bajo las mismas condiciones de uso y horarios establecidos, la disminución con respecto al año anterior se dio en un 2.8% en el mes de febrero, 7.6% en el mes de marzo y un 14% en el mes de abril, este resultado es absolutamente preliminar, según los datos parece confirmar la hipótesis anteriormente expresada, por lo que se requiere realizar un seguimiento a mediano plazo el cual se sale del alcance de la presente monografía.

Figura 21.comparativo de consumo energético Fuente: elaboración propia



4.2.9 Programa de capacitaciones

En base a las recomendaciones realizadas por las asociaciones internacionales y especialmente ASHRAE se sugiere realizar el siguiente programa de capacitación el cual será aplicado ya sea si el personal es interno o exigido si se tuviese un contratista externo.

Tabla 35.Programa de capacitaciones. Fuente: (ASHRAE, 2019).

Temas	Intensidad horaria/año
Fundamentos de refrigeración	3
Refrigeración eficiente, operación, mantenimiento y servicio	8
Consumo energético de los sistemas HVAC	4
Cálculos térmicos	3
Sistemas de control	3
Herramientas de medición y detección de fallos tempranos	6

4.3 Elaboración de indicadores de gestión

La selección de los KPI's se definió proponiendo los indicadores más relevantes, los cuales fueran claves en el proceso y en la toma de decisiones, adicionalmente se estableció un conjunto de metas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

para cada KPI, teniendo en cuenta una meta alcanzable la cual debe ser revisada frecuentemente, ya que estas se escogieron como el punto de partida.

Tabla 36. KPI disponibilidad. Fuente: elaboración propia

Elemento	Descripción
Nombre KPI	Disponibilidad
Responsable	Coordinador de mantenimiento
Formula	$\frac{\text{Horas totales} - \text{horas de parada}}{\text{horas totales}} \times 100$
Alcance	Quirófanos / equipos de aire acondicionado
Frecuencia	Mensual
Fuente	Ordenes de trabajo e historial del equipo
Meta	90%

Tabla 37. KPI Tiempo medio entre fallos MTBF. Fuente: elaboración propia

Elemento	Descripción
Nombre KPI	MTBF
Responsable	Coordinador de mantenimiento
Formula	$\frac{\text{tiempo total disponible} - \text{tiempo de inactividad}}{\text{numero de paradas}}$
Alcance	Quirófanos / equipos de aire acondicionado
Frecuencia	Mensual
Fuente	Ordenes de trabajo e historial del equipo
Meta	500 horas

Tabla 38. KPI Porcentaje de mantenimiento preventivo. Fuente: elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Elemento	Descripción
Nombre KPI	Tasa de realización de mantenimiento preventivo
Responsable	Coordinador de mantenimiento
Formula	$\frac{\text{numero de actividades realizadas}}{\text{numer de actividades planificadas}} \times 100$
Alcance	Quirófanos / equipos de aire acondicionado
Frecuencia	Mensual
Fuente	Ordenes de trabajo e historial del equipo
Meta	90%

Tabla 39. KPI tiempo medio de reparación. Fuente: elaboración propia

Elemento	Descripción
Nombre KPI	Tiempo medio de reparación
Responsable	Coordinador de mantenimiento
Formula	$\frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{numero de reparaciones}}$
Alcance	Quirófanos / equipos de aire acondicionado
Frecuencia	Mensual
Fuente	Ordenes de trabajo e historial del equipo
Meta	1 hora

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 40. KPI Tasa de realización de mantenimiento correctivo. Fuente: elaboración propia

Elemento	Descripción
Nombre KPI	Tasa de realización de mantenimiento correctivo
Responsable	Coordinador de mantenimiento
Formula	$\frac{\text{Horas dedicadas al mantenimiento correctivo}}{\text{Horas dedicadas al mantenimiento}} \times 100$
Alcance	Quirófanos / equipos de aire acondicionado
Frecuencia	Mensual
Fuente	Ordenes de trabajo e historial del equipo
Meta	20%

Estos indicadores de manera objetiva y cuantitativa permitirán valorar diferentes aspectos y pueden servir para identificar la situación actual, tomar decisiones y generar planes de mejoramiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

- Esta monografía permite llevar a cabo un diagnóstico de los procedimientos y actividades de mantenimiento, conocer las falencias del área de climatización en las salas de cirugía y concluir que la falta de personal idóneo, la no gestión oportuna de disponibilidad de los equipos y la falta de planeación, son sin duda unas de las causas más importantes que afectan el funcionamiento de los equipos e incrementan el gasto energético, donde un cambio de filtros en el tiempo no oportuno puede aumentar considerablemente el consumo de energía en las unidades manejadoras. Igualmente, se pudo conocer que no existe una medición acertada en cuanto a la ejecución y control de las actividades de mantenimiento. Posteriormente, con la información y datos recopilados se diseñó un programa de mantenimiento preventivo en base a los recursos con los que actualmente se cuenta en el área, con el fin de mitigar los impactos negativos y disminuir a mediano plazo el consumo energético. Finalmente, con la creación de indicadores se busca mejorar y tomar decisiones que permitan tener unos equipos más eficientes y disponibles.
- Recopilar la información del funcionamiento y operación de los equipos permite crear estrategias más acordes a las que se tenían anteriormente. Adicionalmente la unión de estas actividades con las normativas y recomendaciones internacionales, permiten proponer unas actividades más acordes al funcionamiento de los equipos, teniendo equipos aptos para el uso y con probabilidades de disminuciones en los tiempos de paro. Finalmente mantener actualizadas las fichas técnicas permiten a los operarios técnicos conocer las características de los equipos antes de intervenirlos.
- La elaboración de KPI's permite conocer en tiempo real si las actividades de mantenimiento están siendo efectivas o si por el contrario se requiere una revisión de estas, con el fin de realizar los ajustes oportunos. El no contar con indicadores no permite conocer a fondo las falencias presentadas en años anteriores por lo que la elaboración y alimentación de los indicadores de disponibilidad, MTFB, tiempo medio de reparación y porcentaje de correctivos facilitan a los encargados de mantenimiento saber cómo se encuentra su desempeño y permite tomar decisiones.
- El levantamiento de la información técnica de los equipos y su respectiva revisión permite realizar análisis más profundos que conlleven a la jerarquización de los equipos de acuerdo con su función y su importancia en una institución de salud, además permite concluir que es de suma importancia contar con un plan de mantenimiento estructurado, que permita generar una programación acorde para evitar tiempos de paro, que frenen la prestación de servicio y mejoren la seguridad del paciente. Documentos tales como: Ficha técnica, protocolos de mantenimiento por componente, hoja de servicio, ruta de trabajo, cronograma de actividades y programa de capacitaciones permiten desarrollar una oportuna planificación del mantenimiento, de esta manera lograr la mejor asignación de los recursos necesarios.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Recomendaciones

- Implementar los documentos y formatos descritos en la monografía.
- Se propone realizar las actividades de mantenimiento en horario nocturno en aquellos equipos que no se encuentren programados para operar en las noches y que la disponibilidad en horario laboral sea nula.
- Se recomienda coordinar con el área de programación cirugía, los días en los que la programación no se encuentre en el 100% es decir que no estén programados los ocho quirófanos para ser utilizados a la vez, pues estos espacios de tiempo pueden ser utilizados para la ejecución de las actividades preventivas y así reducir los recargos nocturnos y horas extras en los operarios técnicos de los equipos.
- Se recomienda contar con el personal suficiente para ejecución de las actividades, es decir dos personas disponibles (técnico en refrigeración y tecnólogo electromecánico) para las actividades rutinarias diariamente, ejecución de las actividades propuestas de mantenimiento preventivo y correctivos cuando se requieran, por lo que se propone contratar el mantenimiento externamente y evitar sobrecostos en tiempos de horas extras y recargos e inclusive si se generan novedades como incapacidades, calamidades entre otras, la empresa externa cubriría dichas novedades sin costo adicional, adicional en los meses que se requiera realizar las actividades semestrales y anuales las cuales demandan mayor cantidad de horas hombre, esto afectaría la ejecución de las actividades de mantenimiento de los demás equipos de la institución, los cuales no se encuentran contemplados en esta monografía. Finalmente es recomendable contar con personal experto en refrigeración con experiencia en instituciones de salud.

Trabajos Futuros

- Realizar un estudio de validación de calidad de aire en los quirófanos que permita identificar el cumplimiento de los requisitos de instalación y verificar que los parámetros se encuentren dentro de los rangos establecidos.
- A mediano plazo realizar una revisión del plan con el fin de optimizarlo según los resultados encontrados y poder aplicar y sugerir propuestas de mantenimiento predictivo que permitan una mejora a los procesos.
- Aplicar análisis de RCM a los equipos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- Absar Alam, Md., Kumar, R., Yadav, A. S., Arya, R. K., & Singh, V. P. (2023). Recent developments trends in HVAC (heating, ventilation, and air-conditioning) systems: A comprehensive review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.357>
- ACAIRE. (2013). Guia Acaire de acondicionamiento de aire para establecimientos hospitalarios y similares. www.acaire.org
- Airson Ingenieros. (2022). ¿Qué es un-Chiller? Funcionamiento y Mantenimiento.
- Alghanmi, A., Yunusa-Kaltungo, A., & Edwards, R. E. (2022). Investigating the influence of maintenance strategies on building energy performance: A systematic literature review. *Energy Reports*, 8, 14673-14698. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.441>
- ASHRAE. (2019). 9.2 Manual ASHRAE 2019- Aplicaciones HVAC Tabla 1 Muestra de ASHRAE Estándar 170 parámetros de diseño Presión Mínimo Exterior dolor* Aire de toda la habitación. www.healthdesign.com.au/haad.hfg/
- Au-Yong, C. P., Azmi, N. F., & Myeda, N. E. (2022). Promoting employee participation in operation and maintenance of green office building by adopting the total productive maintenance (TPM) concept. *Journal of Cleaner Production*, 352, 131608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131608>
- Baldi, S., Zhang, F., Le Quang, T., Endel, P., & Holub, O. (2019). Passive versus active learning in operation and adaptive maintenance of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. *Applied Energy*, 252, 113478. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113478>
- La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial, (2014).
- Bragagnolo, S. N., Schierloh, R. M., Vega, J. R., & Vaschetti, J. C. (2022). Demand response strategy applied to planning the operation of an air conditioning system. Application to a medical center. *Journal of Building Engineering*, 57, 104927. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104927>
- Cengel Y & Boles M. (2012). *Termodinámica*. 7ma ed (McGraw – Hill, Ed.).
- Chen, L., Cheng, C., Dui, H., & Xing, L. (2022). Maintenance cost-based importance analysis under different maintenance strategies. *Reliability Engineering and System Safety*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108435>
- Cristiansen Bryan. (2019). Lista completa de técnicas de monitoreo de condiciones. MRORevista.
- de Lima Munguba, C. F., de Novaes Pires Leite, G., Ochoa, A. A. V., & Lopez Droguett, E. (2023). Condition-based maintenance with reinforcement learning for refrigeration systems with selected monitored features. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 122, 106067. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106067>
- Diaz V. (2011). *condicionamiento térmico de edificios: eficiencia y uso racional de la energía* (2.^a ed.). Nobuko.
- Dossat, R. J. (2010). *Sistemas de refrigeracion*.
- Fotovatfard, A., & Heravi, G. (2021). Identifying key performance indicators for healthcare facilities maintenance. *Journal of Building Engineering*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102838>
- Gabbar, H. A., Yamashita, H., Suzuki, K., & Shimada, Y. (2003). Computer-aided RCM-based plant maintenance management system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(5), 449-458. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(03\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(03)00031-0)
- García S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (Ediciones Diaz, Ed.).
- García-Sanz-Calcedo, J., & Gómez-Chaparro, M. (2017). Quantitative analysis of the impact of maintenance management on the energy consumption of a hospital in Extremadura (Spain). *Sustainable Cities and Society*, 30, 217-222. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2017.01.019>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

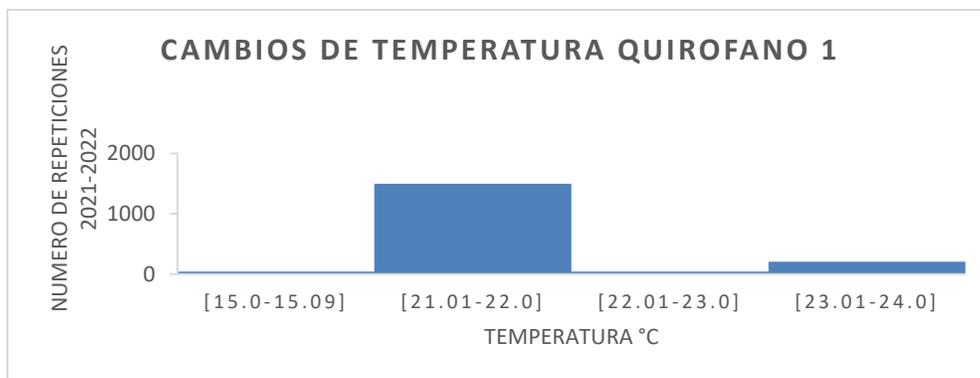
- Guo, Y., Tan, Z., Chen, H., Li, G., Wang, J., Huang, R., Liu, J., & Ahmad, T. (2018). Deep learning-based fault diagnosis of variable refrigerant flow air-conditioning system for building energy saving. *Applied Energy*, 225, 732-745. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.075>
- Harley, F., Peña, G., Javier, N., & Mora, E. (2017). *Mantenimiento gestion hospitalaria*.
- Herbert W. (2016). *HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamentals, Application, and Operation* (2.^a ed., Vol. 1). CRC Press.
- ISO 14664-1, Pub. L. No. 14664-1 (2015).
- José Alarcón Creus. (2005). *Tratado práctico de refrigeración automática* (12.^a ed.). Marcombo.
- Juan Manuel Franco. (2013). *Prácticas de refrigeración y aire acondicionado*.
- Kamal, Z., Taghaddos, H., & Metvaei, S. (2022). BIM-based repair and maintenance for hospital work order management. *Automation in Construction*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104546>
- Kumar, R., Narra, B., Kela, R., & Singh, S. (2022). AFMT: Maintaining the safety-security of industrial control systems. *Computers in Industry*, 136, 103584. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103584>
- Li, G., & Zheng, X. (2016). Thermal energy storage system integration forms for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 736-757. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.076>
- Ministerio de salud. (s. f.). Resolución 4445 de 1996.
- Ministerio de salud y proteccion social. (1993). Ley 100 de 1993.
- Ministerio de salud y Protección Social. (1994). Decreto 1769 de 1994.
- Ministerio de salud y proteccion social. (1996). Resolución 4445 de 1996.
- Mishra, R. P., Gupta, G., & Sharma, A. (2021). Development of a Model for Total Productive Maintenance Barriers to Enhance the Life Cycle of Productive Equipment. *Procedia CIRP*, 98, 241-246. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.037>
- Mittal, K., Wilson, J. P., Baillie, B. P., Gupta, S., Bollas, G. M., & Luh, P. B. (2017). Supervisory Control for Resilient Chiller Plants Under Condenser Fouling. *IEEE Access*, 5, 14028-14046. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2726017>
- Mora L. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Moubray John. (1997). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (2da ed.).
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *Internamentetional Journal of Production Economics*, 131(1), 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Mwanza, Bupe. G., & Mbohwa, C. (2015). Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company. *Procedia Manufacturing*, 4, 461-470. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.063>
- Pardo Martínez, C. I., & Cotte Poveda, A. (2022). Challenges and opportunities in the management of refrigeration and air conditioning systems to reduce environmental impacts in the Colombian health sector. *Internamentetional Journal of Refrigeration*, 141, 54-65. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2022.06.002>
- Qian, H., & Zheng, X. (2018). Ventilation control for airborne transmission of human exhaled bio-aerosols in buildings. En *Journal of Thoracic Disease* (Vol. 10, pp. S2295-S2304). AME Publishing Company. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.01.24>
- Reyes D. (2009). *Plan de mejoramiento de la gestión de mantenimiento en empresas manufactureras proveedoras de la industria petrolera [Magister Scientiarum en Gerencia de Mantenimiento.]*. Ilustre Universidad de Zulia.
- Samuel Aragon, Monica Rico, & Maria Dolores Gonzales. (2020). *Sistemas de filtracion*. En *Enfermería del quirofano*. Editorial Elearning.
- Takakusagi, A. (2021). Theoretical study evaluating renewal of an air-conditioning system. *Journal of Building Engineering*, 44, 102876. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102876>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

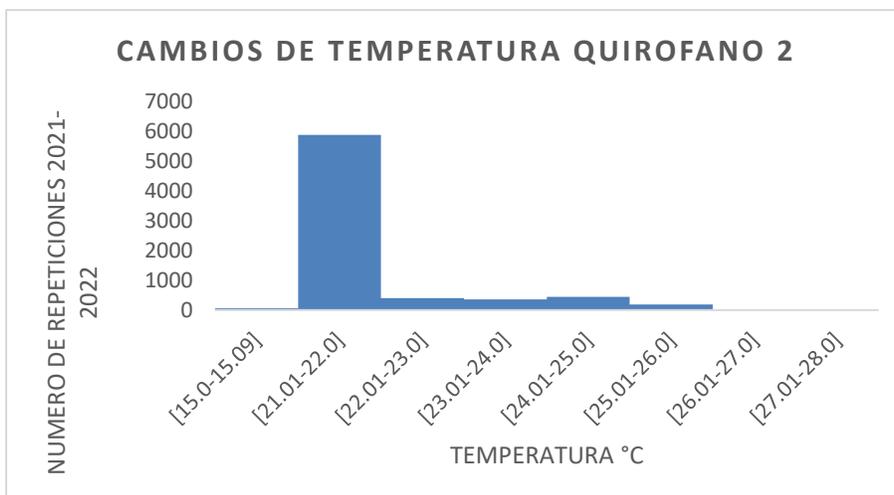
Wu, Y., Maravelias, C. T., Wenzel, M. J., ElBsat, M. N., & Turney, R. T. (2021). Predictive maintenance scheduling optimization of building heating, ventilation, and air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 231, 110487. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110487>

ANEXOS

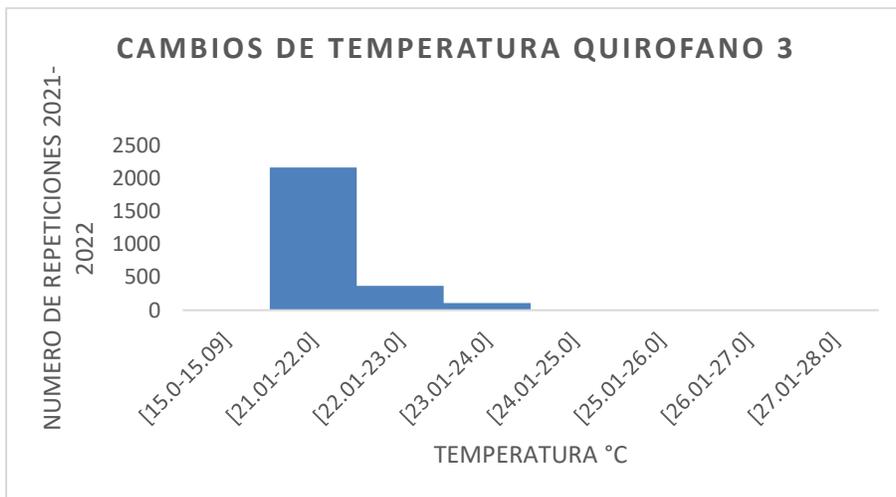
Anexo 1. Tabla de frecuencias de temperatura del Quirófano 1. Fuente: elaboración propia



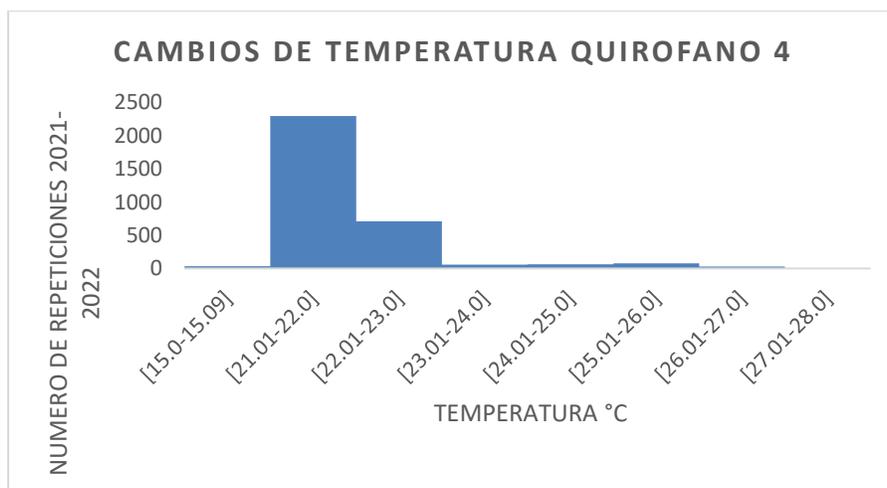
Anexo 2. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 2. Fuente: elaboración propia



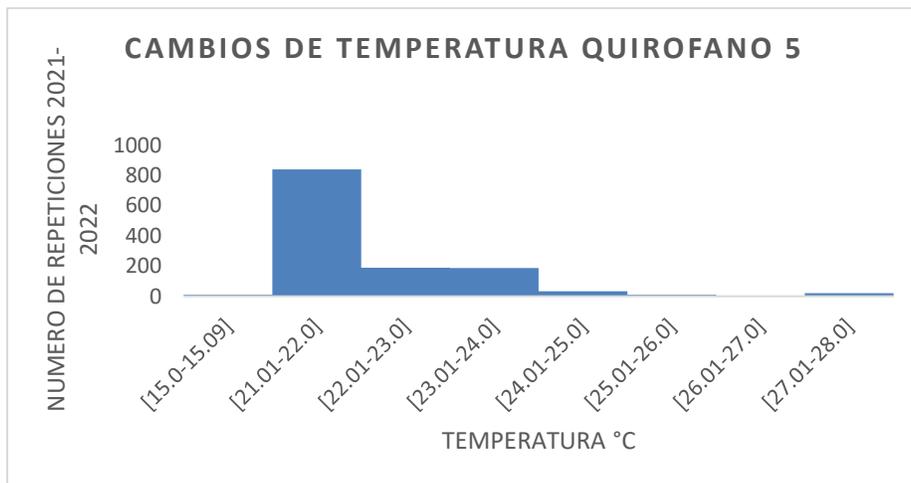
Anexo 3. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 3. Fuente: elaboración propia



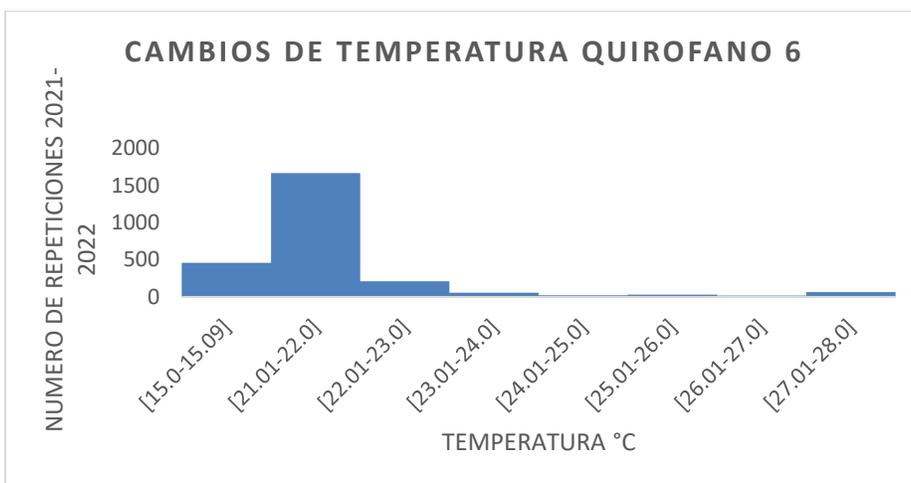
Anexo 4. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 4. Fuente: elaboración propia



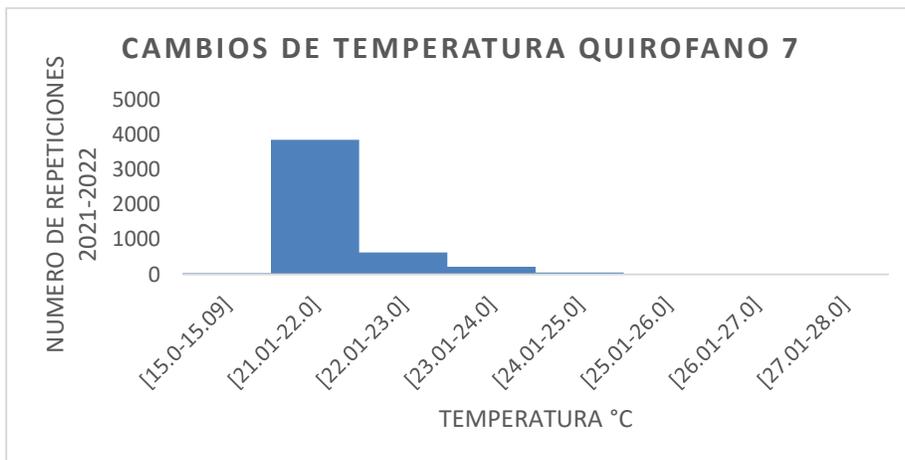
Anexo 5. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 5. Fuente: elaboración propia



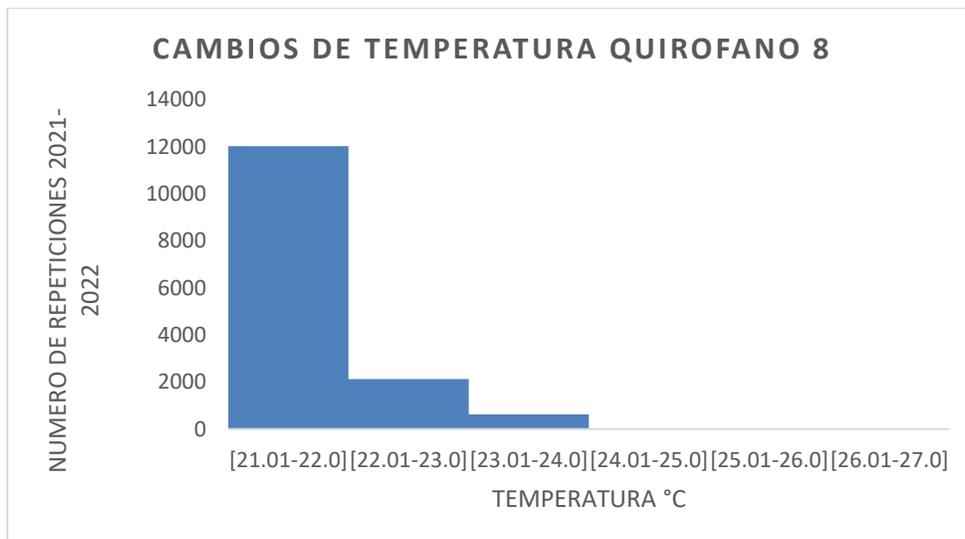
Anexo 6. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 6. Fuente: elaboración propia



Anexo 7. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 7. Fuente: elaboración propia



Anexo 8. Tabla de frecuencia de temperatura del Quirófano 8. Fuente: elaboración propia



 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 9. Ficha técnica unidades manejadoras. Fuente: elaboración propia

HOJA DE VIDA EQUIPO				
1.DATOS DE LA INSTITUCIÓN				
Nombre Institución:				
Ubicación de la Institución:				
Nivel de Complejidad:				
Fecha Creación hoja de vida:				
N.º Mantenimiento Preventivo/Año:				
2.DATOS GENERALES DEL EQUIPO MÉDICO				
Nombre del equipo:		Número de Serie:		
Número de Inventario:		Modelo:		Ubicación del Equipo:
Sector:		Marca:		Garantía:
Fecha compra:		Fecha Instalación:		Costo Equipo:
Manual Técnico: Si No		Manual Usuario: Si No		
Responsable del Equipo:				
Descripción del Equipo y la función que cumple: Una unidad de tratamiento de aires la composición de módulos configurables con forma de cajas accesibles cuyo interior puede albergar los componentes oportunos de ventilación para purificar, climatizar o renovar el aire, Filtración y control de la calidad del aire que llegará al interior, gracias a los filtros de purificación del aire, y en función de la retención de estos filtros, el aire será más o menos limpio, Control de la temperatura del aire que regula el sistema de climatización en frío o calor, para que la sensación térmica en el interior sea la deseada, Monitorización de la humedad relativa para mayor confort en el interior, Renovación del aire				
4.INFORMACIÓN DEL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR				
Nombre Proveedor:				
Dirección:			Teléfono.	
Contacto Personal:			Página Web:	
6.DATOS TECNICOS DEL EQUIPO				
MOTOR	VENTILADOR	FILTROS DE AIRE		
Marca:	Marca:	Filtro de papel plisado a 35%		
Modelo:	Modelo:	Rating MERV		
Potencia Nominal:	Tipo:	Grado de seguridad:		
Tensión Nominal:	RPM:	Humedad relativa Max:		(%)
Corriente Nominal:	Numero de correas:	Cantidad	medida	unidad
Corriente Consumida:	Tipo de correas:	12X12 (in)		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Numero de fases:	SENSORES		12X16	(in)
RPM:	Modelo:		12X24	(in)
Frecuencia Red:	Presión Max trabajo:		16X24	(in)
AMB:	Presostato al 30%:		24X24	(in)
			Filtro de papel plisado a 65%	
ACTUADORES DE VALVULAS MOTORIZADAS		Presostato al 95%:	Multibolsa-eficiencia 95%	
Cantidad	unidades	presostato al 99.97%:	Rating MERV	-
Marca:		Temperatura:	Grado de seguridad	
Modelo:		Flujostato:	Humedad relativa Max:	(%)
Tensión Nominal:	(V)	FILTROS DE SEDIMENTOS TIPO Y		Temperatura Max (C °)
Frecuencia nominal	(HZ)	Agua caliente	unidades	Cantidad
				medida
				unidad
Humificador		Agua fría	unidades	24X24X15 (in)
SI/NO		Material	HEPA-Eficiencia 99,97%	
Marca:		Documento nominal	(mm)	Rating MERV
Serie		Presión nominal	(bar)	Humedad relativa Max: (%)
Modelo:		VALVULAS		Temperatura Max (C °)
Tensión Nominal:	(V)	Tipo	Cantidad	medida
				unidad
Numero de fases:		Cantidad	validar foto	
Frecuencia nominal	(HZ)	Tamaño	PURGADOR DE AIRE COMPRIMIDO	
Corriente Nominal:	(A)	Presión nominal	Cantidad	
Serpentín		Tipo	Tipo de válvula	
Material		Cantidad	Tamaño de válvula	
			m^2	
Superficie		Tipo	Presión nominal	
Presión	(bar)	Cantidad	JUNTA ELASTICA DE DILATACIÓN	
		Tamaño	Agua caliente	
		Marca	Agua fría	
			Diámetro nominal	
			Presión nominal	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 10. Ficha técnica condensadoras. Fuente: elaboración propia

HOJA DE VIDA EQUIPO				
1.DATOS DE LA INSTITUCIÓN				
Nombre Institución:				
Ubicación de la Institución:				
Nivel de Complejidad:				
Fecha Creación hoja de vida:				
N.º Mantenimiento Preventivo/Año:				
2.DATOS GENERALES DEL EQUIPO MÉDICO				
Nombre del equipo:		Condensadora		Número de Serie:
Número de Inventario:		Modelo:		Ubicación del Equipo:
Sector:		Marca:		Garantía:
Fecha compra:		Fecha Instalación:		Costo Equipo:
Manual Técnico: Si No			Manual Usuario: Si No	
Responsable del Equipo:				
Descripción del Equipo y la función que cumple: Una unidad condensadora es un aparato que se usa en los sistemas de refrigeración para condensar y llevar de estado gaseoso a líquido la sustancia refrigerante que circula en su interior, es una de las tres estaciones fundamentales del sistema de enfriamiento y se encuentra, normalmente, fuera del recinto a enfriar. Su función primordial es reducir la temperatura del refrigerante que ha llegado a estado gaseoso, llevándolo de vuelta a estado líquido, para hacerlo recircular en el sistema de refrigeración				
4.INFORMACIÓN DEL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR				
Nombre Proveedor:				
Dirección:			Teléfono:	
Contacto Personal:			Página Web:	
6.DATOS TECNICOS DEL EQUIPO				
MOTOR	VENTILADOR	FILTROS DE AIRE		
Marca:	Marca:	Filtro de papel plisado a 35%		
Modelo:	Modelo:	Rating MERV		
Potencia Nominal:	Tipo:	Grado de seguridad:		
Tensión Nominal:	RPM:	Humedad relativa Max: <=95 (%)		
Corriente Nominal:	Numero de correas:	Cantidad	medida	unidad
Corriente Consumida:	Tipo de correas:	12X12 (in)		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Numero de fases:	SENSORES	12X16	(in)
RPM:	Modelo:	12X24	(in)
Frecuencia Red:	Presión Max trabajo:	16X24	(in)
AMB:	Presostato al 30%:	24X24	(in)
		Filtro de papel plisado a 65%	
ACTUADORES DE VALVULAS MOTORIZADAS	Presostato al 95%:	Multibolsa-eficiencia 95%	
Cantidad unidades	presostato al 99.97%:	Rating MERV	-
Marca:	Temperatura:	Grado de seguridad	
Modelo:	Flujostato:	Humedad relativa Max:	(%)
Tensión Nominal: (V)	FILTROS DE SEDIMENTOS TIPO Y	Temperatura Max	(C °)
Frecuencia nominal (HZ)	Agua caliente unidades	Cantidad	medida unidad
Humificador	Agua fría unidades	(in)	
SI/NO	Material	HEPA-Eficiencia 99,97%	
Marca:	Documento nominal (mm)	Rating MERV	N/A
Serie	Presión nominal (bar)	Humedad relativa Max:	(%)
Modelo:	VALVULAS	Temperatura Max	(C °)
Tensión Nominal: (V)	Tipo	Cantidad	medida unidad
Numero de fases:	Cantidad	validar foto	
Frecuencia nominal (HZ)	Tamaño	PURGADOR DE AIRE COMPRIMIDO	
Corriente Nominal: (A)	Presión nominal	Cantidad	
Serpentín	Tipo	Tipo de válvula	
Material m^2	Cantidad	Tamaño de válvula	
Superficie	Tipo	Presión nominal	
Presión (bar)	Cantidad	JUNTA ELASTICA DE DILATACIÓN	
	Tamaño	Agua caliente	
	Marca	Agua fría	
		Diámetro nominal	
		Presión nominal	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 11. Tiempo empleado por actividad de mantenimiento. Fuente: elaboración propia

Motor	Periodicidad	Tiempo empleado (Min)
Revisar las condiciones ambientales	mensual	5
Revisar externa de impactos Físicos	mensual	5
Revisar externa de corrosión	mensual	9
Lubricación	mensual	9
Piezas desgastadas	mensual	5
Revisar externa de lubricación	mensual	5
Revisar externa de sobrecalentamiento	mensual	5
Revisar externa de conectores de alimentación	mensual	5
Revisar externa de contactores	mensual	9
Revisar de soportes anti vibrante	mensual	5
Revisar internamente de impactos físicos	semestral	9
Revisar internamente de todos los accesorios	semestral	9
Revisar internamente de corrosión de carcasa	semestral	9
Revisar internamente de lubricación	semestral	9
Revisar internamente de piezas desgastadas	semestral	9
Revisar internamente de sobrecalentamiento	semestral	9
Revisar internamente de conectores de alimentación	semestral	9
Revisar estado de los cojinetes	semestral	9
Limpiar exterior	mensual	9
Limpiar interior	semestral	9
Ajustar de pernos	semestral	5
Ajustar de tornillos	semestral	5
Ajustar la tensión de las correas	mensual	9
inspeccionar el estado de conectores eléctricos	mensual	5
inspeccionar el estado de contactores térmicos	mensual	5
inspeccionar el estado de contactores eléctricos	mensual	5
inspeccionar el estado de contactores térmicos	mensual	5
Medir y registrar resistencia de bobina	mensual	9
Medir y registrar resistencia de aislamiento	mensual	9
Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento	mensual	9
VENTILADOR	Periodicidad	Tiempo empleado
Revisar las condiciones	mensual	5
ambientales	mensual	5
Revisar externa de impactos	mensual	5
Revisar externa de corrosión	mensual	5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Lubricación	mensual	5
Piezas desgastadas	mensual	5
Revisar externa de lubricación	mensual	5
Revisar externa de sobrecalentamiento	mensual	5
Revisar externa de conectores de alimentación	mensual	5
Revisar internamente de impactos físicos	semestral	5
Revisar internamente de todos los accesorios	semestral	5
Revisar del rodete	semestral	12
Revisar de base	semestral	12
Revisar internamente de piezas desgastadas	semestral	12
Revisar internamente de sobrecalentamiento	semestral	9
Revisar internamente de conectores de alimentación	semestral	5
Revisar de chumacera	semestral	5
Lubricación de rodamientos	semestral	5
Limpiar interior	semestral	9
Ajustar de pernos	semestral	5
Ajustar de tornillos	semestral	5
Ajustar la tensión de las correas	semestral	5
inspeccionar el estado de conectores eléctricos	semestral	5
inspeccionar el estado de contactores térmicos	semestral	5
inspeccionar el estado de contactores eléctricos	semestral	5
inspeccionar el estado de contactores térmicos	semestral	5
Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento	mensual	9
FILTROS	Periodicidad	Tiempo empleado
Revisar las condiciones ambientales	mensual	5
Medir la presión diferencial filtros 35%	mensual	5
Medir la presión diferencial filtros 65%	mensual	5
Medir la presión diferencial filtros 99%	mensual	5
Medir la presión diferencial filtros HEPA	mensual	5
Sustituir filtros 35%	semestral	5
Sustituir filtros 65%	semestral	5
Sustituir filtros 99%	anual	9
Sustituir filtros HEPA	anual	9
CAJA DE CONTENCIÓN	Periodicidad	Tiempo empleado
Revisar armazón	mensual	5
Revisar paneles	mensual	5
Inspeccionar puertas	mensual	5
Inspeccionar bisagras	mensual	5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Revisar pintura	mensual	5
Revisar sellos	mensual	5
Apretar tornillos	mensual	5
GABINETE PORTA FILTROS	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar gabinete principal	mensual	5
Revisar puertas	mensual	5
Inspeccionar puertas	mensual	5
Inspeccionar bisagras	mensual	5
Revisar burletes	mensual	5
Limpiar interior	mensual	5
Limpiar exterior	mensual	5
Apretar tornillos y pernos	mensual	5
FILTROS SEDIMENTO	Periodicidad	Tiempo empleado
Limpiar interior	semestral	5
Limpiar exterior	semestral	5
Sustitución de rejilla	anual	9
Estado de los hilos	anual	5
CONTROLADOR VALVULAS	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar visualmente	semestral	5
Inspeccionar la unión americana	semestral	5
Limpiar exterior	semestral	5
Limpiar interior	semestral	5
Drenaje de agua	mensual	5
VALVULAS	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar visualmente	mensual	5
Regulación de tope y apertura	mensual	5
Limpiar exterior	mensual	5
Limpiar interior	mensual	5
Lubricación de tornillos	semestral	5
Medir resistencia y voltaje	mensual	5
HUMIDIFICADORES	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar gabinete	mensual	0,08
Inspeccionar elementos internos y conexiones	mensual	9
Inspeccionar válvula	mensual	5
Limpiar interior	mensual	5
Ajustar de tornillos, bornes y pernos	semestral	9
Medir resistencia	mensual	5
SERPENTIN	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar externamente	mensual	9

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Inspeccionar elementos internos y conexiones	mensual	9
Limpiar y desincrustar	anual	120
Sustitución de elementos deteriorados	mensual	9
JUNTAS	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar corrosión	semestral	9
Inspeccionar elementos internos y conexiones	semestral	5
Inspeccionar filtraciones	semestral	5
Limpiar interior	semestral	9
Limpiar exterior	semestral	5
Sustitución de elementos deteriorados	semestral	9
TRAMPA DE AIRE	Periodicidad	Tiempo empleado
Ajustar de tornillería	semestral	5
Inspeccionar elementos internos y conexiones	semestral	5
Inspeccionar Válvula	semestral	9
Limpiar interior	semestral	5
Limpiar exterior	semestral	9
Sustitución de elementos deteriorados	semestral	9
SENSORES	Periodicidad	Tiempo empleado
Limpiar Sensor	semestral	5
Limpiar exterior	semestral	5
Sustitución de elementos deteriorados	semestral	9
TABLERO	Periodicidad	Tiempo empleado
Inspeccionar corrosión	semestral	5
Inspeccionar piezas flojas	semestral	5
Inspeccionar internamente de conectores	semestral	5
Inspeccionar sobrecalentamiento	semestral	5
Limpiar de relees	semestral	5
Ajustar de tornillos, bornes y terminales	semestral	5
Medición de resistencia de aislamiento de interruptores	semestral	5
Medición de resistencia de contactos	semestral	12
Medir voltajes, corrientes, temperaturas y resistencias de puesta a tierra	semestral	12
Comprobar estado de los elementos de seguridad	semestral	5
Verificar le hermeticidad del tablero	semestral	5
Verificar estado de las señales de peligro	semestral	9
UNIDAD CONDESADORA	Periodicidad	Tiempo empleado
Verificar las condiciones eléctricas	mensual	5
Verificar el sistema de control	mensual	5
Verificar el nivel de aceite del compresor	mensual	5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Verificar las condiciones de aislamiento	mensual	5
Verificar el nivel de refrigerante	mensual	5
Verificar que no haya sobrecalentamiento	mensual	5

Anexo 12. Cálculo de horas y semanas empleadas para actividades mensuales. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de capacidad laboral bruta mensual	
Tiempo laboral disponible en un tiempo dado (año)	
	9,5 horas
	5 días
	52 semanas
	2470 tiempo laboral disponible al año
Cálculo de capacidad neta	
Práctica	
	1 # de técnicos
	5 días
	9,5 horas
	47,5 horas a la semana
	47,5 HH/ semana
	8 ODT atrasadas
	8,3 tiempo de cada OT
	66,4 HH para ser terminadas
Tiempo empleado para ejecutar las ordenes =	HH para ser terminadas / HH/ semana
	1,4 Semanas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 13. Cálculo de horas y semanas empleadas para actividades semestrales. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de capacidad laboral bruta semestral	
Tiempo laboral disponible en un tiempo dado (año)	
	9,5 horas
	5 días
	52 semanas
	2470 tiempo laboral disponible al año
Cálculo de capacidad neta	
se restan los compromisos laborales	
Práctica	
	1 # de técnicos
	5 días
	9,5 horas
	47,5 horas a la semana
	47,5 HH/ semana
	8 ODT atrasadas
	15,6 tiempo de cada OT
	124,8 HH para ser terminadas
Tiempo empleado para ejecutar las ordenes = HH para ser terminadas / HH/ semana	
	2,7 Semanas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 14. Cálculo de horas y semanas empleadas para actividades anuales. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de capacidad laboral bruta anual	
Tiempo laboral disponible en un tiempo dado (año)	
	9,5 horas
	5 días
	52 semanas
	2470 tiempo laboral disponible al año
Cálculo de capacidad neta	
se restan los compromisos laborales	
Práctica	
	1 # de técnicos
	5 días
	9,5 horas
	47,5 horas a la semana
	47,5 HH/ semana
	8 ODT atrasadas
	18,1 tiempo de cada OT
	145,1 HH para ser terminadas
Tiempo empleado para ejecutar las ordenes =	HH para ser terminadas / HH/ semana
	3,1 Semanas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 15.Hoja de trabajo semestral anual y mensual. Fuente: elaboración propia

Hoja de trabajo semestral					
Equipo		Fecha		Responsable ejecución	
Marca		Orden No.			
Modelo		Hoja Inicio		Responsable Recepción	
Serie		Hora final			
Actividad	Motor	Detenido (si/no)	Realizado	No Realizado	Observaciones
1	Revisar internamente de impactos físicos				
2	Revisar internamente de todos los accesorios				
3	Revisar internamente de corrosión de carcasa				
4	Revisar internamente de lubricación				
5	Revisar internamente de piezas desgastadas				
6	Revisar internamente de sobrecalentamiento				
7	Revisar internamente de conectores de alimentación				
8	Revisar estado de los cojinetes				
9	Limpiar interior				
10	Ajustar de pernos				
11	Ajustar de tornillos				
Actividad	Ventilador	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
12	Revisar internamente de todos los accesorios				
13	Revisar del rodete				
14	Revisar de base				
15	Revisar internamente de piezas desgastadas				
16	Revisar internamente de sobrecalentamiento				
17	Revisar internamente de conectores de alimentación				
18	Revisar de chumacera				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

19	Lubricación de rodamientos				
20	Limpiar interior				
21	Ajustar de pernos				
22	Ajustar de tornillos				
23	Ajustar la tensión de las correas				
24	Inspeccionar el estado de conectores eléctricos				
25	inspeccionar el estado de contactores térmicos				
26	Inspeccionar el estado de contactores eléctricos				
27	Inspeccionar el estado de contactores térmicos				
Actividad	Filtros	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
28	Sustituir filtros 35%				
29	Sustituir filtros 65%				
Actividad	Filtros de sedimento	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
30	Limpiar interior				
31	Limpiar exterior				
Actividad	Controlador de válvulas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
32	Inspeccionar visual				
33	Inspeccionar unión americana				
34	Limpiar exterior				
35	Limpiar interior				
Actividad	Válvulas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
36	Lubricación de tornillos				
Actividad	Humidificadores	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
37	Ajustar de tornillos, bornes y pernos				
Actividad	Juntas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
38	Inspeccionar de corrosión				
39	Inspeccionar elementos internos y conexiones				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

40	Inspeccionar de filtraciones				
41	Limpiar interior				
42	Limpiar exterior				
43	Sustitución de elementos deteriorados				
Actividad	Trampa de aire	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
44	Ajustar de tornillería				
45	Inspeccionar elementos internos y conexiones				
46	Inspeccionar de Válvula				
47	Limpiar interior				
48	Limpiar exterior				
49	Sustitución de elementos deteriorados				
Actividad	Sensores	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
50	Limpiar Sensor				
51	Limpiar exterior				
52	Sustitución de elementos deteriorados				
Actividad	Tablero	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
53	Inspeccionar de corrosión				
54	Inspeccionar de piezas flojas				
55	Inspeccionar internamente de conectores				
56	Inspeccionar de sobrecalentamiento				
57	Limpiar de relees				
58	Ajustar de tornillos, bornes y terminales				
59	Medición de resistencia de aislamiento de interruptores				
60	Medición de resistencia de contactos				
61	Medir voltajes, corrientes, temperaturas y resistencias de puesta a tierra				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

62	Comprobar estado de los elementos de seguridad				
63	Verificar le hermeticidad del tablero				
64	Verificar estado de las señales de peligro				

HOJA DE TRABAJO MENSUAL					
Equipo		Fecha		Responsable ejecución	
Marca		Orden No.			
Modelo		Hoja Inicio		Responsable Recepción	
Serie		Hora final			
Actividad	Motor	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
1	Revisar las condiciones ambientales				
2	Revisar externa de impactos Físicos				
3	Revisar externa de corrosión				
4	Lubricación				
5	Piezas desgastadas				
6	Revisar externa de lubricación				
7	Revisar externa de sobrecalentamiento				
8	Revisar externa de conectores de alimentación				
9	Revisar externa de contactores				
10	Revisar de soportes anti vibrante				
19	Limpiar exterior				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

23	Ajustar la tensión de las correas				
24	Inspeccionar el estado de conectores eléctricos				
25	Inspeccionar el estado de contactores térmicos				
26	Inspeccionar el estado de contactores eléctricos				
27	Inspeccionar el estado de contactores térmicos				
28	Medir y registrar resistencia de bobina				
29	Medir y registrar resistencia de aislamiento				
30	Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento				
Actividad	Ventilador	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
31	Revisar las condiciones				
32	ambientales				
33	Revisar externa de impactos				
34	Revisar externa de corrosión				
35	Lubricación				
36	Piezas desgastadas				
37	Revisar externa de lubricación				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

38	Revisar externa de sobrecalentamiento				
39	Revisar externa de conectores de alimentación				
57	Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento				
Actividad	Filtros	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
58	Revisar las condiciones				
59	ambientales				
60	Medir la presión diferencial filtros 35%				
61	Medir la presión diferencial filtros 65%				
62	Medir la presión diferencial filtros 99%				
63	Medir la presión diferencial filtros HEPA				
Actividad	Caja de condensación	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
68	Revisar de armazón				
69	Revisar de paneles				
70	Inspeccionar de puertas				
71	Inspeccionar de bisagras				
72	Revisar de pintura				
73	Revisar de sellos				
74	Apretar tornillos				
Actividad	Gabinete porta filtros	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
75	Inspeccionar gabinete principal				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

76	Revisar de puertas				
77	Inspeccionar de puertas				
78	Inspeccionar de bisagras				
79	Revisar de burletes				
80	Limpiar interior				
81	Limpiar exterior				
82	Apretar tornillos y pernos				
Actividad	Controlador de válvulas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
91	Drenaje de agua				
Actividad	Válvulas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
92	Inspeccionar visual				
93	Regulación de tope y apertura				
94	Limpiar exterior				
95	Limpiar interior				
97	Medir resistencia y voltaje				
Actividad	Humidificadores	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
98	Inspeccionar gabinete				
99	Inspeccionar elementos internos y conexiones				
100	Inspeccionar válvula				
101	Limpiar interior				
103	Medir resistencia				
Actividad	Serpentín	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
104	Inspeccionar externa				
105	Inspeccionar elementos internos y conexiones				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

107	Sustitución de elementos deteriorados				
Actividad	Unidad condensadora	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
1	Verificar las condiciones eléctricas				
2	Verificar el sistema de control				
3	Verificar el nivel de aceite del compresor				
4	Verificar las condiciones de aislamiento				
5	Verificar el nivel de refrigerante				
6	Verificar que no haya sobrecalentamiento				
Hoja de trabajo mensual					
Equipo		Fecha		Responsable ejecución	
Marca		Orden No.			
Modelo		Hoja Inicio		Responsable Recepción	
Serie		Hora final			
Actividad	Motor	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
1	Revisar las condiciones ambientales				
2	Revisar externa de impactos Físicos				
3	Revisar externa de corrosión				
4	Lubricación				
5	Piezas desgastadas				
6	Revisar externa de lubricación				
7	Revisar externa de sobrecalentamiento				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

8	Revisar externa de conectores de alimentación				
9	Revisar externa de contactores				
10	Revisar de soportes anti vibrante				
11	Limpiar exterior				
12	Ajustar la tensión de las correas				
13	Inspeccionar el estado de conectores eléctricos				
14	Inspeccionar el estado de contactores térmicos				
15	Inspeccionar el estado de contactores eléctricos				
16	Inspeccionar el estado de contactores térmicos				
17	Medir y registrar resistencia de bobina				
18	Medir y registrar resistencia de aislamiento				
19	Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento				
Actividad	Ventilador	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
20	Revisar las condiciones				
21	ambientales				
22	Revisar externa de impactos				
23	Revisar externa de corrosión				
24	Lubricación				
25	Piezas desgastadas				
26	Revisar externa de lubricación				
27	Revisar externa de sobrecalentamiento				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

28	Revisar externa de conectores de alimentación				
29	Realizar pruebas para garantizar su correcto funcionamiento				
Actividad	Filtros	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
30	Revisar las condiciones				
31	ambientales				
32	Medir la presión diferencial filtros 35%				
33	Medir la presión diferencial filtros 65%				
34	Medir la presión diferencial filtros 99%				
35	Medir la presión diferencial filtros HEPA				
Actividad	Caja de condensación	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
36	Revisar de armazón				
37	Revisar de paneles				
38	Inspeccionar de puertas				
39	Inspeccionar de bisagras				
40	Revisar de pintura				
41	Revisar de sellos				
42	Apretar tornillos				
Actividad	Gabinete porta filtros	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
38	Inspeccionar gabinete principal				
39	Revisar de puertas				
40	Inspeccionar de puertas				
41	Inspeccionar de bisagras				
42	Revisar de burletes				
43	Limpiar interior				
44	Limpiar exterior				
45	Apretar tornillos y pernos				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Version	04
		Fecha	24-02-2020

Actividad	Controlador de válvulas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
46	Drenaje de agua				
Actividad	válvulas	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
47	Inspeccionar visual				
48	Regulación de tope y apertura				
49	Limpiar exterior				
50	Limpiar interior				
51	Medir resistencia y voltaje				
Actividad	Humidificadores	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
49	Inspeccionar gabinete				
50	Inspeccionar elementos internos y conexiones				
51	Inspeccionar válvula				
52	Limpiar interior				
53	Medir resistencia				
Actividad	Serpentín	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
54	Inspeccionar externa				
55	Inspeccionar elementos internos y conexiones				
56	Sustitución de elementos deteriorados				
Actividad	Unidad condensadora	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
57	Verificar las condiciones eléctricas				
58	Verificar el sistema de control				
59	Verificar el nivel de aceite del compresor				
60	Verificar las condiciones de aislamiento				
61	Verificar el nivel de refrigerante				
62	Verificar que no haya sobrecalentamiento				

Hoja de trabajo anual					
Equipo		Fecha		Responsable ejecución	
Marca		Orden No.			
Modelo		Hoja Inicio		Responsable Recepción	
Serie		Hora final			
Actividad	Filtros	Detenido (si/no)	Realizado	No Realizado	Observaciones
1	Sustituir filtros 99%				
2	Sustituir filtros HEPA				
Actividad	Filtros de sedimento	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
3	Sustitución de rejilla				
4	Estado de los hilos				
Actividad	Serpentín	Detenido (si/no)	Realizado	No realizado	Observaciones
5	Limpiar y desincrustar				

FIRMA ESTUDIANTES

Lozana C

Carlos E. Bramillo

FIRMA ASESORES

Sebastian P. P. P.

FECHA ENTREGA: 09/06/2023