

Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB).

Félix Harley Gandur Peña

Tesis de Maestría en Ingeniería, Área Ingeniería Biomédica

Director:

Nelson Javier Escobar Mora, IM., MSc.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN - COLOMBIA
2017

Personal involucrado

Estudiante: Félix Harley Gandur Peña **Cédula:** 13278050
Teléfono: 316-7644867 **ID:** 000216565
Email: fgandur85@gmail.com **Programa:** Maestría en Ingeniería,
Área de Ingeniería Biomédica

Director: Nelson Javier Escobar Mora **Cédula:** 78745560
Teléfono: 310-5403350 **ID:** 000065408
Email: nelson.escobar@upb.edu.co **Programa:** Centro de Bioingeniería

Grupo de investigación: Grupo de Investigación en Ingeniería Clínica - Centro de Bioingeniería - Universidad Pontificia Bolivariana.

24 de Enero del 2018

Yo **FÉLIX HARLEY GANDUR PEÑA**, identificado con Cedula de ciudadanía **No. 13.2780.50 de Cúcuta**. “Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma



FELIX HARLEY GANDUR-PEÑA
C.C. 13.278.050 DE CÚCUTA
ID: 000216565

Figura 1: Carta Originalidad.

*A mi mamá Leonor Stella, mi papá Félix,
mi abuelo Félix y mi familia.*

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y el entendimiento para lograr ser lo que soy, hoy en día.

Por su comprensión, por su sabiduría, por haber hecho posible por todo lo que soy y poseo, por su eterno apoyo y su omnipresente cariño, agradezco con todo mi sentimiento a mi Mamá Stella y mi Papá Félix.

A cada uno de mis familiares que me alentaban y animaban a seguir adelante.

A mi Director Nelson por todo su apoyo y gran colaboración. Y a la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme lograr este sueño.

Por ser un buen entorno de trabajo y por su grata amistad agradezco a todos mis compañeros de mantenimiento de la Clínica Universitaria Bolivariana y a mis compañeros de la maestría.

Resumen

En este proyecto se muestra el estudio de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), aplicado al sistema de aire acondicionado más crítico en la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB); entendiéndose esta como una propuesta de cómo una empresa puede a partir de este estudio de RCM ya elaborado, aplicarlo a otros equipos similares que se encuentren en condiciones parecidas, permitiéndole a la empresa ahorrar tiempo y dinero en la ejecución del proyecto. Ya que mirando este estudio como una herramienta que permite desarrollar una alta relación de costo efectividad, esta filosofía de mantenimiento tiene la bondad de ser aplicada a cualquier activo físico.

El objetivo principal de este trabajo es elaborar un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM que pueda ser aplicado para mejorar el desempeño de los sistemas de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana. En el cual para llegar a dicho programa de mantenimiento se inicia a partir de una actualización del inventario existente en la CUB, donde llegamos a ver los diferentes tipos de aires acondicionados instalados en la CUB; hecha esta actualización se procede con un análisis de criticidad para jerarquizar los diferentes aires encontrados en la CUB en sus áreas, seleccionando diferentes criterios, para poder ser validados en la herramienta informática ACRITEQUIP; posteriormente para la aplicación del RCM, se desarrolla mediante Análisis Modal de Fallas (AMFE), en donde por medio de su desarrollo de las 7 preguntas podemos hacer un detallado análisis del sistema y llegar a generar un programa de mantenimiento ajustado a las necesidades y así lograr la minimización de las ocurrencias de fallas en el sistema de aire acondicionado de la CUB.

Abstract

In this project the study of reliability centered maintenance (RCM), applied to air conditioning system more critical at the University Clinic Bolivariana (CUB) is shown; understood this as a proposal for how a company can from this study RCM already prepared, apply to other similar equipment that are in similar conditions, allowing the company to save time and money in the project implementation. Since looking at this study as a tool to develop a high ratio of cost effectiveness, the maintenance philosophy is kindness to be applied to any physical asset.

The main objective of this work is to develop a maintenance program based on the RCM methodology that can be applied to improve the performance of air conditioning systems at the University Clinic Bolivariana. In which to reach said maintenance program is started from an update of the existing inventory in the CUB, where we got to see different types of air conditioners installed in the CUB; made this update comes with criticality analysis to rank the different air found in the CUB and areas, selecting different criteria in order to be validated in the ACRITEQUIP software tool; subsequently for the implementation of RCM, is developed by Modal Failure Analysis (AMFE), where through its development of the 7 questions we can do a detailed analysis of the system and potentially generate a program tailored maintenance needs and thus achieve minimizing the occurrences of faults in the air conditioning system of the CUB.

Índice general

Lista de figuras	IX
Lista de tablas	X
I Introducción	1
1. Introducción	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Alcance	4
II Marco Teórico y Antecedentes	6
2. Marco Teórico y Antecedentes	7
2.1. Clínica Universitaria Bolivariana (CUB)	7
2.2. Gestión del Mantenimiento	13
2.3. Evolución del Mantenimiento	13
2.4. Historia del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	16
2.5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	18
2.6. Aire Acondicionado	26
2.7. Análisis de Criticidad	30
III Implementación RCM en la CUB	32
3. Implementación RCM en la CUB	33
3.1. Áreas de servicios	33
3.2. Áreas con aire acondicionado	34

3.3. Tipos de aires acondicionados instalados en la CUB	36
3.4. Inventario de equipos aire acondicionado	37
3.5. Clasificación de A.A. según su criticidad	41
3.6. Hoja de información análisis de modos y efectos de falla(AMFE)	45
3.7. Hoja de información causas de falla.	74
3.8. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas.	76
 IV Comentarios Finales	 94
4. Conclusiones	95
5. Recomendaciones	96
6. Anexos	97
6.1. Anexo 5	98
 bibliografía	 107

Índice de figuras

1. Carta Originalidad.	II
2.1. Organigrama Institucional	11
2.2. Organigrama Mantenimiento	12
2.3. Expectativas de mantenimiento creciente	15
2.4. Cambios en las técnicas de mantenimiento	15
2.5. Pasos para la aplicación del RCM	20
2.6. Árbol lógico de decisión.	25
2.7. Aspecto de la confiabilidad operacional	30
3.1. Índice de aceptabilidad de criterios.	42
3.2. Matriz de criticidad.	44
3.3. Índice de criticidad.	45
6.1. Correo aceptación artículo en ponencia.	98
6.2. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 1 de 8.	99
6.3. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 2 de 8.	100
6.4. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 3 de 8.	101
6.5. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 4 de 8.	102
6.6. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 5 de 8.	103
6.7. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 6 de 8.	104
6.8. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 7 de 8.	105
6.9. Artículo, producción escrita para congreso, Pagina 8 de 8.	106

Índice de tablas

2.1. Clasificación áreas hospitalarias	27
2.2. Cambios por hora mínimos	28
2.3. Eficiencia mínima de filtrado	29
3.1. Equipos de aire acondicionado instalados en la CUB.	36
3.2. Continuación tabla de Equipos de aire acondicionado instalados en la CUB. . .	37
3.3. Equipos de aire acondicionado reubicados en la CUB.	40
3.4. Equipos de aire acondicionado nuevos en la CUB.	40
3.5. Valoración de equipos de aire acondicionado en la CUB.	43
3.6. Hoja de información.	49
3.7. Continuación Hoja de información.	50
3.8. Continuación Hoja de información.	51
3.9. Continuación Hoja de información.	52
3.10. Continuación Hoja de información.	53
3.11. Continuación Hoja de información.	54
3.12. Continuación Hoja de información.	55
3.13. Continuación Hoja de información.	56
3.14. Continuación Hoja de información.	57
3.15. Continuación Hoja de información.	58
3.16. Continuación Hoja de información.	59
3.17. Continuación Hoja de información.	60
3.18. Continuación Hoja de información.	61
3.19. Continuación Hoja de información.	62
3.20. Continuación Hoja de información.	63
3.21. Continuación Hoja de información.	64
3.22. Continuación Hoja de información.	65
3.23. Continuación Hoja de información.	66
3.24. Continuación Hoja de información.	67
3.25. Continuación Hoja de información.	68

3.26. Continuación Hoja de información.	69
3.27. Continuación Hoja de información.	70
3.28. Continuación Hoja de información.	71
3.29. Continuación Hoja de información.	72
3.30. Hoja de información causa de falla.	74
3.31. Continuación Hoja de información causa de falla.	75
3.32. Valoración para consecuencias de la seguridad física.	76
3.33. Valoración para consecuencias del medio ambiente.	77
3.34. Valoración para consecuencias operacionales.	77
3.35. Valoración para consecuencias no operacionales.	78
3.36. Valoración para consecuencias la imagen de la empresa.	78
3.37. Valoración para consecuencias las fallas ocultas.	79
3.38. Pesos de cada consecuencia sin falla múltiple.	79
3.39. Pesos de cada consecuencia con falla múltiple.	79
3.40. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 1.	80
3.41. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 2.	80
3.42. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 3.	80
3.43. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 4.	81
3.44. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 5.	81
3.45. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 6.	81
3.46. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 7.	81
3.47. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 8.	82
3.48. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 9.	82
3.49. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 10.	82
3.50. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 11.	82
3.51. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 12.	83
3.52. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 13.	83
3.53. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 14.	83
3.54. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 15.	83
3.55. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 16.	84
3.56. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 17.	84
3.57. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 18.	84
3.58. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 19.	84
3.59. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 20.	85
3.60. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 21.	85
3.61. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 22.	85
3.62. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 23.	85
3.63. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 24.	86
3.64. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 25.	86

3.65. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 26.	86
3.66. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 27.	86
3.67. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 28.	87
3.68. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 29.	87
3.69. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 30.	87
3.70. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 31.	87
3.71. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 32.	88
3.72. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 33.	88
3.73. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 34.	88
3.74. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 35.	88
3.75. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 36.	89
3.76. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 37.	89
3.77. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 38.	89
3.78. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 39.	89
3.79. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 40.	90
3.80. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 41.	90
3.81. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 42.	90
3.82. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 43.	90
3.83. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 44.	91
3.84. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 45.	91
3.85. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 46.	91
3.86. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 47.	91
3.87. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 48.	92
3.88. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 49.	92
3.89. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 50.	92
3.90. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 51.	92
3.91. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 52.	93
3.92. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 53.	93

Parte I

Introducción

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

La tecnología biomédica es actualmente una de las piezas claves de los sistemas de salud, teniendo implicaciones importantes en el costo y la calidad de los servicios; es por esto que las organizaciones de salud están interesadas en metodologías que les permitan mejorar los servicios y en lo posible reducir los costos.

Existe una normatividad para las entidades de salud que en su componente de tecnología exige que los departamentos de ingeniería cuenten con procesos claros, eficientes y el recurso humano respectivo.

Los equipos utilizados en la prestación de servicios de salud, se pueden clasificar dependiendo su uso en:

- Equipos de transporte.
- Equipos de apoyo.
- Equipos industriales de uso hospitalario.
- Equipos médicos.

Entre los equipos industriales de uso hospitalario se destaca el aire acondicionado de un hospital o clínica, que además de controlar la temperatura, debe contar con niveles de filtración adecuados y direcciones correctas de flujo entre las áreas.

La calidad del aire en los hospitales es un asunto que cobra importancia cuando se trata del bienestar y recuperación de los pacientes y profesionales que allí laboran.

A nivel de entidades de salud se requiere de una planeación en tecnología mediante un proceso efectivo, ya que la competencia y la globalización de la economía están siendo aspectos fundamentales de una dinámica que está llevando a las empresas hacia el cambio, la construcción de empresas de clase mundial, comprometidas con la tarea de satisfacer a sus clientes y niveles de rentabilidad excelentes. Para alcanzar estos retos las empresas desarrollan planes que ayudan a disminuir costos operacionales, pudiendo afectar sus activos físicos. En este punto las entidades de salud se encuentran en problemas, puesto que no saben cómo optimizar los recursos sin sacrificar la calidad del servicio que se le brinda a los pacientes y sus acompañantes.

El Sistema Único de Habilitación de Colombia establece los requisitos mínimos de obligatorio cumplimiento para toda entidad de salud sin importar el nivel de complejidad. En la atención de alta complejidad con calidad, se encuentra que a agosto de 2017 hay 36 IPS acreditadas en Colombia [1] y uno de los grandes ejes del sistema de acreditación es la gestión de tecnología. Teniendo en cuenta solo éste aspecto es evidente la necesidad de tener metodologías claras, rigurosas y ampliamente difundidas; las cuales tengan en cuenta, no solo la normatividad Colombiana, ya que ésta es muy generalizada en cuanto a los sistemas de aire acondicionado en zonas blancas, sino también con la internacional, basadas en la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), con lo cual una institución prestadora de servicios de salud pueda decidir el formato a utilizar para evaluar la criticidad; y también la aplicabilidad del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para un sistema de aire acondicionado en zonas blancas.

Todo lo anterior conlleva a hacernos la siguiente pregunta.

Concierne entonces proveer a las instituciones prestadoras de servicios de salud, una metodología por medio de un riguroso estudio de RCM, para así ser eficientes en las actividades y también para el efectivo control de mantenimiento, en sistema de aire acondicionado en zonas blancas?

La solución de esta pregunta que expone el problema a ser abordado por el desarrollo de esta tesis, nos permitirá entonces proveer una metodología que permita a las instituciones de salud en el país tener procesos más rigurosos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Elaborar un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM que permita mejorar el desempeño de los sistemas de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la criticidad de los aires acondicionados de la CUB apoyado en una herramienta informática de criticidad (ACRITEQUIP) con el fin de determinar la jerarquización de estos en la CUB.
- Adaptar la metodología de RCM apoyado en el contexto operacional de los aires acondicionados en entidades de salud.
- Aplicar la metodología de RCM al sistema de aire acondicionado seleccionado en la CUB apoyado en el concepto de entidades hospitalarias y las normas que la regulan para definir las acciones costo eficientes a proponer.
- Comparar las acciones de mantenimientos obtenidas de la aplicación de la metodología RCM con el programa actual, para realizar los ajustes requeridos.

1.3. Alcance

La propuesta de trabajo de grado para optar al título de Maestría en Ingeniería Área Biomédica se centra en la adaptación de una metodología para el estudio de RCM para un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB).

Puesto que en la revisión bibliográfica no se han encontrado modelos basados en confiabilidad relacionados para los equipos industriales de uso hospitalario, este trabajo adquiere un carácter innovador, por lo anterior se tomara como base un modelo utilizado en equipos industriales.

El trabajo de maestría se realizara en el Clínica Universitaria Bolivariana (CUB); y éste será tomado como prueba piloto, para posteriormente ser aplicado en otras entidades prestadoras de servicios de salud. Este proyecto busca mejorar la producción de frio necesaria para el buen funcionamiento de la institución; se dará inicio al proyecto evaluando la criticidad del

sistema de aire acondicionado actualmente, utilizando la propuesta por el estudiante para este proceso, la cual está basada en criterios de evaluación en los sistemas de aire acondicionado en la CUB, posteriormente se procederá al análisis modal de falla y efecto, del sistema con la condición de más crítico del resultado del análisis de criticidad previo; con base en este resultado, se busca generar un plan de mantenimiento que sirva para mejorar la confiabilidad del sistema de aire acondicionado en la CUB.

El proyecto de maestría no incluye la implementación del plan de mantenimiento, este será dado a la CUB, para ser implementados cuando lo crean conveniente.

Parte II

Marco Teórico y Antecedentes

Capítulo 2

Marco Teórico y Antecedentes

2.1. Clínica Universitaria Bolivariana (CUB)

2.1.1. Historia

La Clínica Universitaria Bolivariana, es una institución de origen privado, creada mediante Acuerdo CD 9° Consejo de Dirección 17 de noviembre de 1995 y habilitada por la Dirección Seccional de Salud de Antioquia para la prestación de servicios de salud en el Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud con el Código 05 001 03448 03. Pertenece a la Universidad Pontificia Bolivariana, institución educativa con más de 75 años de trayectoria en el país.[2]

La Clínica es el resultado del crecimiento y desarrollo del Servicio Médico Bolivariano, el cual se inició en el año 1979 y funcionó inicialmente por varios años como centro Docente Asistencial de la Escuela de Ciencias de la Salud, prestando servicios de consulta médica en las áreas de salud comunitaria, medicina general y algunas especialidades como pediatría, oftalmología, cardiología y otorrinolaringología, entre otras.

En el año de 1987 se consolidó como Centro Médico Bolivariano, con servicios de consulta médica y procedimientos quirúrgicos ambulatorios y un laboratorio de primer nivel de atención, como respuesta al proceso de formación y necesidades de campos de práctica para los estudiantes de la facultad de medicina de la universidad.

Pasados 9 años, se firma entonces el acta de constitución de la Clínica Universitaria Bolivariana como Institución prestadora de servicios de salud – IPS, en el año de 1995, como respuesta a la necesidad de más campos de práctica y en especial para dar respuesta a la

demanda y posicionamiento de los servicios en áreas complementarias, como los servicios de internación y ampliación del programa de cirugía.

El crecimiento planeado de la Clínica Universitaria Bolivariana, con su mayor desarrollo en el periodo comprendido entre el 2003 y 2010, le ha permitido a la Universidad tener una unidad de negocio propia con estabilidad financiera, alta credibilidad y confianza de todas las aseguradoras, a la sociedad, contar con una Clínica integral, con una proyección humanística y social, con un amplio portafolio de servicios para la comunidad ciudadana y académica.

La Clínica Universitaria Bolivariana es una Institución que ofrece servicios en todos los niveles de atención, con especial énfasis en los de mediana y alta complejidad. Hace parte del proyecto social y académico de la Universidad Pontificia Bolivariana, entidad con 76 años de presencia en el campo de la educación superior en Colombia. Su vocación de clínica universitaria se deriva de la Universidad, al contribuir eficazmente en los procesos de docencia e investigación, para formar integralmente a los profesionales de la salud que requiere la sociedad.

Ofrece sus servicios a toda la población de Medellín, Antioquia y el país, sin distingo de credo religioso, raza y estrato socioeconómico, ya que entiende su trabajo en el marco del respeto, la solidaridad humana hacia el enfermo y su familia.

En la Institución los servicios se caracterizan por la integralidad de la atención, la calidad humana y científica de los profesionales que aplican siempre la mejor evidencia disponible, la ética en el servicio; elementos que se sustentan en la misión y visión institucional. Todos los colaboradores de la entidad profesan y aplican los valores del humanismo cristiano, principalmente la solidaridad y el respeto a la vida desde su concepción hasta la muerte, filosofía que se hace vívida en su lema “Protegemos el don maravilloso de la vida”. [2]

La Clínica está localizada en la zona noroccidental de Medellín, sector de Robledo; con fácil acceso por la amplia cobertura de rutas de transporte urbano, en una zona semicampestre, rodeada de naturaleza que facilita la recuperación de la salud y la tranquilidad para la familia. Sus modernas y confortables instalaciones garantizan la comodidad y la seguridad que demandan los pacientes o usuarios.

La entidad ofrece una serie de servicios ambulatorios y hospitalarios en las distintas especialidades clínicas y quirúrgicas, entre los que sobresalen la Unidad de Terapia Intensiva Adultos, la Unidad Materno Infantil para el cuidado del binomio madre -hijo, los servicios de Cirugía y Hospitalización para la mediana y la alta complejidad en la mayoría de especialidades, y todos los servicios de apoyo diagnóstico.

Fruto de la vocación de servicio, del esfuerzo y dedicación de todo su equipo humano, la Clínica cuenta con una solidez financiera que le permite garantizar a sus usuarios y clientes la tranquilidad que necesitan.

2.1.2. Misión

En la CUB se prestan servicios integrales de salud con calidad humana, ética y científica; consecuente con los principios cristianos de solidaridad y respeto de la vida. Constituye un espacio para la docencia y la investigación, en bien del desarrollo de la Universidad Pontificia Bolivariana, del crecimiento de su talento humano y del bienestar de la sociedad.[3]

2.1.3. Visión

En el año 2019 la Clínica será reconocida a nivel nacional e internacional como Hospital Universitario con servicios de excelencia, sostenible y con alta responsabilidad social y ambiental.[3]

2.1.4. Valores corporativos

Para la Clínica Bolivariana es de gran importancia resaltar lo ético es por ello que se cuenta con los siguientes valores [3]:

- *Espiritualidad*: Energía interior que nos permite ser solidarios, entender y disfrutar el trabajo como un servicio, lograr el crecimiento personal y canalizar las potencialidades hacia los objetivos comunes de la Clínica.
- *Honestidad*: Hacer el trabajo con calidad y en el momento que se requiere, entregando todas las potencialidades personales al servicio de la institución, para el logro de la excelencia.
- *Solidaridad*: Comprender la enfermedad como un estado que produce alteraciones físicas, emocionales, familiares y sociales en quien la padece, haciéndolo más vulnerable y dependiente del cuidado de los agentes de salud, demandándoles comprensión y apoyo en el proceso de recuperación de su salud.
- *Excelencia en el servicio*: Lograr en el trabajo los resultados esperados, dentro de los estándares definidos, superando las expectativas del usuario.
- *Responsabilidad*: Asumir el desempeño del trabajo con responsabilidad ética y científica, con un alto nivel de compromiso con los objetivos y proyectos institucionales.
- *Creatividad e innovación*: Asumir una actitud positiva frente al trabajo y participar con iniciativas en el proyecto de transformación de la Clínica, generar cambios en el área de trabajo que apoyen el mejoramiento continuo de la institución.

2.1.5. Identidad Institucional Clínica Universitaria

La Clínica Universitaria Bolivariana es una Institución que ofrece servicios en todos los niveles de atención, con especial énfasis en los de mediana y alta complejidad. Hace parte del proyecto social y académico de la Universidad Pontificia Bolivariana, entidad con 76 años de presencia en el campo de la educación superior en Colombia. Su vocación de clínica universitaria se deriva de la Universidad, al contribuir eficazmente en los procesos de docencia e investigación, para formar integralmente a los profesionales de la salud que requiere la sociedad.

Ofrece sus servicios a toda la población de Medellín, Antioquia y el País, sin distingo de credo religioso, raza y estrato socioeconómico, ya que entiende su trabajo en el marco del respeto y la solidaridad humana hacia el enfermo y su familia.

En la Institución los servicios se caracterizan por la integralidad de la atención, la calidad humana y científica de los profesionales que aplican siempre la mejor evidencia disponible, y la ética en el servicio; elementos que se sustentan en la misión y visión institucional. Todos los colaboradores de la Entidad profesan y aplican los valores del humanismo cristiano, principalmente la solidaridad y el respeto a la vida desde su concepción hasta la muerte, filosofía que se hace vívida en su lema Protegemos el don maravilloso de la vida.

La Clínica está localizada en la zona noroccidental de Medellín, sector de Robledo; con fácil acceso por la amplia cobertura de rutas de transporte urbano, en una zona semicampestre, rodeada de naturaleza y facilita la recuperación de la salud y la tranquilidad para la familia. Sus modernas y confortables instalaciones garantizan la comodidad y la seguridad que demandan los pacientes y usuarios.

La Entidad ofrece una serie de servicios ambulatorios y hospitalarios en las distintas especialidades clínicas y quirúrgicas, entre los que sobresalen la Unidad de Terapia Intensiva Adultos, la Unidad Materno Infantil para el cuidado del binomio madre -hijo, los servicios de Cirugía y Hospitalización para la mediana y la alta complejidad en la mayoría de especialidades, y todos los servicios de apoyo diagnóstico.

Fruto de la vocación de servicio y del esfuerzo y dedicación de todo su equipo humano, la Clínica cuenta con una solidez financiera que le permite garantizar a sus usuarios y clientes la tranquilidad que necesitan.[3]

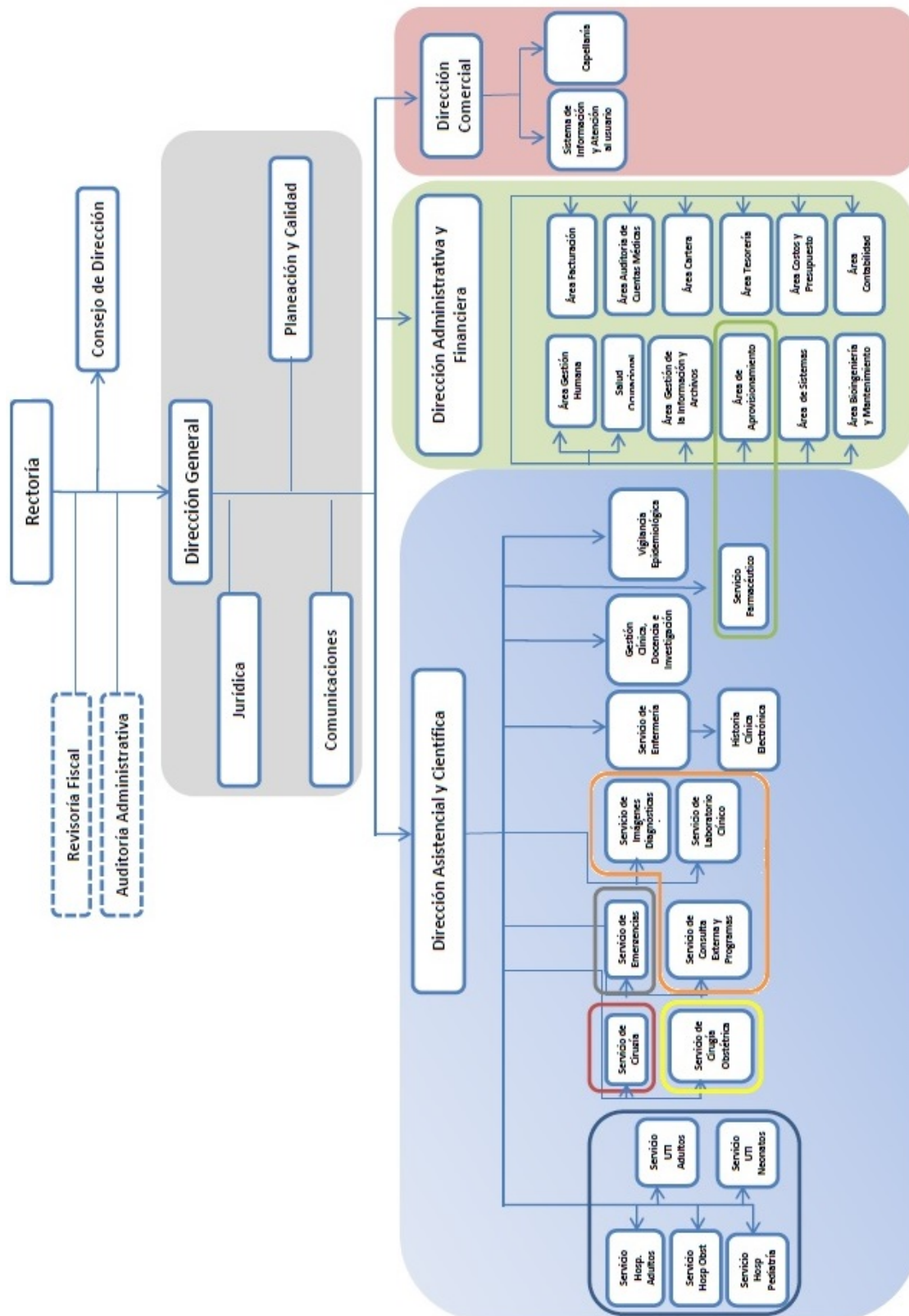


Figura 2.1: Organigrama Institucional. Fuente: CALLE A., SANCHEZ M. Planteamiento del programa de mantenimiento para la infraestructura y equipos generales de la clínica universitaria bolibarriana.

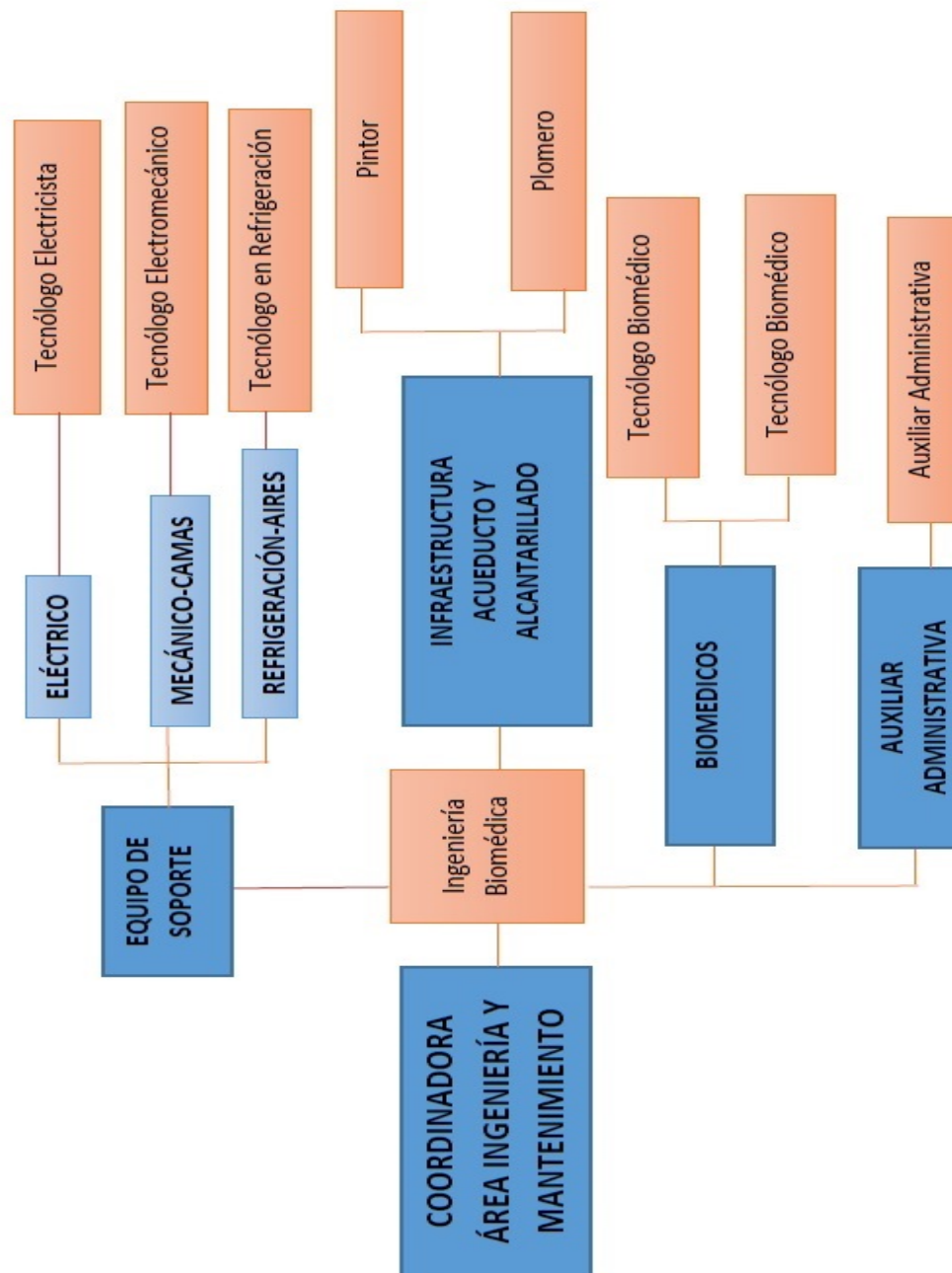


Figura 2.2: Organigrama Mantenimiento. Fuente: CALLE A., SANCHEZ M. Planteamiento del programa de mantenimiento para la infraestructura y equipos generales de la clínica universitaria bolibariana.

2.2. Gestión del Mantenimiento

El mantenimiento hospitalario y específicamente el mantenimiento del equipamiento biomédico 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.[4]

La ley de 100 del 1993, indica que cada hospital debe invertir en mantenimiento cada año para proteger su infraestructura física y equipamiento [5]. Antes de 1993, las Inversiones dependían del sentido común de los directores. Ahora, el mantenimiento es una actividad obligatoria y se lleva a cabo sobre la base de las estrategias elegidas por la administración del hospital. En el decreto 4725 [6] hace parte de la normativa que establece la condición de que los equipos biomédicos deben ser intervenidos por personal competente para ello y esto es un primer escalón para dar seguridad sobre el funcionamiento de estos. Sin embargo esto no garantiza que se realice de la forma adecuada ni con la frecuencia necesaria.

En 1997, de acuerdo con la Ley 100 de 1993, la Superintendencia Nacional de Salud, como autoridad de gobierno de los Sistemas Generales de Seguridad Social, emitió la circular numero 29, que define la necesidad de desarrollar en todos los hospitales un plan de mantenimiento anual, para que las autoridades de cada hospital (administrador, jefe de mantenimiento y auditor fiscal) sean responsables. Dicha circular define los objetivos de mantenimiento de la siguiente manera [5]:

- *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.*

2.3. Evolución del Mantenimiento

Desde la década de los 30 se puede hacer un seguimiento del rastro evolutivo del mantenimiento ya que como cualquier proceso progresivo ha seguido una serie de etapas cronológicas, en este caso a través de 3 generaciones.[7]

- *Primera generación:* Esta etapa cubre el período que se extiende hasta la segunda

guerra mundial, en esos días la industria no estaba tan mecanizada por lo que los tiempos de parada de la maquinaria no cobraba mayor importancia. Esto quiere decir que la prevención de fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes de empresas. Paralelamente, los equipos eran simples y en su gran mayoría sobredimensionados, lo cual los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no era necesario tener un mantenimiento sistémico, era suficiente una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación, por lo que se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.[7]

- *Segunda Generación:* Durante la segunda guerra mundial hubo un cambio drástico en todos los aspectos, la presión de la guerra aumentó la demanda de toda clase de bienes, y al mismo tiempo caía abruptamente la mano de obra industrial. Como resultado de dicho cambio, se aumentó la mecanización de los equipos y ya en los años 50 había aumentado la cantidad y complejidad de las máquinas, debido a esto la industria estaba empezando a depender de ellas. Al haber un incremento de esta dependencia, se empieza a tener una mayor atención en los tiempos de parada de máquina, lo cual lleva a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando inicio al mantenimiento preventivo. Para la década de los setenta ya se hacen reparaciones mayores a intervalos de tiempo definidos. Para las empresas, el costo de mantenimiento empezó a crecer vertiginosamente con relación a los costos operacionales, lo cual llevó al desarrollo de sistemas de planeación y control del mantenimiento, los cuales ayudaron a tener este bajo control y a ser establecidos como parte de la práctica de mantenimiento.[7]
- *Tercera Generación:* Desde mediados de los setenta los cambios en las empresas han crecido rápidamente y han sido clasificados en tres categorías:
 - *Nuevas expectativas:* el crecimiento continuo de la mecanización implica que las paradas de los equipos producen un efecto más importante en la producción y en los costos totales, lo cual se hace más claro con el movimiento a nivel mundial hacia los sistemas de producción “just in time” (justo a tiempo), en el que los reducidos niveles de inventario hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda una planta. En la actualidad el crecimiento en la mecanización han hecho que la confiabilidad y la disponibilidad sean factores clave en sectores diversos como el de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones, etc. Una mayor automatización significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la máquina y la calidad del producto, pues más y más fallas traen consecuencias serias para el medio ambiente, la seguridad y la capacidad operacional así como mayores costos de mantenimiento.
 - *Nuevas investigaciones:* Más allá de la existencia de mayores expectativas, las

nuevas investigaciones están cambiando muchas de las creencias más profundas referidas a la edad y las fallas, parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos, o sea el tiempo que llevan funcionando, y la probabilidad de que estos fallen.[7]

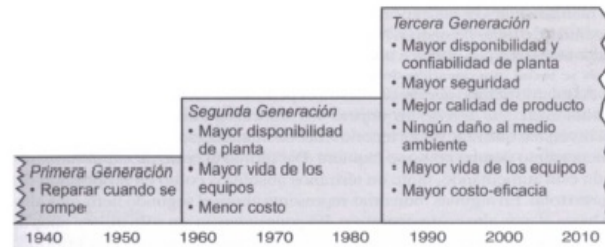


Figura 2.3: Expectativas de mantenimiento creciente. Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina.

- **Nuevas Técnicas:** Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, muchos de ellos desarrollados durante los últimos veinte años, los nuevos desarrollos incluyen herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE) y sistemas expertos. A la vez se pueden encontrar nuevos métodos de mantenimiento, como el monitoreo por condición.



2

Figura 2.4: Cambios en las técnicas de mantenimiento. Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina

2.4. Historia del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Al final de 1950, la aviación comercial en el mundo estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, este sería de dos accidentes aéreos diariamente en el mundo. Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos.[7]

El hecho de que una cifra tan alta de accidentes fuera provocado por fallas en los equipos implicaba que, al menos inicialmente, tenía que hacerse énfasis en la seguridad de los equipos.

Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se deterioraran después de cierto tiempo. Esto condujo a creer que las reparaciones periódicas impedirían que las piezas se gastaran y así prevenir fallas. En esos días, mantenimiento significaba hacer reparaciones periódicas.

La idea no estaba dando resultado y condujo a creer que se estaba realizando tardíamente las reparaciones; después de que el desgaste se había iniciado. El esfuerzo inicial de reparaciones periódicas era para acortar el tiempo de una reparación y no hubiera tantas fallas. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no bajaban y por el contrario aumentaban.

Así RCM nace a principios de 1960. El desarrollo inicial de este método de mantenimiento fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana. Y se estableció cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento eran no sólo costosas sino también altamente peligrosas. Ello inspiró a la industria a aunar una serie de “Grupos de Dirección de Mantenimiento” (Maintenance Steering Groups - MSG) para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener sus aviones funcionando. Estos grupos estaban formados por representantes de los fabricantes de aviones, las aerolíneas y la FAA (Fuerza Área Americana).

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las empresas a buscar las políticas para optimizar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de fallas.

A mediados de 1970, el gobierno norteamericano quiso conocer más acerca de la filosofía moderna de mantenimiento de aeronaves, y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN

LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos. Está disponible en el Servicio de Información Técnica Nacional del Gobierno de Norteamérica, en Springfield, Virginia.

Este informe fue el fin de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de Norteamérica, un proceso que originó inicialmente el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1, Manual: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970: MSG-2 Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas.

El informe desarrollado por Nowlan y Heap representó un avance en la filosofía MSG 2 y fue usado como base para el MSG 3, el cual fue difundido en 1980: Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), el MSG – 3 ha sido revisado tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en 2001. Hasta el presente es usada para desarrollar programas de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevos tipos de aeronaves (incluyendo recientemente el Boeing 777 y el Airbus 330/340).

El Departamento de Defensa aprendió que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y buscó beneficiarse de ésta experiencia. Una vez que el Departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el ejército americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el ejército, uno para la fuerza aérea, y otro para la armada.

Otra aplicación del RCM se dio a principios de 1980, El Instituto para la Investigación de la Energía Eléctrica, (EPRI por sus siglas en Inglés), un grupo de investigación industrial para las compañías generadoras de energía en Norteamérica realizó dos pruebas del RCM en la industria de la energía nuclear americana.[7]

Su curiosidad se dio debido a la creencia de que ésta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero se hacia demasiado mantenimiento a sus equipos. Esto significaba que su principal propósito era reducir costos de mantenimiento en vez de mejorar la confiabilidad, y el proceso RCM era modificado consecuentemente. (Ellos modificaron tanto el proceso RCM, que su parecido es poco con el original descrito por Nowlan y Heap, y debería ser descrito más correctamente como la Optimización del Mantenimiento Planificado o PMO – por sus siglas en inglés – más que como RCM). Este proceso modificado fue adoptado sobre una base amplia por la industria de la energía nuclear Americana en 1987, y se implementaron variaciones de su enfoque por otras compañías nucleares, algunas otras ramas de la generación eléctrica, distribución industrial y repuestos de la industria petrolera.

En la década de 1990 el concepto de RCM se hizo mas popular y empezaron a aparecer varias metodologías de mantenimiento que sus autores llamaban RCM, pero estos métodos

eran muy distantes de el originalmente propuesto, así que surgió la necesidad de sacar una normatividad que definiera cuando una metodología podía llamarse RCM.

En 1996 la SAE empezó a trabajar en un modelo afín con el RCM, invitando a un grupo de representantes de la aviación, de la armada estadounidense y comunidades de naves para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento planeados. Estos representantes de la armada se habían estado reuniendo previamente, por cerca de un año, para desarrollar un proceso RCM que pudiera ser común a la aviación y los buques. Es así como ellos previamente habían hecho una considerable cantidad de trabajo antes de empezar a reunirse bajo el auspicio de la SAE.

A finales de 1997, se le unió a este grupo un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria. En ésta ocasión, se dieron cuenta de que era mejor enfocarse enteramente en el RCM. Entonces el grupo encontró el mejor enfoque para ésta norma y en 1999, completó el borrador de la norma y la presentaron a la SAE para ser sometida a votación.

2.5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Es una metodología utilizada para determinar, sistemáticamente, que debe hacerse para que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario, en el contexto operacional presente.[8]

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología lógica derivada de la investigación en el sector de la aviación y hace uso de la herramienta del análisis de modo de falla, efecto y grado critico.[9]

Un aspecto favorable de la filosofía del RCM, es que la misma promueve el uso de nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, nos permiten de forma eficiente, optimizar los procesos y disminuir al máximo los posibles riesgos, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.**E.Vidal**

El RCM es también un nuevo método para el diseño del mantenimiento que hace uso de las diversas técnicas de mantenimiento existentes, mas exige que las prácticas comunes de mantenimiento preventivo sean modificadas.**E.Vidal**

La aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad se recomienda fundamentalmente para [10]:

- *Equipos o sistemas críticos para la producción o seguridad y ambiente.*

- *Equipos o sistemas con altos costos de mantenimiento debido a trabajos preventivos y correctivos.*
- *Equipos o sistemas genéricos con un alto costo colectivo de mantenimiento.*
- *Si no existe confianza en el mantenimiento existente.*
- *Equipos dinámicos, los cuales presentan patrones de fallas de alta frecuencia, pero de baja consecuencia.*

Esta filosofía asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y elimina aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas. El resultado de cada estudio del RCM del sistema de un equipo es una lista de acciones de mantenimiento, programas y responsabilidades. Estas, a su vez, dan por resultado una mejor disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo y eficacia en costos.

2.5.1. Características del RCM

Las principales características del RCM son [11]:

- *Los sistemas son analizados al detalle.*
- *De alto grado de importancia a la protección integral de las personas, equipos y medio ambiente.*
- *Proporciona relevancia al contexto operativo de los equipos.*
- *Analiza detalladamente los elementos funcionales de los equipos.*
- *No considera al recurso humano como prioritario.*

2.5.2. Beneficios de la aplicación del RCM

- *Brinda mayor seguridad y protección de la organización.*
- *Mejora el rendimiento operacional de los activos.*
- *Optimiza los costos de mantenimiento.*
- *Permite extender la vida útil de los sistemas.*
- *Aumenta la confiabilidad de los equipos.*
- *Identifica y elimina las fallas crónicas.*

La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional [11], a partir del análisis de las siguientes preguntas mostradas en la figura 2.5.

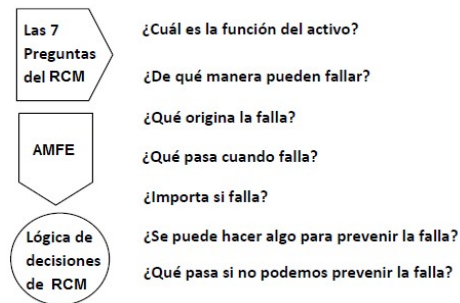


Figura 2.5: Pasos para la aplicación del RCM. Fuente: MOUBRAY ALADON, Jhon Y. Mantenimiento Centrado en Confialbilidad. 1999.

El éxito de la implantación del RCM en la industria dependerá básicamente del trabajo del equipo involucrado en la toma decisiones, el cual se encargara de responder las preguntas del RCM. La definición de “mantener” es definida por varios autores como la causa para continuar o para mantener un estado existente. Todas estas definiciones ponen de manifiesto que el mantenimiento significa preservación de algo. Pero cuando se tiene que tomar la decisión de mantener algo, ¿cuál es el estado existente que se desea preservar?.

La respuesta puede encontrarse en el hecho de que todo elemento físico se pone en servicio para cumplir una función o funciones específicas. Por lo tanto cuando se mantiene un equipo, el estado en que se desea preservarlo debe ser aquel en el que se desee que continúe para cumplir la función determinada.

Como resultado de esto, cualquier intento de formular o revisar las políticas de mantenimiento deberían comenzar con las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional presente. La suma de este y otros factores son los que nos llevan a la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad, que lo caracteriza como un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente[26].

2.5.3. El proceso de selección de tareas de RCM

Un punto fuerte del RCM es la manera en que provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto

operacional dado, y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencia. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por características técnicas de la tarea y de la falla que pretende definir. Si vale la pena hacerlo o no depende de la manera en que maneja las consecuencias de la falla. De no hallarse una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, entonces debe tomarse una acción a falta de adecuada.

La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente:

- *Para fallas ocultas:* La tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla asociado con esa función a un nivel tolerablemente bajo. Si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla de no hallarse una tarea de búsqueda de falla que sea adecuada, la decisión a falta de secundaria indicará que el componente pueda ser rediseñado.
- *Para fallas con consecuencias ambientales o para la seguridad:* Una tarea proactiva sólo vale la pena si por sí sola reduce el riesgo de falla a un nivel muy bajo, o directamente lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea reduzca el riesgo a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.
- *Para fallas con consecuencias operacionales:* Una tarea proactiva sólo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un cierto período de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo período de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es ningún mantenimiento programado. Si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo aceptables, entonces la decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.
- *Para fallas con consecuencias no operacionales:* Solo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un período de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también deben tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión a falta de secundaria es nuevamente rediseño.

Este enfoque significa que las tareas proactivas son sólo definidas para las fallas que realmente lo necesitan, lo que a su vez lleva a reducciones sustanciales en cargas de trabajo de rutina. Un menor trabajo de rutina también significa que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto, sumado a la eliminación de tareas contraproducentes lleva a un mantenimiento más efectivo.

Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada activo son definidos en términos de sus características técnicas reales o asumidas, sin considerar las consecuencias

de la falla. El programa resultante es utilizado para todos los activos similares, nuevamente sin considerar que se aplican a diferentes consecuencias en diferentes contextos operacionales.

2.5.4. Que se logra con el RCM:

- *Mayor seguridad e integridad ambiental:* RCM considera las implicaciones ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en las operaciones. Esto significa que se actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el medio ambiente. Al incorporar la seguridad a la toma de decisiones de mantenimiento, el RCM también mejora la actitud de las personas en relación con este tema.
- *Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente):* RCM reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta manera se asegura que sólo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico, que se tomarán las medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda ayudar. Este esfuerzo de ajustar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos existentes donde se las requiere.
- *Mayor costo-eficacia del mantenimiento:* RCM continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierta en las áreas en las que pueda tener los mejores resultados.
- *Mayor motivación personal:* Especialmente las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un sentido de pertenencia más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones.
- *Mejor trabajo en equipo:* Provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. Esto da al personal de mantenimiento y de operaciones un mejor entendimiento de lo que el mantenimiento puede y de lo que no puede lograr, y qué debe hacerse para lograrlo.

2.5.5. Análisis de modos y efectos de falla (AMFE)

El análisis de modos y efectos de falla es un proceso estructurado para el análisis de la operación de una planta que permitirá identificar las fallas que pudieran presentarse y que engloba las etapas de: funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla.[8] Los

efectos o consecuencias de las fallas son posteriormente evaluados para determinar posibles medios de prevención. Está compuesto por cuatro columnas:

- *Función:* Cada elemento de los equipos que conforman el registro de una planta debe haberse adquirido para un propósito determinado es decir tiene una función específica.
- *Fallas funcionales:* como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el que se desempeña.[12]
- *Modos de fallo:* Es la descripción del evento que causa las fallas funcionales. Es la manera como se manifiesta la falla. Es importante determinar cuál de los modos de falla tienen mayor posibilidad de causar la perdida de una función. Se pueden clasificar en [13]:
 - *Cuando la capacidad del activo cae debajo del desempeño deseado luego de puesto en servicio el activo.*
 - *Cuando el desempeño deseado supera la capacidad del activo luego de puesta en servicio el activo.*
 - *Cuando el activo no es capaz de realizar la función deseada desde el inicio de la operación.*
- *Efectos de fallas:* Es lo que se puede observar si se presenta un modo de falla en particular. Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla.

El análisis AMFE puede resumirse en los siguientes pasos básicos:

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

2.5.6. Diagrama de árbol lógico de decisión

Proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo, correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis.[11]

Son las herramientas que permiten seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según sea la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (figura 2.6).

- *Actividades de Reacondicionamiento Cíclico:* Las actividades de reacondicionamiento cíclico consisten en revisar a intervalos fijos un elemento o componente, independientemente de su estado original. La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está determinada por la edad en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla.
- *Actividades de Sustitución Cíclicas:* Las actividades de sustitución cíclicas consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la "vida útil" de los elementos.
- *Actividades de tareas a condición:* Los elementos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado. Muchas fallas serán detectables antes de que ellas alcancen un punto donde se puedan considerar que ocurre la falla funcional.

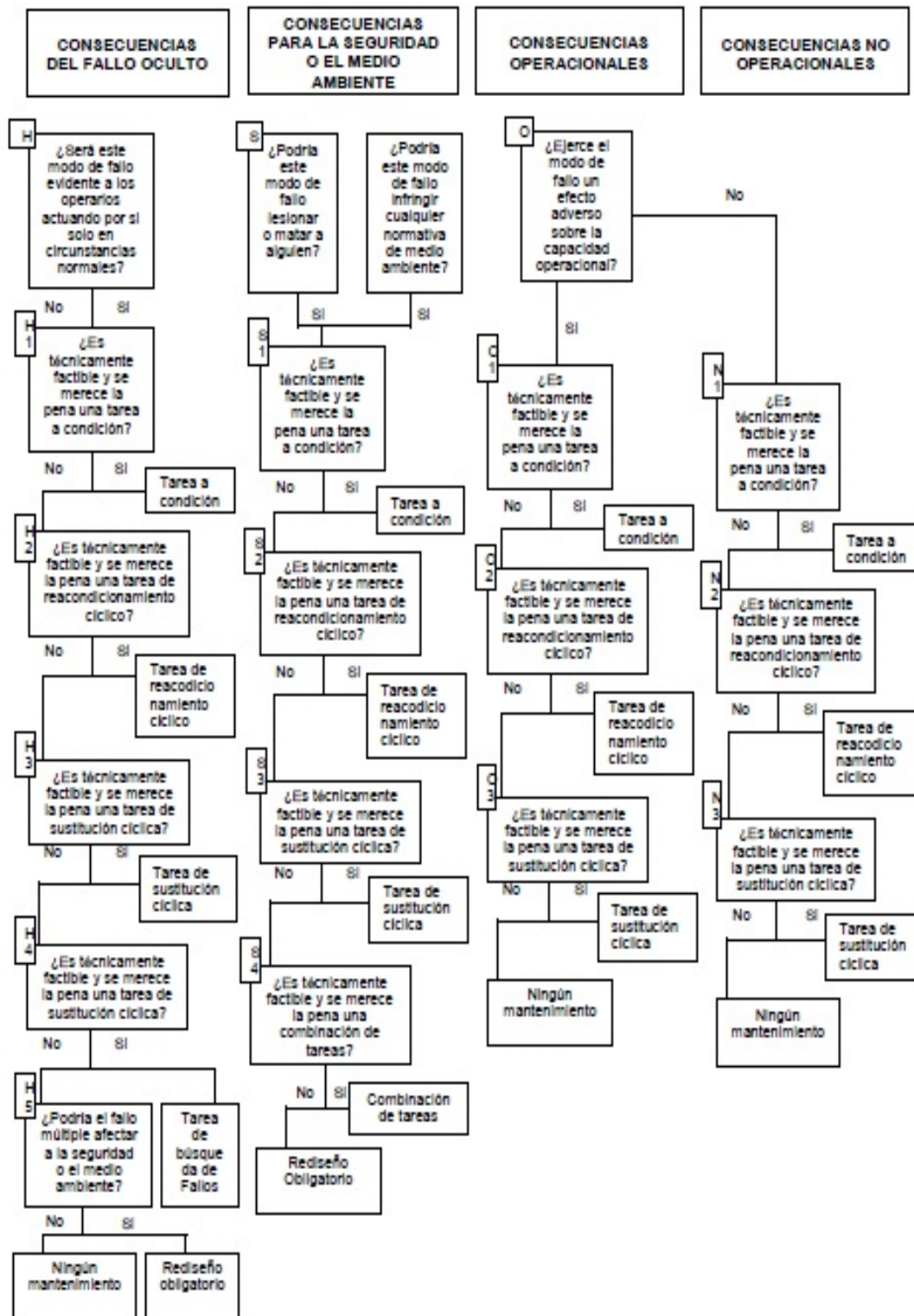


Figura 2.6: Árbol lógico de decisión.

2.6. Aire Acondicionado

El acondicionamiento del aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior, con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento.[14]

El estudio del acondicionamiento del aire está basado principalmente en las leyes de la termodinámica y en conceptos básicos de fluidos. Pero el uso de aire acondicionado ha sido reglamentado bajo las normas ASRHAE desde que fue fundada en 1894, las cuales ponen límites y condiciones para sostener una calidad del aire en un ambiente estableciendo normas de seguridad en distintos lugares interiores. La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE) es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados a la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación (HVACR). El ASHRAE está compuesto por más de 55,000 miembros voluntarios en más de 130 países formando 165 capítulos. Los miembros de la sociedad participan en el desarrollo de tecnología en HVACR creando estándares, recomendando procedimientos y guías, investigando y publicando artículos técnicos [15]. Estas normas proponen distintas pautas para diferentes zonas e interiores respecto a la calidad del aire. En el caso de este proyecto las normas a seguir son dirigidas a hospitales o clínicas, que son llamadas “zonas blancas”. Las normas a seguir son:

- *Norma Colombiana:* Es una norma creada por el Ministerio de la Protección Social y en el cual se dictan las pautas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias y a los requisitos básicos y mínimos de infraestructura que deben cumplir las edificaciones e infraestructura física de los Prestadores de Servicios de Salud. Considerando que de acuerdo con el artículo 241 de la Ley en mención, al Ministerio de la Protección Social compete reglamentar “lo relacionado con las condiciones sanitarias que deben cumplir las edificaciones para Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud y similares, para garantizar que se proteja la salud de sus trabajadores, de los usuarios y de la población en general”. Esta norma sugiere algunas características para mantener la calidad en el ambiente y lo divide en áreas. Estas áreas se muestran en la Tabla 1, donde se extraen solo los elementos y criterios que hacen parte del control ambiental de la información encontrada en la norma Colombiana, resolución 4445 de 1996. [16]
- *Norma Internacional:* 1995 ASHRAE HANDBOOK. Applications, chapter 7, Health care facilities. [17]

El propósito principal de estas normas es brindar seguridad y confort a los usuarios que acuden a los establecimientos que tienen alto riesgo de contagio como son las clínicas y hospitales. En las zonas blancas se concentran muchas enfermedades y partículas que son

fuentes de contaminación bacteriana y viral, las cuales provienen de fuentes internas como pacientes, visitantes, empleados entre otros. El aire acondicionado debe mantener una calidad del aire interior del recinto adecuada para la prevención de la propagación y crecimiento de estos microorganismos que pueden ser patógenos para los usuarios. De acuerdo con la calidad del aire, las áreas hospitalarias se dividen en [18]:

Tipo I (Clase A/B)	Quirófanos "A" para trasplante de órganos.
	Quirófanos "B" para corazón abierto u órganos expuestos.
Tipo II (Clase C)	Áreas de aislados o cuarentena.
Tipo III (Clase D)	Quirófanos para ambulatorio o sin órganos expuestos.
	Sala de partos.
	Neonatos.
	Unidades de cuidados intensivos.
	Salas de tratamientos especiales.
Sin Clase	Laboratorios.
	Materiales esterilizados.
	Consultorios.
	Urgencias.

Tabla 2.1: Clasificación áreas hospitalarias. Fuente: Climatización en instituciones de salud Acaire (Asociación Colombiana del Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración)

Para tener una buena calidad del aire, existen tres métodos para controlarla, para disminuir los riesgos de contagio o infecciones en las áreas hospitalarias. Estos tres métodos son, ventilación, presurización y filtración.

La ventilación es una de las formas de mejorar la calidad del aire, haciendo una continua sustitución del aire viciado por un aire limpio. Esto ayudará a reducir la concentración de elementos patógenos, reducir la concentración de monóxido de carbono (CO) en los espacios acondicionados y mantiene un diferencial de presión entre las áreas críticas y las áreas vecinas reduciendo infiltraciones de elementos contaminantes [19]. Las renovaciones recomendadas para las diferentes áreas se muestran en la tabla 2.2. [20]

Aplicación	Renovaciones por hora	Extracción
Tipo I (Clase A)	400-640	si
Tipo I (Clase B)	140-350	si
Tipo II (Clase C)	40-60	si
Tipo III (Clase D)	20-30	si es necesario
Sin Clase	10-15	no

Tabla 2.2: Cambios por hora mínimos. Fuente: ASHRAE handbook, 1985 fundamentals: an instrument of service prepared for the profession containing technical information.

Las tomas del aire exterior deben colocarse lo más lejos de toda fuente de contaminación, mínimo a 2 metros del piso, a 1 metro sobre el techo, a 10 metros de cualquier descarga de extractores, torres de enfriamiento, de lugares por donde circulan vehículos o donde se acumulan desperdicios o sustancias contaminadas.[19]

La presurización va de la mano con la ventilación, ya que ésta (presurización) solo 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, para que el aire siempre circule del área más limpia al área más contaminada.

La filtración garantiza un mínimo número de partículas en suspensión en los espacios críticos, incluyendo las de la flora bacteriana y las de los contaminantes. La buena filtración va acompañada de una renovación adecuada del aire tratado. Sólo con ambos criterios se logra el objetivo final, conocido como Calidad del Aire.

En la tabla 2.3 se muestra, la eficiencia mínima del filtrado de aire según la clasificación de áreas hospitalarias mostrada en la tabla 2.1. [18]

Eficiencias mínimas			
Aplicación	Pre filtro	Filtro	Pos filtro
Tipo I (Clase A/B)	60-65%	90-95%	99.97% HEPA
Tipo II (Clase C)	30-35%	90-95%	99.7% HEPA
Tipo III (Clase D)	30-35%	60-65%	90-95%
Sin Clase	30-35%		

Tabla 2.3: Eficiencia mínima de filtrado. Fuente: Climatización en instituciones de salud Acaire (Asociación Colombiana del Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración).

El pre filtro se instala a la entrada de la unidad de manejo de aire y debe pre filtrar la mezcla del aire de retorno y la toma de aire exterior. El filtro debe ser instalado inmediatamente después del pre filtro. De requerirse, los post filtros deben estar a la salida de la unidad de manejo de aire y preferiblemente ser parte integral del difusor, para así evitar contaminaciones del aire en su recorrido por los conductos.

Las áreas que deben recibir este tratamiento del aire y son de cuidados críticos en una zona blanca son: El pabellón de aislamiento o cuarentena, UCI, quirófanos, sala de partos, sala de post operatorios, neonatos, traumatología, urgencias, consultorios y hospitalización. Según la norma ASHRAE se debe asegurar las siguientes características en el aire para las zonas ya mencionadas:

- *Temperatura ajustable entre 62°F (16,6°C) y 80°F (26,6°C).*
- *Humedad Relativa a mantenerse entre 45 % y 55 %.*
- *Presión positiva respecto a áreas vecinas suministrando un exceso del 15 % de aire.*
- *Un manómetro instalado que comprobará el diferencial de presión entre el interior y el exterior de las áreas.*
- *La temperatura y humedad deben leerse con facilidad dentro de las áreas que lo ameriten.*

Las normas Colombianas para el ambiente indican que las áreas de quirófanos tienen un tratamiento especial. Deben de conservar una temperatura de 21°C, con una humedad relativa de 50 %, un flujo de viento de 60 cm/s (120 fpm) y la renovación del aire entre 25 y 30 veces por hora. Las normas Colombianas también indican que los cuartos de aislamiento o

cuarentena deberán tener ventilación artificial que permita diez (10) cambios de aire por hora y la presión del aire de la antecámara con relación al pasillo deberá ser levemente negativa, y preferiblemente, tanto la antecámara como el cuarto de aislamiento deberán tener su propio sistema de entrada y salida del aire.

2.7. Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o bondades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. [21]

El mismo se basa en la utilización de modelos matemáticos contextualizados. El incumplimiento de esta cualidad en los modelos tiene como riesgo la posibilidad de obtener resultados no representativos del campo analizado. [22]

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso de confiabilidad humana confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos como se muestra en la figura 2.7.

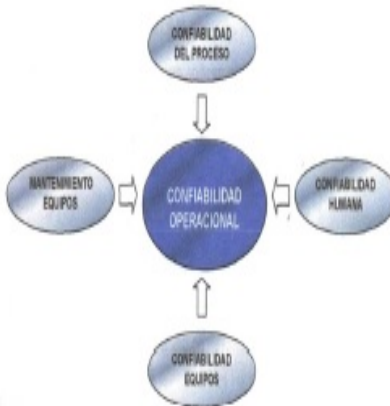


Figura 2.7: Aspecto de la confiabilidad operacional. Fuente: L. Montaña, E. Rosas, Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa acerías paz del río S.A.[23]

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar

estudios o proyectos que mejoren la Confiabilidad Operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un Análisis de Criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo: permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad. [21]

La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para [24]:

- *Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.*
- *Priorizar proyectos de inversión.*
- *Diseñar políticas de mantenimiento.*
- *Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.*
- *Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.*

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: mantenimiento, inspección, materiales, disponibilidad de planta, personal.

Este análisis se realiza identificando las funciones del ente a evaluar, con el fin de conocer los procesos y la normas de operación para alcanzar el producto final. Optima el uso de los recursos disponibles, concentrándolos en los elementos más importantes que impacte positivamente la rentabilidad del negocio. La aplicación del análisis jerarquiza los sistemas estudiados en:

- *Alta criticidad*
- *Media criticidad*
- *Baja criticidad*

Parte III

Implementación RCM en la CUB

Capítulo 3

Implementación RCM en la CUB

En esta fase lo primero a realizarse es la exploración de la empresa o el edificio a ser estudiado, resaltando las razones por las cuales la empresa o el edificio necesitan realizar un estudio de sus instalaciones y verificar el buen funcionamiento.

La CUB es una institución prestadora de servicio que persigue la calidad y la eficiencia del servicio prestado. Los equipos de aire acondicionado instalados en la empresa que ayudan a prestar un buen servicio con alta calidad, por lo que necesitan tener un cuidado y atención periódica para poder asegurar una alta eficiencia en su funcionamiento.

La clínica necesita realizar un estudio de estos equipos para verificar y asegurar una alta calidad en el funcionamiento, por esto la implementación de la metodología de RCM el sistema de aire acondicionado mas critico instalado en esta es la mejor opción. A continuación se muestra la identificando de las áreas de servicio que tiene la CUB.

3.1. Áreas de servicios

La clínica cuenta con varias áreas de servicio que están repartidas por toda la edificación. La entidad ofrece una serie de servicios ambulatorios y hospitalarios en las distintas especialidades clínicas y quirúrgicas, entre los que sobresalen la Unidad de Terapia Intensiva Adultos, la Unidad Materno Infantil Nuestra Señora de la Candelaria para el cuidado del binomio madre - hijo, los servicios de Cirugía y Hospitalización para la mediana y la alta complejidad en la mayoría de especialidades, y todos los servicios de apoyo diagnóstico. Cada área de servicio realiza diferentes labores y hace diferentes procedimientos. A continuación se muestra la lista de servicios:

- Servicio de Emergencias.
- Consulta Médica General y Especializada.
- Laboratorio Clínico.
- Servicio de Hospitalización.
- Cirugía.
- Servicios de Apoyo Terapéutico.
- Unidad de Terapia Intensiva (UTI).
- Unidad de Imágenes Diagnósticas.
- Unidad Materno Infantil.
- Servicio Farmacéutico.
- Reumatología y Enfermedades Autoinmunes.

3.2. Áreas con aire acondicionado

Las áreas que tienen acondicionamiento de aire se muestran a continuación:

- Admisiones Obstetricia.
- Aprovisionamiento.
- Auditoría médica / Coordinación Ginecobstetricia.
- Auditorio sala de reuniones.
- Aulas de estudio.
- Cardiología-Ortopedia.
- Central de esterilización.
- Cirugía general.
- Cirugía ginecobstetricia.
- Consulta externa.
- Coordinación servicio de emergencias.
- Coordinación servicios ambulatorios.

- CTIC sistemas.
- Dirección general.
- Emergencias.
- Epidemiología.
- Farmacia.
- Fisioterapia.
- Gestión de la información.
- Gestión documental.
- Gestión humana.
- Imágenes diagnósticas.
- Laboratorio Dinámica.
- Lactario.
- Locutorio.
- Mantenimiento.
- Materno fetal.
- Monitoreo.
- Neonatos básicos.
- Neonatos UCE (Unidad de cuidados especiales).
- Neonatos UTI.
- Procedimientos menores.
- Ropería.
- Hospitalización VIP.

Estas áreas cuentan con un tipo de equipo de aire acondicionado especialmente para cumplir con las necesidades de acondicionamiento del aire. Los equipos instalados en estas áreas están para cumplir uno de dos propósitos: generar confort en el área de trabajo o regular las condiciones de ambiente debido al grado de contaminación del área.

3.3. Tipos de aires acondicionados instalados en la CUB

En la tabla 3.2 se muestra los tipos de equipos que hay actualmente (Noviembre 2014) en la Clínica Universitaria Bolivariana.

Tipo de equipo	Capacidad (BTU/h)	Tipo de sistema de funcionamiento	Características
Piso Techo	36.000 - 60.000	Refrigerante	Pueden ser instalados en el piso, en una de las paredes del extremo de un salón, o en el techo del mismo. El poder del ventilador de la enfriadora, es mucho más fuerte que los Split normales.
Aire Ventana	5.000 - 24.000	Refrigerante	Equipo compacto, utilizado en espacios pequeños tales como habitaciones, oficinas y similares. Se debe hacer una perforación tipo ventana para su instalación. Equipos de fácil y rápida instalación, bajo precio, fácil mantenimiento pero medianamente ruidosos, solo aplica para espacios pequeños, estéticamente regulares en el interior y en el exterior afean las fachadas.
Mini Split	7.000 – 36.000	Refrigerante	Equipo relativamente económico, muy silencioso, son para espacio de pequeño a mediano pero, se requiere de un sitio exterior muy ventilado para instalar la unidad condensadora, debe estar unidas tanto la unidad exterior con la interior por medio de cables eléctricos y tubería de cobre, la instalación podría ser costosa al punto de igualar e incluso superar el valor del equipo.
Split	18.000 – 60.000	Refrigerante	Equipo muy silencioso, permite controlar la oxigenación del recinto, es muy versátil en el uso del espacio a la hora de hacer la instalación, pero le añade a la instalación el diseño y fabricación de ductos, lo que puede incrementar el valor de la instalación, generalmente se requiere hacer obra civil básica para instalar la parte evaporadora.

Tabla 3.1: Equipos de aire acondicionado instalados en la CUB.

Fancoil	6.000 – 43.000	Agua helada	Se aplica ampliamente en los edificios altos, los hoteles, los edificios de oficinas, los hospitales, etc. y las habitaciones con aire acondicionado que requiere de poco ruido y flexible regulación.
UMA	20.000 - 90.000	Agua helada	Es capaz de controlar los tres parámetros elementales de la calidad del aire: renovación y limpieza del aire (bajo contenido de partículas, polvo, en suspensión), control de la temperatura y de la humedad relativa adecuadas. Genera alta calidad del aire, tiene bajos consumos energéticos, pero ocupa un gran volumen de espacio para su instalación y necesita de una red de tubería de agua helada.
CHILLER	840.000	Refrigerante y ventilación	Este es un sistema muy utilizado en grandes edificios. Estos sistemas requieren antes de ser cotizados o instalados de un previo diseño, hecho por expertos del tema.

Tabla 3.2: Continuación tabla de Equipos de aire acondicionado instalados en la CUB.

3.4. Inventario de equipos aire acondicionado

El inventario de equipos es la primera herramienta y la más importante para poder crear un buen programa de mantenimiento, además que mantiene actualizado la información del estado de todos los equipos [25]. Al realizar el inventario de los equipos de aire acondicionado instalados en la Clínica Universitaria Bolivariana, se pudo conocer el estado actual de estos activos, dando una base sólida en el estudio realizado y en la efectiva toma de decisiones.

La actualización del inventario realizado en la CUB tuvo como objetivo la verificación física de los equipos, corroborando la cantidad instalada y el estado en el que se encontraban. Esta actividad reunió todas las características y cualidades del equipo. Ver Anexo 1, Base de Datos 2014 de forma digital.

Después de recopilar toda esa información de la actualización de la base de datos 2014, esta se debe de organizar en un lugar que sea de fácil acceso y lectura. Este lugar es la ficha técnica, la cual es un formato que estandariza toda la información coleccionada de los equipos. Este documento contiene la descripción detallada de las características de un equipo o sistema y ayuda al encargado del mantenimiento a realizarlo de forma más completa, precisa

y eficiente.

La ficha técnica creada para la CUB se muestra de forma digital en el Anexo 2, Ficha técnica Equipos 2014. Esta ficha contiene toda la información de los equipos de aire acondicionado. La información que contiene la ficha técnica es:

- *Fecha de creación de la ficha técnica:* Es la fecha cuando la ficha técnica fue creada.
- *Registro fotográfico del equipo:* Es una foto real del equipo en general, para ayudar en la orientación del técnico encargado y ayudar a identificarlo mejor.
- *Información del proveedor:* Se muestra la información pertinente de la empresa o persona proveedora del equipo con toda su información para el contacto. Nombre empresa, Nit, Nombre del contacto y sus datos, representación de la marca, tiempo de representación, y ubicación de la empresa.
- *Información del equipo:* Se muestra la información de las características físicas del equipo. Tipo de equipo (Apoyo hospitalario, biomédico o aire acondicionado), nombre del equipo (tipo de equipo), marca, número de serie, modelo, fabricante, dimensiones, peso total del equipo, y país de origen.
- *Valor del equipo:* Es la información del valor que se paga por la adquisición del equipo. Cantidad de equipos, Costo unitario (sin IVA), Costo total (con IVA), tipo de moneda, información de descuento (si lo hay), y observaciones del proveedor.
- *Características específicas del equipo:* Se muestra las características importantes del equipo como: Voltaje, amperaje, potencia (consumo de energía), número de fases, factor de potencia, factor de seguridad, velocidad de rotación (RPM), frecuencia, características clínicas, características mecánicas, características eléctricas, características de compatibilidad y comunicación.
- *Información solo para equipos de aire acondicionado:* Esta sección es solo para llenar por el proveedor si la ficha le pertenece a un equipo de aire acondicionado. En esta parte se identifica el tipo de aire acondicionado y las características de interés que se deben conocer. Tipo de aire acondicionado, si es mini Split, Split, extractor de aire, aire de ventana, Chiller, Fancoil, nevera, unidad manejadora de aire (UMA), o torre de enfriamiento. También se pregunta por el tipo de refrigerante (si utiliza), la capacidad en CFM o en BTU/h, el tipo de filtro (si tiene) con sus características (dimensiones, eficiencia y flujo). De acuerdo a la clasificación del tipo de equipo de aire acondicionado se busca la sección del equipo elegido y se completan la información de las características del equipo. Por ejemplo si es un equipo tipo Chiller, solo se llena la sección de Chiller, lo mismo si es tipo UMA, Split o Mini Split.
- *Características para la instalación:* Se realizan algunas preguntas referente a si se

requieren unas condiciones especiales para instalar el equipo como:

- ¿El equipo requiere de espacio adicional para la instalación, operación o seguridad?
 - ¿El equipo requiere de condiciones especiales de temperatura?
 - ¿El equipo requiere de ajustes o correcciones por su ubicación geográfica?
 - ¿El equipo requiere conexiones de alimentación (agua, gas, energía, etc.)?
 - Se le pide al proveedor que especifique.
- *Accesorios y partes incluidas en la oferta (por equipo):* En esta sección se hace la lista de accesorios y partes que vienen incluidas en la compra del equipo con su descripción, costo unitario del accesorio, y observaciones. La sección en rojo es para ser completada solo por la clínica, registrando si el accesorio está o no está físicamente cuando se recibe el equipo.
 - *Compatibilidad con conexiones:* Se muestra información del tipo de conexión con el que cuenta el equipo. Se pregunta al proveedor sobre si el equipo tiene o no:
 - Conectividad a sistemas de información electrónicos (protocolo HL7).
 - Conectividad a PACS y RIS.
 - *Garantía y mantenimiento:* Se muestra información de la garantía y el mantenimiento con el que viene la compra del equipo (si es que la tiene). La información es:
 - Tiempo de Entrega (días calendario) para el equipo.
 - Tiempo de Garantía (Mínimo 2 años).
 - Tiempo de entrega (días) para repuestos.
 - Garantía de accesorios.
 - Número de calibraciones incluidas en el tiempo de garantía.
 - Observaciones a la garantía
 - *Contrato de mantenimiento Post-garantía:* En esta sección se muestra la información si existe un contrato de mantenimiento del equipo después de la garantía. Se muestra la siguiente información:
 - Valor contrato anual (Pesos) debe incluir: IVA y cualquier repuesto que el equipo necesite.
 - Incremento anual estimado contrato mantenimiento.

- Tiempo de respuesta para correctivos (Horas).
- *Permanencia en el mercado:* Información sobre la vida útil del equipo, la consecución de repuestos, y el año de salida al mercado del modelo ofertado.
- *Accesorios y consumibles:* Es la información de los accesorios y consumibles que tiene el equipo. Se le pregunta al fabricante si el equipo tiene condiciones de funcionamiento con elementos consumibles distribuidos exclusivamente por el fabricante.

Del inventario hecho en el 2013 [26], se obtiene la siguiente actualización a noviembre del 2014 tabla 3.3 y 3.4:

Área o servicio antigua.	Ubicación antigua.	Tipo de equipo.	Placa.	Área o servicio asignado.	Ubicación asignado.	Placa.
Auditoría Médica 2	Piso 4 Torre C	Minisplit	9557	Rack Consulta Externa	Torre AD Piso 1	9557
Coord. Gineco	Piso 4 Torre C	Aire Ventana	5448	Auditores Coomeva	Torre C Piso 5	5448
Desmontado	Bodega Mantenimiento	Aire Ventana	2977	Maternofetal	Torre AD Piso (Cons. 5)	2977

Tabla 3.3: Equipos de aire acondicionado reubicados en la CUB.

Área o servicio.	Ubicación.	Tipo de equipo.	Placa.	Descripción.
Auditoría Médica 2	Piso 4 Torre C	Split	10090	Se asigna, para aprovechamiento de equipos sin funcionamiento.
Coord. Gineco	Piso 4 Torre C	Split	10090	Se asigna, para aprovechamiento de equipos sin funcionamiento.
Neonatos Básico	Piso 3 Torre A	Minisplit	N/A	Equipo nuevo, el área fue reubicaba. (Piso 5 Torre B, Antigua)
Rack	Piso 2 ^{1/2} Torre A	Minisplit	10825	Equipo nuevo.

Tabla 3.4: Equipos de aire acondicionado nuevos en la CUB.

Cada equipo de aire acondicionado en la CUB queda con su ficha técnica actualizada ver Anexo 3, digital Inventario, para finalmente con esta actualización ayuda al departamento de ingeniería clínica y el centro de atención sanitaria en su conjunto así : [25]

- Previsión y elaboración de presupuestos.
- Planificación y equipamiento de un taller técnico.
- Determinación del personal necesario.

- Determinación de las necesidades de capacitación.
- Gestión de los contratos de servicio técnico.
- Aplicación de un programa eficaz de gestión de los equipos.
- Planificación de pedidos de refracciones y materiales fungibles.
- Evaluación de las necesidades.
- Establecimiento de las políticas y objetivos de sustitución y eliminación.
- Establecimiento de objetivos de adquisición y donación.
- Análisis, gestión y mitigación de riesgos.
- Planificación para catástrofes y situaciones de emergencia.
- Fomento de la estandarización de los equipos.

3.5. Clasificación de A.A. según su criticidad

En una clínica u hospital, hay varios equipos que demandan mayor atención respecto a otros, debido a sus actividades u operaciones. El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridad de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.[25]

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda para determinar la importancia de los procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Para este caso en una zona blanca (clínica u hospital), se va a realizar un análisis de criticidad a los equipos de aire acondicionado instalados en los diferentes servicios, ya que cuentan con diferentes tipos como se describió anteriormente en la tabla 3.2 y en diferentes zonas donde se realizan actividades de mayor o menor riesgo para la salud de las personas. Por esto se debe tener muy en cuenta una clasificación de estos, para poder organizar un plan de mantenimiento efectivo, asegurando una confiabilidad alta.

Se establecieron como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad en la clínica los siguientes:

- Funcionamiento.

- Riesgos asociados a la salud del paciente.
- Riesgos asociados a la salud del trabajador.
- Frecuencia de Mantenimiento.
- Frecuencia de fallos.
- Tiempo promedio para reparar.
- Costos relacionados con la falla o parada del equipo.
- Área de Uso.

Los cuales fueron comparados entre ellos, en la herramienta ACRITEQUIP [27], por medio de la escala de Saaty, dada esta evaluación por el ingeniero experto del departamento de ingeniería y mantenimiento de la CUB, el personal técnico y el criterio personal fundamentado en la literatura, dando como resultado un índice de aceptabilidad de 0,08; figura 3.1, ver Anexo digital 4 Matriz de Criticidad.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
a. Función del equipo									1									h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo
b. Riesgo asociado a la salud del paciente									1									c. Riesgo asociado a la salud del trabajador
b. Riesgo asociado a la salud del paciente									1									d. Requerimientos de Mantenimiento
b. Riesgo asociado a la salud del paciente									1									e. Área de uso
b. Riesgo asociado a la salud del paciente									1									f. Frecuencia de Fallos
b. Riesgo asociado a la salud del paciente									1									g. Tiempo promedio para reparar el equipo
b. Riesgo asociado a la salud del paciente									1									h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo
c. Riesgo asociado a la salud del trabajador									1									d. Requerimientos de Mantenimiento
c. Riesgo asociado a la salud del trabajador									1									e. Área de uso
c. Riesgo asociado a la salud del trabajador									1									f. Frecuencia de Fallos
c. Riesgo asociado a la salud del trabajador									1									g. Tiempo promedio para reparar el equipo
c. Riesgo asociado a la salud del trabajador									1									h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo
d. Requerimientos de Mantenimiento									1									e. Área de uso
d. Requerimientos de Mantenimiento									1									f. Frecuencia de Fallos
d. Requerimientos de Mantenimiento									1									g. Tiempo promedio para reparar el equipo
d. Requerimientos de Mantenimiento									1									h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo
e. Área de uso															1			f. Frecuencia de Fallos
e. Área de uso															1			g. Tiempo promedio para reparar el equipo
e. Área de uso															1			h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo
f. Frecuencia de Fallos															1			g. Tiempo promedio para reparar el equipo
f. Frecuencia de Fallos															1			h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo
g. Tiempo promedio para reparar el equipo															1			h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo

RC 0,08
 RC aceptable

Figura 3.1: Índice de aceptabilidad de criterios.

Los anteriores criterios recibieron un valor entre uno y nueve para poder calificar los equipos de aire acondicionado presentes en la CUB, según sus funciones y características. Esta calificación se muestra en la tabla 3.5.

Criterios	Valoración Nivel de Riesgo				
	1	3	5	7	9
Funcionamiento	Se enciende solo para generar confort.	Se enciende solo cuando se realiza alguna actividad.	El equipo se debe mantener encendido.	Se requiere una regulación temperatura.	Se necesita control de temperatura y presión en el servicio.
Riesgos asociados a la salud del paciente	Riesgos Insignificantes.	Riesgos No Significativos.	Afectaciones de medio riesgo para el paciente.	Infecciones al paciente.	Muerte de Paciente.
Riesgos asociados a la salud del trabajador	Riesgos Insignificantes.	Riesgos No Significativos.	Afectaciones de medio riesgo para el trabajador.	Infecciones al trabajador.	Muerte del Trabajador.
Frecuencia de Mantenimiento	No requiere mantenimiento.	Anual.	Semestral.	Trimestral.	Mensual.
Frecuencia de fallos	Más de 5 años.	Aproximadamente 3 años.	Aproximadamente 1 año.	Aproximadamente 6 meses.	Menos de 3 meses.
Tiempo promedio para reparar	Reparación inmediata.	No más de 4 horas.	Entre 4 y 24 horas.	Entre 24 y 48 horas.	Más de 48 horas.
Costos relacionados con la falla o parada del equipo	Ninguno (El servicio no depende del equipo).	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto (Se genera un paro en todo el servicio).
Área de Uso	Áreas de anestesia.	Áreas de cuidado crítico.	Lugares húmedos/Laboratorios/Toma de muestras.	Área de cuidado general.	Área sin pacientes.

Tabla 3.5: Valoración de equipos de aire acondicionado en la CUB.

La figura 3.2 muestra la calificación dada a cada criterio de los diferentes equipos de aire acondicionado en la CUB.

Evaluación del nivel de riesgo										Indice de Criticidad	Orden jerarquico
Equipos	a. Función del equipo	b. Riesgo asociado a la salud del paciente	c. Riesgo asociado a la salud del trabajador	d. Requerimientos de Mantenimiento	e. Área de uso	f. Frecuencia de Fallos	g. Tiempo promedio para reparar el equipo	h. Costos relacionados con la falla o parada del equipo			
Aire Ventana (Auditores Coomeva)	1	1	3	7	1	5	1	1	0,245000	7	
Minisplit (Mantenimiento Oficina)	1	1	3	7	1	5	1	1	0,245000	7	
Chiller (Cirugía Ginecobstetricía)	9	7	7	9	9	7	7	9	0,817063	1	
Chiller (Neonatos UTI)	9	7	7	9	7	7	7	7	0,798593	2	
Minisplit (Neonatos Basico)	1	3	3	7	3	5	1	1	0,327835	4	
Fancoil (Habitaciones VIP)	1	3	3	3	3	3	1	1	0,293844	5	
Aire Ventana (Maternofetal Consultorio)	7	1	3	7	3	5	7	5	0,356494	3	
Fancoil (Gestión Documental)	7	1	3	7	1	3	1	1	0,262275	6	

Figura 3.2: Matriz de criticidad.

La figura 3.3 representa la necesidad de cada equipo de recibir atención. Esta imagen muestra los equipos de aire acondicionado desde el más crítico hasta el menos crítico, análisis dado por la herramienta ACRITEQUIP [27].

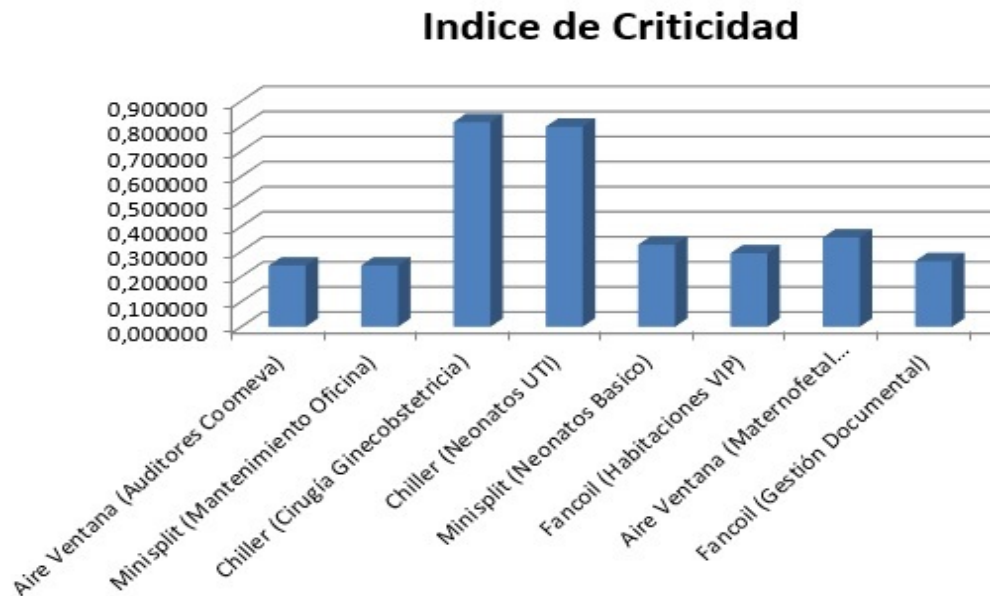


Figura 3.3: Indice de criticidad.

La figura 3.2 muestra el orden jerárquico de los aires acondicionados en la CUB, por tal razón se va a tomar el de mayor jerarquía en este caso el Chiller (Cirugía Ginecobstetricia), este para realizar la aplicación del RCM, que se muestra en el la siguiente sección, ver Anexo digital 4 Matriz de Criticidad.

3.6. Hoja de información análisis de modos y efectos de falla(AMFE)

Identificado el equipo de alta criticidad, se adaptó la metodología de RCM mediante una división del sistema aire acondicionado más crítico de la CUB en sub-sistemas y componentes; con el fin de realizar la aplicación de ésta a partir del análisis de modos y fallas (AMFE).

El sistema de aire acondicionado más crítico en la CUB, como se observo en la imagen 3.2, es el del área de Cirugía Ginecobstetricia, el cual está conformado por un Chiller enfriado por agua, que a su vez tiene incorporada a su uso de una torre de enfriamiento, la cual mejora la eficiencia termodinámica de este; y que fue dividido en los siguientes sub-sistemas y componentes por el autor para su mejor comprensión y abordaje en la metodología implementada:

- *Circuito de Condensación:*

- Válvula Mariposa In.
- Válvula Mariposa Out.
- Junta de expansión In.
- Junta de expansión Out.
- Sensor de temperatura In.
- Sensor de temperatura Out.
- Termometro 1.
- Termometro 2.
- Motobomba principal.
- Motobomba de reserva.
- Junta de expansión Descarga.
- Valvula mariposa - succión principal.
- Valvula mariposa - succión reserva.
- Valvula mariposa - descarga principal.
- Valvula mariposa - descarga reserva.
- Torre de enfriamiento.
- Motor torre de enfriamiento.
- Esparzor - atomizador.
- Relleno.
- Flotador.
- Termostato.
- Hélice o aspas.
- Válvula suministro torre.
- Válvula purga o drenaje torre.
- Hélice o aspas.
- Valvula suministro torre.

- Manometro de caratula de presión.

■ *Gas-Liquido-Refrigerante:*

- Compresor 1.
- Compresor 2..
- Condensador.
- Evaporador.
- Refrigerante.
- Aceite.
- Solenoide 1.
- Solenoide 2.
- Sensor temperatura aceite 1.
- Sensor temperatura aceite 1.

■ *Circuito de Evaporación:*

- Válvula Mariposa In.
- Válvula Mariposa Out.
- Junta de expansión In.
- Junta de expansión Out.
- Sensor de temperatura In.
- Sensor de temperatura Out.
- Termometro 1.
- Termometro 2.
- Motobomba principal.
- Motobomba de reserva.
- Junta de expansión Descarga.
- Valvula mariposa - succión principal.
- Valvula mariposa - succión reserva.

- Valvula mariposa - descarga principal.
- Valvula mariposa - descarga reserva.
- Evaporador.
- UMA.
- Válvula motorizada Out UMA.
- Termostato.
- Válvula globo In UMA.
- Manómetro de caratura filtros.
- Motor - Ventilador.
- Filtros - Prefiltros.
- Damper de renovación.
- Tanque de reserva.
- Válvula globo In tanque reserva.
- Válvula globo Out tanque reserva.

En la siguiente tabla se especifica las funciones que se espera que realice el sistema, las posibles fallas como también los posibles modos de falla con sus respectivos efectos.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 1 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	
1. Tener una buena apariencia y demarcación en todo el sistema de aire acondicionado.	A. No tener una apariencia agradable en todo el sistema de refrigeración.	1. Superficies sucias o contaminadas.	Esto exhibe una imagen inaceptable a los clientes y directivos que visiten el cuarto de técnico, como también un mal mensaje a los empleados. Toma ocho horas limpiar el sistema.		
	B. No tener marcados cada uno de los elementos que hacen parte del sistema de refrigeración.	1. No existe marcación.	Se puede presentar una mala operación de los equipos que conforman el sistema. Preparar y colocar una nueva marcación toma 30 a 60 minutos por unidad.		
		2. Desconocimiento de la marcación.	Se puede operar sobre equipos, en los que no se desea intervenir. Se puede sacar el chiller de funcionamiento. El proceso de remarcación puede tardar una hora.		

Tabla 3.6: Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 2 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	
2. Permitir la operación de las motobombas en forma manual.	A. No permitir la operación de las motobombas en forma manual.	1. Falla pulsador de arranque.	Al operar el pulsador la motobomba no arranca.		
		2. Falta de alimentación.	No arranca la motobomba, por falta de voltaje en el sistema.		
		3. Falla fusible y/o breaker las motobombas del sistema.	Las motobombas que estén trabajando en ese momento se paran y si se da una falla múltiple(Principal-Reserva) ocasiona que no haya flujo de agua a las unidades correspondientes que están operando.		
		4. Perilla selectora de Motobomba Principal o Reserva.	La motobomba seleccionada no arranca.		

Tabla 3.7: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 3 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
3. Suministrar un caudal de aire filtrado a la salida de las UMA a una temperatura no mayor a 22°C y una humedad relativa del orden del 60%.	A. No se suministra nada de aire.	1. Ausencia de tensión en las terminales del motor del ventilador de la UMA.	Si en ese momento está trabajando dicha UMA, no se produce una circulación de aire en cirugía, también hace que se incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación de los equipos eléctricos y electrónicos que pueden estar directamente relacionados con los procedimientos.	No se produce una circulación de aire en el área de cirugía, también hace que se incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación de los equipos eléctricos y electrónicos que pueden estar directamente relacionados con los procedimientos.	
		2. Motor de los ventiladores de la UMA no arranca.			

Tabla 3.8: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 4 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
	B. Suministro caudal de aire inferior al requerido.		1. Ruptura de correas entre el motor y el ventilador de de la UMA.	No se produce ninguna alarma que indique la ruptura de las bandas. No pasa aire para evacuar toda la carga térmica del area de cirugía, de la misma manera se produce un incremento en la temperatura afectando la salud de las personas y las condiciones de operación de los equipos eléctricos y electrónicos que pueden estar directamente relacionados con los procedimientos.	
			2. Falta de tensión en la correa de la UMA.	No se produce ninguna alarma de que indique que la correa están destencionada, pero el ventilador de la UMA no gira a la velocidad que debe de girar, el aire frío no circula en su totalidad por cirugía y de esta manera aumentando la temperatura afectando la salud de las personas y las condiciones de operación de los equipos.	

Tabla 3.9: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 5 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
	C. La temperatura del aire a la salida de las UMA es mayor a 22°C y la humedad del aire no es del orden del 60%.		1. La temperatura del agua a la salida del evaporador es superior a la requerida 41.5°F ó 5.27°C.	El aire combinado de recirculación y de renovación no es enfriado lo suficiente como para que remueva todo el calor de cirugía, produciendo así después de cierto tiempo recalentamiento del aire pudiendo averiar equipos electrónicos y otros componentes que están directamente relacionadas. La unidad de enfriamiento también se puede salir funcionamiento porque se reduce el delta de temperatura entre el líquido refrigerante y el agua fría.	
			2. Ensuciamiento del serpentín de enfriamiento de la admisión del aire de la UMA.	No se produce ninguna alarma visual ni sonora cuando se ensucia este serpentín. No se da la suficiente transferencia de calor del aire combinado hacia el agua que pasa a través del serpentín, pasando el aire con una humedad y una temperatura inadecuada, esto se traduce en un incremento en la temperatura de cirugía.	

Tabla 3.10: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 6 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	
			3. Pérdida del flujo parcial o total a través de toda la conducción del circuito de agua fría.	Se presenta abertura de switch de flujo, por la cual sale de funcionamiento la unidad de enfriamiento por bajo flujo. Se incrementa los niveles de ácido sulfúrico, dióxido y monóxido de carbono que pueden perjudicar la salud de las personas, además se incrementa la temperatura en área de cirugía modificando las condiciones de operación de los equipos eléctricos y electrónicos pudiendo averiarlos.	
			4. Válvula mariposa de la salida de las UMA parcial o totalmente cerradas.	No se produce ninguna alarma visual ni sonora. El agua que hay en el serpentín se queda estancada y no se hace una transferencia de calor entre el aire y el agua. El aire pasa a través del serpentín sin que se extraiga su calor y humedad, aumentando así la temperatura en cirugía y afectando condiciones operacionales de los equipos. Como consecuencia de esto, se incrementa la concentración de gases en cirugía afectando a la seguridad de las personas.	

Tabla 3.11: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 7 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
		5. Válvula motorizada de la salida de las UMA parcial o totalmente cerradas.		No se da la suficiente transferencia de calor del aire combinado hacia el agua que pasa a través del serpentín, pasando el aire con una humedad y una temperatura inadecuada, esto se traduce en un incremento en la temperatura de cirugía.	
	D. El aire esta saliendo de la UMA sin filtrarse.	1. Faltan filtros en la UMA.		No se produce ninguna alarma que indique que no están dichos filtros. Se ensucia rápidamente el serpentín, produciendo calentamiento en el aire y contaminación en el area de cirugía, por el aire contaminado.	
		2. Filtros dañado o gastado por uso.		En el manometro de caratula de la UMA, muestra 1.1 psi, ya este esta para cambio. Se ensucia rapidamente el serpentín, produciendo calentamiento en el aire y contaminación en el area de cirugía, por el aire contaminado.	

Tabla 3.12: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.	Hoja: 8 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
4. Suministrar un caudal no menor a 20.5 l/s de agua de condensación al condensador.	A. No suministra nada de agua.	1. Ausencia de tensión ó falsos contactos en las terminales de la motobomba.	Se presenta abertura de switch de flujo si en ese momento está trabajando dicha motobomba, entonces hay que poner en funcionamiento la motobomba de reserva. En caso de que se produzca una falla múltiple, no se produce una circulación de agua en el circuito de agua condensada, produce una para en el chiller lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
		2. Motor de la bomba no arranca(bobinado quemado).	Se presenta abertura de switch de flujo. Hay que cambiar a la bomba de reserva. Cuando se produce una falla múltiple, sale de funcionamiento el sistema de aire acondicionado. Se incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.13: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)			Elemento: Sistema de Aire Acondicionado		Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 9 de 24	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA					
		3. Rodamientos pegados de la motobomba.	Se presenta abertura de switch de flujo si en ese momento está trabajando dicha motobomba, entonces hay que poner en funcionamiento la motobomba de reserva. Si se produce una falla múltiple, sale el chiller de funcionamiento por bajo flujo, lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.					
		4. Impulsador de la motobomba.	No hay circulación de agua en el circuito de agua de condensación, esto hace que no se produzca un intercambio de calor con el agua de cruda y se reduzca el delta de temperatura sacando la chiller de funcionamiento, por la abertura de switch de flujo. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y también afectando la salud de las personas.					

Tabla 3.14: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 10 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	
			5. Válvulas mariposa del circuito de condensación que se encuentran en operación estén totalmente cerradas.	Se impide el paso de agua a través del circuito de condensación, saca automáticamente las unidades de enfriamiento por no flujo, por la abertura de switch de flujo . Lo que hace que incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			6. Válvulas motorizadas IN Condensador totalmente cerrada.	Al estar cerrada esta válvula, no hay condición de funcionamiento del chiller y saca este de funcionamiento. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y también afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.15: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 11 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
			7. No hay agua condensada en la Torre de Enfriamiento.	No hay circulación de agua en el circuito de condensación, sacando la chiller de funcionamiento, por la abertura de switch de flujo. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos.	
	B. Suministra menos de 20.5 l/s.		1. Rodamientos desgastados.	No se presenta ninguna alarma. Hay que cambiar a la bomba de reserva. Cuando se produce una falla múltiple, sale de funcionamiento el sistema de aire acondicionado. Se incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.16: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)			Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 12 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	
				EFFECTO DE FALLA	
			2. Impulsor de la motobomba desgastado.	Se pierde presión en el flujo del agua que va a través de la tubería, esto implica que no se hace una transferencia adecuada de calor y se cierra el delta de temperatura haciendo que se salga el chiller de funcionamiento ó también puede ocurrir que el chiller se salga por bajo flujo, lo que hace que incrementemente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			3. Ruptura de juntas de expansión en el circuito de agua de condensación.	Se puede salir el chiller por bajo flujo ó por la abertura de switch de flujo. Se incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.17: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado		Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.	Hoja: 13 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
		4. Ruptura de la conducción de la tubería del circuito de agua condensación.	Se moja todo el piso, además no se produce un intercambio de calor con el agua de condensación y se reduce el delta de temperatura sacando el chiller de funcionamiento, también puede sacar el chiller por bajo flujo, lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		
		5. Válvulas motorizadas IN Condensador parcialmente cerradas.	Al estar parcialmente cerradas estas válvulas, no hay condición de funcionamiento del chiller y saca esta de funcionamiento. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y también afectando la salud de las personas.		

Tabla 3.18: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 14 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
			6. Condensador sucio.	No se produce un intercambio de calor adecuado entre el líquido refrigerante y el agua de condensación, esto produce que se salga el chiller de funcionamiento. Lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			7. Bajo nivel de flujo de agua de la torre de enfriamiento.	Bajo nivel de circulación de agua en el circuito de condensación, pudiendo sacar el chiller de funcionamiento, por la abertura de switch de flujo. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos.	

Tabla 3.19: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)			Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.	Hoja: 15 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
5. Permitir una transferencia de calor, que corresponda a una temperatura de salida del agua del evaporador del 41.5°F ó 5.27°C.	A. La transferencia de calor, esta por debajo manifestada en una temperatura mayor ó menor a 41.5°F ó 5.27°C.	1. Evaporador Sucio.	No se produce un intercambio de calor adecuado entre el agua fría y el liquido refrigerante. Esto produce que se salga el chiller de funcionamiento, porque se cierra el delta de temperatura. Lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		
		2. Perdida de flujo parcial o total a través de la conducción del circuito de agua fría.	Produce que no se enfríe ni se deshumidifique el aire. Pudiendo sacar el chiller de funcionamiento, también puede sacar el chiller por bajo flujo, por la abertura de switch de flujo, lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		

Tabla 3.20: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 16 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
			3. Válvulas mariposa del circuito de agua fría que se encuentran totalmente cerradas.	Se impide el paso de agua a través del circuito de agua fría, sacando la unidad de enfriamiento por bajo flujo, por la abertura de switch de flujo, lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			4. Válvulas motorizadas IN Evaporador parcialmente cerradas.	Al estar parcialmente cerrada esta válvula, no hay condición de funcionamiento del chiller y saca este de funcionamiento. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y también afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.21: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)			Elemento: Sistema de Aire Acondicionado		Realizado por: Félix Gandur P.	Hoja: 17 de 24
					Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA			
		5. Sensores de temperatura In-Out Evaporador, defectuosos.	El agua del evaporador, no esta en las condiciones de operación, lo que hace que incremente ó decremente la temperatura del aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.			
		6. Desconfiguración del panel de control.	No hay condición de arranque de todo el sistema ó datos erroneos, el aire se empieza a recalentar y cambia la condición de operación. Este cambio afecta la salud de las personas expuestas.			
		7. Sensor de presión Evaporador defectuoso.	La presión del evaporador, no esta en su rango, lo que hace que incremente ó decremente la temperatura del aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.			

Tabla 3.22: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)			Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.	Hoja: 18 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
6. Suministrar agua al evaporador a no menos agua de 20.5 l/s.	A. No suministra nada de	1. Ausencia de tensión ó falsos contactos en las terminales de la motobomba.	Se presenta abertura de switch de flujo si en ese momento está trabajando dicha motobomba, entonces hay que poner en funcionamiento la motobomba de reserva. En caso de que se produzca una falla múltiple, no se produce una circulación de agua en el circuito de agua fría, lo que hace que no pase agua a través del serpentín y se enfríe el aire, lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		
		2. Motor de la bomba no arranca(bobinado quemado).	Se presenta abertura de switch de flujo. Hay que cambiar a la bomba de reserva. Cuando se produce una falla múltiple, sale de funcionamiento el sistema de aire acondicionado. Se incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		

Tabla 3.23: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 19 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
		3. Rodamientos pegados de la motobomba.		Se presenta abertura de switch de flujo si en ese momento está trabajando dicha motobomba, entonces hay que poner en funcionamiento la motobomba de reserva. Si se produce una falla múltiple, sale el chiller de funcionamiento por bajo flujo, lo que hace que incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
		4. Impulsador de la motobomba suelto.		No hay circulación de agua en el circuito de agua fría, esto hace que no se produzca un intercambio de calor con el agua fría y el líquido refrigerante, esto hace que se reduzca el delta de temperatura y el flujo de agua baje sacando el chiller de funcionamiento, por la abertura de switch de flujo. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y también afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.24: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 20 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
			5. Válvulas mariposa del circuito de agua fría que se encuentran totalmente cerradas.	Se impide el paso de agua a través del circuito de agua fría, saca automáticamente las unidades de enfriamiento por bajo flujo, por la abertura de switch de flujo. Lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			6. Válvulas motorizadas IN Evaporador totalmente cerrada.	Al esta cerrada esta válvula, no hay condición de funcionamiento el chiller. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y también afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.25: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 21 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
			7. Evaporador sucio.	No se produce un intercambio de calor adecuado entre el agua fría y el líquido refrigerante. Esto produce que se salga el chiller de funcionamiento, porque se cierra el delta de temperatura. Lo que hace que incrementemente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
	B. Suministra menos de 20.5 l/s.		1. Ruptura de juntas de expansión en el circuito de agua fría.	Escape de agua y causa que salga de funcionamiento el chiller por bajo flujo, por la abertura de switch de flujo. si no se cambia rápidamente puede afectar la salud de las personas, por el incremento de la temperatura y se recaliente el aire.	

Tabla 3.26: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)				Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 22 de 24
ELEMENTO: Sistema de Aire Acondicionado		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	2. Impulsor de la motobomba desgastado.		Se pierde presión en el flujo del agua que va a través de la tubería, esto implica que no se hace una transferencia adecuada de calor, haciendo que salga el chiller de funcionamiento por bajo flujo, por la abertura de switch de flujo. Lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		
		3. Rodamientos desgastados.		No se presenta una alarma, hay que cambiar a la bomba de reserva. Cuando se produce una falla múltiple, sale de funcionamiento el sistema de aire acondicionado. Se incrementa la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.		

Tabla 3.27: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 23 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	
			4. Ruptura de la conducción de la tubería del circuito de agua condensación.	Se moja todo el piso y puede sacar la chiller por bajo flujo, por el swicth de flujo. Lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			5. Válvulas motorizadas IN Evaporador parcialmente cerradas.	Al estar parcialmente cerrada esta válvula, no hay condición de funcionamiento del chiller y saca esta de funcionamiento. Aumentando la temperatura en el aire y cambiando las condiciones de operación que son óptimas para que los equipos trabajen correctamente y tambien afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.28: Continuación Hoja de información.

INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMFE)		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P. Revisado por: Nelson E. - Beatriz G.		Hoja: 24 de 24
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
			6. Evaporador sucio.	No se produce un intercambio de calor adecuado entre el agua fría y el líquido refrigerante. Esto produce que se salga el chiller de funcionamiento, porque se cierra el delta de temperatura. Lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	
			7. Valvulas globo IN - OUT cerradas del tanque de Reserva.	Estando las valvulas globo cerradas, puede sacar el chiller por bajo flujo, ya que no hay reposición del agua fría en el sistema, lo que hace que incremente la temperatura y se recaliente el aire, afectando así las condiciones de operación, afectando la salud de las personas.	

Tabla 3.29: Continuación Hoja de información.

3.7. Hoja de información causas de falla.

HOJA DE CAUSAS DE FALLA	Elemento: Sistema de Aire Acondicionado		Realizado por: Félix Gandur P.	Hoja: 1 de 2
	F	FF MF	Revisado por: Nelson Escobar - Beatriz Galeano	
CAUSA DE LA FALLA				
1	A	1	Contaminación que se genera con los trabajos al interior del cuarto del chiller.	
1	B	1	Error por el personal que labora en mantenimiento.	
1	B	2	Error humano, por falta de capacitación de este.	
2	A	1	Deterioro por mucho tiempo de funcionamiento.	
2	A	2	Se da por sobrecargar, sobrecorriente ó causa externa del sistema.	
2	A	3	Se da por sobrecargar ó sobrecorriente.	
2	A	4	Deterioro por mucho tiempo de funcionamiento.	
3	A	1	Se da por disparo termico ó por interruptor principal.	
3	A	2	Se da por corto en el interior del motor, bobina abierta, bobinas humedas.	
3	B	1	Se da por desgaste natural ó por tensión inadecuada.	
3	B	2	Se da por desgaste natural ó por tensión inadecuada.	
3	C	1	Líquido refrigerante pierde sus propiedades, paredes internas del evaporador sucias, funcionamiento del compresor incorrecto.	
3	C	2	Partículas de polvo que forman una capa en la parte exterior del serpentín.	
3	C	3	Motobomba pierde presión, válvula del circuito cerrada.	
3	C	4	Falla en el operador del sistema y/ó válvula parcialmente abierta.	
3	C	5	Disparo térmico, falta de lubricación, rodamientos pegados, empaques deteriorados, falla bobina de motor.	
3	D	1	Se da por error en personal ó operarios del sistema.	
3	D	2	Se da por error en personal, operarios del sistema ó falla manometro.	
4	A	1	Se da por disparo termico ó por interruptor principal.	
4	A	2	Se da por corto en el interior del motor, bobina abierta, bobinas humedas.	
4	A	3	Por suciedad, deterioro, falta de lubricación.	
4	A	4	Se daña la cuña ó desprendimiento de tuerca.	
4	A	5	Se da por error en el operario del sistema.	
4	A	6	Falla bobina del motor, falta de lubricación, empaques deteriorados, rodamientos pegados.	
4	A	7	Se da por falla en los aspersores ó en el relleno.	

Tabla 3.30: Hoja de información causa de falla.

HOJA DE CAUSAS DE FALLA		Elemento: Sistema de Aire Acondicionado	Realizado por: Félix Gandur P.	Hoja: 2 de 2
			Revisado por: Nelson Escobar - Beatriz Galeano	
F	FF	MF	CAUSA DE LA FALLA	
4	B	1	Por suciedad, deterioro, falta de lubricación.	
4	B	2	Fatiga del material por uso.	
4	B	3	Golpe físico, Exceso vibraciones, fatiga del material por uso.	
4	B	4	Accidente ó golpe físico, deterioro tiempo de uso.	
4	B	5	Falla bobina del motor, falta de lubricación, empaques deteriorados, rodamientos pegados.	
4	B	6	Por poco tratamiento del agua se puede crear lodo.	
4	B	7	Se da por falla en los aspersores ó en el relleno.	
5	A	1	Se crea una película negra en las paredes del evaporador.	
5	A	2	Fugas en la tuberías, válvulas parcialmente abiertas.	
5	A	3	Se da por error en personal ó operarios del sistema.	
5	A	4	Falla bobina del motor, falta de lubricación, empaques deteriorados, rodamientos pegados.	
5	A	5	Sonda ó cable roto, deterioro tiempo de uso.	
5	A	6	Error del personal ó operarios del sistemas que manipulan el equipo.	
5	A	7	Sonda ó cable roto, deterioro tiempo de uso.	
6	A	1	Se da por disparo termico ó por interruptor principal.	
6	A	2	Se da por corto en el interior del motor, bobina abierta, bobinas humedas.	
6	A	3	Falta de lubricación.	
6	A	4	Se daña la cuña ó desprendimiento de tuerca.	
6	A	5	Se da por error en el operario del sistema.	
6	A	6	Falla bobina del motor, falta de lubricación, empaques deteriorados, rodamientos pegados.	
6	A	7	Se crea una película negra en las paredes del evaporador.	
6	B	1	Golpe físico, Exceso vibraciones, fatiga del material por uso.	
6	B	2	Fatiga del material por uso.	
6	B	3	Por suciedad, deterioro, falta de lubricación.	
6	B	4	Accidente ó golpe físico, deterioro tiempo de uso.	
6	B	5	Falla bobina del motor, falta de lubricación, empaques deteriorados, rodamientos pegados.	
6	B	6	Se crea una película negra en las paredes del evaporador.	
6	B	7	Se da por error en personal ó operarios del sistema.	

Tabla 3.31: Continuación Hoja de información causa de falla.

3.8. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas.

Para el siguiente paso de este estudio de RCM es analizar las consecuencias de cada modo de falla, y dependiendo de la severidad, justificar si merece hacerle una tarea de mantenimiento. Se van a estimar las siguientes consecuencias:

- Consecuencias para la seguridad física.
- Consecuencias para el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.
- Consecuencias para la imagen de la entidad.
- Consecuencias de fallas ocultas que produzcan fallas múltiples.

Donde se asigna una escala de valoración para cada consecuencia que se muestra a continuación:

- *Consecuencias para la seguridad física:* La valoración de las consecuencias para la seguridad física de los modos de falla, está relacionada con la pérdida de la función por un modo de falla que puede afectar la salud del personal tanto externo como interno, debido a que se presenten lesiones o pérdidas humanas.

Valoración para consecuencias de la seguridad física	
Definición	Valor
No hay ningún tipo de lesión ni la muerte.	0
Afecta como máximo a una persona, dejando lesiones insignificantes, que no producen incapacidad ni la muerte.	1
Afecta como máximo tres personas dejando lesiones insignificantes que pueden generar incapacidad parcial, pero en ningún momento la muerte.	2
Afecta hasta siete personas dejando lesiones insignificantes o graves que pueden generar incapacidad parcial o de por vida, pero sin generar la muerte.	3
Afecta más de siete personas pudiendo dejar lesiones muy graves que pueden generar incapacidad temporal, de por vida o la muerte.	4

Tabla 3.32: Valoración para consecuencias de la seguridad física.

- *Consecuencias para el medio ambiente:* La valoración para el medio ambiente está relacionada con el análisis si la pérdida de la función por un modo de falla puede incurrir en una infracción a una regulación ambiental.

Valoración para consecuencias del medio ambiente	
Definición	Valor
No afecta el medio ambiente.	0
Causa impacto ambiental no significativo, sin generar sanciones disciplinariamente.	1
Causa impacto ambiental leve, pero sin poner en peligro seres vivos. Es controlado por personal especializado de la empresa y no produce sanciones económicas.	2
Afecta en alto grado los recursos naturales, colocando en peligro seres vivos. Se requiere de entes ó agentes externos para reparar el daño. Con sanciones económicas.	3
Causa de impacto ambiental significativo, afectando seres vivos y ocasionando daños irreparables. Con altísimas sanciones económicas por parte de entidades gubernamentales.	4

Tabla 3.33: Valoración para consecuencias del medio ambiente.

- *Consecuencias operacionales:* Para valorar las consecuencias operacionales se tiene en cuenta si la pérdida de la función por un modo de falla particular que puede afectar el acondicionamiento del aire.

Valoración para consecuencias operacionales	
Definición	Valor
No tiene incidencia sobre el acondicionamiento del aire.	0
Tiene poca incidencia sobre el nivel de humedad y temperatura a la salida de las UMA's, pero sin afectar las condiciones de operación.	1
Tiene más incidencia sobre la temperatura y la humedad aumentando, afectando en menor grado condiciones operacionales en el área de servicio.	2
Tiene mucha más incidencia sobre la temperatura y la humedad aumentando, afectando las condiciones operacionales en el área.	3
Aumenta la temperatura y la humedad relativa, generando contaminación en el área de servicio.	4

Tabla 3.34: Valoración para consecuencias operacionales.

- *Consecuencias no operacionales:* Las consecuencias no operacionales están relacionadas con el costo de reparación, consecuencia de repuestos y gastos de mano de obra originados por el modo de falla.

Valoración para consecuencias no operacionales	
Definición	Valor
No se requiere de repuestos, ni mano de obra fuera de la entidad.	0
Los repuestos son de bajo costo, fáciles de conseguir y se generan bajos costos en la mano de obra.	1
Los repuestos son de mediano costo, difíciles de conseguir y la mano de obra tiene un costo significativo.	2
Los repuestos son de alto costo, mucho más difícil de conseguir y la mano de obra es costosa.	3
Los repuestos son de muy alto costo y la consecución es mayor a 6 meses. La mano de obra es altamente costosa.	4

Tabla 3.35: Valoración para consecuencias no operacionales.

- *Consecuencias para la imagen de la entidad:* Las consecuencias en la imagen de la entidad están relacionadas por la pérdida de imagen de la entidad por empleados, contratistas, comunidad, proveedores u otras entidades reguladoras.

Valoración para consecuencias la imagen de la empresa	
Definición	Valor
No perjudica la imagen de la entidad.	0
Se conoce a nivel interno de la entidad.	1
Se conoce a nivel local, la entidad puede perder prestigio ante los usuarios.	2
Se conoce a nivel nacional, afecta el prestigio de la entidad.	3
Se conoce a nivel internacional, afecta el prestigio de la entidad a nivel internacional.	4

Tabla 3.36: Valoración para consecuencias la imagen de la empresa.

- *Consecuencias de fallas ocultas que produzcan fallas múltiples:* Se consideran estas consecuencias asociadas con la falla oculta y si esta producen una falla múltiple o no.

Valoración para consecuencias las fallas ocultas	
Definición	Valor
Falla oculta que no produce falla múltiple que afecte el proceso de acondicionamiento del aire.	0
Falla oculta que produce falla múltiple que afecta el proceso de acondicionamiento del aire.	4

Tabla 3.37: Valoración para consecuencias las fallas ocultas.

A cada consecuencia se le asigna un peso para determinar la severidad del modo de falla.

Evaluación de Consecuencia	Peso
Seguridad fisica	0,3
Medio ambiente	0,1
Operacionales	0,2
No operacionales	0,2
Perdida de imagen	0,2

Tabla 3.38: Pesos de cada consecuencia sin falla múltiple.

Evaluación de Consecuencia	Peso
Seguridad fisica	0,3
Medio ambiente	0,1
Operacionales	0,175
No operacionales	0,175
Perdida de imagen	0,2
Fallas Ocultas	0,05

Tabla 3.39: Pesos de cada consecuencia con falla múltiple.

Para la valoración total de la consecuencia que se genera por la presencia de cada modo de falla, se asigno un peso como se mostró en las tablas 3.38 y 3.39, para luego multiplicar esta valoración de cada consecuencia por el valor dado y así realizar la sumatoria de estas multiplicaciones y se halla el valor total de las consecuencias por modo de falla.

Después de haber analizado las consecuencias de la presencia de cada modo de falla, se elige la tarea de mantenimiento que tenga como objetivo prevenir la presencia del modo de falla o en dado caso corregirla.

Al elegir la tarea de mantenimiento se precisa la frecuencia a la que se debe realizar, además de la frecuencia se asigna el cargo de la persona que lo debe ejecutar o realizar.

A continuación se muestra la Evaluación de consecuencias y tareas propuestas para el programa de mantenimiento, por cada causa de falla:

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
1A1	Seguridad física	0,3	0	0	Realizar una limpieza de polvo y partículas.	Personal Aseo ó Técnico refrigeración.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	0	0			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	Fallas Ocultas	0,05	0	0			
TOTAL				0,2			

Tabla 3.40: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 1.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
1B1	Seguridad física	0,3	0	0	Marcación de cada uno de los componentes.	Tecnico refrigeración	1 Año
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
TOTAL				0,55			

Tabla 3.41: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 2.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
1B2	Seguridad física	0,3	0	0	Capacitar al personal ó operarios nuevos.	Ingeniero de Mantenimiento.	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
TOTAL				0,55			

Tabla 3.42: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 3.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
2A1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión estado operacional del pulsador.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.43: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 4.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
2A2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Ninipun mantenimiento programado.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,2			

Tabla 3.44: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 5.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
2A3	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión del estado operacional fusible y/ó breaker las motobombas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	1	0,175			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,375			

Tabla 3.45: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 6.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
2A4	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión estado operacional de la perilla selectora.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.46: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 7.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3A1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Ningun mantenimiento programado.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,2			

Tabla 3.47: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 8.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3A2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Verificar los parametros de voltaje, corriente y resistencia en el motor.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	2	0,4			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.48: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 9.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3B1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Verificar la tensión de la correa, en el caso que esten muy tensionadas o viceversa. Revisar horas de trabajo de la correa.	Técnico Electromécanico ó Técnico refrigeración.	1 Año
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	3	0,525			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,9			

Tabla 3.49: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 10.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3B2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Verificar la tensión de la correa, en el caso que esten muy tensionadas o viceversa.	Técnico Electromécanico ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,725			

Tabla 3.50: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 11.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3C1	Seguridad física	0,3	0	0	Revisar la presión del liquido refrigerante y adicionar de ser necesario.	Técnico refrigeración.	1 Día
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,8			

Tabla 3.51: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 12.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3C2	Seguridad física	0,3	0	0	Limpieza del serpentín con liquido especializado.	Técnico refrigeración.	1 Mes.
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	3	0,525			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,925			

Tabla 3.52: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 13.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3C3	Seguridad física	0,3	0	0	Revisión de que no este ninguna tubería rota y de las valvulas no esten parcialmente ó cerradas en su totalidad.	Técnico refrigeración.	1 Mes.
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.53: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 14.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3C4	Seguridad física	0,3	0	0	Revisar que ninguna válvula este cerrada.	Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	3	0,525			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,9			

Tabla 3.54: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 15.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3C5	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de voltaje, corriente y calibración de las mismas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.55: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 16.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3D1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión que estén los diferentes filtros en la UMA.	Técnico refrigeración.	1 Día
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,8			

Tabla 3.56: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 17.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3D2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisar el manometro de caratura de la UMA, si muestra 1,1 psi hacer el respectivo cambio de filtro.	Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.57: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 18.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Ninipun mantenimiento programado.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,2			

Tabla 3.58: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 19.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A2	Seguridad física	0,3	0	0	Verificar los parametros de voltaje, corriente y resistencia en el motor.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	2	0,4			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.59: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 20.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A3	Seguridad física	0,3	0	0	Lubricar y limpiar partículas metálicas y de polvo.	Técnico Electromecá nico.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,725			

Tabla 3.60: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 21.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A4	Seguridad física	0,3	0	0	Revisar que el impulsor no este suelto ó obstruido.	Técnico Electromecá nico.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	TOTAL			0,4			

Tabla 3.61: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 22.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A5	Seguridad física	0,3	0	0	Revisar que ninguna válvula este cerrada.	Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	3	0,525			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,925			

Tabla 3.62: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 23.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A6	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de voltaje, corriente y calibración de las mismas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.63: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 24.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4A7	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de los aspersores y relleno de la torre de enfriamiento.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	2 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,8			

Tabla 3.64: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 25.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Lubricar y limpiar partículas metálicas y de polvo.	Técnico Electromecánico.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,725			

Tabla 3.65: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 26.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisar que el impulsor no este suelto, obstruido ó presente desgaste por uso.	Técnico Electromecánico.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.66: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 27.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B3	Seguridad fisica	0,3	0	0	Inspeccionar que no presente deterioro ó esté rota alguna junta.	Técnico Refrigeración	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	Fallas Ocultas	0,05	0	0			
TOTAL				0,725			

Tabla 3.67: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 28.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B4	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de que no este ninguna tubería rota.	Técnico Refrigeración	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	1	0,175			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
TOTAL				0,375			

Tabla 3.68: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 29.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B5	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de voltaje, corriente y calibración de las mismas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
TOTAL				0,6			

Tabla 3.69: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 30.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B6	Seguridad fisica	0,3	0	0	Limpieza del condensador.	Técnico refrigeración.	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
TOTAL				0,6			

Tabla 3.70: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 31.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
4B7	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de los aspersores, relleno y válvulas de la torre de enfriamiento.	Técnico refrigeración.	2 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.71: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 32.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Limpieza del evaporador.	Técnico refrigeración.	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.72: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 33.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de que no este ninguna tubería rota y de las valvulas no esten parcialmente ó cerradas en su totalidad.	Técnico refrigeración.	1 Mes.
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.73: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 34.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A3	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisar que ninguna válvula este cerrada.	Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,55			

Tabla 3.74: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 35.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A4	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de voltaje, corriente y calibración de las mismas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.75: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 36.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A5	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de la sonda ó cable del sensor y funcionamiento de este.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.76: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 37.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A6	Seguridad fisica	0,3	0	0	Capacitación al operario del uso del equipo.	Ingeniero de mantenimiento.	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,8			

Tabla 3.77: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 38.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
5A7	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de la sonda ó cable del sensor y operación de este.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	3	0,6			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,8			

Tabla 3.78: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 39.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Ningun mantenimiento programado.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,2			

Tabla 3.79: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 40.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Verificar los parametros de voltaje, corriente y resistencia en el motor.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	2	0,4			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.80: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 41.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A3	Seguridad fisica	0,3	0	0	Lubricar y limpiar partículas metálicas y de polvo.	Técnico Electromecánico.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,725			

Tabla 3.81: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 42.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A4	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisar que el impulsor no este suelto ó obstruido.	Técnico Electromecánico.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	1	0,2			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	TOTAL			0,4			

Tabla 3.82: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 43.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A5	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisar que ninguna válvula este cerrada.	Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	3	0,525			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
TOTAL				0,925			

Tabla 3.83: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 44.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A6	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de voltaje, corriente y calibración de las mismas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.84: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 45.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6A7	Seguridad fisica	0,3	0	0	Limpieza del evaporador.	Técnico refrigeración.	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.85: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 46.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B1	Seguridad fisica	0,3	0	0	Inspeccionar que no presente deterioro ó esté rota alguna junta.	Técnico Refrigeración	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	Fallas Ocultas	0,05	0	0			
TOTAL				0,725			

Tabla 3.86: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 47.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B2	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisar que el impulsor no este suelto, obstruido ó presente desgaste por uso.	Técnico Electromecánico.	3 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	1	0,2			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.87: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 48.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B3	Seguridad fisica	0,3	0	0	Lubricar y limpiar partículas metálicas y de polvo.	Técnico Electromecánico.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	2	0,35			
	No operacionales	0,175	1	0,175			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,725			

Tabla 3.88: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 49.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B4	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de que no este ninguna tubería rota.	Técnico Refrigeración	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,175	1	0,175			
	No operacionales	0,175	0	0			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	Fallas Ocultas	0,05	4	0,2			
	TOTAL			0,375			

Tabla 3.89: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 50.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B5	Seguridad fisica	0,3	0	0	Revisión de voltaje, corriente y calibración de las mismas.	Técnico Electricista ó Técnico refrigeración.	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.90: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 51.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B6	Seguridad física	0,3	0	0	Limpieza del evaporador.	Técnico refrigeración.	6 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.91: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 52.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
6B7	Seguridad física	0,3	0	0	Revisar que ninguna válvula este cerrada en el tanque de reserva.	Técnico refrigeración.	2 Meses
	Medio ambiente	0,1	0	0			
	Operacionales	0,2	2	0,4			
	No operacionales	0,2	1	0,2			
	Perdida de imagen	0,2	0	0			
	TOTAL			0,6			

Tabla 3.92: Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 53.

Parte IV

Comentarios Finales

Capítulo 4

Conclusiones

- La utilización de la herramienta ACRITEQUIP, logró definir la criticidad o jerarquización de los aires acondicionados instalados en la CUB; esto facilitó al personal de la institución el enfocar los esfuerzos y los recursos hacia el equipo o área donde era más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional.
- Al aplicar el AMFE se logró identificar las acciones que reducen o eliminan la probabilidad de que ocurra una falla, que impacte en la confiabilidad y disponibilidad de cada uno de los componentes evaluados.
- Al comparar el plan de mantenimiento actual de la CUB, se encontraron algunas falencias por lo cual se propone ajustar el plan de mantenimiento existente para el sistema de aire acondicionado más crítico de la institución que contempla acciones como son el lavado interno del evaporador y el condensador; cambio de la correa de la UMA por tiempo de trabajo; revisión del impulsor de las motobombas por vibraciones o desgaste.
- La aplicación de la metodología da a la CUB generó un conocimiento detallado del sistema en el personal a cargo jefe de mantenimiento, técnico refrigeración; y así ayudará a disminuir las fallas de cada una de los equipos con respecto a los mantenimientos correctivos realizados en la institución y contribuyó a las mejoras de las condiciones de confort en los servicios que son requeridas por la normatividad existente.

Capítulo 5

Recomendaciones

- Implementar el plan de mantenimiento propuesto centrado en confiabilidad, para reducir al mínimo la cantidad de averías, parada del sistema de aire acondicionado de manera imprevista para determinar las condiciones del sistema y de los componentes antes que se produzca una falla.
- Realizar un estudio del sistema de aire acondicionado para poder automatizar este, para poder tener un control mas eficiente de todas las variables del sistema, mediante un PLC y un SCADA, y así tener registro de las fallas de cada equipo en cada sistema, el cual es de suma importancia, pues dará inicio al registro histórico de las fallas más frecuentes, y tomar las medidas correctivas en cada uno de los tipos de fallas para disminuir las causas de estas.
- También se recomienda la expansión del RCM a otros sistemas presentes en la CUB, es una manera de minimizar costos y tiempo para así lograr una mayor confiabilidad de estos en la entidad.
- Realizar capacitaciones en RCM al personal administrativo y técnico, que permita crear una cultura organizacional en esta filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad, para así el grupo comprenda la magnitud de esta.

Capítulo 6

Anexos

6.1. Anexo 5



Apreciado(a) Señor(a) **Félix Harley Gandur Peña**:

Ante todo gracias por inscribir su ponencia al Congreso Mundial de Mantenimiento y Gestión de Activos 2015.

Queremos de manera especial, informarle que el resumen titulado "Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en un sistema crítico de aire acondicionado en la Clínica Universitaria Bolivariana", ha sido evaluado positivamente por el comité académico. Por consiguiente, solicitamos subir la versión completa del trabajo a la página, congresomundialdemantenimiento.com para confirmar su presentación y/o publicación en el marco del evento, antes del **20 de enero de 2015**, teniendo en cuenta la metodología establecida para la presentación de ponencias, la cual se visualiza [aquí](#).

Cordialmente,

Pedro Alfonso Rosales Navarro

Presidente

Congreso Mundial de Mantenimiento y Gestión de Activos

Vicepresidente Ejecutivo del Downstream Ecopetrol S.A.

Figura 6.1: Correo aceptación artículo en ponencia.

ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN UN SISTEMA CRÍTICO DE AIRE ACONDICIONADO EN LA CLÍNICA UNIVERSITARIA BOLIVARIANA.

Félix Harley Gandur Peña - Nelson Javier Escobar Mora.
fgandur85@hotmail.com - nelson.escobar@upb.edu.co
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.
Circular 1 N°. 73-76, Bloque 22C.
Medellín, Antioquia. - Colombia.

Resumen

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una metodología que logra la formulación o el cambio de un plan de mantenimiento que garantizará la confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos. Las entidades de salud están interesadas en metodologías que les permitan mejorar los servicios y en lo posible reducir los costos de gestión y mantenimiento. En el presente trabajo se presenta un plan de mantenimiento basado en la adaptación de la metodología de RCM, de aplicación industrial, en un sistema crítico de aire acondicionado en la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB). Donde se inició con una clasificación según la criticidad de los aires acondicionados encontrados en la entidad, una vez identificado el más crítico se adaptó la metodología; con el fin de realizar la aplicación de ésta a partir del análisis de modos y fallas (AMFE). Y posteriormente el plan de mantenimiento se diseña con los resultados obtenidos siguiendo el diagrama de decisión planteado por la metodología. Obteniendo que al aplicar esta metodología se logró identificar las acciones que reducen o eliminan la probabilidad de que ocurra una falla, que impacte en la confiabilidad y disponibilidad de cada uno de los componentes evaluados, como también al comparar el plan de mantenimiento actual de la CUB, se encontraron algunas falencias por lo cual se propone ajustar el plan de mantenimiento existente para el sistema de aire acondicionado más crítico de la institución.

Introducción

Desde la década de los 30 se puede hacer un seguimiento del rastro evolutivo del mantenimiento ya que como cualquier proceso progresivo ha seguido una serie de etapas cronológicas [1]:

- a) Primera Generación.
- b) Segunda Generación.
- c) Tercera Generación.

De esta última generación, cabe destacar que se encuentran nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas; en las que se destaca el mantenimiento centrado en confiabilidad, soportado en herramientas para la toma de decisiones, tales como el análisis de modos y falla.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología utilizada para determinar, sistemáticamente, que debe hacerse para que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario, en el contexto operacional presente [2]. El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología lógica derivada de la investigación en el sector de la aviación y hace uso de la herramienta del análisis de modo de falla, efecto y grado crítico [3].

Un aspecto favorable de la filosofía del RCM, es que la misma promueve el uso de nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, nos permiten de forma eficiente, optimizar los procesos y disminuir al máximo los posibles riesgos, que traen

consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico[4].

El RCM es también un nuevo método para el diseño del mantenimiento que hace uso de las diversas técnicas de mantenimiento existentes, mas exige que las prácticas comunes de mantenimiento preventivo sean modificadas[4].

Las principales características del RCM son [5]:

- a) Los sistemas son analizados al detalle.
- b) Da alto grado de importancia a la protección integral de las personas, equipos y medio ambiente.
- c) Proporciona relevancia al contexto operativo de los equipos.
- d) Analiza detalladamente los elementos funcionales de los equipos.
- e) No considera al recurso humano como prioritario.

Los beneficios de la aplicación del RCM:

- a) Brinda mayor seguridad y protección de la organización.
- b) Mejora el rendimiento operacional de los activos.
- c) Optimiza los costos de mantenimiento.
- d) Permite extender la vida útil de los sistemas.
- e) Aumenta la confiabilidad de los equipos.
- f) Identifica y elimina las fallas crónicas.

La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional [5].

Dicho lo anterior cabe resaltar, que el mantenimiento hospitalario y específicamente el mantenimiento del equipamiento biomédico 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 [6].

A nivel de entidades de salud se requiere de una planeación en tecnología mediante un proceso efectivo; para alcanzar esto las entidades desarrollan planes que ayudan a disminuir costos operacionales, pudiendo afectar sus activos físicos. En este punto las entidades de salud se encuentran en problemas, puesto que no saben cómo optimizar los recursos sin sacrificar la calidad del servicio que se le brinda a los pacientes y sus acompañantes.

El Sistema Único de Habilitación de Colombia establece los requisitos mínimos de obligatorio cumplimiento para toda entidad de salud sin importar el nivel de complejidad. En la atención de alta complejidad con calidad, se encuentra que a septiembre de 2017 hay 36 IPS acreditadas en Colombia [7] y uno de los grandes ejes del sistema de acreditación es la gestión de tecnología.

Se han reportado trabajos de RCM en el sector mecánico, energético, aeronáutico[8-11]; bajo estas consideraciones es necesario adaptar este modelo basado en confiabilidad relacionado para los equipos industriales de uso hospitalario en este caso en particular en el sistema de aire acondicionado en zonas Blancas.

Análisis de criticidad

En una clínica u hospital, hay varios equipos que demandan mayor atención respecto a otros, debido a sus actividades u operaciones.

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual. El mismo se basa en la

utilización de modelos matemáticos contextualizados. El incumplimiento de esta cualidad en los modelos tiene como riesgo la posibilidad de obtener resultados no representativos del campo analizado [12].

Para este caso en una zona blanca (clínica u hospital), se va a realizar un análisis de criticidad a los equipos de aire acondicionado instalado en los diferentes servicios, ya que cuentan con varios y en diferentes zonas donde se realizan actividades de mayor o menor riesgo para la salud de las personas. Por esto se debe tener muy en cuenta una clasificación de estos, para poder organizar un plan de mantenimiento efectivo, asegurando una confiabilidad alta.

Se establecieron como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad en la clínica los siguientes:

- a) Funcionamiento.
- b) Riesgos asociados a la salud del paciente.
- c) Riesgos asociados a la salud del trabajador.
- d) Frecuencia de mantenimiento.
- e) Frecuencia de fallos.
- f) Tiempo promedio para reparar.
- g) Costos relacionados con la falla o parada del equipo.
- h) Área de uso.

Los cuales fueron comparados entre ellos, en la herramienta ACRITEQUIP [15], por medio de la escala de Saaty, dada esta evaluación por el ingeniero experto del departamento de ingeniería y mantenimiento de la CUB, el personal técnico y el criterio personal fundamentado en la literatura, dando como resultado un índice de aceptabilidad de 0,08.

Los anteriores criterios recibieron un valor entre uno y nueve para poder calificar los equipos de aire acondicionado presentes en la CUB, según sus funciones y características.

La Fig. 1 representa la necesidad de cada equipo de recibir atención. Esta imagen

muestra los equipos de aire acondicionado desde el más crítico hasta el menos crítico, análisis dado por la herramienta ACRITEQUIP [15].



Fig. 1. Índice de Criticidad

Aplicación de RCM aire acondicionado más crítico de la CUB

Identificado el equipo de alta criticidad, se adaptó la metodología de RCM mediante una división del sistema aire acondicionado más crítico de la CUB en sub-sistemas y componentes; con el fin de realizar la aplicación de ésta a partir del análisis de modos y fallas (AMFE).

El sistema de aire acondicionado más crítico en la CUB, es el del área de Cirugía Ginecobstetricia, el cual está conformado por un *chiller* enfriado por agua, que a su vez tiene incorporada a su uso de una torre de enfriamiento, la cual mejora la eficiencia termodinámica de este; y que fue dividido en los siguientes subsistemas y componentes por los autores para su mejor comprensión y abordaje en la metodología implementada:

a) Circuito de Condensación:

- Válvula Mariposa In.
- Válvula Mariposa Out.
- Junta de expansión In.
- Junta de expansión Out.
- Sensor de temperatura In.
- Sensor de temperatura Out.
- Termómetro l.

- Termómetro 2.
 - Motobomba principal.
 - Motobomba de reserva.
 - Junta de expansión Descarga.
 - Válvula mariposa - succión principal.
 - Válvula mariposa - succión reserva.
 - Válvula mariposa - descarga principal.
 - Válvula mariposa - descarga reserva.
 - Torre de enfriamiento.
 - Motor torre de enfriamiento.
 - Esparzor - atomizador.
 - Relleno.
 - Flotador.
 - Termostato.
 - Hélice o aspas.
 - Válvula suministro torre.
 - Válvula purga o drenaje torre.
 - Hélice o aspas.
 - Válvula suministro torre.
 - Manómetro de caratula de presión.
- b) *Gas-Líquido-Refrigerante:*
- Compresor 1.
 - Compresor 2.
 - Condensador.
 - Evaporador.
 - Refrigerante.
 - Aceite.
 - Solenoide 1.
 - Solenoide 2.
 - Sensor temperatura aceite 1.
 - Sensor temperatura aceite 1.
- c) *Circuito de Evaporación:*
- Válvula Mariposa In.
 - Válvula Mariposa Out.
 - Junta de expansión In.
 - Junta de expansión Out.
 - Sensor de temperatura In.
 - Sensor de temperatura Out.
 - Termómetro 1.
 - Termómetro 2.
 - Motobomba principal.
 - Motobomba de reserva.
 - Junta de expansión Descarga.
- Válvula mariposa - succión principal.
 - Válvula mariposa - succión reserva.
 - Válvula mariposa - descarga principal.
 - Válvula mariposa - descarga reserva.
 - Evaporador.
 - UMA.
 - Válvula motorizada Out UMA.
 - Termostato.
 - Válvula globo In UMA.
 - Manómetro de caratula filtros.
 - Motor - Ventilador.
 - Filtros - Prefiltros.
 - Dámper de renovación.
 - Tanque de reserva.
 - Válvula globo In tanque reserva.
 - Válvula globo Out tanque reserva.

El análisis de modos y efectos de falla es un proceso estructurado para el análisis de la operación de una planta que permitirá identificar las fallas que pudieran presentarse y que engloba las etapas de: funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla [13]. Los efectos o consecuencias de las fallas son posteriormente evaluados para determinar posibles medios de prevención. Para la aplicación del AMFE se especificó [14]:

- a) *Función:* cada elemento de los equipos que conforman el registro de una planta debe haberse adquirido para un propósito determinado es decir tiene una función específica.
- b) *Fallas funcionales:* como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el que se desempeña [16].
- c) *Modos de fallo:* es la descripción del evento que causa las fallas funcionales. Es la manera como se manifiesta la falla. Es importante determinar cuál de los modos de falla

tienen mayor posibilidad de causar la pérdida de una función.

- d) *Efectos de fallas:* es lo que se puede observar si se presenta un modo de falla en particular. Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla.

En la Fig. 2, se muestra un resumen del AMFE aplicado al sistema más crítico; después de hacer este análisis se obtiene como resultado 53 posibles causas de fallas.

Fig. 2. Resumen AMFE Aplicado.

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA
1. Tener una buena apariencia y desecación en todo el sistema de aire acondicionado.	A. No tener una apariencia agradable en toda el sistema de refrigeración. B. No tener marcados cada uno de los elementos que hacen parte del sistema de refrigeración.	1. Superficies sucias o contaminadas. 1. No existe marcación. 2. Desconocimiento de la marcación.
2. Permitir la operación de las motobombas en forma manual.	A. No permitir la operación de las motobombas en forma manual.	1. Faltó pulsador de arranque. 2. Falta de alimentación. 3. Faltó fusible y/o breaker las motobombas del sistema. 4. Faltó selectores de Motobomba Principal o Reserva.
3. Suministrar un caudal de aire filtrado a la salida de las UMA a una temperatura no mayor a 22°C y una humedad relativa del orden del 60%.	A. No se suministra nada de aire. B. Suministro caudal de aire inferior al requerido.	1. Ausencia de tensión en los terminales del motor de la UMA. 2. Motor de los ventiladores de la UMA no arranca. 1. Rotura de conexiones entre el motor y el ventilador de la UMA. 2. Falta de tensión en la celda de la UMA.

Continuación Fig. 2.

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA
	C. La temperatura del aire a la salida de las UMA es mayor a 22°C y la humedad del aire no es del orden del 60%.	1. La temperatura del agua a la salida del evaporador es superior o la requerida 41.2°F o 5.21°C. 2. Truncamiento del succion de refrigerante de la adición del aire de la UMA. 3. Pérdida del flujo parcial o total a través de toda la conducción del circuito de agua fría. 4. Válvulas manopas de la salida de las UMA parcial o totalmente cerradas. 5. Válvulas motorizadas de la salida de las UMA parcial o totalmente cerradas.
	D. El aire está saliendo de la UMA sin filtrarse.	1. Faltos filtros en la UMA. 2. Filtros dañados o gastados por usar.
4. Suministrar un caudal de refrigerante a 20.5 l/s de agua de condensación al condensador.	A. No suministra nada de agua. B. Suministra caudal de 20.5 l/s.	1. Ausencia de tensión a filtros conectados en las terminales de la motobomba. 2. Motor de la bomba no arranca (sobrecalentado quemado). 3. Rodamientos pegados de la motobomba. 4. Impulsor de la motobomba. 5. Válvulas manopas del circuito de condensación que se encuentran en operación están totalmente cerradas. 6. Válvulas motorizadas de Condensador totalmente cerradas. 7. No hay agua condensada en la Torre de Enfriamiento. 1. Rodamientos desgastados. 2. Impulsor de la motobomba desgastada. 3. Rotura de juntas de separación en el circuito de agua de condensación. 4. Rotura de la conducción de la tubería del circuito de agua condensables. 5. Válvulas motorizadas de Condensador parcialmente cerradas. 6. Condensador sucio. 7. Bajo nivel de flujo de agua de la torre de enfriamiento.
5. Permitir una transferencia de calor, que corresponda a una temperatura de salida del agua del evaporador del 41.2°F o 5.21°C.	A. La transferencia de calor, esta por debajo manifestado en una temperatura mayor o menor a 41.2°F o 5.21°C.	1. Evaporador sucio. 2. Pérdida de flujo parcial o total a través de la conducción del circuito de agua fría.

Continuación Fig. 2.

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
6. Suministrar agua al evaporador a no menos de 18.5 l/s.	A. No suministra nada de agua.	3. Válvula escape del circuito de agua fría que se encuentran totalmente cerradas. 4. Válvulas motorizadas IN Evaporador parcialmente cerradas. 5. Sensores de temperatura In-Cou Evaporador, defectuosos. 6. Desconfiguración del panel de control. 7. Sensor de presión Evaporador defectuoso.
	B. Suministra menos de 20.5 l/s.	1. Ausencia de tensión o falsos contactos en las terminales de la motobomba. 2. Motor de la bomba no arranca (sobrecalentado quemado). 3. Radiadores pegados de la motobomba. 4. Impulsador de la motobomba sucio. 5. Válvula escape del circuito de agua fría que se encuentran totalmente cerradas. 6. Válvulas motorizadas IN Evaporador totalmente cerrada. 7. Evaporador sucio.
		1. Ruptura de juntas de separación en el circuito de agua fría. 2. Impulsor de la motobomba desgastado. 3. Radiadores desgastados. 4. Ruptura de la conexión de la tubería del circuito de agua condensación. 5. Válvulas motorizadas IN Evaporador parcialmente cerradas. 6. Evaporador sucio. 7. Válvulas globe IN - OUT del tanque de Reserva.

Plan de mantenimiento

Para realizar el plan de mantenimiento se analizaron las consecuencias de cada modo de falla, y dependiendo de la severidad, justificar si merece hacerle una tarea de mantenimiento.

Se van a estimar las siguientes consecuencias:

- a) Consecuencias para la seguridad física: la valoración de las

consecuencias para la seguridad física de los modos de falla, está relacionada con la pérdida de la función por un modo de falla que puede afectar la salud del personal tanto externo como interno, debido a que se presenten lesiones o pérdidas humanas.

- b) Consecuencias para el medio ambiente: la valoración para el medio ambiente está relacionada con el análisis si la pérdida de la función por un modo de falla puede incurrir en una infracción a una regulación ambiental.
- c) Consecuencias operacionales: para valorar las consecuencias operacionales se tiene en cuenta si la pérdida de la función por un modo de falla particular que puede afectar el acondicionamiento del aire.
- d) Consecuencias no operacionales: las consecuencias no operacionales están relacionadas con el costo de reparación, consecuencia de repuestos y gastos de mano de obra originados por el modo de falla.
- e) Las consecuencias en la imagen de la entidad: están relacionadas por la pérdida de imagen de la entidad por empleados, contratistas, comunidad, proveedores u otras entidades reguladoras.
- f) Consecuencias de fallas ocultas que produzcan fallas múltiples: se consideran estas consecuencias asociadas con la falla oculta y si esta producen una falla múltiple o no.

Donde se asigna una escala de valoración para cada consecuencia que se muestra a continuación:

Tabla I. Pesos de cada consecuencia sin falla múltiple.

Evaluación de Consecuencia	Peso
Seguridad física	0,3
Medio ambiente	0,1
Operacionales	0,2
No operacionales	0,2
Pérdida de imagen	0,2

Tabla II. Pesos de cada consecuencia con falla múltiple.

Evaluación de Consecuencia	Peso
Seguridad física	0,3
Medio ambiente	0,1
Operacionales	0,175
No operacionales	0,175
Pérdida de imagen	0,2
Fallas Ocultas	0,05

Para la valoración total de la consecuencia que se genera por la presencia de cada modo de falla, se asignó un peso como se mostró en las tablas I y II, para luego multiplicar esta valoración de cada consecuencia por el valor dado y así realizar la sumatoria de estas multiplicaciones y se halla el valor total de las consecuencias por modo de falla.

Después de haber analizado las consecuencias de la presencia de cada modo de falla, se elige la tarea de mantenimiento que tenga como objetivo prevenir la presencia del modo de falla o en dado caso corregirla.

Al elegir la tarea de mantenimiento se precisa la frecuencia a la que se debe realizar, además de la frecuencia se asigna el cargo de la persona que lo debe ejecutar o realizar.

A continuación se muestra un ejemplo de la evaluación de consecuencias y tareas propuestas, por cada de las 53 causas de fallas encontradas, para el plan de mantenimiento; a cada consecuencia se le asigna un peso para determinar la severidad del modo de falla y así determinar las prioridades de dicho plan.

Fig. 3. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 1B1.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
1B1	Seguridad física	0,3	0	0,5	① Se debe hacer cada año en la carpintería	Técnico	Años
	Medio ambiente	0,1	0				
	Operacionales	0,175	2				
	No operacionales	0,175	0				
	Pérdida de imagen	0,2	0				
	Fallas Ocultas	0,05	4				
TOTAL				0,5			

Fig. 4. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas 3A2.

Modo de Falla	Evaluación de Consecuencia	Peso	Valor	Total	Tareas Propuestas	Realizar Por	Frecuencia
3A2	Seguridad física	0,3	0	0,6	① Verificar los parámetros de voltaje, corriente y resistencia en el motor.	Técnico Electricista o Técnico refrigeración	1 Mes
	Medio ambiente	0,1	0				
	Operacionales	0,175	1				
	No operacionales	0,175	2				
	Pérdida de imagen	0,2	0				
TOTAL				0,6			

Como también se encuentran, las tareas propuestas, el responsable (Cargo personal encargado) y con qué frecuencia (Días, Meses o Años).

Conclusiones

La utilización de la herramienta ACRITEQUIP, logró definir la criticidad o jerarquización de los aires acondicionados instalados en la CUB; esto facilitó al personal de la institución el enfocar los esfuerzos y los recursos hacia el equipo o área donde era más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional.

Al aplicar el AMFE se logró identificar las acciones que reducen o eliminan la probabilidad de que ocurra una falla, que impacte en la confiabilidad y disponibilidad de cada uno de los componentes evaluados.

Al comparar el plan de mantenimiento actual de la CUB, se encontraron algunas falencias por lo cual se ajustó el plan de mantenimiento existente para el sistema de aire acondicionado más crítico de la institución que contempla acciones como son el lavado

interno del evaporador y el condensador; cambio de la correa de la UMA por tiempo de trabajo; revisión del impulsor de las motobombas por vibraciones o desgaste.

La aplicación de la metodología da a la CUB generó un conocimiento detallado del sistema en el personal a cargo jefe de mantenimiento, técnico refrigeración; y así ayudará a disminuir las fallas de cada una de los equipos con respecto a los mantenimientos correctivos realizados en la institución y contribuyó a las mejoras de las condiciones de confort en los servicios que son requeridas por la normatividad existente.

Referencias

- [1] J. Moubray, "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". 2 Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008.
- [2] A. Perozo. "Mantenimiento Industrial". Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 1998.
- [3] D. Duffua. "Sistemas de mantenimiento, planeación y control". Editorial Limusa. México. 2002.
- [4] E. Vidal, A. Yarin, C. Velásquez, I. Gambini, L. De la Cruz, L. Nuñez, R. Gálvez, H. Gálvez. "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera". PESQUIMAT, Revista de la F.C.M. de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Vol. XVIII N°2, pp. 5 -18, Lima - Perú, Diciembre 2015
- [5] S. Zambrano, S. Leal. "Fundamentos Básicos de Mantenimiento". FEUNET. Caracas, Venezuela. 2005.
- [6] Decreto 1769 de 1994. Artículo VII. Pág. 1. Ministerio salud Colombiano.
- [7] ICONTEC / Dirección de Acreditación en Salud. Dirección: <http://www.acreditacionensalud.org.co/Documents/IPSacreditadas.pdf>
- [8] C. Montilla; J. Arroyave; C. Silva, "caso de aplicación centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo", Scientia Et Technica, vol. XIII, núm. 37, pp. 273-278, Diciembre, 2007.
- [9] M. C. Burga. "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción". Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2010.
- [10] H. Arango. "Modelo para aplicación de RCM aeronáutico en Colombia". Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2010.
- [11] A. Zambrano; J. Zambrano; N. Fumo, "Metodología para la Aplicación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad con Criterios de Administración de Energía en Equipos de Aire Acondicionado Tipo Compacto". Mechanical Engineering Faculty Publications and Presentations; University of Texas at Tyler Scholar Works at UT Tyler. Paper 7. 2012
- [12] A. Díaz, F. Pérez, A. SerpaI, M. Brito. "Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos", Revista Ingeniería Mecánica, Vol. 1., No. 1, p. 34-43, Habana, Cuba, Enero-Abril 2012.
- [13] A. Perozo. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 2000.
- [14] L. Amándola, Luis. "Mantenimiento centrado en confiabilidad". Valencia, España. 2002.
- [15] J. Botero, B. Galeano, R. Quintero, F. Palacios. "Aproximación a la Evaluación de

Bibliografía

- [1] Icontec, *Sistema Único de Acreditación en Salud*. dirección: [http : / / www . acreditacionensalud.org.co/Documents/IPSacreditadas.pdf](http://www.acreditacionensalud.org.co/Documents/IPSacreditadas.pdf).
- [2] M. S. A. Calle, "Planteamiento del programa de mantenimiento para la infraestructura y equipos generales de la clínica universitaria bolivariana.", Tesis doct., Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [3] Clínica, *Universidad Pontificia Bolivariana, Clínica Universitaria*. dirección: http://www.upb.edu.co/portal/page?{_}pageid=1074,30060457,1074{_}52211529{\&}{_}dad=portal{\&}{_}schema=PORTAL.
- [4] Ministerio de salud y Protección Social, "Decreto 1769 de 1994", 1994. dirección: [http : // www . minsalud . gov . co / Normatividad{_}Nuevo/DECRETO1769de1994.pdf](http://www.minsalud.gov.co/Normatividad{_}Nuevo/DECRETO1769de1994.pdf).
- [5] —, "Ley 100 de 1993", 1993. dirección: [http : / / www . minsalud . gov . co / Normatividad/LEY0100DE1993.pdf](http://www.minsalud.gov.co/Normatividad/LEY0100DE1993.pdf).
- [6] —, "Decreto 4725 de 2005", 2005. dirección: [http : / / www . minsalud . gov . co / Normatividad{_}Nuevo/DECRETO4725DE2005.PDF](http://www.minsalud.gov.co/Normatividad{_}Nuevo/DECRETO4725DE2005.PDF).
- [7] J. Moubray, *Mantenimiento centrado en confiabilidad*, 2.^a ed., E. Brothers, ed. USA, 2004.
- [8] A. Perozo, "Mantenimiento Industrial", Republica Bolivariana de Venezuela, 1998.
- [9] D. Duffua, *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. Limusa, ed. México, 2002.
- [10] R. Huerta, J. López, C. Parra., V. Villavicencio y J. Pirela, "Lecciones aprendidas en el Proceso de implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el sector petrolero", 2000.
- [11] S. L. S. Zambrano, "Fundamentos Básicos de Mantenimiento", Republica Bolivariana de Venezuela, 2005.
- [12] J. Moubray, *Reliability Centred Maintenance RCM II*, 2.^a ed. USA, 1991.
- [13] L. Améndola, "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad", Valencia, España, 2002.
- [14] E. Pita, *Acondicionamiento del Aire: Principios y Sistemas*, 2.^a ed., CECSA, ed., 2. México, 1997, vol. 43.
- [15] Memotionsoft, *Ashrae Mexico*, 2011. dirección: <http://www.ashraegdl.org/>.

- [16] Ministerio de salud y Protección Social, “Resolucion 4445 de 1996”, 1996. dirección: http://www.minsalud.gov.co/Normatividad{_}Nuevo/RESOLUCION04445de1996.pdf.
- [17] A. Handbook, *HVAC Applications*. EEUU, 1995.
- [18] Acaire, “Climatización en instituciones de salud.”, 2008.
- [19] A. Handbook, “Chapter 7”, en *HVAC Applications*, EEUU, 1995.
- [20] —, “An instrument of service prepared for the profession containing technical information ..”, en *HVAC Applications*, 1, vol. 37, EEUU, 1985, pág. 800.
- [21] S. Garrido, *Organización y gestión integral de mantenimiento*. D. de Santos, ed., 6. Valencia, España, 2003, vol. 43.
- [22] M. B. A. Díaz, F. Pérez, A. Serpal, “Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos”, *Revista Ingeniería Mecánica*, vol. 1, págs. 34-43, 2012.
- [23] E. R. L. Montaña, “Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa acerías paz del río S.A.”, Tesis doct., Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia., 2006.
- [24] J. Perez, “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad aplicado al sector hotelero.”, Tesis doct., Universidad del Zulia, 2009.
- [25] O. M. de la Salud, *Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico*. 12. 2012, vol. 38.
- [26] E. Pizano, “Desarrollo de la metodología post-commissioning en el sistema de aire acondicionado de la clínica universitaria bolivariana (CUB).”, Tesis doct., Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [27] F. P. J. Botero, B. Galeano, R. Quintero, “Aproximación a la evaluación de criticidad de activos hospitalarios mediante el modelo AHP.”, 2014.