MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM, EMPLEANDO CRITERIO DE RIESGO, MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD PARA EL CENTRO COMERCIAL MAYALES PLAZA

EBER ENRIQUE ALVARADO OROZCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2021

MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM, EMPLEANDO CRITERIO DE RIESGO, MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD PARA EL CENTRO COMERCIAL MAYALES PLAZA

EBER ENRIQUE ALVARADO OROZCO

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Ing. CARLOS ARTURO CÁRDENAS GUERRA

M. Sc. Ingeniería Eléctrica

Especialista en Gerencia para Ingenieros

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2021

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme seguir en el camino del bien y la superación.

A Yole, Rosa y Camilo, mi familia… sin ellos no hubiese sido llevadero el camino.

AGRADECIMIENTOS

A Mayales Plaza Comercial, por permitirme el espacio y generar el ámbito sobre el cual se basa el presente trabajo.

Al ingeniero Carlos Arturo Cardenas, por poner diligentemente su grano de arena para la construcción de la presente obra.

CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES 16

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN 16

1.1.1 Reseña histórica 17

1.1.2 Localización. 18

1.1.3 Ciclo de operación. 19

1.1.4 Recursos comerciales. 19

1.1.5 Organización. 21

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO 21

1.2.1 Plan de mantenimiento existente. 22

1.2.2 Indicadores de gestión. 23

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 24

1.4 OBJETIVOS 25

1.4.1 Objetivo general. 25

1.4.2 Objetivos específicos 25

1.5 JUSTIFICACIÓN 25

2. MARCO TEÓRICO 27

2.1 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO 27

2.2 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO 27

2.3 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO 28

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO 29

2.4.1 Mantenimiento Correctivo. 30

2.4.2 Mantenimiento Preventivo.....30

2.4.3 Mantenimiento Predictivo.....30

2.4.4 Mantenimiento Proactivo.....30

2.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO 31

2.5.1 El Mantenimiento Basado en Condición (CBM). 32

2.5.2 El Mantenimiento Productivo Total (TPM).....32

2.5.3 El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). 32

2.5.4 Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO). 32

2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....33

2.6.1 Funciones y los parámetros de funcionamiento.....34

2.6.2 Fallas Funcionales. 35

2.6.3 Modos de Falla. 35

2.6.4 Efecto de Falla. 36

2.6.5 Consecuencia de la Falla.....36

2.6.6 Acciones para prevenir o predecir fallas. 37

2.6.7 Acciones cuando no existe una tarea proactiva. 38

2.7 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS CRÍTICAS (FMECA).....38

2.8 INDICADORES DE GESTIÓN EN MANTENIMIENTO.....39

2.8.1 Confiabilidad. 39

2.8.2 Disponibilidad.....39

2.8.3 Mantenibilidad. 40

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO 41

3.1 RECOPILACIÓN Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN 43

3.1.1 Documentación existente. 43

3.2 TAXONOMÍA DE EQUIPOS.....44

3.2.1 Jerarquización de sistemas y equipos. 45

3.2.2 Codificación de sistemas y equipos. 47

3.2.3 Contexto operacional. 48

3.3 GERARQUIZACIÓN DEL RIESGO 48

3.3.1 Alcance del AC. 49

3.3.2 Criterios de importancia. 49

3.3.3 Método de Evaluación. 51

3.3.4 Resultados del proceso de AC.....52

4. DESARROLLO DEL MODELO DE MANTENIMMIENTO.....53

4.1 TRATAMIENTO Y RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....54

4.1.1 Taxonomía. 54

4.1.2 Codificación. 55

4.1.3 Definición de fronteras e interfases.....55

4.1.4 Contexto operacional. 56

4.1.5 Especificaciones técnicas. 57

4.2 PROCESO RCM 58

4.2.1 Funciones del sistema. 59

4.2.2 Fallas funcionales. 59

4.2.3 Modos de falla.....59

4.2.4 Efectos de falla y jerarquización del riesgo. 61

4.2.5 Diagrama de decisión y selección de tareas de mantenimiento. 63

4.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....67

5. INDICADORES DE GESTIÓN 69

5.1 INDICADORES DE MANTENIMIENTO.....69

5.1.1 Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF). 70

5.1.2 Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR)...70

5.2 INDICADORES DE COSTOS 73

6. SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO 74

6.1 ¿QUÉ ES EL SOFTWARE MANTUM CMMS? 75

6.2 ALCANCE DEL SISTEMA MANTUM CMMS 76

7. CONCLUSIONES 77

BIBLIOGRAFÍA 78

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ocupación y porcentaje de vacancia 20
Tabla 2. Plan de mantenimiento existente 23
Tabla 3. Registro documental encontrado 43
Tabla 4. Tabla de Jerarquización.....46
Tabla 5. Criterios de importancia para el análisis AC 49
Tabla 6. Matriz de resultados Frecuencia Vs Consecuencias 51
Tabla 7. Criterios de aceptabilidad.....51
Tabla 8. Resultado análisis de criticidad.....52
Tabla 9. Taxonomía equipo de bombeo 54
Tabla 10. Codificación del sistema 55
Tabla 11. Especificaciones sistema de bombeo 57
Tabla 12. Información preliminar del sistema 58
Tabla 13. Fallas funcionales del sistema en estudio.....59
Tabla 14. Modos de falla subsistema 1 (Motobomba) 60
Tabla 15. Modos de falla subsistema 2 (Tablero eléctrico).....61
Tabla 16. Efectos de falla y jerarquización del riesgo subsistema 1 62
Tabla 17. Efectos de falla y jerarquización del riesgo subsistema 2 63
Tabla 18. Selección de tareas de mantenimiento (hoja 1 de 2).....65
Tabla 19. Selección de tareas de mantenimiento (hoja 2 de 2).....66
Tabla 20. Plan de mantenimiento propuesto 67
Tabla 21. Comparativo entre los planes actual y propuesto 68

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Logo Mayales Plaza....16
Figura 2. Etapa 1 y 2 Mayales Plaza....17
Figura 3. Localización Mayales Plaza....18
Figura 4. Clasificación de Centros Comerciales por GLA....19
Figura 5. Recursos....20
Figura 6. Organigrama Mayales Plaza....21
Figura 7. Organigrama área de mantenimiento....22
Figura 8. Evolución del mantenimiento....29
Figura 9. Estrategias de Confiabilidad Operacional....31
Figura 10. Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad....34
Figura 11. Pasos del modelo de mantenimiento propuesto....41
Figura 12. Proceso de Gestión del Mantenimiento propuesto....42
Figura 13. Ficha técnica grupo electrógeno....44
Figura 14. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos....45
Figura 15. Esquema de jerarquía....46
Figura 16. Codificación de Equipos/Sistemas....47
Figura 17. Pasos para un análisis de criticidad....48
Figura 18. Actividades previas al RCM....53
Figura 19. Taxonomía equipo de bombeo (jerarquía)....54
Figura 20. Limites e interfases del elemento de estudio....56
Figura 21. Desarrollo del proceso RCM....58
Figura 22. Diagrama lógico de decisión RCM....64
Figura 25. Indicadores de mantenimiento....72
Figura 26. Pilares del Software Mantum CMMS....75

RESUMEN

TITULO:

MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM, EMPLEANDO CRITERIO DE RIESGO, MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD PARA EL CENTRO COMERCIAL MAYALES PLAZA *

AUTOR:

EBER ENRIQUE ALVARADO OROZCO**

PALABRAS CLAVE:

CENTRO COMERCIAL, CRITICIDAD, EFECTOS DE FALLA, FMECA, MANTENIMIENTO, MODELO, MODO DE FALLA, RCM

CONTENIDO:

Esta monografía muestra el desarrollo de un modelo gerencial de mantenimiento basado en RCM, empleando criterio de riesgo, modos de falla, efectos y criticidad para el Centro Comercial Mayales Plaza, como un primer intento de trascender del mantenimiento preventivo heredado de los fabricantes de los equipos y de las empresas instaladoras, hacia estrategias modernas e integradoras con capacidad de combinar las diversas herramientas del mantenimiento que mejor se adapten a las necesidades de las empresas.

Se plantea un modelo de mantenimiento de cuatro etapas agrupadas en dos grandes fases, la primera, previa a la aplicación del RCM, contiene el manejo y tratamiento de la información y un análisis de criticidad inicial de los sistemas. La segunda, corresponde a la aplicación del proceso de RCM, que aborda los pasos del FMECA y por último la aplicación del árbol de decisión generando las tareas de mantenimiento óptimas para el elemento de estudio.

El sistema critico resultante del análisis de criticidad inicial, se usa para ejemplificar el modelo propuesto, aplicando sistemáticamente los pasos definidos en el mismo, obteniendo como resaltado un plan de mantenimiento óptimo que demuestra sustancial mejora, incorporando tareas a condición de inspección y verificación con una mayor frecuencia. Adicionalmente se logra sacar del plan de mantenimiento propuesto, las actividades correctivas eliminando el riesgo del modo de falla crítico.

Al final se aborda el tema de indicadores de gestión, como pilar fundamental en la planificación, control y aseguramiento hacia la mejora continua y se sustenta la necesidad imperante de implementar un software de Gestión del Mantenimiento Computarizado CMMS, que permita la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo con los requerimientos específicos del Centro Comercial, lo cual facilitaría los procesos de análisis y toma de decisiones en las áreas de costos y confiabilidad.

---

*Monografía de grado
**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Carlos Arturo Cárdenas Guerra

ABSTRACT

TITLE:

MAINTENANCE MANAGEMENT MODEL BASED ON RCM, USING RISK CRITERIA, FAILURE MODES, EFFECTS AND CRITICITY FOR THE MAYALES PLAZA SHOPPING CENTER*

AUTHOR:

EBER ENRIQUE ALVARADO OROZCO **

KEYWORDS:

SHOPPING CENTER, CRITICITY, FAILURE EFFECTS, FMECA, MAINTENANCE, MODEL, FAILURE MODE, RCM

CONTENTS:

This monograph shows the development of a maintenance management model based on RCM, using risk criteria, failure modes, effects, and criticality for the Mayales Plaza Shopping Center, as a first attempt to transcend the preventive maintenance inherited from the equipment manufacturers. and from the installation companies, towards modern and inclusive strategies with the ability to combine the various maintenance tools that best suit the needs of the company.

A four-stage maintenance model is proposed, grouped into two large phases, the first, prior to the application of the RCM, contains the management and treatment of information and an initial criticality analysis of the systems. The second corresponds to the application of the RCM process, which addresses the FMECA analysis and finally the application of the decision tree, generating the optimal maintenance tasks for the element of study.

The critical system resulting from the initial criticality analysis is used to exemplify the proposed model, systematically applying the steps defined in it, obtaining as a highlight an optimal maintenance plan that shows substantial improvement, incorporating tasks under inspection and verification conditions with a higher frequency. Additionally, corrective activities can be removed from the proposed maintenance plan, eliminating the risk of the critical failure mode.

At the end, the issue of management indicators is addressed, as a fundamental pillar in the planning, control and assurance of continuous improvement and the prevailing need to implement a CMMS Computerized Maintenance Management software is supported, which allows the classification and characterization of the information, so that it is grouped and consulted according to the specific requirements of the Shopping Center, which facilitates the analysis and decision-making processes in the areas of costs and reliability.

---

*Monograph
**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization.
Director: Carlos Arturo Cárdenas Guerra

INTRODUCCIÓN

La industria de los Centros Comerciales en Colombia ha cambiado considerablemente con el tiempo, evolucionado por una parte de la mano de los potenciales clientes y consumidores que son cada día más exigentes, dejando de conformarse con espacios tradicionales de comercio, procurando entornos diferenciadores tecnológicamente adaptados. Por el otro, el conjunto de establecimientos de comercios independientes, que, englobados bajo una imagen común, seleccionados con criterios para resolver las necesidades de los consumidores, tienen que generar al final una rentabilidad económica alineada con los objetivos del negocio.

Se podría decir que los nuevos retos para este sector comercial confluyen al término de competitividad, entendiéndose este según Rojas[1], como la capacidad dinámica que tiene una organización, para mantener, ampliar y mejorar de manera continua y sostenida su participación en el mercado, tanto doméstico como extranjero, a través de la producción, distribución y venta de bienes y servicios en el tiempo, lugar y forma solicitados, buscando como fin último el beneficio de la sociedad.

La necesidad de que un Centro Comercial opere ininterrumpidamente los 365 días del año de manera segura y confiable, generando confort y tranquilidad a los propios y visitantes, volviéndose el sitio predilecto de reunión y de esparcimiento preferido, hacen que los equipos y sistemas técnicos que lo soportan tengan una disponibilidad y confiabilidad tal, que hagan que esto sea posible.

La imagen corporativa y el posicionamiento de la marca en el mercado son los valores primordiales del negocio de los Centros Comerciales, son íconos muy bien atesorados ya que se crean a través del tiempo, como consecuencia del cúmulo de creencias y actitudes que tienen los consumidores y el público en general, es decir,

[1] ROJAS, Patricia y SEPÚLVEDA, Sergio. ¿Qué es la Competitividad? Folleto No. 2. San José, C.R.: IICA, 1999. p. 18. ISBN 92-9039-431 5. [En línea]. (Recuperado en 21 de marzo 2021). Disponible en: http://repiica.iica.int/docs/B0193e/B0193e.pdf

es la percepción que estos se han formado a partir de los productos, servicios y experiencias diferenciadoras vividas dentro de los mismos.

Lo anterior demanda un modelo gerencial de mantenimiento que sirva como marco referencial para la transformación de la gestión del mantenimiento como lo menciona García[2], buscando garantizar al cliente interno o externo la disponibilidad de los activos fijos, cuando lo requieran con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo óptimo necesario para operar con las condiciones tecnológicas exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los usuarios, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mayores índices de productividad, rentabilidad y competitividad.

El presente trabajo pretende desarrollar un modelo gerencial basado en el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), empleando criterio de riesgo, modos de falla, efectos y criticidad para el Centro Comercial Mayales Plaza, considerando que el RCM es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar o mejorar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.) con el objetivo de maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas.

[2] GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Optimización Integral Del Mantenimiento: Hacia La Terotecnología De Clase Mundial. En: Clepsidra. 2007, Vol. 3, nro. 4, p. 60. [En línea]. (Recuperado en 25 de marzo 2021). Disponible en: http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/268/252

1. GENERALIDADES

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

El Centro Comercial Mayales Plaza, ha sido diseñado para conformar un conjunto armónico en el que se conjugan la arquitectura de sus edificios, sus espacios, la naturaleza circundante, el paisaje interior, la amplitud de sus áreas y formas, para permitir el desarrollo de actividades comerciales y de esparcimiento dentro de una concepción moderna y futurista de un verdadero Centro Comercial.

Se constituye como una propiedad horizontal sin ánimo de lucro, regido por el Reglamento de Propiedad Horizontal según lo establecido en la ley 675 de 2001, con base en esta concepción, el Centro Comercial está compuesto por un número determinado de unidades privadas en las cuales es posible desarrollar actividades comerciales y financieras. Dichas actividades están indicadas en forma genérica en el Reglamento de Propiedad Horizontal y obedecen a criterios técnicos de selección y planificación basados en estudios sobre la composición ideal de un Centro Comercial, el potencial de compras de los usuarios y consumidores y el área de influencia física del Centro Comercial.

Figura 1. Logo Mayales Plaza

Fuente: Archivo Dirección Operativa Mayales Plaza

1.1.1 Reseña histórica. Hasta el año 2008 incursiona la industria de los Centros Comerciales modernos en ciudad de Valledupar, para la fecha solo existían algunos lugares que operaban como galerías comerciales y supermercados, con una oferta limitada de productos y servicios y casi que sin espacios ambientados para el esparcimiento y recreación de sus visitantes. Para esa fecha se inaugura el Centro Comercial Guatapurí Plaza en el sector norte de la ciudad, convirtiéndose formalmente en el primer centro comercial moderno en abrir sus puertas al público en la ciudad. Cinco años más tarde, como respuesta al crecimiento acelerado de la ciudad y a la necesidad de mayor cubrimiento por parte de este segmento de mercado en el sector sur de la ciudad, nace en el 2.013 Mayales Plaza Comercial, como iniciativa del Grupo Mayales, conformado por la constructora Mejía Villegas Constructores, Orbe Construcciones y Viva Bien S.A., tres constructores de la región que logran consolidar un proyecto a la altura de las grandes ciudades del país, abriendo sus puertas al público con una primera etapa con un área construida de 35.686 M2, para un año después, inaugura la segunda etapa con un área construida de 40.971 M2, completando un área total construida de 76.657 M2.

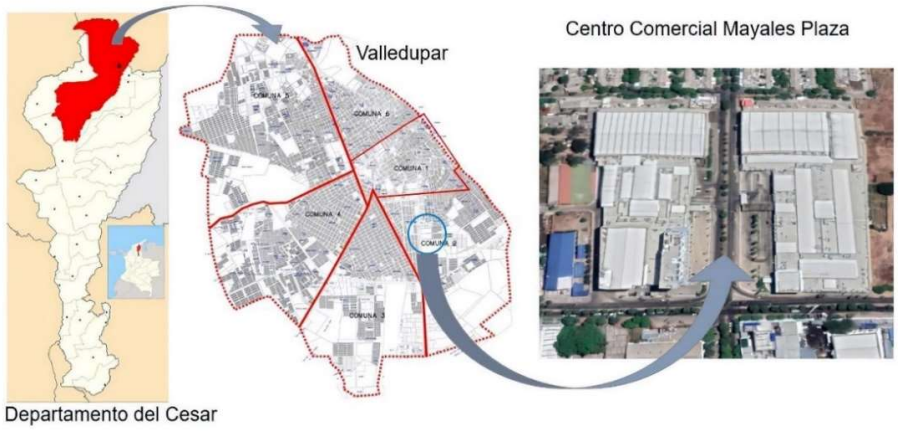
Figura 2. Etapa 1 y 2 Mayales Plaza

Fuente: ttps://earth.google.com/web/@10.45615454,73.24189772,152.00984183a, 380.40019398d,35y,89.02567903h,44.99582561t,0r

1.1.2 Localización. Mayales Plaza Comercial está ubicado en la comuna 2, sector sur oriente del municipio de Valledupar en el departamento del Cesar. Su localización estratégica le permite estar a menos de 3 Km de distancia del aeropuerto Alfonso López y a 1,5 Km del terminal de transporte terrestre y de la ruta 80, que conecta por una parte con el departamento del Magdalena y por la otra, con el departamento de La Guajira y el sur del Cesar. Esto sin duda permite que el Centro Comercial cuente con una ventaja competitiva por su ubicación, consolidándose como el lugar preferido de confluencia de todas aquellas personas que por algún motivo visitan la ciudad.

Adicional a lo anterior, la construcción del complejo comercial ha impulsado el desarrollo urbanístico del sector, levantándose a su alrededor una gran cantidad de proyectos inmobiliarios residenciales de estrato 3 y 4 de gran importancia, aumentando en consecuencia los clientes potenciales que, sin duda alguna, encuentran en Mayales Plaza Comercial la oferta de productos y servicios que a diario requieren.

Figura 3. Localización Mayales Plaza



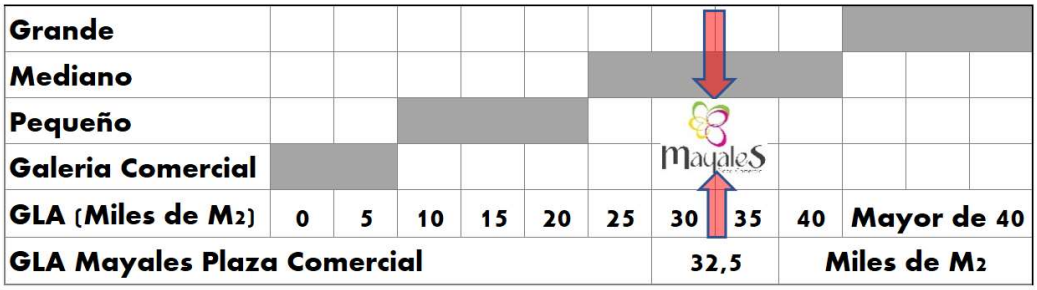
Fuente: http://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx

1.1.3 Ciclo de operación. El Centro Comercial Mayales Plaza abre sus puertas al público diariamente a partir de las 8:00 am junto con los servicios bancarios y algunos servicios de cafetería, oficinas y droguerías. A partir de las 10:00 am inicia el comercio en general ofreciendo todo el potencial de productos y servicio, dando respuesta a la dinámica de consumo y necesidades de los clientes. La actividad comercial termina las 8:00 pm, para cerrar operaciones a las 10:00 pm. Algunas actividades como el cien y el gimnasio llevan su operación hasta la media noche.

El ciclo de operación diario presentado anteriormente se repite durante todo el año con algunas excepciones derivadas de festividades locales y nacionales, como lo son el Festival de la Leyenda Vallenata, la Semana Santa, las Festividades de Fin de Año, entre otras.

1.1.4 Recursos comerciales. Según la clasificación de la Asociación Colombina de Centros Comerciales (Acecolombia)[3], Mayales Plaza con 32.577 M2 de Superficie Bruta Alquilable GLA (por sus siglas en inglés) se clasifica como tipo mediano (Figura 4.).

Figura 4. Clasificación de Centros Comerciales por GLA



Fuente: El autor

La clasificación anterior va relacionada con la cantidad de área disponible no alquiladas o desocupadas, representada por el indicador del porcentaje de

[3] Acecolombia: INFORME DE OCUPACIÓN Y VACANCIA EN CENTROS COMERCIALES. 2017. [En línea]. (Recuperado en: 10 de marzo de 2021). Disponible en: http://www.acecolombia.org/descargas/informevacancia2017.pdf

vacancia, que para el año 2.019 era de del 4,02% en el Centro Comercial Mayales Plaza.

Tabla 1. Ocupación y porcentaje de vacancia

Año	GLA (M2)	Area Arrendada	Area por Arrendar	% de Vacancia
2017	32.577	30.448	2.129	6,54%
2018	32.577	30.598	1.979	6,08%
2019	32.577	31.266	1.311	4,02%

Fuente: El autor

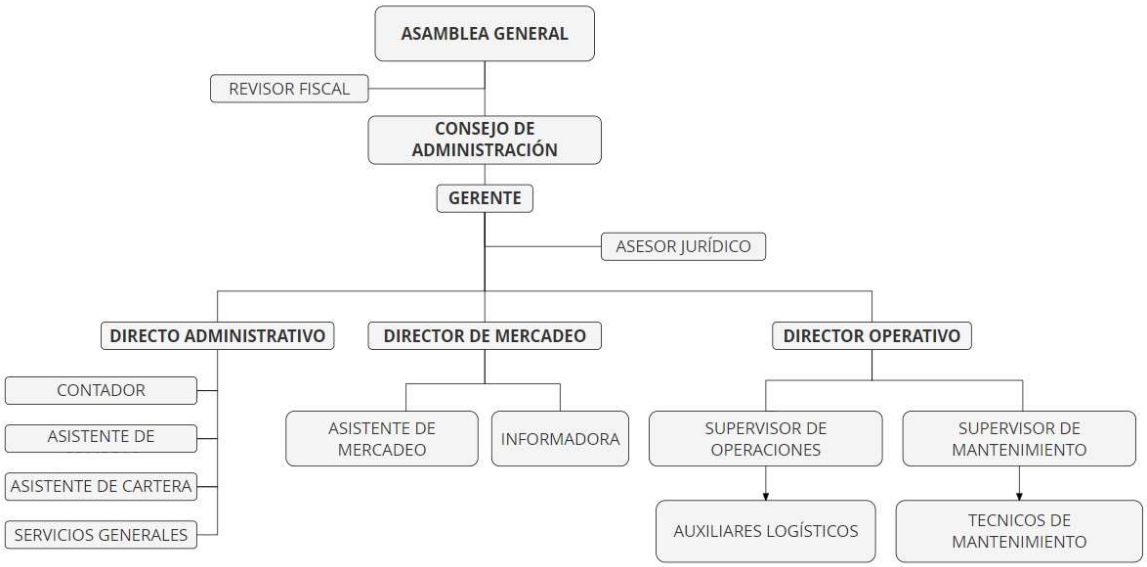
El centro Comercial cuenta para la prestación de sus servicios con más de 270 locales comerciales, plazoletas de postres y comidas, más de 1.000 puestos de parqueaderos, salas de cines, gimnasio, etc., distribuidos en las dos etapas que lo conforma, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Recursos

Fuente: https://mayalesplaza.com/conocenos/

1.1.5 Organización. El Centro Comercial Mayales Plaza como se mencionó anteriormente, es una empresa de servicios sin ánimo de lucro, sometido al régimen legal de la propiedad horizontal según lo establecido en la ley 675 de 2001, administrada por la Asamblea General de Copropietarios, quien delega al Consejo de Administración conformado por miembros de la copropiedad elegidos en la asamblea general de copropietarios, estos a su vez nombra a un gerente general, responsable directamente de liderar todo el proceso administrativo, operativo y comercial. Por el número de personas contratadas, Mayales Plaza Comercial se puede clasificar como una empresa pequeña, con menos de 50 personas vinculadas directamente con la administración.

Figura 6. Organigrama Mayales Plaza



Fuente: Archivo Mayales Plaza

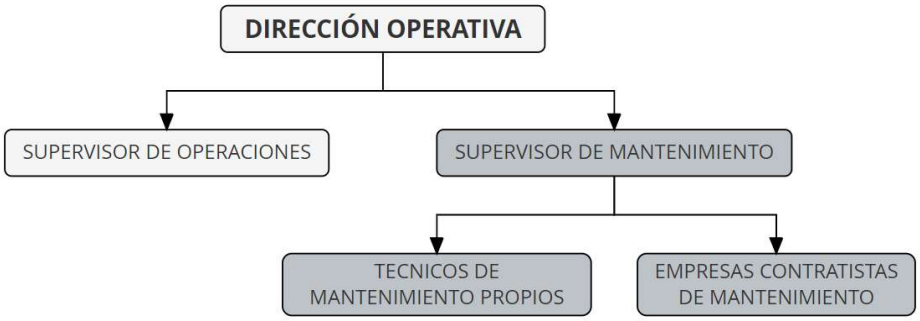
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

El Centro Comercial Mayales Plaza cuenta con un equipo de mantenimiento que depende directamente de la dirección operativa, encargado de realizar las tareas necesarias para la operación optima de todos los activos y sistemas, como también

atender requerimientos adicionales de otras áreas de la organización como mercadeo, locales comerciales, etc.

El área de mantenimiento integra a contratistas especializados como parte del equipo, para atender sistemas de mayor grado de complejidad.

Figura 7. Organigrama área de mantenimiento



Fuente: Dirección Operativa Mayales Plaza

1.2.1 Plan de mantenimiento existente. El plan de mantenimiento actual con el que opera el Centro Comercial está basado principalmente en acciones preventivas periódicas de acuerdo con tiempos establecidos en los manuales de mantenimiento, recomendados por los fabricantes o contratistas mantenedores de los equipos o por la experiencia adquirida en la operación de estos.

Los sistemas son intervenidos de acuerdo con una programación anual de mantenimiento preestablecida y ajustado al presupuesto aprobado para el período, ejecutándose adicionalmente actividades rutinarias de inspecciones generales a cuartos y sistemas técnicos asignadas como tareas diarias o semanales y no como parte del plan de mantenimiento. Se llevan a cabo adicionalmente verificaciones sistémicas a equipos considerados importantes.

Se realizan intervenciones no programadas cuando se presenta la necesidad por evidencia de situaciones anormales o por fallo de los equipos. Algunos sistemas no críticos como el de iluminación e intrusión se dejan funcionar a fallo.

Mantenimientos de sistemas con un grado mayor de especialización como el sistema eléctrico, generadores de respaldo, aire acondicionado y equipos de ascenso y descenso son atendidos por empresas contratistas ajustados al plan de mantenimiento general y regularmente bajo sus propios criterios de ejecución.

En la tabla 2 se presenta el plan de mantenimiento actual, donde se puede apreciar la programación en el tiempo de cada sistema, especificando quien lo ejecuta; el personal propio de mantenimiento o los asociados comerciales.

Tabla 2. Plan de mantenimiento existente

MAYALES PLAZA COMERCIAL														
PROYECCIÓN DE MANTENIMIETOS PREVENTIVOS DE SISTEMAS Y EQUIPOS														
SISTEMA - EQUIPO	FRECUENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	EJECUTA
A. EQUIPOS HIDRONEUUMÁTICOS														
EQUIPOS DE PRESIÓN	TRIMESTRAL	X			X			X			X			AREA DE MTTO
BOMBAS CONTRAINCEDIO	TRIMESTRAL	X			X			X			X			AREA DE MTTO
EQUIPOS EYECTORES	TRIMESTRAL						X						X	AREA DE MTTO
B. EQUIPOS DE ASCENSO-DESCENSO														
RAMPAS ELECTRICOS	MENSUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	CONTRATISTA
ESCALERAS ELÉCTRICAS	MENSUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	CONTRATISTA
ASCENSOR DE CARGA	MENSUAL	X												CONTRATISTA
C. EQUIPOS DE AIRES ACONDICIONADO														
EQUIPOS PAQUETES	MENSUAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	CONTRATISTA
EQUIPOS MINI SPLIT	TRIMESTRAL		X			X			X			X		CONTRATISTA
E. EQUIPOS Y SISTEMAS DE POTENCIA														
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS	SEMESTRAL					X						X		CONTRATISTA
PLANTAS ELÉCTRICAS	SEMESTRAL						X						X	AREA DE MTTO
F. TANQUES DE AGUA Y SANITARIOS														
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	SEMESTRAL				X						X			CONTRATISTA
TRAMPAS DE GRASAS	BIBESTRAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	AREA DE MTTO
G. SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL														
CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN	SEMESTRAL		X						X					CONTRATISTA
INTRUSIÓN Y ACCESO	SEMESTRAL		X						X					CONTRATISTA
SISTEMAS DE CONTROL - ANDOBER	ANUAL						X							CONTRATISTA
CUARTOS TECNICOS	TRIMESTRAL	X			X			X			X			AREA DE MTTO

1.2.2 Indicadores de gestión. El programa actual de mantenimiento no cuenta con un registro sistémico de las actividades ejecutadas, por lo tanto, no se dispone de indicadores de gestión que permitan evaluar el desempeño y comportamiento del área, haciendo difícil diseñar y definir las acciones a implementar para la mejora continua del plan de mantenimiento.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todo Centro Comercial y como tal Mayales Plaza, requiere operar de manera continua durante los 365 días del año, cumpliendo con estándares de satisfacción al cliente de clase mundial, garantizándole una estancia confortable, agradable y segura. Esto implica que los sistemas funcionales que lo conforman, como son los sistemas eléctricos, aires acondicionados, ventilación forzada, bombeo, extinción de incendios, entre otros, cuenten con una disponibilidad y confiabilidad considerablemente alta, demandando del área de mantenimiento una planeación estratégica que integre el conocimiento del pasado, el análisis del presente y la prospectiva necesaria para poder generar acciones organizadas y sistemáticas que permitan que la empresa como un todo, cumpla con su objeto social.

Las fallas que se pueden presentar en la operación de un Centro Comercial son diversas, por los diferentes sistemas y equipos que lo conforman, estas, pueden llegar a afectar la satisfacción del cliente externo (visitante) e interno (comerciante), objeto del producto, que en este caso es un servicio. Si la falla es tal que llegase a afectar la operación de manera parcial o total, ello impactaría seriamente en el posicionamiento de la marca en el mercado, afectando la imagen corporativa, sin mencionar las grandes pérdidas económicas que de ello se derive.

La falta de planeación estratégica del mantenimiento de los sistemas y equipos de del Centro Comercial Mayales Plaza, es el principal problema que enfrenta la operación de este. Si bien, se tiene una programación básica de mantenimiento, el conocimiento necesario de los sistemas e información técnica documentada, se hace necesario contar con un plan de mantenimiento formal, lo suficientemente amplio y estructurado, con herramientas de soporte para el registro, control y seguimiento de las actividades propias de la gestión integral del mantenimiento. Esto requiere implementar indicadores de gestión que permitan evaluar el desempeño y comportamiento del área, facilitando diseñar y definir acciones de mejora continua.

Lo anterior con seguridad favorecerá la disponibilidad y confiabilidad requerida de los sistemas y equipos y de la optimización de costos operativos esperados por los promotores y propietarios.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general. Desarrollar un modelo gerencial de mantenimiento basado en RCM, empleando criterio de riesgo, modos de falla, efectos y criticidad para el Centro Comercial Mayales Plaza.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Identificar y describir cada uno de los sistemas.
- Validar la información existente de los diferentes sistemas.
- Realizar esquema de taxonomía de los sistemas y proponer una estructura de codificación.
- Realizar un análisis de criticidad que permita la jerarquización de los sistemas y/o equipos.
- Aplicar la metodología RCM, empleando criterio de riesgo, modos de falla, efectos y criticidad al equipo crítico y proponer un plan de mantenimiento para este.
- Establecer la necesidad de implementar un software de Gestión del Mantenimiento Computarizado CMMS.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de que un Centro Comercial opere ininterrumpidamente los 365 días del año de manera segura y confiable, generando seguridad y tranquilidad a los propios y visitantes, volviéndose el sitio predilecto de reunión y de esparcimiento,

hacen que los equipos y sistemas técnicos que lo soportan tengan una disponibilidad y confiabilidad tal, que hagan que esto sea posible.

La imagen corporativa y el posicionamiento de la marca en el mercado son los valores primordiales del negocio de los Centros Comerciales, son íconos atesorados ya que se crean a través del tiempo, como consecuencia del cúmulo de creencias y actitudes que tienen los consumidores y el público en general, es decir, es la percepción que estos se han formado a partir de los productos, servicios y experiencias vividas dentro de los mismos. Lo anterior demanda una adecuada gestión del mantenimiento de los sistemas y equipo que soportan la operación, de tal manera que, de presentarse fallas en los mismos, no impacten significativamente en la operación, la seguridad de las personas, en la continuidad operativa y en la marca como tal.

El presente trabajo busca plantear un esquema de mantenimiento organizado y estructurado para el sector de Centros Comerciales, que propenda por la máxima confiabilidad de los activos, con el fin de garantizar la continuidad en la prestación de los servicios, minimizando el riesgo de afectación en la operación, como también el riesgo para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente.

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se abordan importantes conceptos y teorías del mantenimiento, partiendo de sus antecedentes y evolución en el tiempo, hasta la revisión de algunas de las principales estrategias y filosofía que en la actualidad se utilizan para gestionarlo. Dentro de estas estrategias se profundizará en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) y las herramientas que este utiliza para lograr sus objetivos.

2.1 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO

Es un proceso conformado por una serie de actividades sistemáticas cuyo objetivo es sostener o devolver la función para la que fue creado un activo.

En la actualidad se requiere que el mantenimiento cumpla su función teniendo en cuenta los objetivos generales de la empresa, la seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la optimización de los costos.

2.2 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

La Gestión del Mantenimiento busca garantizarle al cliente interno o externo la disponibilidad de los activos fijos, cuando lo requieran con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo óptimo necesario para operar con las condiciones tecnológicas exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los usuarios, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mayores índices de productividad, rentabilidad y competitividad[4]

[4] GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Optimización Integral Del Mantenimiento: Hacia La Terotecnología De Clase Mundial. En: Clepsidra. 2007, Vol. 3, nro. 4, p. 60. [En línea]. (Recuperado en 25 de marzo 2021). Disponible en: http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/268/252

De acuerdo con lo anterior se podrían listar como principales objetivos del mantenimiento así:

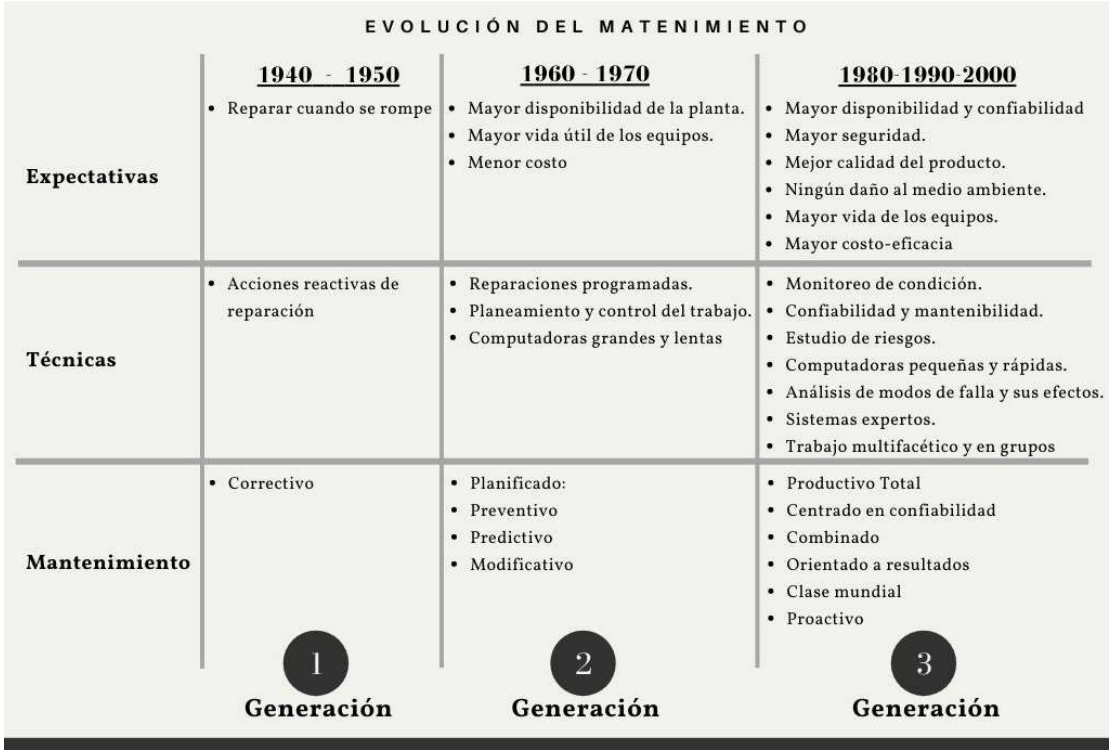
- Asegurar la máxima disponibilidad de los sistemas y equipos necesario para la actividad productiva.
- Asegurar un alto nivel de confiabilidad.
- Preservar o conservar el valor de los activos, minimizando el desgaste y el deterioro.
- Minimizar la consecuencia de los fallos si estos no se pueden evitar.
- Garantizar la seguridad de las personas, las instalaciones y la conservación del medio ambiente.
- Aportar a la empresa adecuados índices de productividad, rentabilidad y competitividad
- Cumplir estas metas, tan económicamente como sea posible.

2.3 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es un concepto que ha evolucionado a través del tiempo, mientras que en un inicio se limitaba a las tareas de reparación de equipos con fallas, hoy en día la tendencia es gestionar la prevención de tales fallas, y más allá aún, minimizar las consecuencias de estas.

La figura 8 muestra de manera resumida cómo ha evolucionado el mantenimiento en el tiempo durante tres generaciones marcadas por grandes acontecimientos a nivel mundial, desde 1.930 con la primera generación hasta el año 2.000 con la tercera. En la actualidad se habla de una cuarta generación que involucra nuevos objetivos y técnicas apoyadas en la industria 4.0 y todo el entramado tecnológico que esta implica.

Figura 8. Evolución del mantenimiento



EVOLUCIÓN DEL MATENIMIENTO

	1940 - 1950	1960 - 1970	1980-1990-2000
Expectativas	• Reparar cuando se rompe	• Mayor disponibilidad de la planta. • Mayor vida útil de los equipos. • Menor costo	• Mayor disponibilidad y confiabilidad • Mayor seguridad. • Mejor calidad del producto. • Ningún daño al medio ambiente. • Mayor vida de los equipos. • Mayor costo-eficacia
Técnicas	• Acciones reactivas de reparación	• Reparaciones programadas. • Planeamiento y control del trabajo. • Computadoras grandes y lentas	• Monitoreo de condición. • Confiabilidad y mantenibilidad. • Estudio de riesgos. • Computadoras pequeñas y rápidas. • Análisis de modos de falla y sus efectos. • Sistemas expertos. • Trabajo multifacético y en grupos
Mantenimiento	• Correctivo	• Planificado: • Preventivo • Predictivo • Modificativo	• Productivo Total • Centrado en confiabilidad • Combinado • Orientado a resultados • Clase mundial • Proactivo
	1 Generación	2 Generación	3 Generación

Fuente: Consolidado por el autor

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Para la gestión del mantenimiento, se han desarrollado a través de los años y después de muchas investigaciones, diferentes tipos, técnicas, herramientas, metodologías o filosofías de mantenimiento, encontrándose unas como apoyo o complemento de otra, combinación de algunas u operando por sí solas, lo primordial es aprender a decidir cuál o cuáles son útiles en consideración a las necesidades específicas de la empresa y a sus características particulares.

2.4.1 Mantenimiento Correctivo.

Mantenimiento que se realiza cuando el equipo ha perdido la capacidad de seguir funcionando, es decir, ha operado hasta fallar o ha perdido la capacidad de realizar su función. Es reparar las averías en la medida en que se presentan. Este es también conocido como mantenimiento reactivo.

2.4.2 Mantenimiento Preventivo. Es el conjunto de acciones de planeadas de tal manera que prevenga la ocurrencia de fallas anticipadas o potenciales. Generalmente se programan con base a tiempos de operación o según un calendario establecido previamente con frecuencia fija.

2.4.3 Mantenimiento Predictivo. También llamado basado en condición, hace un análisis constante del equipo para poder descubrir si las variables de la maquinaria cambian según su condición operativa y así predecir las averías o fallas antes de que se produzcan. Incluye inspecciones objetivas mediante el uso de instrumentos especializados y subjetivas mediante el uso de los sentidos de los inspectores.

2.4.4 Mantenimiento Proactivo. Es una técnica enfocada en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, esta técnica implementa soluciones que atacan la causa de los problemas no los efectos. El Mantenimiento Proactivo se fundamenta en ejecutar actividades de mantenimiento orientadas a prevenir los factores que provocan el inicio de las fallas, se trata de actividades sencillas pero esenciales, aquellas tareas que mejoran el desempeño de los activos, actuando antes de que las fallas muestren sus síntomas, no se trata de detectar y/o corregir fallas, la meta es combatir los malos actores que más tarde provocarán un síntoma asociado a los modos de falla característicos del activo[5].

[5] TROCEL, David. Mantenimiento proactivo: cuidados esenciales de la maquinaria. [En línea] (Recuperado el 09 de diciembre de 2020). Disponible en: https://esp.reliabilityconnect.com/ mantenimiento-proactivo-cuidados-esenciales-de-la-maquinaria/

2.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Para abordar el tema sobre las diversas estrategias que pueden ser asociadas a un óptimo modelo de gestión de mantenimiento, se debe integrar dentro de su estructura el concepto de Confiabilidad Operacional, entendiéndose esta como una serie de procesos de mejoramiento continuo, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, técnicas de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial[6].

A continuación, se presentan los conceptos de las principales estrategias de mantenimiento asociadas a la confiabilidad operacional, haciendo especial énfasis en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) como base del presente trabajo.

Figura 9. Estrategias de Confiabilidad Operacional

Fuente: GARCÍA, Oliverio. Optimización Integral Del Mantenimiento: Hacia La Terotecnología De Clase Mundial. En: Clepsidra. 2007, Vol. 3, nro. 4, p. 64.

[6] DURÁN, José. ¿Qué es Confiabilidad Operacional? Revista Club de Mantenimiento. Año 1. N.º 2. Sep. 2000, Citado por GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Optimización Integral Del Mantenimiento: Hacia La Terotecnología De Clase Mundial. En: Clepsidra. 2007, Vol. 3, nro. 4, p. 64. [En línea]. (Recuperado en 25 de marzo 2021). Disponible en: http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/268/252

2.5.1 El Mantenimiento Basado en Condición (CBM). Se lleva a cabo con base en el estado determinado de los activos, que se establece vigilando los parámetros claves de operación, cuyos valores se ven afectados por su estado real. Para poder medir estas condiciones se utilizan técnicas de análisis y diagnóstico de muy amplia divulgación actual y pruebas no destructivas.

2.5.2 El Mantenimiento Productivo Total (TPM). Es un moderno sistema gerencial de soporte al progreso industrial, que permite con la participación de toda la organización tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada por múltiples técnicas de gestión, las teorías de la calidad total y del Kaizen japonés, establece las prácticas adecuadas para mejorar la productividad, la rentabilidad y la competitividad empresarial.

2.5.3 El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Es un enfoque sistemático para diseñar planes de mantenimiento que eleven la confiabilidad operacional de los equipos con un mínimo costo y riesgo; para lo cual combinas técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y proactivo, mediante acciones justificadas de manera técnica y económica. El objetivo primario del RCM es conservar la función del sistema, antes que la función del activo (Ver numeral 2.6).

2.5.4 Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO). Es una metodología diseñada para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de las fallas y la información técnica de todos los activos en operación. La PMO facilita el diseño de un marco de trabajo racional, rentable, seguro y eficiente, cuando un sistema de mantenimiento preventivo se encuentra consolidado y la planta se tiene bajo control. La fuerza fundamental del PMO se basa en que las acciones de mantenimiento tienen valor agregado, y que el sistema genera mejoras en muchos aspectos de la gestión de activos de la empresa, aparte del análisis de confiabilidad.

2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, conocido por sus siglas en inglés como RCM (Reliability Centered Maintenance), es un método empleado para determinar las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto de operación. Entendiéndose por mantenimiento (UNE-EN 13306:2011) la combinación de todas las acciones técnicas administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida. La función requerida (UNE-EN 13306:2011) es la función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado. Esta función puede definirse de muchas formas dependiendo exactamente de donde y como se esté usando el elemento, es decir dependiendo del contexto operacional[7].

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar[8]:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (funciones)
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones? (fallas funcionales)
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (modos de falla)
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (efectos de falla)
5. ¿En qué sentido es importante la falla? (consecuencias de falla)
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla? (tareas proactivas)

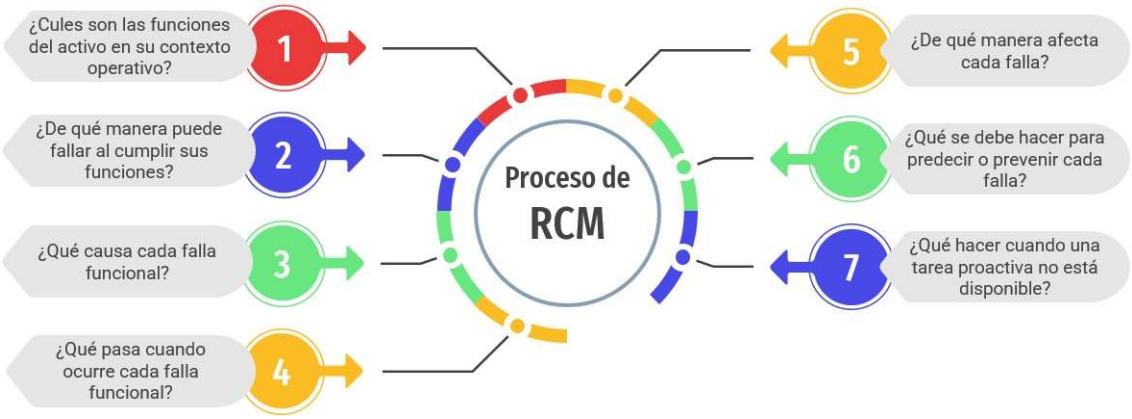
---

[7] BRAVO FERNANDEZ, Luz Marina. Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de Alcalá del Río, aplicando criterios de confiabilidad (RCM). Proyecto Fin de Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales. Sevilla: Dep. Ingeniería Eléctrica Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, 2015. p. 27. [En línea]. (Recuperado en 29 de marzo 2021). Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90479/fichero/TFG+LUZ+MARIA+FERNANDEZ+BRAVO+2015%252FDESARROLLO+DEL+PROYECTO.pdf

[8] MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon Ltd., Buenos Aires-Madrid, 2004, p. 7.

7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (tarea de búsqueda de fallas, rediseño o RTF)

Figura 10. Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad



Fuente: El autor

A continuación, apoyado en Moubray[9], se describe con más detalle cada uno de los siete pasos del proceso de RCM

2.6.1 Funciones y los parámetros de funcionamiento. El primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto a los parámetros de funcionamiento deseado. Lo que los usuarios esperan que sean realizados por los activos puede ser dividido en dos categorías:

• **Funciones primarias.** Resumen el porqué de la adquisición del activo en primera instancia. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de carga o almacenaje, calidad de producto y servicio al cliente.

• **Funciones secundarias.** Reconocen qué se espera de cada activo que haga más de allá de simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort,

[9] MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon Ltd., Buenos Aires-Madrid, 2004, p. 8-12.

integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regularizaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo.

2.6.2 Fallas Funcionales. En el mundo de RCM, los estados de fallas son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo con el parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sumando a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona, pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Pero estas solo pueden claramente identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

2.6.3 Modos de Falla. El siguiente paso en el proceso de RCM es tratar de identificar todos los hechos que pueden haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido, pero tienen una alta probabilidad de que ocurran en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de falla en los equipos puedan ser identificadas adecuadamente, esta lista debe incluir fallas causada por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentado tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado, es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiados en los detalles.

2.6.4 Efecto de Falla. El cuarto paso en el proceso de RCM consiste en hacer un listado de los efectos de falla, que describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de las fallas, tales como:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si es que la representa).
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Que daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modo de falla y efectos de falla trae asombrosos y muchas veces apasionantes oportunidades de mejorar el desempeño y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio.

2.6.5 Consecuencia de la Falla. Un punto afuera de RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus aspectos técnicos. De hecho, reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas en sí, sino evitar o reducir las consecuencias de estas. El proceso de RCM clasificas estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- **Consecuencias de fallas ocultas:** las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente).

- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede herir o matar alguna persona. Tienen

consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.

- **Consecuencias operacionales:** si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales) además del costo directo de la reparación.

- **Consecuencias no operacionales:** las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, solo se relacionan con el costo directo de la reparación.

Son estas consecuencias las que fuertemente influencian el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, se hará un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si tiene consecuencias leves o no las tiene, quizás se decida no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básicas.

2.6.6 Acciones para prevenir o predecir fallas. RCM divide en tres grupos las tareas para prevenir, predecir y disminuir las consecuencias de las fallas:

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico.** Refabricar o reparar un componente antes que llegue a su límite de edad sin importar su condición en ese momento.

- **Tareas de sustitución cíclica.** Sustituir un componente antes que llegue a su límite de edad sin importar su condición en ese momento.

- **Tareas a condición.** No dependen de la edad del componente, se basan en el hecho que la mayoría de las fallas dan algún indicio o advertencia de que están por ocurrir. Se llaman tareas a condición porque el equipo se deja operativo a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento adecuados. Las tareas a condición incluyen tareas de mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en condición y monitoreo de condición

2.6.7 Acciones cuando no existe una tarea proactiva. También llamadas acciones a *falta de*, estas tratan directamente con el estado de la falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones *a falta* de incluyen búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento a rotura.

2.7 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS CRÍTICAS (FMECA)

En el análisis de modos de falla y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) que establece la norma SAE J1739 se realiza una categorización de efectos de falla a través de la determinación de números de prioridad de riesgo (NPR)[10].

Goble[11], define el FMEA como una técnica sistemática diseñada para identificar problemas o para el análisis de modos de fallo y efectos. La implementación de esta metodología comienza con una lista detallada de todos los componentes pertenecientes al sistema que se analiza. El sistema completo puede analizar un componente a la vez por medio de una estructura jerárquica. Para cada componente, se identifican todos los modos de falla conocidos; y para cada componente/modo de fallo se hace una lista de los efectos en el siguiente nivel. Finalmente, para cada componente/modo de fallo se lista la severidad del efecto y posteriormente se determinan las medidas preventivas que eviten o amortigüen los efectos de los fallos.

Por su parte el número de prioridad de riesgo (NPR) lo que hace es jerarquizar cada una de las tareas a realizar en los diferentes equipos o sistemas, con el fin de

[10] CAMPOS-LÓPEZ, Omar et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. En: Científica, vol. 23, núm. 1, 2019. [En línea]. (Recuperado en: 22 de marzo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html

[11] GOBLE, William (2010). Control Systems Safety Evaluation and Reliability. International Society of Automation. North Carolina, USA, 2010, p. 87, Citado por ORTIZ USECHE, Alexis et al. Gestión de mantenimiento en pymes industriales. En: Revista Venezolana de Gerencia, vol. 18, núm. 61, enero-marzo, 2013, pp. 91. [En línea]. (Recuperado en: 22 de marzo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29026161004

priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran según el grado de criticidad. El Número de Ponderación del Riesgo (NPR) lo forman tres elementos:

- **Gravedad:** Define la gravedad de los efectos ocurridos si sucede el fallo en la máquina o instalación de estudio.
- **Frecuencia de Fallos:** Número de sucesos ocurridos en un intervalo de tiempo.
- **Detectabilidad:** Mayor o menor facilidad de detectar una causa de fallo según recursos humanos y técnicos disponibles.

Se multiplican los valores de Gravedad x Frecuencia de Fallo x Detectabilidad y se obtiene el NPR para cada modo de fallo. Su utilidad consiste en alertar en menor o mayor medida al analista a reforzar los métodos de mantenimiento.

2.8 INDICADORES DE GESTIÓN EN MANTENIMIENTO

Los indicadores de gestión son datos derivados del adecuado registro de las actividades realizadas y medidas durante ciclo de vida de un activo, que permitan evaluar el desempeño y comportamiento del área de mantenimiento, facilitando diseñar y definir acciones de mejora continua.

Antes de formular los indicadores adecuados para la gestión es pertinente tratar los conceptos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, presentados según la norma ISO 14224[12]

2.8.1 Confiabilidad. Capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

2.8.2 Disponibilidad. Capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante

[12] Industria del petróleo y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224:2016. 71 p. [En línea]. (Recuperado en: 15 de marzo de 2021). Disponible en: https://es.slideshare.net/cstparkour/norma-iso14224-en-espaol

un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

2.8.3 Mantenibilidad. Probabilidad de que un ítem pueda ser restaurado a una condición, dentro de un periodo de tiempo predeterminado, cuando el mantenimiento se realiza por personal con niveles específicas de competencias, utilizando procedimientos y recursos predeterminados.

Como indicador relevante para el presente trabajo de tendrá en cuenta la Disponibilidad, definida como sigue:

D= MTBF / (MTBF + TTR), donde:

MTBF es el tiempo medio entre fallas, definido como el tiempo transcurrido entre fallas, sobre el número de fallas.

MTTR es el tiempo medio entre reparación, definido como el tiempo entre reparaciones (preventivas más correctivas) sobre el número de reparaciones realizadas.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En este capítulo se presenta la estructura general del modelo gerencial de mantenimiento propuesto, partiendo de una etapa inicial de verificación de la información disponible de los sistemas, incluyendo una propuesta de codificación para luego realizar un análisis de criticidad de estos.

El análisis inicial de criticidad pretende para este modelo establecer a nivel de los sistemas funcionales, cual o cuales representan mayor riesgo para el desarrollo de la prestación del servicio objeto del Centro Comercial, desde el punto de vista de la imagen corporativa, satisfacción del cliente, riesgo para las personas y el medio ambiente, el costo del mantenimiento y la frecuencia de las fallas.

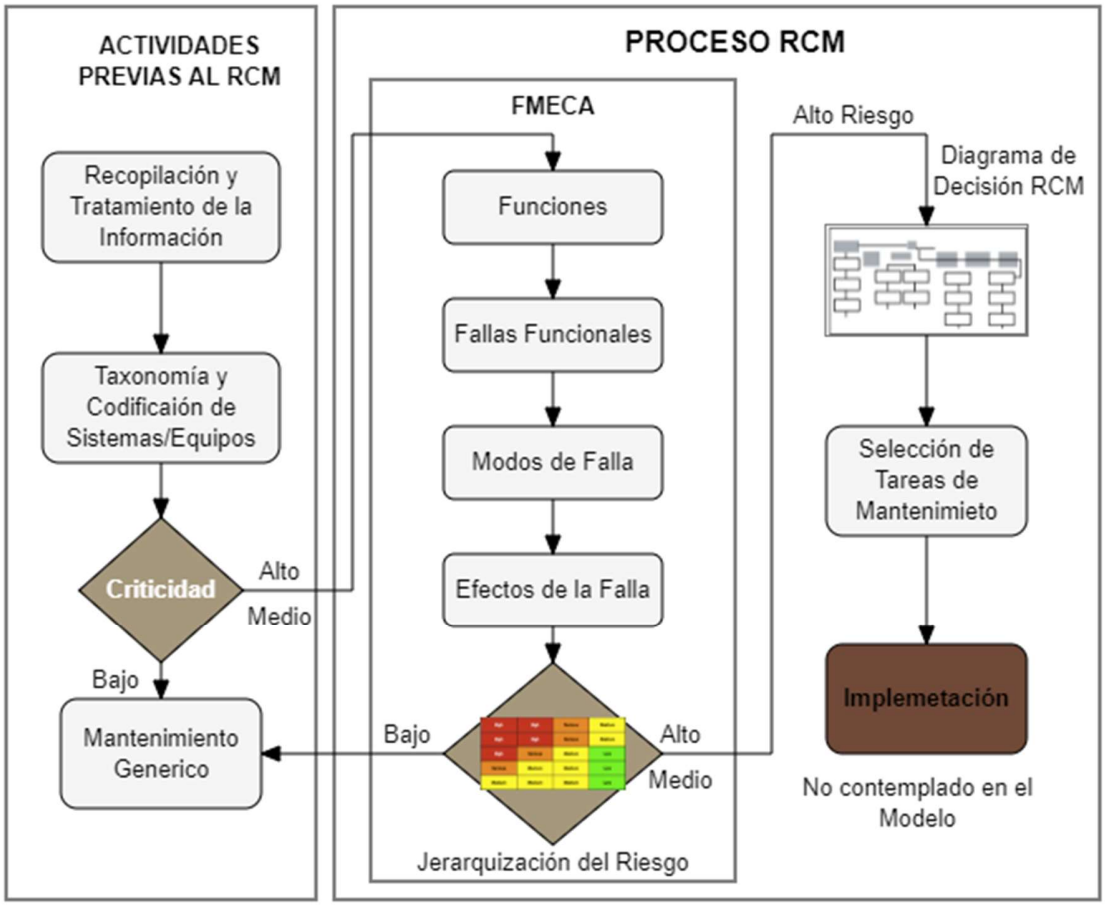
Los dos pasos siguientes corresponden al proceso RCM que incluyen las actividades intrínsecas del análisis de modos de falla, efectos y criticidad, para luego realizar una priorización del riesgo que permitiría terminar satisfactoriamente el plan de mantenimiento pretendido a partir del diagrama de decisión del RCM.

Figura 11. Pasos del modelo de mantenimiento propuesto

Fuente: El autor

La figura 12 muestra el modelo de gestión del mantenimiento propuesto.

Figura 12. Proceso de Gestión del Mantenimiento propuesto



Fuente: El autor

Es importante resaltar que el alcance de la aplicación del modelo propuesto en el presente trabajo, a pesar de que considera en la fase inicialmente todos los sistemas de la instalación, se limita al final a la aplicación académica de la metodología, solo a al equipo críticos resultante de la jerarquización del riesgo. Se espera dejar una estructura clara y entendible que pueda ser replicada por el equipo de gestión del mantenimiento, al resto de activos que, en el orden jerárquico resultante, así lo ameriten.

3.1 RECOPILACIÓN Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN

Para la implementación adecuada de la metodología RCM dando respuesta a las preguntas que establece la norma, es necesario contar con toda la información de los sistemas y equipos de tal manera que se puedan tomar las mejoras decisiones con base en esta, por lo cual se requiere considerar en el proceso de RCM una etapa inicial de validación de información previo a los pasos ya descritos. Esta información incluye planos, diagramas, manuales, documentos como el contexto operativo (si existe), también se puede obtener con el personal de mantenimiento sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando.

En la tabla 3, se presenta el registro documental con el que se cuenta en el momento, encontrándose gran cantidad de información documentada, pero en aspectos como manuales de operación y registro de fallas la información con la que se cuenta es a partir de la experiencia y conocimiento de los técnicos mantenedores.

Tabla 3. Registro documental encontrado

SISTEMA/EQUIPO	ESPECIFI. TÉCNICAS	PLANOS	DIAGRAMAS	MANUALES DE OPERA.	MANUALES DE MANTE.	CONTEXTO OPERATIVO	HOJA DE VIDA	DATOS DE DESEMPEÑO	HISTÓRICO DE FALLOS
SISTEMA ELECTRICO NORMAL ZONAS COMUNES	✓	✓	✓	✓	!	✓	✓	!	!
SISTEMA ELECTRICO NORMAL LOCALES COMERCIALES	✓	✓	✓	✓	!	✓	✓	!	!
SISTEMA ELÉCTRICO DE RESPALDO ZONAS COMUNES	✓	✓	✓	!	✓	✓	✓	!	✓
SISTEMA ELÉCTRICO DE RESPALDO LOCALES COMERC.	✓	✓	✓	!	✓	✓	✓	!	✓
SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA ZONAS COMUNES	✓	✓	✓	!	✓	✓	✗	!	✗
SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	✓	✓	✓	!	✗	✓	✗	!	✗
SISTEMA DE INTRUSIÓN	✓	✓	✓	!	✓	✓	✗	!	✗
SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIO	✓	✓	✓	!	✗	✓	✗	!	✓
SISTEMA DE AIRE ACOND. ZONAS COMUNES	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	!	!
SISTEMA CONTRAINCENDIOS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	!	✓
EQUIPO DE BOMBEO AGUAS NEGRAS	✓	✓	✓	!	✗	✓	✗	!	✓
EQUIPO DE BOMBEO AGUAS LLUVIAS	✓	✓	✓	!	✗	✓	✗	!	✓
EQUIPO DE BOMBEO AGUA POTABLE	✓	✓	✓	!	✗	✓	✗	!	✓
EQUIPO DE ASENSO/DESCENSO	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓	!	✓
PORCENTAJE DE ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN	**100%**	**100%**	**96%**	**68%**	**57%**	**100%**	**43%**	**50%**	**68%**
Se cuenta con información documentada	✓	Información documentada debidamente registrada							
Se cuenta con información no documentada formalmente	!	Información obtenida de la experiencia y conocimiento de los equipos por parte de los técnicos							
No se cuenta con información validada	✗	No se cuenta con infoormación							

Fuente: El autor

3.1.1 Documentación existente. El Comercial Mayales Plaza cuenta con registros en fichas técnicas de las características de los equipos que hacen parte de los

sistemas funcionales considerados de mayor importancia. En la figura 13 se presenta como ejemplo datos característicos de un grupo electrógeno.

Figura 13. Ficha técnica grupo electrógeno

		MAYALES PLAZA COMERCIAL					
		REGISTRO DE INSPECCIÓN PLANTAS ELECTRICAS					
		EQUIPO:	PLANTA ELÉCTRICA		MAYALES 1		
		ATIENDE:	LOCALES COMERCIALES ZONA 1 MAYALES 1				
		No DE SERIE INTERNO:				REG-OPER-001	
NOMBRE DEL SUPERVISOR:				FECHA SUP.:		FECHA:	7/11/2015
GRUPO ELECTRÓGENO MODASA							
No SERIE	X12360W	AÑO:	2013	MODELO MOTOR/GENERAD.		4006-23TAG3A/HCI634G1	
MODELO	MP - 760 I	L.P.	T33MP67704	FECHA INIC. OPERACIÓN:		1/11/2013	
POT.-CORRI.	COTINUA	STAND-BY	VOLTAJE:	220 V.	MOTOR:	PERKINS	
P_ACTIVA:	681 KW	757 KW	FRCUENCIA:	60 Hz.	GENERADOR:	STAMFORD	
P_APARENTE	852 KVA	946 KVA	COS FI:	0.8	CONSUMO 75%	144 LT/HR	
CORRIENTE:	2.234 A.	2.483 A.	RPM:	1.800	CAP. TANQ. ALM.		

Fuente: Archivo Dirección Operativa Mayales Plaza

3.2 TAXONOMÍA DE EQUIPOS

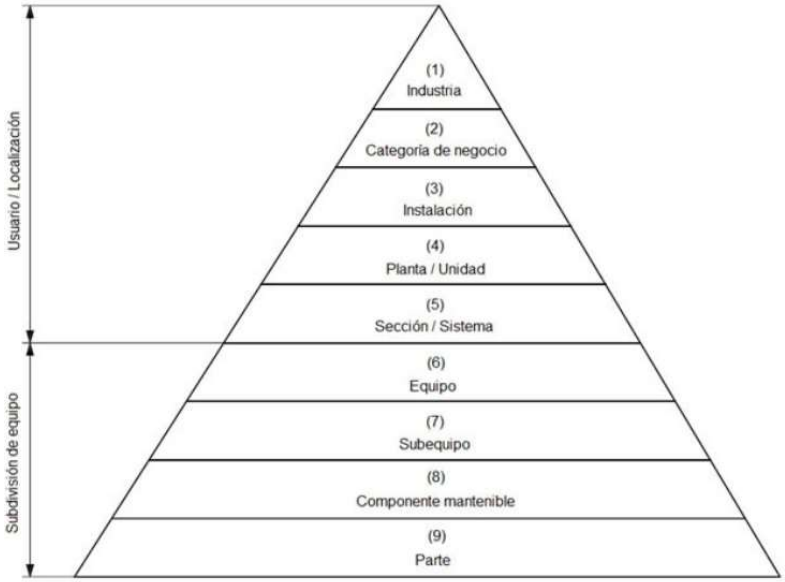
La norma ISO 14224[13] define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genérico basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en la figura 12 y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. Para realizar el RCM, se puede utilizar como insumo la taxonomía, el diagrama de límites de equipo y la subdivisión de equipo que recomienda esta norma[14].

Cada instalación ajustará su taxonómica de acuerdo con la estructura que mejor se le ajuste y hasta el nivel que coherentemente pueda optimizar el análisis RCM.

[13] Industria del petróleo y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224:2016. 71 p. [En línea]. (Recuperado en: 15 de marzo de 2021). Disponible en: https://es.slideshare.net/cstparkour/norma-iso14224-en-espaol

[14] CAMPOS-LÓPEZ, Omar et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. En: Científica, vol. 23, núm. 1, 2019.

Figura 14. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos



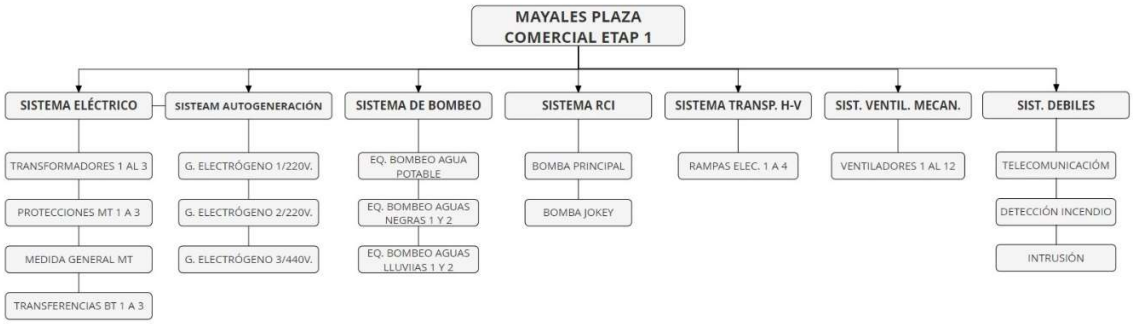
Fuente: CAMPOS-LÓPEZ, Omar et al[15]

3.2.1 Jerarquización de sistemas y equipos. Antes de analizar cualquier activo, es necesario establecer el nivel al cual será desarrollado el análisis, y definir los límites del sistema. Si se ha descrito una jerarquía de activos extensa y se ha tomado la decisión de analizar un activo particular a un nivel determinado, entonces el "sistema" normalmente de manera automática abarca todos los activos por debajo de este sistema en la jerarquía de activos. (Si no existe una jerarquía de activos, seleccionar una es útil pero no esencial). Las únicas excepciones son subsistemas que se hayan juzgado tan insignificantes que no serán analizados en absoluto, o subsistemas muy complejos que se coloquen a un lado para un análisis separado. [16].

[15] CAMPOS-LÓPEZ, Omar et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. En: Científica, vol. 23, núm. 1, 2019., p. 54. [En línea]. (Recuperado en: 22 de marzo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html
[16] SAE JA1011, Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. 2015. p. 57.

En la figura 15 se presenta de manera general y resumida la estructura jerárquica de los sistemas con mayor relevancia del Centro Comercial en la etapa 1, cuando se trate de analizar un equipo en particular se presentará la taxonomía detallada que corresponda. Para la etapa 2 se maneja la misma estructura siendo ambas muy semejantes.

Figura 15. Esquema de jerarquía



Fuente: El autor

En la tabla 4 se presenta el cuadro de taxonomía propuesto para el Centro Comercial, teniendo en cuenta la localización general, localización parcial (etapas), sistema, subsistema y componente o equipo.

Tabla 4. Tabla de Jerarquización

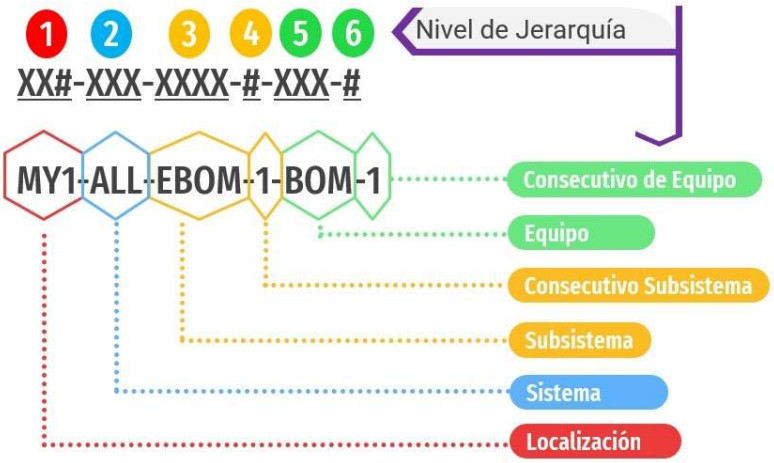
LOCALIZACIÓN		ETAPA		SISTEMA		SUBSISTEMA		COMPONENTE	
CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN
MYL	MAYALES PLAZA	MY1	MAYALES PLAZA ETAPA 1	AAC	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	EPAQ	EQUIPO PAQUETE DE AA	EPAQ	BOMBA
		MY2	MAYALES PLAZA ETAPA 2	ACC	SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO	EBOM	EQUIPO DE BOMBEO	EBOM	CELDA
				ALL	SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS	SUB	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	SUB	TRASFORMADOR
				APT	SISTEMA DE AGUA POTABLE	EEXT	EQUIPO DE EXTRACCIÓN	CAB	CABLEADO
				ARE	SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES	ETRV	EQUIPO DE TRANSPORTE VERTICAL	DUC	DUCTO
				COM	SISTEMA DE COMUNICACIONES	GEN	SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN	TUB	TUBERIA
				ELE	SISTEMA ELÉCTRICO	SILU	SISTTEMA DE ILUMINACIÓN	PLA	PLANTA ELÉCTRICA
				EXT	SISTEMA DE EXTRACCIÓN			ESC	ESCALERA ELÉCTRICA
				RCI	RED CONTRAINCNEDIOS			RAM	RAMPA ELÉCRICA
				RES	RESIDUOS Y VERTIMIENTOS				
				SEG	SEGURIDAD				
				TRV	TRANSPORTE VERTIVAL				

Fuente: El autor

3.2.2 Codificación de sistemas y equipos. En general se debe propender porque todos los activos de una edificación productiva estén debidamente codificados de forma numérica o alfanumérica de tal manera que el asignado contenga la información de la localización, las áreas, sistemas, subsistemas, equipos y de más elementos que la conforman dependiendo el grado o límite de detalle esperado o requerido por la organización.

Para Mayales Plaza se propone una codificación alfanumérica que, de manera lógica y estructurada, contenga la jerarquización propuesta en el punto anterior. Considerando que el Centro Comercial es una empresa pequeña, se busca que el código permita entender fácilmente el sistema o equipo al que se está haciendo referencia.

Figura 16. Codificación de Equipos/Sistemas



Fuente: El autor

La estructura de codificación planteada podrá ser aplicada para todos los sistemas, equipos y demás unidades jerárquicas del Centro Comercial, pretendiendo que esta sea lo suficientemente amplia para arrojar la información necesaria y lo suficientemente sencilla para poder ser incorporada a una futura implementación de CMMS.

3.2.3 Contexto operacional. En genera El contexto operativo se puede definir como el conjunto de condiciones reales del proceso bajo las cuales opera el equipo, también incluye todos los criterios y parámetros de desempeño deseados por el usuario. Este contexto se puede definir a partir de los diagramas y descripciones del proceso en el que opera el equipo, así como de las entrevistas con el personal de producción, operación y mantenimiento. Es importante analizar y comprender el contexto operativo antes de iniciar el RCM[17].

3.3 GERARQUIZACIÓN DEL RIESGO

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable[18]. En la figura 17 se sugieren los pasos para un adecuado análisis de criticidad.

Figura 17. Pasos para un análisis de criticidad

Fuente: El autor

[17] CAMPOS-LÓPEZ, Omar et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. En: Científica, vol. 23, núm. 1, 2019., p. 54. [En línea]. (Recuperado en: 22 de marzo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html

[18] HUERTA, Mendoza R. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. En: Ingeniería Mecánica 4 (2000) pp. 13 – 19. (Recuperado el 27 de mayo de 2021). Disponible en: https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364/704

3.3.1 Alcance del AC. El alcance de este análisis previo de criticidad es jerarquizar los activos a nivel se sistemas, para establecer cuáles son los más relevantes para el Centro Comercial teniendo como prioridad el impacto sobre la marca.

En la tabla 3 del numeral 3.1 página 46, se presentan los sistemas sometidos al análisis de criticidad.

3.3.2 Criterios de importancia. Se consideran relevantes para el análisis según el alcance esperado, los criterios de frecuencia de falla, consecuencias en seguridad, costos, ambientales, clientes e imagen corporativa, En la tabla 5 se presentan los criterios con sus ponderaciones.

Tabla 5. Criterios de importancia para el análisis AC

MATRIZ DE FRECUENCIA		
VALOR	NIVEL	CASOS POR AÑO
1	Improbable	Menos de 1 Caso/50 Años
2	Remoto	1 Caso entre 20 - 50 Años
3	Ocacional	1 Caso entre 5 - 20 Años
4	Moderado	1 Caso entre 1 - 5 Años
5	Frecuente	Entre 1 - 10 Casos al Año
6	Constante	Mas de 10 Casos al Año

CONSECUENCIA EN SEGURIDAD		
VALOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Insignificante	Sin lesiones
2	Marginal	Lesiones leves no incapacitantes
3	Grave	Lesiones leves incapacitantes
4	Crítico	Hospitalización con incapacidad
5	Desastroso	Varios graves - Una (1) Muerte
6	Catastrófico	Varias muertes

CONSECUENCIA ECONÓMICAS		
VALOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN (Mill de USD$)
1	Insignificante	Menos de 0,01
2	Marginal	Entre 0,01 - 0,1
3	Grave	Entre 0,1 - 1,0
4	Crítico	Entre 1,0 - 10
5	Desastroso	Entre 10 - 50
6	Catastrófico	Mayores a 50

CONSECUENCIA AMBIENTALES		
VALOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Insignificante	Sin daño ambiental
2	Marginal	Daño leve recuperable
3	Grave	Daño leve no recuperable
4	Crítico	Grave recuperable mediano plazo
5	Desastroso	Grave recuperable largo plazo
6	Catastrófico	Grave no recuperable

CONSECUENCIA EN CLIENTES		
VALOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Insignificante	Insatisfacción leve
2	Marginal	Insatifacción genera queja
3	Grave	Genera retiro del cliente
4	Crítico	Genera cierre temporal parcia
5	Desastroso	Genera cierre temporal total
6	Catastrófico	Genera cierre definitivo

CONSECUENCIA DE IMAGEN		
VALOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Insignificante	Solo en la instalación
2	Marginal	Solo en la empresa
3	Grave	Externa a nivel local
4	Crítico	Externa a nivel regional
5	Desastroso	Externa a nivel nacional
6	Catastrófico	Externa a nivel internacional

Fuente: El autor

A continuación, se presentan las definiciones de los criterios más utilizados para el análisis de criticidad incluyendo los utilizados en el presente trabajo:

Frecuencia de fallas. Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada, en un periodo de un año.

Costo de reparación. Se refiere al costo promedio por falla, requerido para restituir el equipo a sus condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor manual, materiales y transporte.

Impacto en la seguridad personal. Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

Impacto ambiental. Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.

Impacto satisfacción al cliente. En este se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las expectativas del cliente. En este caso se considera cliente a las áreas a las cuales se le suministran los servicios industriales.

Impacto en la imagen corporativa. En este se tiene en cuenta el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría la imagen y el posicionamiento de la marca en el mercado. En este caso se considera el mercado local, nacional e internacional.

Tiempo promedio para reparar. Es el tiempo promedio por día, empleado para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente. El MTTR, mide la efectividad que se tiene para restituir la unidad o unidades del sistema en estudio a condiciones óptimas de operabilidad.

3.3.3 Método de Evaluación. La evaluación inicial de los sistemas se realizará partiendo del concepto de criticidad que tiene en cuenta la frecuencia probable de ocurrencia de la falla y las consecuencias de estas.

***Criticidad**: Frecuencia de fallas x Consecuencias*

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado en un período de tiempo y la consecuencia se refiera generalmente al impacto de las consecuencias en seguridad, costos, ambientales, clientes e imagen corporativa.

Considerando que para la frecuencia de fallos se tienen 6 niveles, al igual que para las 5 consecuencias consideradas, se tendría como resultados valores dentro de una matriz de 6X30, con rangos entre 0 y 180.

Tabla 6. Matriz de resultados Frecuencia Vs Consecuencias

FRECUENCIA	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120
	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
	6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
RANGO 0-180		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		ΣCONSECUENCIAS																													

Fuente: El autor

Los colores de la tabla 6 resaltan los niveles de criticidad como resultado de afectar los valores obtenidos en la matriz por los criterios de aceptabilidad establecidos, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Criterios de aceptabilidad

COLOR	NIVEL DE C	PORCENTAJE	DESDE	HASTA
	BAJA	**C** <10%	0	18
	MEDIA	10,1%< **C** <54%	19	54
	ALTA	**C** > 54,1%	55	180

Fuente: El autor

3.3.4 Resultados del proceso de AC. Realizados los pasos anteriores, es decir, planteado el alcance del análisis de criticidad y los criterios y método de avaluación, se logra como resultado la jerarquización de los sistemas de acuerdo con el riesgo que presenta para la operación del Centro Comercial. En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 8. Resultado análisis de criticidad

SISTEMA/EQUIPO	FR	SEG	ECO	AMB	CLI	IMG	RESUL	NIVEL
EQUIPO DE BOMBEO AGUAS NEGRAS	5	1	1	2	4	2	50	MEDIA
SISTEMA ELÉCTRICO DE RESPALDO ZONAS COMUNES	3	1	3	2	4	2	36	MEDIA
SISTEMA ELÉCTRICO DE RESPALDO LOCALES COMERC.	3	1	3	2	4	2	36	MEDIA
SISTEMA DE AIRE ACOND. ZONAS COMUNES	4	1	1	3	2	1	32	MEDIA
EQUIPO DE BOMBEO AGUAS LLUVIAS	4	1	1	1	3	2	32	MEDIA
SISTEMA ELECTRICO NORMAL ZONAS COMUNES	3	2	2	2	2	2	30	MEDIA
SISTEMA ELECTRICO NORMAL LOCALES COMERCIALES	3	2	2	2	2	2	30	MEDIA
SISTEMA CONTRAINCENDIOS	4	1	2	1	1	2	28	MEDIA
EQUIPO DE ASENSO/DESCENSO	3	1	2	1	2	2	24	MEDIA
EQUIPO DE BOMBEO AGUA POTABLE	2	1	1	2	2	2	16	BAJA
SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIO	3	1	1	1	1	1	15	BAJA
SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	2	1	1	1	2	2	14	BAJA
SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA ZONAS COMUNES	2	1	1	1	1	1	10	BAJA
SISTEMA DE INTRUSIÓN	2	1	1	1	1	1	10	BAJA

Fuente: El autor

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que el 65% de los sistemas presentan una criticidad media y el 35 por ciento restante están a un nivel bajo de criticidad.

El sistema de bombeo de aguas residuales (negras) es el más crítico, como consecuencia del número de fallas consideradas y la potencial afectación para los clientes internos.

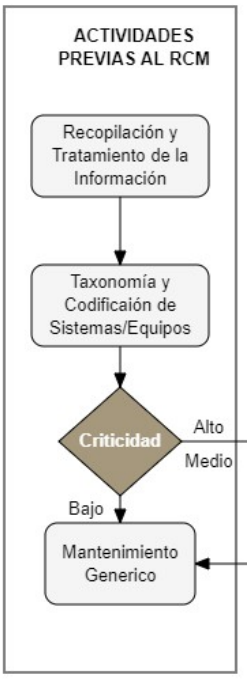
Los sistemas de generación de energía siguen en el orden de criticidad, considerando de igual manera la posibilidad de afectación de la marca en caso de que estas no realicen su función en una eventual falta del fluido eléctrico de la red eléctrica externa.

4. DESARROLLO DEL MODELO DE MANTENIMMIENTO

En este capítulo se presentan los preliminares necesarios para una correcta aplicación de la Metodología RCM al sistema de bombeo de aguas negras del Centro Comercial Mayales considerado como crítico de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de criticidad realizado en el capítulo anterior. Si bien, como se mencionó anteriormente la instalación cuenta con una gran cantidad de sistema, subsistemas y equipos, el alcance de este trabajo es plantear el modelo gerencial a aplicar para la consecución del plan de mantenimiento general y no en sí la elaboración de este.

Una vez definido el sistema de estudio, su taxonomía y límites, se retoma el modelo propuesto en la figura 12 p. 44, en el siguiente capítulo se aplica el análisis de modos de falla y sus efectos y criticidad (FMECA), y mediante el diagrama de decisión del RCM se proponen las tareas de mantenimiento necesarias.

Figura 18. Actividades previas al RCM



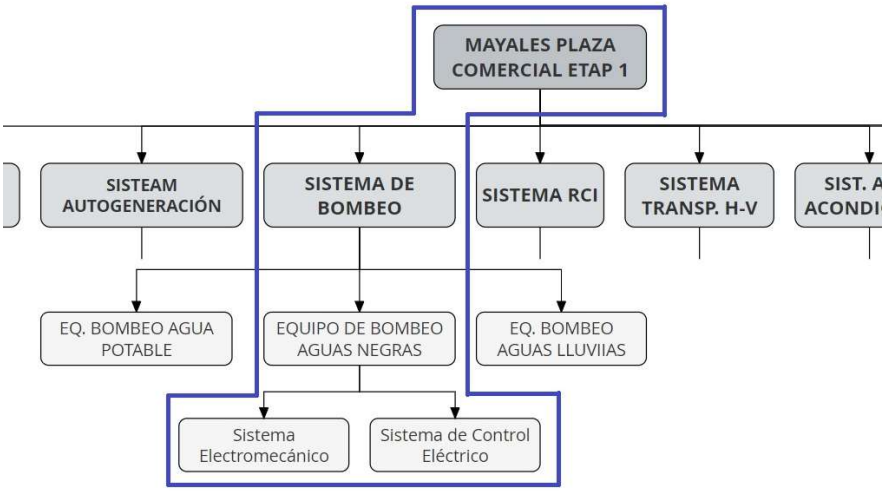
Fuente: El autor

4.1 TRATAMIENTO Y RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En este apartado se presenta la información del sistema objeto de estudio, partiendo de su taxonomía y codificación, fronteras e interfaces, definición de funciones y contexto operacional.

4.1.1 Taxonomía. En la figura 19 se presenta la ubicación del sistema de bombeo de aguas residuales dentro de la estructura jerárquica del Centro Comercial.

Figura 19. Taxonomía equipo de bombeo (jerarquía)



Fuente: El autor

Tabla 9. Taxonomía equipo de bombeo

LOCALIZACIÓN		ETAPA		SISTEMA		SUBSISTEMA		COMPONENTE	
CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN
MYL	MAYALES PLAZA	MY1	MAYALES PLAZA ETAPA 1	AAC	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	EPAQ	EQUIPO PAQUETE DE AA	BOM	BOMBA
		MY2	MAYALES PLAZA ETAPA 2	ACC	SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO	EBOM	EQUIPO DE BOMBEO	CEL	CELDA
				ALL	SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS	SUB	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	SUB	TRASFORMADOR
				APT	SISTEMA DE AGUA POTABLE	EEXT	EQUIPO DE EXTRACCIÓN	CAB	CABLEADO
				ARE	SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES	ETRV	EQUIPO DE TRANSPORTE VERTICAL	DUC	DUCTO
				COM	SISTEMA DE COMUNICACIONES	GEN	SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN	TUB	TUBERIA
				ELE	SISTEMA ELÉCTRICO	SILU	SISTTEMA DE ILUMINACIÓN	PLA	PLANTA ELÉCTRICA
				EXT	SISTEMA DE EXTRACCIÓN			ESC	ESCALERA ELÉCTRICA
				RCI	RED CONTRAINCNEDIOS			RAM	RAMPA ELÉCRICA
				RES	RESIDUOS Y VERTIMIENTOS				
				SEG	SEGURIDAD				
				TRV	TRANSPORTE VERTIVAL				

Fuente: El autor

4.1.2 Codificación. En la tabla 10 se presenta la estructura de codificación planteada para el sistema.

Tabla 10. Codificación del sistema

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	CÓDIGO	NOMBRE DEL EQUIPO
MY1	AAC	EPAQ	1			MY1-AAC-EPAQ-1	EQUIPO PAQUETE DE AIRE ACOND. 1
			2			MY1-AAC-EPAQ-2	EQUIPO PAQUETE DE AIRE ACOND. 2
			3			MY1-AAC-EPAQ-3	EQUIPO PAQUETE DE AIRE ACOND. 3
			4			MY1-AAC-EPAQ-4	EQUIPO PAQUETE DE AIRE ACOND. 4
			5			MY1-AAC-EPAQ-5	EQUIPO PAQUETE DE AIRE ACOND. 5
			6			MY1-AAC-EPAQ-6	EQUIPO PAQUETE DE AIRE ACOND. 6
	ALL	EBOM	1			MY1-ALL-EBOM-1	EQUIPO DE BOMBEO 1 AGUAS LLUVIAS
			2			MY1-ALL-EBOM-2	EQUIPO DE BOMBEO 2 AGUAS LLUVIAS
			1	BOM	1	MY1-ALL-EBOM-1-BOM-1	BOMBA 1 EQ. DE BOMBEO 1 AGUAS LLUVIAS
					2	MY1-ALL-EBOM-1-BOM-2	BOMBA 2 EQ. DE BOMBEO 1 AGUAS LLUVIAS
			2	BOM	1	MY1-ALL-EBOM-2-BOM-1	BOMBA 1 EQ. DE BOMBEO 2 AGUAS LLUVIAS
					2	MY1-ALL-EBOM-2-BOM-2	BOMBA 2 EQ. DE BOMBEO 2 AGUAS LLUVIAS
	APT		1			MY1-APT-EBOM-1	EQUIPO DE BOMBEO 1 AGUAS POTABLE
			1	BOM	1	MY1-APT-EBOM-1-BOM-1	BOMBA 1 EQ. DE BOMBEO 1 AGUA POTABLE
					2	MY1-APT-EBOM-1-BOM-2	BOMBA 2 EQ. DE BOMBEO 1 AGUA POTABLE
					3	MY1-APT-EBOM-1-BOM-3	BOMBA 3 EQ. DE BOMBEO 1 AGUA POTABLE
	ARE		1			MY1-ARE-EBOM-1	EQUIPO DE BOMBEO 1 AGUAS RESIDUAL
			2			MY1-ARE-EBOM-2	EQUIPO DE BOMBEO 2 AGUAS RESIDUAL
			1	BOM	1	MY1-ARE-EBOM-1-BOM-1	BOMBA 1 EQ. DE BOMBEO 1 AGUA RESIDUAL
					2	MY1-ARE-EBOM-1-BOM-2	BOMBA 2 EQ. DE BOMBEO 1 AGUA RESIDUAL
			2	BOM	1	MY1-ARE-EBOM-2-BOM-1	BOMBA 1 EQ. DE BOMBEO 2 AGUA RESIDUAL
					2	MY1-ARE-EBOM-2-BOM-2	BOMBA 2 EQ. DE BOMBEO 2 AGUA RESIDUAL

Fuente: El autor

4.1.3 Definición de fronteras e interfases. En la figura 20 se esquematizan las fronteras e interfaces que limitan el elemento de estudio.

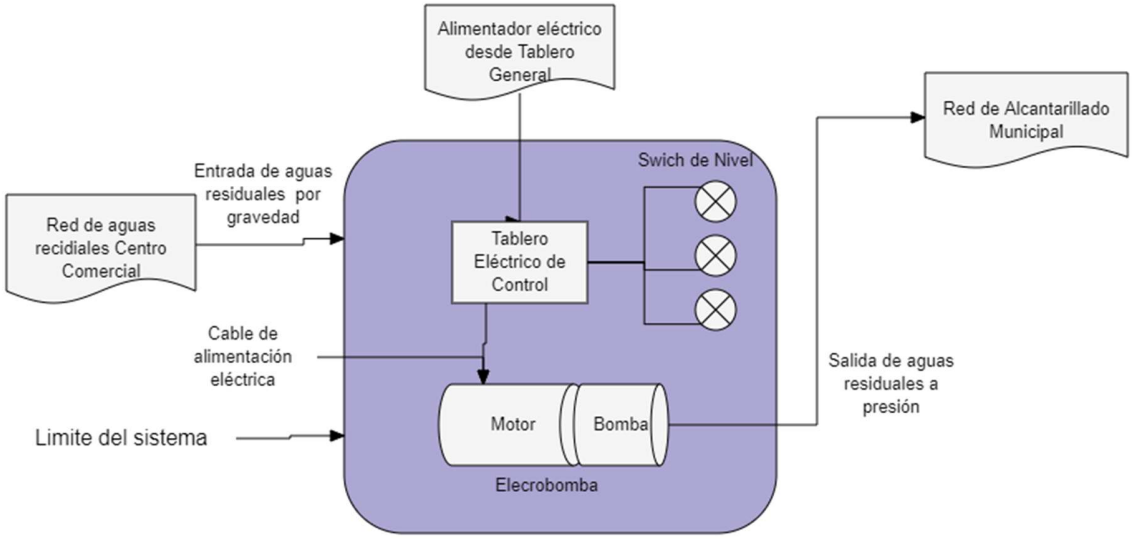
Límite del sistema:

- Tablero eléctrico de control
- Interruptor eléctrico de nivel
- Electrobomba sumergible

Interfases:

- Entrada de agua residual a presión atmosférica
- Salida de aguas residuales a presión
- Entrada de energía eléctrica alterna trifásica
- Salida de señales de arranque y parada del sistema

Figura 20. Limites e interfases del elemento de estudio



Fuente: El autor

4.1.4 Contexto operacional. El sistema de bombeo de aguas residuales del Centro Comercial Mayales Plaza consta de tres estaciones de bombeo de aguas residuales, localizadas de tal manera que puedan colectar todas las aguas servidas que de la operación normal se deriven.

En cada estación, se encuentra un sistema conformado por dos electrobombas sumergibles instaladas dentro de un tanque de almacenamiento de aguas negras (pozo de eyección) que funcionan alternadamente gobernadas por un sistema de control que da la orden de arranque y parada del sistema, dependiendo de las señales de control de nivel provenientes de los interruptores eléctricos de flotador instalados dentro del pozo eyector.

Las aguas servidas llegan por efecto de la gravedad al pozo de eyección en tuberías sanitarias de 6”, provenientes del sistema de recolección de aguas negras del Centro Comercial. El agua se almacena con el tiempo en el pozo con capacidad

promedio de 50 M3 de almacenamiento, siendo expulsada a razón de 2,3 m3/min, por acción del equipo de bombeo luego de recibir la señal de arranque como resultado de llegar al nivel preestablecido correspondiente al 50% de la cota superior del tanque.

Cuando el agua descienda al nivel mínimo preestablecido correspondiente a 30 cm por encima del nivel superior de la bomba, el interruptor de presión envía una señal de parada a la bomba, suspendiéndose el bombeo.

4.1.5 Especificaciones técnicas. Las especificaciones técnicas corresponden a los datos nominales de operación normal tomados de la placa característica del sistema. En la tabla 11 se presenta el cuadro de especificaciones técnicas del equipo de bombeo de aguas residuales:

Tabla 11. Especificaciones sistema de bombeo

	MAYALES PLAZA COMERCIAL					
	REGISTRO DE INSPECCIÓN PLANTAS ELECTRICAS					
	EQUIPO:	EQUIPO EYECTOR		MAYALES 1		
	ATIENDE:	AGUAS NEGRAS SECTOR SÓTANO				
	No DE SERIE INTERNO:				REG-OPER-001	
NOMBRE DEL SUPERVISOR:			FECHA SUP.:		FECHA:	7/11/2015
EQUIPO EYECTOR DE AGUAS LUVIAS						
MARCA:	TSURUMI PUMP		No DE BOMBAS:	2	FECHA INICIO OP.	1/11/2013
MODELO:	100NH25.5		VOLTAJE:	440 V.	POTENCIA:	7,5 H.P./5,6 kw
No SERIE:			AMPERAJE:	9,2 A.	POLOS:	2
DESCARGA:	4"	10,16 Cm	FRCUENCIA:	60 Hz.	CLASE:	B
HEAD MAX.	79 FT	24 m	FASES:	3	R.P.M.	3600
FLOW MAX.	600 GPM	2,27 m3/min				

Fuente: Archivo Dirección Operativa

En la tabla 12 se puede apreciar el resumen general del del elemento de estudio, asociado a sus características técnicas, condiciones operacionales, condiciones ambientales, fronteras e interfaces.

Tabla 12. Información preliminar del sistema

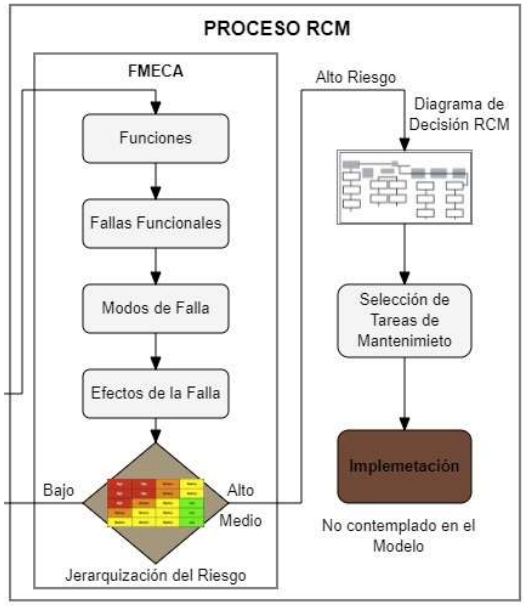
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNCIAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)
Sistema de bombeo de aguas residuales	Potencia: 7,5 H.P.	Temp. Amb.: 40°C	Sumergida en agua abrasiva.	Electrobomba	Agua servida a presión atmosférica/Agua servida a 25 PSI
	Voltaje: 440 V.	Temp. Max.: 70°C	Gases inflamables	Tablero eléctrico de control	
	Corriente: 9.2 A.	Operación alterna	Alta humedad relativa	Interruptor de control de arranque y parada	Señal de nivel/Señal de Arranque/Parada
	Sistema: Trífasico	Alta disponibilidad	Ambiente altamente corrosivo	Interruptor de control de parada por bajo nivel	Señal de nivel Bajo/Señal de Parada
	Frecuencia: 60 Hz	Manejo de elementos sólidos	Alta condensación	Interruptor de señal de alarma por rebose	
	RPM: 3600				Señal de rebose/Señal de Alarma
	Cabez Max.: 24 M.				
	Caudal Max.: 600 GPM				
	Descarga: 4"				

Fuente: El autor

4.2 PROCESO RCM

Se desarrollará a continuación el proceso de implementación RCM como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Desarrollo del proceso RCM



Fuente: El autor

4.2.1 Funciones del sistema. A continuación, se listan las funciones principales y secundarias del sistema de bombeo de aguas residuales:

Función principal:

- Bombear aguas residuales a un caudal de 2 m3/min del foso de captación cuando esta llegue al nivel de eyección.

Funciones secundarias:

- Entregar voltaje trifásico a 440 Voltios y 60 Hz a las motobombas.

En la tabla 13 se relacionan las funciones del sistema la cual se adiciona al cuadro de información general del RCM.

4.2.2 Fallas funcionales. Se realiza el análisis de las fallas funcionales que tienen la mayor probabilidad de hacer que el sistema en estudio pierda su función. En la tabla 13 se presenta el sistema en estudio, discriminado en los subsistemas que lo conforman, las funciones y fallas funcionales que lo afectan.

Tabla 13. Fallas funcionales del sistema en estudio

HOJA DE INFORMACIÓN RCM				
SUBSISTEMA	**F**	**FUNCIÓN**	**FF**	**FALLA FUNCIONAL**
MOTOBOMBA	1	Bombear aguas residuales a un caudal de 2 m3/min desde foso de captación hasta la red de aguas servidas municipales.	A	Ausencia total del bombeo
			B	Bajo nievel de bombeo, por debajo de los 2 m3/min
TABLERO DE CONTROL ELECTRICO	2	Entregar voltaje trifásico a 440 Voltios y 60 Hz a las motobombas	A	Tablero no entrega voltaje trifásico total o parcial

Fuente: El autor

4.2.3 Modos de falla. Se presenta en la tabla 14 los modos de falla para el subsistema 1 (Motobomba) y en la tabla 15 los del subsistema 2 (Tablero eléctrico).

Tabla 14. Modos de falla subsistema 1 (Motobomba)

SUBSISTEMA	F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA
MOTOBOMBA	1	Bombear aguas residuales a un caudal de 2 m3/min desde foso de captación hasta la red de aguas servidas municipales.	A	Ausencia total del bombeo	1A1	Sistema sin fluido eléctrico.
					1A2	Sistema con giro contrario de motores.
					1A3	Control de arranque no recibe señal del interruptores de flotador.
			B	Bajo nievel de bombeo, por debajo de los 2 m3/min	1B1	Motor sin fluido eléctrico.
					1B2	Rodamiento pegado.
					1B3	Motor quemado.
					1B4	Impulsor bloquedo por residuos sólidos.
					1B5	Valvula de retención totalmente obstruida.
					1B6	Desacople total bomba-tubería de descarga.
					1B7	Baja lubricación de rodamientos.
					1B8	Impulsor con rozamiennto por residuos sólidos.
					1B9	Impulsor desgastado.
					1B10	Desacople parcial bomba-tubería de descarga.
					1B11	Bojo nivel de voltaje de alimentación del sistema.
					1B12	Valvula de retención parcialmete obstruida.

Fuente: El autor

Tabla 15. Modos de falla subsistema 2 (Tablero eléctrico)

SUBSISTEMA	F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA
TABLERO DE CONTROL ELECTRICO	2	Entregar voltaje trifásico a 440 Voltios y 60 Hz a las motobombas	A	Tablero no entrega voltaje trifásico total o parcial	2A1	Tablero sin fluido eléctrico desde el tablero principal.
					2A2	Tablero con fliudo parcial de voltaje desde el tablero principal.
					2A3	Tablero con protección general termomagnética disparada.
					2A4	Protecciónes térmicas de motores disparadas.
					2A5	Contactor de maniobra dañado.
					2A6	Tablero no recibe señal de arranque, Interruptor de flotador dañado

Fuente: El autor.

4.2.4 Efectos de falla y jerarquización del riesgo. En este punto se presenta el proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, resultante de la combinación de la frecuencia de ocurrencia por sus consecuencias, permitiendo identificar las mejores áreas de oportunidad para las acciones de recomendación, tanto en la etapa de evaluación como en la aplicación de los recursos económicos y humanos[19].

Los criterios para la ponderación de la categoría de frecuencia de ocurrencia del modo de falla y los criterios de importancia, son los mismos mostrados en el numeral 3.3.2. En las tablas 16 y 17 se muestran los resultados para los subsistemas 1 y 2.

[19] AGUILAR-OTERO, José R., et al. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 25, núm. 1, 2010, p. 15-26. ISSN: 0186-6036. [En línea]. (Recuperado en: 15 de mayo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf

Tabla 16. Efectos de falla y jerarquización del riesgo subsistema 1

MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	EVID	FRE	SEG	ECO	AMB	CLI	IMG	NPR	CRITICIDAD
1A1	Sistema sin fluido eléctrico.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Alarma de rebose.	No	1	1	2	2	4	3	12	BAJA
1A2	Sistema con giro contrario de motores.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Alarma de rebase.	No	1	1	2	2	4	3	12	BAJA
1A3	Control de arranque no recibe señal del interruptores de flotador.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Alarma de rebase.	No	5	1	3	2	4	3	65	ALTA
1B1	Motor sin fluido eléctrico.	Energización del agua, riezgo de contacto eléctrico. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	3	1	1	1	1	1	15	BAJA
1B2	Rodamiento pegado.	Sobrecorriente de rotor bloqueado, riesgo de incendio. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	2	2	2	1	1	1	14	BAJA
1B3	Motor quemado.	Riesgo incendio por cortocircuito. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	2	2	2	1	1	1	14	BAJA
1B4	Impulsor bloquedo por residuos sólidos.	Sobrecorriente de rotor bloqueado, riesgo de incendio. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	3	2	2	2	2	2	30	MEDIA
1B5	Valvula de retención totalmente obstruida.	Sobrecorriente por carga alta, disparo de protecciones. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	2	1	2	1	1	1	12	BAJA
1B6	Desacople total bomba-tubería de descarga.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	1	1	1	1	1	1	5	BAJA
1B7	Baja lubricación de rodamientos.	Sobrecooriente del motor, disparo de protecciones. Alarma audible por rebose, riesgo de pánico a clientes.	No	3	1	1	1	1	1	15	BAJA
1B8	Impulsor con rozamiennto por residuos sólidos.	Sobrecooriente del motor, disparo de protecciones. Alarma audible por rebose, riesgo de pánico a clientes.	No	5	1	1	1	2	2	35	MEDIA
1B9	Impulsor desgastado.	Sobrecooriente del motor, disparo de protecciones. Alarma audible por rebose, riesgo de pánico a clientes.	No	2	1	2	1	2	2	16	BAJA
1B10	Desacople parcial bomba-tubería de descarga.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	1	1	1	1	1	1	5	BAJA
1B11	Bojo nivel de voltaje de alimentación del sistema.	Sobrecorriente por bajo voltaje, sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	1	1	1	1	1	1	5	BAJA
1B12	Valvula de retención parcialmete obstruida.	Sobrecorriente por carga alta, disparo de protecciones. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación.	No	2	1	2	1	1	1	12	BAJA

Fuente: El autor

Tabla 17. Efectos de falla y jerarquización del riesgo subsistema 2

MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	EVID	FRE	SEG	ECO	AMB	CLI	IMG	NPR	CRITICIDAD
2A1	Tablero sin fluido eléctrico desde el tablero principal.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Sin alarma de rebose.	No	1	1	1	2	4	3	11	BAJA
2A2	Tablero con fliudo parcial de voltaje desde el tablero principal.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Sin alarma de rebose.	No	1	1	1	2	4	3	11	BAJA
2A3	Tablero con protección general termomagnética disparada.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Sin alarma de rebose.	Si	2	1	1	3	4	3	24	MEDIA
2A4	Protecciónes térmicas de motores disparadas.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Alarma de rebose.	Si	3	1	1	2	3	3	30	MEDIA
2A5	Contactor de maniobra dañado.	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Alarma de rebose.	Si	2	1	1	2	3	3	20	MEDIA
2A6	Tablero no recibe señal de arranque, Interruptor de flotador dañado	Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame, afectación en la operación. Alarma de rebase.	No	5	1	3	2	4	4	70	ALTA

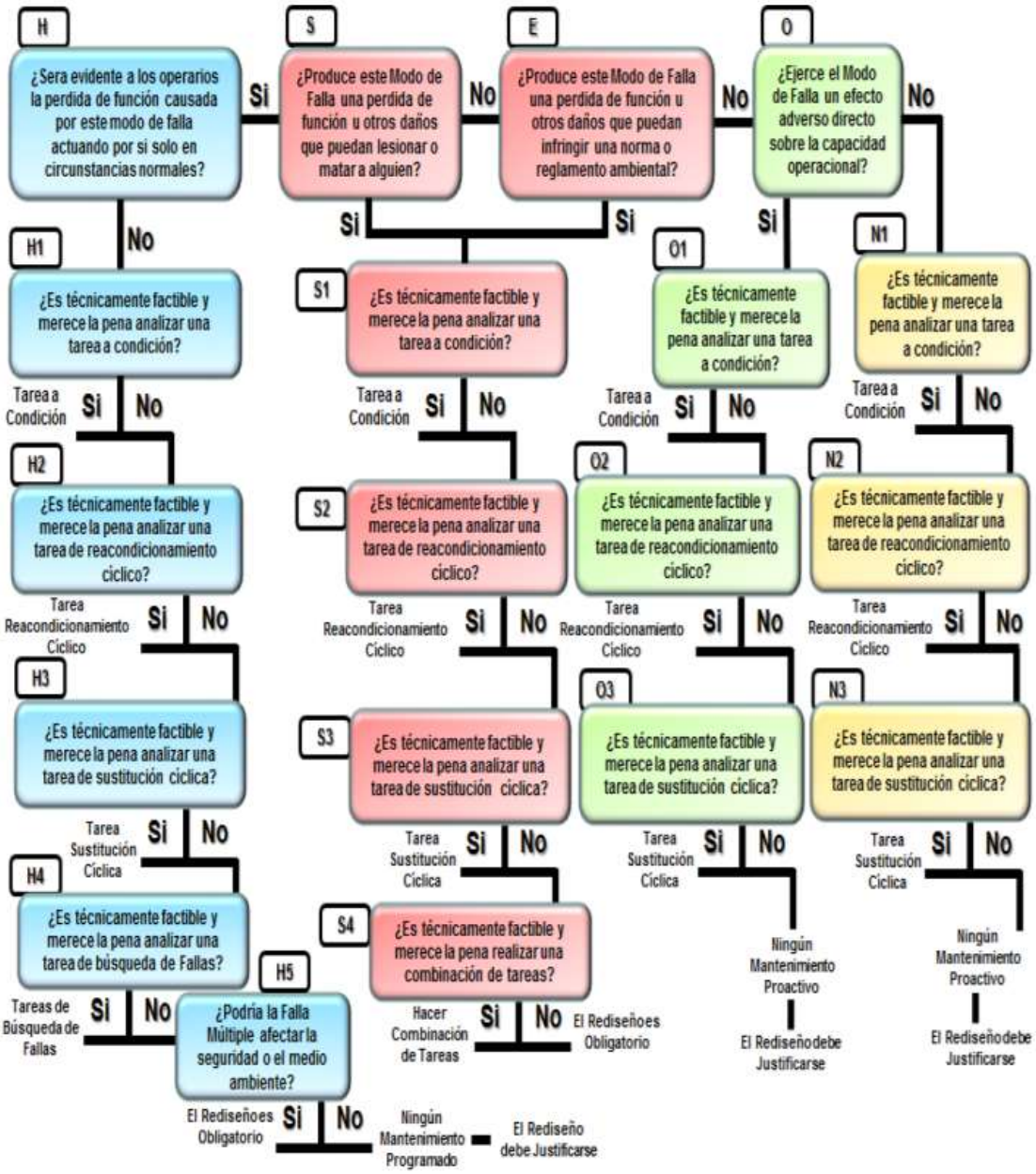
Fuente. El autor

4.2.5 Diagrama de decisión y selección de tareas de mantenimiento. El proceso del RCM finaliza al aplicar el diagrama de decisión propuesto por Moubray[20], ver figura 22, el cual arroja como resultado las tareas de mantenimiento a ejecutar para afrontar los modos de falla encontrados en el elemento de estudio.

En las tablas 18 y 19 se presentan los resultados de aplicar el diagrama de decisión y selección de tareas de mantenimiento.

[20] MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon Ltd., Buenos Aires-Madrid, 1997, p. 204-205.

Figura 22. Diagrama lógico de decisión RCM



Fuente: RCM II: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (J. Mubray)

Tabla 18. Selección de tareas de mantenimiento (hoja 1 de 2)

HOJA DE INFORMACIÓN RCM								
OBJETO DE ESTUDIO: SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES								
MF	**MODO DE FALLA**	**EFECTO DE FALLA**	**CRITICIDAD**	**TIPO DE DECISIÓN**	**TIPO DE DECISIÓN**	**DESCRIPCIÓN TAREA**	**FRECUENCIA (mes)**	**RECURSOS**
2A6	Tablero no recibe señal de arranque, Interruptor de flotador dañado	Sin operación de las bombas. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Alarma de rebase.	ALTA	H3	Sustit. Cíclica	Mantenmiento preventivo/Cambio de interruptor de flotación.	3	Tecnicos
1A3	Control de arranque no recibe señal del interruptores de flotador.	Sin operación de las bombas. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Alarma de rebase.	ALTA	H3	Sustit. Cíclica	Mantenmiento preventivo/Cambio de interruptor de flotación.	3	Tecnicos
1B8	Impulsor con rozamiennto por residuos sólidos.	Operación alterna de las dos bombas. Sobrecorriente por sobre carga/disparo de protección térmica del motor. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	MEDIA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de la corriente nominal de operación.	1	Tecnicos
2A4	Protecciónes térmicas de motores disparadas.	No hay voltaje aguas abajo del tablero. Sin caudal a la descarga. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Sin alarma de rebose.	MEDIA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de voltajes a la entrada y salida del tablero.	0,03	Tecnicos
1B4	Impulsor bloquedo por residuos sólidos.	Opera solo equipo de respaldo. Sobrecorriente por sobre carga/disparo de protección térmica del motor. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	MEDIA	N1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de la corriente nominal de operación.	0,03	Tecnicos
2A3	Tablero con protección general termomagnética disparada.	No hay señal de energización. Sin caudal a la descarga. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Sin alarma de rebose.	MEDIA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de voltajes a la entrada y salida del tablero.	0,03	Tecnicos
2A5	Contactor de maniobra dañado.	No hay voltaje aguas abajo del tablero en el circuito en fallo. Sin caudal a la descarga. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Sin alarma de rebose.	MEDIA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de voltajes a la entrada y salida del tablero.	0,03	Tecnicos
1B9	Impulsor desgastado.	Operación alterna de las dos bombas. Disminución del caudal de la bomba en fallo.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación del caudal a la descarga.	1	Tecnicos
1B7	Baja lubricación de rodamientos.	Operación alterna de las dos bombas. Sobrecorriente por sobre carga/disparo de protección térmica del motor. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de la corriente nominal de operación.	1	Tecnicos
1B1	Motor sin fluido eléctrico.	Opera solo equipo alterno. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina, verificación de la operación normal del moror.	0,03	Tecnicos
1B3	Motor quemado.	Opera solo equipo alterno. Disparo de protecciones termomagnéticas del motor. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	N1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de la corriente nominal de operación.	0,03	Tecnicos

Fuente: El autor

Tabla 19. Selección de tareas de mantenimiento (hoja 2 de 2)

HOJA DE INFORMACIÓN RCM								
OBJETO DE ESTUDIO: SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES								
MF	**MODO DE FALLA**	**EFECTO DE FALLA**	**CRITICIDAD**	**TIPO DE DECISIÓN**	**TIPO DE DECISIÓN**	**DESCRIPCIÓN TAREA**	**FRECUENCIA (mes)**	**RECURSOS**
1B2	Rodamiento pegado.	Opera solo equipo alterno, Sobrecorriente de rotor bloqueado, disparo de protección térmica del motor. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	N1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de la corriente nominal de operación.	1	Tecnicos
1B5	Valvula de retención totalmente obstruida.	Opera solo equipo de respaldo. Sobrecorriente por sobre carga/disparo de protección térmica del motor. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	N1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de la corriente nominal de operación.	0,03	Tecnicos
1B12	Valvula de retención parcialmete obstruida.	Operación alterna de las dos bombas. Disminución del caudal de la bomba en fallo.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación del caudal a la descarga.	1	Tecnicos
1A2	Sistema con giro contrario de motores.	Bombas operan pero no bombean. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Alarma de rebase.	BAJA	H5	A Condición	Identificar la causa y normalzar servicio de energía.	NA	Tecnicos
1A1	Sistema sin fluido eléctrico.	Sin opercióna de las bombas. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Alarma de rebose.	BAJA	H5	Correctivo	Identificar la causa y reponer servicio de energía.	NA	Tecnicos
2A2	Tablero con fliudo parcial de voltaje desde el tablero principal.	Hay señal de energización. Sin caudal a la descarga. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Sin alarma de rebose.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de voltajes a la entrada y salida del tablero.	0,03	Tecnicos
2A1	Tablero sin fluido eléctrico desde el tablero principal.	No hay señal de energización. Sin caudal a la descarga. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame. Sin alarma de rebose.	BAJA	N1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación de voltajes a la entrada y salida del tablero.	0,03	Tecnicos
1B6	Desacople total bomba-tubería de descarga.	Operación alterna de las dos bombas, solo una evacúa. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación del caudal a la descarga.	1	Tecnicos
1B11	Bojo nivel de voltaje de alimentación del sistema.	Sobrecorriente por bajo voltaje. Bajo caudal a la descarga. Sobre nivel de aguas negras, riesgo de rebose y derrame.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación del caudal a la descarga.	1	Tecnicos
1B10	Desacople parcial bomba-tubería de descarga.	Operación alterna de las dos bombas. Disminución del caudal de la bomba en fallo.	BAJA	H1	A Condición	Inspección de rutina. Medida y verificación del caudal a la descarga.	1	Tecnicos

Fuente: El autor

4.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Para el sistema en estudio se proponen las actividades de mantenimiento recomendadas partiendo del análisis del árbol de decisión RCM de la tabla 18, este permitirá la mitigación del riesgo de los modos de fallos con criticidad alta 1A3 y 2A6 y en general optimizará acciones de identificación y prevención de los demás modos de fallo.

Tabla 20. Plan de mantenimiento propuesto

MAYALES PLAZA COMERCIAL				
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
SISTEMA:	SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES			
COD.	TIPO DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	ACCIONES	FRECUENCIA
M01-01	PROACTIVO	* Inspección y verificación de operación normal del sistema	* Inspección visual general * Pruebas de arranque y parada desde el tablero de control * Medidas de Voltajes y corrientes de operación	DIARIA
M01-02	PROACTIVO	* Inspección y verificación de operación normal del sistema. * Inspección y verificación de caudales. * Limpieza del pozo	* Pruebas de arranque y parada desde el tablero de control * Medidas de Voltajes y corrientes de operación * Inspección, verificación y medida de caudal a la descarga. * Retiro de residuos sólidos y sedimentación del pora, lavado general.	MENSUAL
M02-01	PREVENTIVO	* Inspección y verificación de operación normal del sistema. * Inspección y verificación de caudales. * Cambio de componentes.	* Inspección visual general * Pruebas de arranque y parada desde el tablero de control * Medidas de Voltajes y corrientes de operación * Inspección, verificación y medida de caudal a la descarga Cambio de interruptores de flotación.	TRIMESTRAL

Fuente; El autor.

En la tabla 21 se presenta el comparativo de los mantenimientos actual y propuesto, donde se aprecia:

- El modelo actual no contempla inspecciones diarias. El modelo propuesto lo contempla, ejecutadas en rutas diarias de inspecciones sin costo adicional para el programa de mantenimiento.

- El modelo actual no contempla inspecciones mensuales. El modelo propuesto lo contempla, ejecutadas en rutas diarias de inspecciones sin costo adicional para el programa de mantenimiento, se realiza el lavado del pozo en esta intervención.

- El modelo actual contempla un mantenimiento preventivo programado trimestral, con intervención detallada del sistema. El modelo propuesto lo contempla, ejecutando el plan mensual adicionando el cambio de los interruptores de flotación.

- El modelo actual contempla un mantenimiento preventivo semestral detallado más el lavado del pozo. El modelo propuesto no lo contempla.

- El modelo actual contempla mantenimientos correctivo reactivo, por la posibilidad de falla de los interruptores de flotación. El mantenimiento propuesto no lo contempla.

Tabla 21. Comparativo entre los planes actual y propuesto

COMPARATIVO ENTRE PLANES DE MANTENIMIENTOS ACTUAL Y PROPUESTO				
ITEM	**ACTIV. DE MANTENIMIENTO**	**ACTUAL**	**PROPUESTO**	**FRECUNCIA**
1	Inspecciones y verificaciones diarias de operación general	No lo contempla	Lo contempla como base del aseguramiento de la confiabilidad	Diaria
2	Inspecciones y verificaciones mensuales de operación general y de caudales	No lo contempla	Se realiza la actividad de inspección y verificación diaria, más el lavado del tanque.	Mensual
3	Mantenimiento preventivo trimestral	Si lo contempla. Intervención detallada del sistema	Se realiza la actividad de inspección y verificación mensual, más el cambio de los interruptores de flotación	Trimestral
4	Mantenimiento preventivo trimestral	Si, contempla el mantenimiento preventivo trimestral más el lavado del pozo.	No lo contempla	Semestral
5	***Mantenimiento correctivo***	***Cuando fallas los flotadores***	***No lo contempla***	***NA***

Fuente: El autor.

5. INDICADORES DE GESTIÓN

Un indicador es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo-calidad y plazos. Son guías que permiten medir la eficacia de las acciones tomadas, así como medir los desvíos entre lo programado y realizado[21].

Según Amendola[22] La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costes de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocados a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

5.1 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento[23].

---

[21] PERTUZ, Alberto. Principios de mantenimiento. En: Especialización en gerencia de mantenimiento. Memorias. Barranquilla: 2020. p. 209.
[22] AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. *Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia*, 2003. p. 1. [En línea]. (Recuperado en: 02 de mayo de 2021). Disponible en: https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/indicadores-de-confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento
[23] Ibid.., p. 1.

A continuación, se presentan las definiciones de los indicadores de gestión del mantenimiento que se siguieren inalienablemente se deben tener en cuenta en el modelo planteado para el Centro Comercial Mayales Plaza.

5.1.1 Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF). Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado "Tiempo Promedio Operativo" o "Tiempo Promedio hasta la Falla".

5.1.2 Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR). Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento.

MTTR = *Número de horas de paro por avería / Número de averías.*

La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

5.1.3 Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF). El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más

probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.

MTBF = *Número de horas totales del período de tiempo analizado / Número de averías.*

5.1.4 Disponibilidad. La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

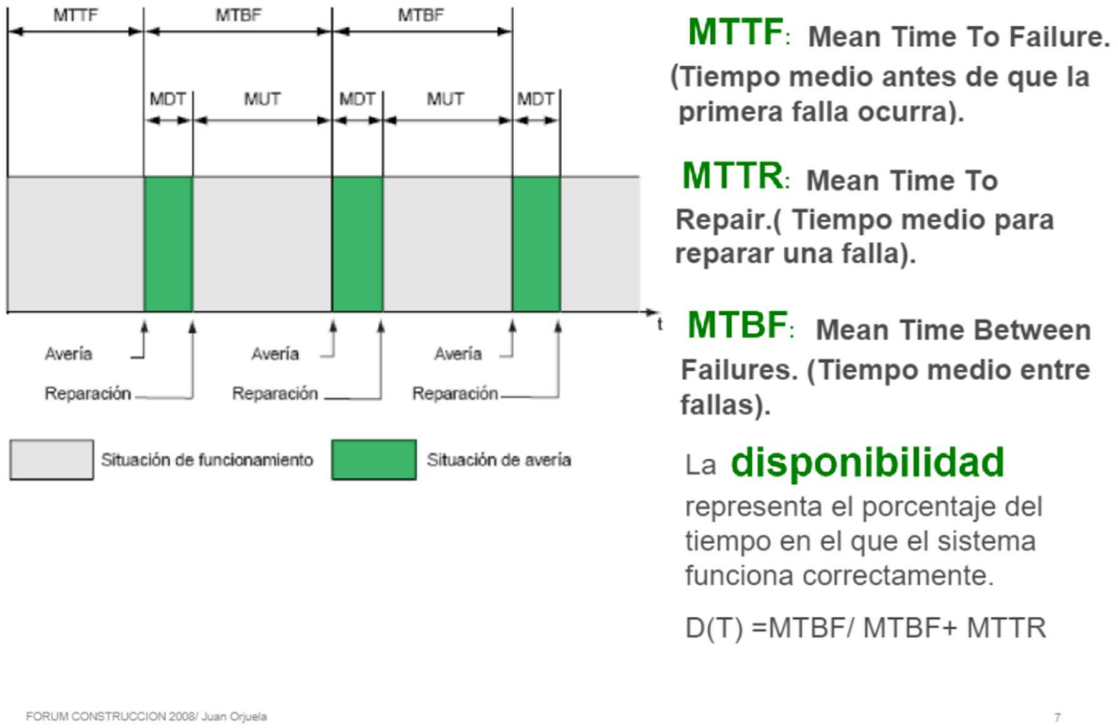
5.1.5 Confiabilidad. Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, se obtiene información valiosa acerca de la condición de este: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

El hecho de planificar y programar los trabajos de Mantenimiento a grandes volúmenes de equipos e instalaciones ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes. Esto aunado a la mejor práctica de un

mantenimiento de Clase Mundial, que establece Sistemas Integrados, ha conllevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar sistemas de Mantenimiento de Planificación Empresarial CMMS. El Modelo de Mantenimiento, a través de CMMS permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo con los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costes y confiabilidad.

En la figura 30 se muestran los tiempos considerados para los indicadores y la fórmula para el cálculo de la disponibilidad.

Figura 23. Indicadores de mantenimiento



Fuente: Adaptado por el autor. Disponible en: https://docplayer.es/18308725-La-confiabilidad-en-los-sistemas-electricos-juan-carlos-orjuela.html.

5.2 INDICADORES DE COSTOS

En este nuevo milenio el área de mantenimiento ha sufrido grandes transformaciones dejando de ser vista como un centro de costos, para pasar a ser un proceso integral que contribuye a la generación de utilidades industriales, y es responsable de la sobrevivencia de la empresa[24].

Existen muchos indicadores de costos asociados a la gestión de activos que se pueden aplicar al presento modelo gerencial, dado que dicho modelo pretende incentivar los primeros pasos a un mantenimiento de clase mundial, solo se propondrá dos indicadores como inicio de la gestión pertinente.

5.2.1 Costo de la Mano de Obra de Mantenimiento. El presente índice revela la relación entre el número total de horas empleadas en mantenimiento entre el coste total de la mano de obra.

Costo promedio de MO= *número total de horas en mantenimiento/ Costo total de la mano de obra en mantenimiento.*

5.2.2 Eficiencia de Costo de Mantenimiento. Este indicador relaciona el costo total del mantenimiento en un período, sobre el presupuesto total asignado para el período.

ECM= *Costo real ejecutado en el período/Presupuesto asignado en el período.*

[24] GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Optimización Integral Del Mantenimiento: Hacia La Terotecnología De Clase Mundial. En: Clepsidra. 2007, Vol. 3, nro. 4, p. 60. [En línea]. (Recuperado en 25 de marzo 2021). Disponible en: http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/268/252

6. SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO

Los Sistema de Gestión del Mantenimiento Computarizado (CMMS por sus siglas en inglés) son herramientas informáticas de apoyo en la gestión integral del mantenimiento de una empresa.

Actualmente el área de mantenimiento del Centro Comercial Mayales Plaza no cuenta con una herramienta computacional implementada que ofrezca una manera sistemática, integral y flexible de gestionar las tareas, planes y recursos de la empresa, cuando se requiera la intervención de los equipos, garantizando la disponibilidad, confiabilidad, productividad y calidad, a un costo optimizado.

Con las nuevas tecnologías, los CMMS se han desarrollado con gran rapidez que la actual oferta muestra muchos productos con características diferentes, lo que hace necesario que antes de su compra se evalué el contexto de cada empresa para elegir el más adecuado a su necesidad[25].

Un Software de Gestión de Mantenimiento (CMMS/EAM) no solo ayuda a configurar un adecuado plan de mantenimiento que permita generar automáticamente las Órdenes de Trabajo y asignarlas a los responsables, sino que además es el cerebro que permite tener un control global del área: registro y control de equipos, localizaciones, proveedores y contratistas, manejo de bodega de repuestos y herramientas, gestión de tareas y solicitudes, administración de garantías, monitoreo de condiciones, entregando finalmente inteligencia con indicadores de gestión para la toma de decisiones[26].

---

[25] SOBRINO, José. MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADOR. [En línea] (Recuperado en 01 de junio de 2021). Disponible en: https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Trabajos/2018-081%20TRA_J_SOBRINO_CIMGA2018.pdf

[26] STRUVE, Christian. 6 Razones para implementar un Software de gestión de mantenimiento (CMMS). [En línea] (Recuperado en 02 de junio de 2021). Disponible en: https://www.fracttal.com/es/blog/6-razones-por-las-cuales-se-debe-implementar-un-software-de-gesti%C3%B3n-de-mantenimiento-cmms/eam

Considerando lo anterior al cierre del presente trabajo, luego de un proceso de revisión gerencial y técnico y con las recomendaciones del caso por parte de la Asociación Colombiana de Centros Comerciales ACECOLOMIA, se decidió por la contratación del Software de Gestión del Mantenimiento Computarizado Mantum GM2, del cual se hace a continuación una breve descripción.

6.1 ¿QUÉ ES EL SOFTWARE MANTUM CMMS?

Mántum CMMS es una herramienta estratégica que facilita todos los procesos de control y toma de decisiones, bajo un ambiente agradable e intuitivo. El objetivo del sistema de información es garantizar el sostenimiento de los procesos de Gestión Integral de Mantenimiento aplicados por el Modelo de Gestión Mántum Gm2, el cual se fundamenta en la ejecución de una serie de unidades de trabajo denominadas pilares[27].

Figura 24. Pilares del Software Mantum CMMS

Fuente: http://mantum.medellin.unal.edu.co/mantum/publico/_ayuda/ayuda.pdf

[27] Mántum CMMS Manual de Ayuda Guía para el Usuario [En línea] (Recuperado en 02 de junio de 2021). Disponible en: http://mantum.medellin.unal.edu.co/mantum/publico/_ayuda/ayuda.pdf. p. 9.

6.2 ALCANCE DEL SISTEMA MANTUM CMMS

El usuario final del sistema puede:

- Controlar los costos y uso de recursos de manera detallada
- Programar actividades
- Estructurar rutinas de mantenimiento
- Administrar la información técnica e histórica de los equipos
- Estandarizar tareas
- Manejar órdenes de trabajo
- Gestionar el inventario y los proveedores

El sistema respalda la ejecución y programación de las intervenciones de mantenimiento. Almacena todos los datos relevantes sobre los equipos, componentes y piezas, tales como la ficha técnica, el historial y los planes de mantenimiento. A través de las Solicitudes de Servicio y las Órdenes de Trabajo es posible controlar los costos y tiempos de ejecución y respuesta. Además, permite calcular en tiempo real los principales indicadores que miden la eficiencia y eficacia de los servicios de mantenimiento, resumidos en un informe de gerencia ágil y veraz[28].

El software almacena, registra y notifica toda la información para el esquema de mantenimiento integral, a partir de módulos de aplicación como Instalaciones y Equipos, Gestión de activos, Ordenes de Trabajo, Solicitudes de Servicios, Gestión de Inventarios, Gestión de Talento Humano y Gestión de Proveedores, lo cual permite acceso en tiempo real de las condiciones y necesidades de la totalidad de la planta, además de una retroalimentación permanente para una mejora progresiva de la confiabilidad operacional y la calidad de los servicios prestados[29].

---

[28] Mántum CMMS Manual de Ayuda Guía para el Usuario [En línea] (Recuperado en 02 de junio de 2021). Disponible en: http://mantum.medellin.unal.edu.co/mantum/publico/_ayuda/ayuda.pdf. p. 10.

[29] Ibid.., p. 1.

7. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un modelo de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM para el Centro Comercial Mayales Plaza, el cual sirve como ejemplo y base sólida para la consecución de los planes de mantenimiento de todos sus sistemas y equipos, lo cual permitirá la implementación de manera exitosa de un software de Sistema de Gestión del Mantenimiento Computarizado CMMS.

- Se identificaron los sistemas prioritarios de la empresa y se validó la existencia de la información técnica existente documentada. Se propuso para estos un esquema taxonómico y una estructura de codificación.

- Se realizó un análisis de criticidad para los sistemas principales del Centro Comercial, estableciendo con base en los resultados obtenidos una jerarquización tal que permitirá concentrar en ellos, los esfuerzos y estrategias de mantenimiento, asegurando de esta manera, los indicadores de confiabilidad y disponibilidad requeridos.

- Se aplicó el modelo de mantenimiento propuesto al sistema crítico resultante del análisis de criticidad inicial (equipo de bombeo de aguas residuales), logrando comprobar la efectividad de la metodología. Se pudo establecer la mejora del plan de mantenimiento obtenido en el ejercicio realizado en comparación con el actual plan de mantenimiento del equipo.

- Se logró establecer la necesidad de implementar un software de Sistema de Gestión del Mantenimiento Computarizado CMMS, que permita la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo con los requerimientos específicos del Centro Comercial, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones importantes en las áreas de costes y confiabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

ACECOLOMBIA: INFORME DE OCUPACIÓN Y VACANCIA EN CENTROS COMERCIALES. 2017. [En línea]. (Recuperado en: 10 de marzo de 2021). Disponible en: http://www.acecolombia.org/descargas/informevacancia2017.pdf

AGUILAR-OTERO, José R., et al. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 25, núm. 1, 2010, p. 15-26. ISSN: 0186-6036. [En línea]. (Recuperado en: 15 de mayo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf

AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. *Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia*, 2003. p. 1. [En línea]. (Recuperado en: 02 de mayo de 2021). Disponible en: https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/indicadores-de-confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento

BRAVO FERNANDEZ, Luz Marina. Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de Alcalá del Río, aplicando criterios de confiabilidad (RCM). Proyecto Fin de Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales. Sevilla: Dep. Ingeniería Eléctrica Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, 2015. [En línea]. (Recuperado en 29 de marzo 2021). Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90479/fichero/TFG+LUZ+MARIA+FERNANDEZ+BRAVO+2015%252FDESARROLLO+DEL+PROYECTO.pdf

CAMPOS-LÓPEZ, Omar et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. En: Científica, vol. 23, núm. 1, 2019. [En línea]. (Recuperado en: 22 de marzo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html

GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Optimización Integral Del Mantenimiento: Hacia La Terotecnología De Clase Mundial. En: Clepsidra. 2007, Vol. 3, nro. 4. [En línea]. (Recuperado en 25 de marzo 2021). Disponible en: http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/268/252

GOBLE, William (2010). Control Systems Safety Evaluation and Reliability. International Society of Automation. North Carolina, USA, 2010, p. 87, Citado por Ortiz Useche, Alexis et al. Gestión de mantenimiento en pymes industriales. En: Revista Venezolana de Gerencia, vol. 18, núm. 61, enero-marzo, 2013. [En línea]. (Recuperado en: 22 de marzo de 2021). Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29026161004

HUERTA, Mendoza R. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. En: Ingeniería Mecánica 4 (2000). (Recuperado el 27 de mayo de 2021). Disponible en: https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364/704

INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS NATURAL – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224:2016. 71 p. [En línea]. (Recuperado en: 15 de marzo de 2021). Disponible en: https://es.slideshare.net/cstparkour/norma-iso14224-en-espaol

Mántum CMMS Manual de Ayuda Guía para el Usuario [En línea] (Recuperado en 02 de junio de 2021). Disponible en: http://mantum.medellin.unal.edu.co/mantum/publico/_ayuda/ayuda.pdf.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon Ltd., Buenos Aires- Madrid, 2004.

PERTUZ, Alberto. Principios de mantenimiento. En: Especialización en gerencia de mantenimiento. Memorias. Barranquilla: 2020. p. 209.

ROJAS, Patricia y SEPÚLVEDA, Sergio. ¿Qué es la Competitividad? Folleto No. 2. San José, C.R.: IICA, 1999. ISBN 92-9039-431 5. [En línea]. (Recuperado en 21 de marzo 2021). Disponible en: http://repiica.iica.int/docs/B0193e/B0193e.pdf

SAE JA1011, Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. 2015.

SOBRINO, José. MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADOR. [En línea] (Recuperado en 01 de junio de 2021). Disponible en: https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Trabajos/2018-081%20TRA_J_SOBRINO_CIMGA2018.pdf

STRUVE, Christian. 6 Razones para implementar un Software de gestión de mantenimiento (CMMS). [En línea] (Recuperado en 02 de junio de 2021). Disponible en: https://www.fracttal.com/es/blog/6-razones-por-las-cuales-se-debe-implementar-un-software-de-gesti%C3%B3n-de-mantenimiento-cmms/eam

TROCEL, David. Mantenimiento proactivo: cuidados esenciales de la maquinaria. [En línea] (Recuperado el 09 de diciembre de 2020). Disponible en: https://esp.reliabilityconnect.com/mantenimiento-proactivo-cuidados-esenciales-de-la-maquinaria/