

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO


Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Hugo Fernando	
Apellido (s):	Moreno Robayo	
Código:	20152375006	
E-mail:	hugo.moreno.robayo@gmail.com	
Teléfono fijo:	---	
Celular:	3182653989	

Ejecutor 2

Nombre (s):	Julio Cesar	
Apellido (s):	Ramirez Ortiz	
Código:	20142372036	
E-mail:	jcramirezo@correo.udistrital.edu.co	
Teléfono fijo:	---	
Celular:	3138396820	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del parque mundo aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 y SAE JA1012	
Duración (estimada):	6 Meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:	N/A	
Proyecto de Investigación:	N/A	
Áreas del conocimiento que involucra:	Mantenimiento, Diseño mecánico, Sistemas Dinámicos y Control eléctrico	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	Mauricio Gonzales Colmenares
---------------------	------------------------------

**ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA
LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO
COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012**

JULIO CESAR RAMIREZ

HUGO FERNANDO MORENO

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA / INGENIERÍA MECÁNICA
POR CICLOS PROPEDEÚTICOS
BOGOTÁ
2017**

**ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA
LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO
COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012**

JULIO CÉSAR RAMIREZ ORTIZ

20142372036

**Proyecto de Investigación para optar al
Título de Ingeniero Eléctrico**

HUGO FERNANDO MORENO

20152375006

**Proyecto de Investigación para optar al
Título de Ingeniero Mecánico**

Asesor:

Ing. Mauricio Gonzales Colmenares

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA / INGENIERÍA MECÁNICA
POR CICLOS PROPEDEÚTICOS
BOGOTÁ
2017**

Tabla de contenido

	Pág.
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	7
1. Planteamiento del problema	8
1.1. Estado del arte	9
1.1.1. Estrategias de análisis RCM en Latinoamérica	11
1.1.2. Estrategias de análisis RCM en Colombia.....	13
1.2. Justificación.....	15
2. Objetivos.....	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. Marco Teórico	17
3.1. Atracción X-treme.....	17
3.2. Mantenimiento	18
3.2.1. Tipos de mantenimiento.....	18
3.2.2. Objetivos del mantenimiento	20
3.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	20
3.3.1. Proceso del mantenimiento centrado en la confiabilidad	22
3.3.2. Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	22
3.4. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).....	23
3.5. Análisis de Criticidad.....	24
3.6. Indicadores de Confiabilidad	26
3.6.1. Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF)	27
3.6.2. Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR) ..	27
3.6.3. Disponibilidad.....	28
3.6.4. Utilización.....	28
3.6.5. Confiabilidad	28
3.6.6. Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF) 29	
3.7. Árbol lógico de decisiones	30
3.8. Normas SAE JA1011 y JA1012.....	31
3.9. El árbol jerárquico de activos – Norma ISO 14224	31
4. Metodología.....	31
5. Cronograma	33
6. Presupuesto y fuentes de financiación.....	34
7. Bibliografía.....	35

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Análisis de criticidad.....	11
Figura 2. Clasificación del RCM.	21
Figura 3. Diagrama de Flujo del Proceso RCM.....	22
Figura 4. Modelo Básico de Análisis de Criticidad.....	25
Figura 5. Matriz de Criticidad.....	26
Figura 6. Árbol lógico de decisiones.	30

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Ficha Técnica de la atracción X-treme.	17
Tabla 2. Cronograma de Tareas.	33
Tabla 3. Presupuesto Mano de Obra.	34
Tabla 4. Presupuesto Insumos.	34
Tabla 5. Presupuesto Total del Proyecto.	35

RESUMEN

El siguiente documento, tiene como objetivo presentar una propuesta de análisis de criticidad y disponibilidad para una de las máquinas que hacen parte del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas internacionales SAE JA1011 Y SAE JA1012. La máquina en la cual se llevara a cabo este análisis es la atracción X-Treme, la cual presenta alta demanda por parte de los visitantes, debido a que hace parte del grupo de máquinas catalogadas como de alto impacto dentro de la organización. El objetivo principal de realizar este estudio se basa en clasificar adecuadamente los componentes mecánicos y eléctricos de mayor criticidad que hacen parte de la atracción, con el fin de generar planes de mantenimiento a futuro que incrementen la disponibilidad de la máquina y reduzcan el tiempo entre fallos, así como el tiempo destinado a realizar las labores de mantenimiento programado y correctivo.

INTRODUCCIÓN

Corparques Mundo Aventura, es una empresa dedicada a prestar servicios en temas de recreación, principalmente a través de sus atracciones mecánicas que están dispuestas dentro del parque cubriendo el mayor rango de edades posible. Sin embargo, al igual que otras empresas se hace necesario contar con planes de mantenimiento estructurados y gerenciados adecuadamente para suplir cualquier eventualidad y reparación programada dentro de las máquinas, en especial, las atracciones de mayor afluencia de público en el parque.

En la presente propuesta, se plantea realizar un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme, que servirá como complemento a las estrategias de mantenimiento que posee la empresa. Este análisis se pretende realizar a partir del histórico de fallos reportados por al área de operaciones y la información soportada en los check list diarios, semanales, mensuales realizados por el área de mantenimiento. Por otro lado, también se elaborará un listado maestro de los componentes y partes que conforman la atracción teniendo en cuenta la parte mecánica, eléctrica y de control, con el fin de brindar

especificaciones técnicas detalladas de los mismos, incluyendo las partes que se fabrican a nivel local y los repuestos que se piden directamente al fabricante, buscando jerarquizar los elementos que hacen parte de la atracción además de brindar información relevante sobre dichos elementos con el fin de reducir el tiempo de las intervenciones de mantenimiento.

1. Planteamiento del problema

Actualmente en Corparques–Parque Mundo Aventura, no existe un análisis de criticidad y disponibilidad adecuado de equipos y partes que conforman la atracción X-Treme, que permita un gerenciamiento eficaz del mantenimiento de la máquina y con el cual se pueda ejercer control sobre la disponibilidad de dichos componentes para el proceso de mantenimiento, brindando información detallada de la cantidad de repuestos, ubicación dentro de la misma, especificaciones técnicas y datos de programación, que faciliten cualquier intervención de mantenimiento preventivo y correctivo de la atracción.

Debido a que la atracción X-Treme, es una de las atracciones de mayor afluencia por parte de los usuarios en el parque, cuenta con una probabilidad alta de ocurrencia de fallos durante su operación, sin embargo, esta atracción no maneja un análisis de criticidad adecuado que permita listar sus componentes y programar tareas en busca de la prevención de los posibles fallos en dichos elementos, ya que principalmente se siguen las recomendaciones del fabricante en temas de cambio de partes y piezas, debido a que éstos cumplen con sus horas de trabajo dentro de la máquina. Este procedimiento que actualmente se maneja, incrementa el tiempo de intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo, además disminuye la confiabilidad y disponibilidad de la máquina durante su operación, ya que la mayor cantidad de componentes y partes se deben pedir de importación y los elementos que se fabrican a nivel local no cuentan con especificaciones dimensionales ni especificaciones técnicas debido a que éstos se fabrican según muestra. De este modo, además de realizar un análisis de criticidad y disponibilidad para la máquina, también se hace necesario elaborar un listado maestro de piezas y componentes (mecánicos y eléctricos) que hacen parte de la atracción, con el fin de contar con las especificaciones, tiempo de cambio y prioridad dentro de la atracción.

1.1. Estado del arte

Reconocer y mitigar las fallas y los efectos generados por un elemento o máquina dentro de su vida útil o tiempo de operación, es uno de los principales objetivos del área de mantenimiento de cualquier empresa, sin embargo, es imposible obtener la mayor confiabilidad de las máquinas, si no se realiza un estudio de criticidad adecuado, teniendo en cuenta que no todos los elementos tienen el mismo modo de falla, debido a diferentes factores, como tiempo de operación diario, cargas de trabajo, años de servicio, materiales, entre otros, que reducen la vida útil del elemento y por tanto incrementan el riesgo de fallo en el tiempo.

Esta estrategia de mantenimiento también conocida como RCM¹, adopta un análisis de los elementos o equipos que hacen parte de una máquina, partiendo de la cantidad de activos y su disponibilidad dentro del inventario, hasta el análisis de modo y efecto de fallos (AMFE²), finalizando con el análisis de criticidad, lo que permite conocer al detalle, las funciones que realiza un elemento, sus modos de falla, y los posibles planes de contingencia que deben llevarse a cabo para evitar sobrecostos debido al paro de la máquina, esto a su vez conlleva un análisis de disponibilidad sobre los insumos y repuestos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento, las cuales estarán enfocadas al análisis de criticidad del elemento y la periodicidad de los posibles fallos de los elementos[1].

Por otro lado, la información obtenida de los activos y la clasificación de los mismos por sistemas o subsistemas dentro de la máquina, está enfocada principalmente en realizar labores de mantenimiento que solamente posibilitan la programación de tareas de cambio de elementos al descarte, teniendo en cuenta los factores de servicio mencionados[1], sin embargo se hace necesario programar tareas de inspección para elementos estructurales, ya

¹ Reliability Centred Maintenance

² AMFE: Análisis modal de fallos y efectos

que por su naturaleza y costo no pueden cambiarse en un periodo de tiempo tan corto como los demás activos.

Tener clasificado adecuadamente las máquinas según su orden jerárquico, brinda la posibilidad de realizar con mayor facilidad los análisis de criticidad, fiabilidad y disponibilidad de los elementos, sin embargo es importante llevar un registro completo de las operaciones de mantenimiento y de los tiempos de fallo y reparación que se han ejecutado dentro de la máquina con el fin de establecer un análisis adecuado de los criterios descritos previamente. Un ejemplo de este tipo de procedimientos es el planteado por un estudiante de la Universidad de Cataluña[2], en el cual a partir del histórico de fallos presentados en una impresora digital industrial, realizan un análisis de fiabilidad, criticidad y disponibilidad, teniendo en cuenta la teoría propuesta para el tema, con el objetivo de generar un plan de acción, que busque mitigar los fallos presentados en la máquina, elaborando este análisis a nivel de sistema y luego de identificar cual es el sistema de mayor criticidad, poder realizar un análisis del mismo a nivel de componentes y partes, buscando establecer que elementos requieren de mayor atención y como se pueden controlar los modos de fallos presentados, de este modo aumentando la disponibilidad de la máquina y previniendo fallos potenciales dentro de la misma.

Estas estrategias de análisis de criticidad de los diferentes elementos que hacen parte la operación de las máquinas, han tomado gran uso y aplicación en la actualidad, principalmente en temas de registro de datos y elaboración de tareas de mantenimiento, ya que uno de sus objetivos es la elaboración y programación de tareas de inspección y cambio de dichos elementos, sin embargo el análisis de criticidad, también está ligado a un análisis de disponibilidad de los componentes y partes en cuestión, el cual inicia con una clasificación taxonómica de los diferentes sistemas de la máquina y sus componentes críticos, con el fin de llevar un orden correcto de la ubicación y cantidad de repuestos y elementos necesarios ante cualquier mantenimiento.

Este análisis, es semejante al realizado por Ever Gonzales [3], en donde, a partir de la base de datos e histórico de los mantenimientos realizados, condensan información

suficiente para describir adecuadamente los diferentes componentes que hacen parte de las máquinas, adicionalmente realizan una clasificación por sistemas de cada uno de los equipos, con el fin de caracterizar los modos y efectos de fallo que se puedan presentar en dichos sistemas, por ultimo realizan una evaluación de disponibilidad de la máquina y de los diferentes elementos de mayor relevancia durante la operación y condensan esta información recolectada en la figura 1, en la cual se le brinda una clasificación a las máquinas según el grado de criticidad y disponibilidad.

MAQUINA	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	CALIDAD	TIEMPO DE TRABAJO	ENTREGA	FRECUENCIA	MANTENIBILIDAD	CLASE
ENVASADORAS	B	A	A	B	A	A	A
PASTERIZADORA	B	A	A	B	B	B	A
ETIQUETADORAS	B	A	A	A	A	A	A
TRASP. T-T PRODUCTO	C	C	A	A	A	A	A
LAVADORA - JJAGADORA	B	A	A	B	B	A	A
TRASP. T-T ENVASE VACIO	C	C	A	B	A	B	B
ENCANASTADORA	B	B	A	B	B	B	C
TRASP. CAJAS PRODUCTO	C	C	A	A	B	B	B
OMNIVISIONS	B	A	A	B	B	B	A
PALETIZADORA	B	C	A	A	B	B	B
DESEMPACADORA	C	C	A	A	B	B	B
DEPALETIZADORA	C	C	A	A	C	C	C
TRASP. CANASTAS. ENV. VACIO	C	C	A	C	C	C	C
FECHADORES	C	A	A	B	C	C	A
LAVADORA DE CAJAS	C	B	A	C	C	C	C
INSPECTORES DE CAJA LLENA	C	B	A	C	C	C	C
INSPECTOR DE LLENADO	A	B	A	B	C	C	A

Figura 1. Análisis de criticidad. Fuente: [3]

1.1.1. Estrategias de análisis RCM en Latinoamérica

En la actualidad diferentes empresas y sectores productivos, buscan implantar metodologías que permitan tener una gestión de mantenimiento adecuada, incrementando el uso de los recursos disponibles y reduciendo el tiempo muerto de las máquinas, estos procedimientos están siendo parametrizados con la ayuda de diferentes tipos de software dedicados a ofrecer disponibilidad, de los diferentes repuestos y materiales necesarios para la ejecución de las labores de mantenimiento. Una de las herramientas de mayor uso en la actualidad para generar reportes y tareas de mantenimiento aplicada a las partes y

componentes críticos de las máquinas, teniendo en cuenta los requerimientos de materiales e insumos, necesarios para desarrollar dichas actividades de mantenimiento, es la plataforma SAP-PM³ (mantenimiento planta), tal como el proyecto desarrollado en la Universidad central de Venezuela (Caracas) [4], en donde algunos de sus estudiantes, desarrollaron un proyecto que pretendía realizar la adecuación de la plataforma SAP, para una empresa cervecera de la ciudad, para lo cual desarrollaron un análisis de criticidad de los diferentes componentes y repuestos, de algunos de los elementos y máquinas de mayor demanda en la producción, con el fin de desarrollar el AMFE, y plantear actividades mejorativas y de mantenimiento dentro de la planta, esta información obtenida de las diferentes máquinas es utilizada para alimentar la plataforma SAP-PM, la cual estará proporcionando tareas y trabajos de mantenimiento en relación a los datos y análisis de criticidad elaborados por dicho personal. Este proceso planteado por Matos Q, Tamanaco J, Torres, Junior J [4], resulta de gran utilidad para abastecer de información la plataforma antes mencionada, ya que también realizaron el análisis de criticidad y modos de fallo de cada una de las máquinas y elementos críticos de las mismas.

Otra de las estrategias utilizadas para la recolección de información y su selección en los diferentes componentes y máquinas que requieren especial atención debido a la cantidad de fallos presentados, se basa en seguir el método de ruta crítica, con este procedimiento, se logra detectar que elementos o máquinas son las que generan mayores tiempos de parada, así como también incremento de costos, impacto ambiental y reducción de seguridad. Esta metodología, fue seguida por estudiantes de la Universidad Simón Bolívar (Venezuela) [5], quienes implementaron un plan de mantenimiento en la empresa Ternium Sidor (Aceros), en la cual realizando un análisis de criticidad lograron establecer cuales elementos presentaban mayor relevancia en el tema de mantenibilidad, tiempos de parada y disponibilidad, alcanzando a fundar que repuestos y componentes se requieren mantener de manera inmediata para reducir el tiempo de mantenimiento.

Esta información es recopilada en una base de datos, en la cual se establece una matriz de criticidad y disponibilidad, que reúne los datos recolectados durante el histórico de

³ SAP: Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos, aplicado a gestión del mantenimiento

labores de mantenimiento, con lo cual se desarrolla una hoja de ruta de las diferentes máquinas y componentes, que permita conocer con exactitud los procedimientos realizados, además de generar un control de las ordenes de trabajo que evidencia el control efectivo de los elementos que presentan una mayor cantidad de fallos en la maquinaria de la empresa.

Sin embargo, realizar este tipo de análisis, conlleva alimentar una base de datos extensa de los elementos en estudio y requiere de una actualización constante en temas de disponibilidad y criticidad de los mismos a través del tiempo para mantener la cantidad necesaria dentro del almacén, para esto se hace necesario establecer los elementos que poseen un grado de atención mayor por parte del área de mantenimiento, ya que el fallo de uno o varios de los elementos en mención, sumado a la ausencia de los mismos dentro del inventario, genera paradas abruptas y pérdidas económicas significativas para la empresa.

Por tanto es indispensable realizar un análisis de criticidad de manera efectiva, para determinar que componentes requieren mayor atención así como también el grado de disponibilidad de la máquina en estudio, tal como el procedimiento planteado por Ruber Reyes [6], en donde se realiza una clasificación de criticidad de los elementos en relación a la frecuencia de cambio y se estiman tres órdenes de criticidad, A,B y C, de modo que al generar las tareas pertinentes y realizar registros dentro de la plataforma SAP, se pueda establecer el grado de relevancia del repuesto o componente dentro de la máquina. Este análisis, parte del AMFE realizado a las máquinas, horas de trabajo del elemento, especificaciones del fabricante y frecuencia de cambio de los consumibles y elementos de las mismas.

1.1.2. Estrategias de análisis RCM en Colombia

Dentro de las estrategias para el estudio RCM en el país, se ha buscado principalmente, elaborar un análisis de disponibilidad y criticidad de los equipos y sus respectivos sistemas de las máquinas que pertenecen a distintas plantas de producción, este procedimiento se realiza tomando como referencia las actividades de mantenimiento establecidas por la empresa y el histórico de fallos de la maquinaria, buscando parametrizar estos procedimientos y brindar un cronograma efectivo que reduzca al máximo los fallos

imprevistos en un elemento, siendo el objetivo principal de diferentes empresas a nivel nacional, tal como el análisis realizado en la planta de Freskaleche (Aguachica. Cesar), en donde a través de un análisis de criticidad de los diferentes elementos presentes dentro de la planta pasteurizadora, elaboran una base de datos con el fin de obtener una estandarización de los procesos de mantenimiento, según la necesidad de cambio o ejecución de actividades preventivas, esto con el fin de llevar un histórico de las actividades realizadas y así mismo brindar una idea de que elementos son necesarios para el cambio en un determinado periodo de tiempo, además de obtener un dato exacto de la disponibilidad de las máquinas de la empresa.

Las variables con las cuales se pretende estimar la criticidad de algunos de sus equipos, son principalmente la medición de temperatura, consumo eléctrico, vibración y horas de operación dentro de la planta, con el fin de programar adecuadamente las tareas de inspección e intervención por parte del equipo de mantenimiento, obviamente sin dejar de lado las especificaciones brindadas por el fabricante, ya que la estimación de vida útil en un principio se toma a partir de esta información. [7]

Uno de los ítems de mayor relevancia para consolidar adecuadamente una gestión de mantenimiento, tiene que ver con la planeación y por ende con las estrategias a utilizar para consolidar adecuadamente los datos generados en los procesos de mantenimiento y los resultados de dichas tareas con su respectivo análisis. Para esto algunas empresas como INCAUCA S.A, han adoptado modelos probabilísticos y estadísticos que les permita tener referenciadas adecuadamente las ordenes de salida y llegada en los procesos de mantenimiento, así como realizar el cálculo de la tasa de disponibilidad y mantenibilidad, de los elementos críticos y partes de las máquinas con las cuales, se realizan cada uno de los procesos dentro de la planta [8], este tipo de proyectos surgen a raíz de las pérdidas generadas por el retraso en las actividades de mantenimiento debido a la baja disponibilidad de los diferentes materiales e insumos para llevar a cabo las actividades preventivas en las máquinas, además los datos recolectados mediante el uso de análisis estadístico, permite alimentar el software de inventario, en la cual se mantenga actualizado el stock de materiales e insumos para reducir en un 30% los costos y tiempos estimados para la

intervención programada, adicionalmente esta implementación realizada en la empresa azucarera reduce en un 10% la cantidad de fallos inesperados, ya que la programación de tareas mantiene en revisión constante los elementos críticos analizados estadísticamente[8].

Por otro lado la recolección de información, para la sostenibilidad de plataformas de gestión del mantenimiento, siempre deben estar ligadas a un análisis principal antes de su adecuación, lo que permite conocer de manera exacta la cantidad de elementos presentes en una máquina, los modos de fallos y la criticidad de los mismos dentro del desarrollo propio de las labores de mantenimiento, este último análisis (criticidad), es fundamental para establecer el orden de importancia de los elementos que se remplazan o que sufren daños durante su servicio, ya que se desea mantener la cantidad suficiente en almacén en caso de que algún elemento que presente una criticidad alta, pueda llegar a fallar.

Este procedimiento, es el seguido por Jhon Ramirez [8], en donde se realiza un listado de piezas y elementos críticos de las diferentes máquinas, con el fin de establecer un plan de mantenimiento predictivo, que preste atención a dichos componentes y maneje planes de contingencia, con tareas específicas de inspección y cambio de partes, esto a su vez tomando en cuenta la información proporcionada por el AMFE (Análisis modal de fallos y efectos), de los diferentes equipos, posterior a una ponderación de las partes críticas teniendo en cuenta factores como: impacto ambiental, costo reparación, impacto a la salud del operario, frecuencia de fallas, nivel de producción, tiempo promedio reparación, impacto producción e impacto satisfacción del cliente, esto con el fin de estandarizar los procesos de mantenimiento dentro de la planta y evitar el paro indefinido de una máquina.

1.2. Justificación

Teniendo en cuenta que dentro de las tracciones mecánicas extremas del parque Mundo Aventura, la atracción X-Treme, cuenta con una de las tasas de afluencia mas grandes por parte de los visitantes, es importante resaltar en términos de operación, que estas atracciones cuentan con mayor cantidad de horas de trabajo, mayor carga sobre elementos y componentes e incremento en la probabilidad de fallos durante la vida útil de los mismos.

Por tanto, se busca reducir la cantidad de fallos de dichos componentes de manera que se reduzca sustancialmente el tiempo durante las intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo, realizando una caracterización adecuada de partes críticas, repuestos y modos de fallo definidos.

Partiendo de lo anterior, el presente proyecto tiene como fin desarrollar un análisis de criticidad y disponibilidad de los componentes mecánicos y eléctricos que hacen parte de la atracción X-Treme, tomando como referencia las normas internacionales SAE JA1011 y JA1012, además de elaborar un listado maestro de los diferentes elementos que hacen parte de la máquina que contenga especificaciones de los mismos, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de dichos elementos durante cualquier intervención de mantenimiento y de la atracción misma.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Elaborar un análisis de criticidad y disponibilidad de los componentes y partes que conforman los sistemas eléctricos y mecánicos de la atracción X-Treme.

2.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre los componentes y partes críticas de la atracción, mediante sus hojas de vida y manuales de fábrica.
- Elaborar una clasificación taxonómica de los componentes y partes de la atracción, tomando como referencia la norma ISO 14224.
- Efectuar un análisis de criticidad para los componentes mecánicos y eléctricos de la atracción, tomando como referencia las normas internacionales SAE JA1011 y JA1012.
- Realizar un análisis de disponibilidad de la atracción, tomando como referencia el histórico de fallos presentado por el área de operaciones y mantenimiento.

3. Marco Teórico

3.1. Atracción X-treme

La atracción X-treme (Turbo Force) se encuentra ubicada en un área aproximada de 20mX20m, peso aproximado de 30Ton, tiene una altura de 41.1m y una velocidad de ciclo de 11rpm (90Km/h). La atracción está comprendida por una columna principal elaborada en acero A-36, a la cual se une un tambor fijo y de donde se desprenden 2 secciones (brazos giratorios) que sostienen las góndolas, estas a su vez, dotadas con 2 sillas que permiten tener una capacidad para 4 personas por góndola durante un ciclo completo el cual se basa en un movimiento circular uniformemente acelerado en sentido horario y antihorario. En la tabla 1, se muestran algunos datos relevantes que hacen parte de la ficha técnica de la atracción:

FICHA TÉCNICA DE LA ATRACCIÓN X - TREME		
NOMBRE GENÉRICO	FABRICANTE/ PAÍS DE ORIGEN	AÑO DE FABRICACIÓN
TURBO FORCÉ	SORIANI S.r.l. ITALIA	2001
Cantidad de pasajeros	Capacidad máxima/ peso pasajeros	Estatura mínima de pasajeros
8	1 000 Kg	150 cm
Velocidad Máxima	Duración máxima del ciclo	Cantidad de operadores
9 R.P.M (12, 5 sobre-velocidad)	3 minutos	2

Tabla 1. Ficha Técnica de la atracción X-treme. Fuente: Parque Mundo Aventura

Esta atracción contempla dos puntos de rotación durante el ciclo de operación, uno de ellos se presenta con el giro de los brazos unidos al tambor principal y el otro con el giro de las góndolas en el extremo de los brazos, debido a la inercia generada durante el movimiento de la maquina. Para lograr este movimiento en la atracción intervienen tres clases de sistemas: un sistema eléctrico encargado de energizar y controlar los diferentes equipos de la atracción, un sistema hidráulico que permite el movimiento de la plataforma de embarque y un sistema neumático que controla los frenos de las góndolas.

El movimiento de la atracción es generado por medio de dos motores eléctricos DC de 45Kw ubicados en la parte central de la columna principal que inician su funcionamiento cuando se oprime el pulsador "arranque"; cada motor tiene acoplado en su eje una rueda

dentada, las dos ruedas dentadas engranan con la corona principal transmitiendo el movimiento; la corona dentada se encuentra asegurada al tambor fijo, de tal forma que al girar la corona gira el tambor y por ende la torre sobre la cual se aseguran las góndolas. Al tiempo que inicia el giro de la torre, el freno neumático de cada una de las góndolas se libera automáticamente permitiendo que estas giren libremente en cualquier sentido, lo que produce en los pasajeros una sensación extrema de vértigo producida por la altura, la velocidad y la combinación en el cambio repentino del sentido de giro.

Luego de realizar los giros programados, la torre giratoria se posiciona frente a la zona de embarque, esta posición central está dada por un sensor óptico, al detenerse completamente la atracción se activa el freno electromagnético de cada motor manteniendo la estructura fija para activar los frenos neumáticos de las góndolas. Al finalizar el ciclo es necesario elevar la plataforma para realizar el desembarque de los visitantes y el embarque de nuevos, esta plataforma funciona por medio de un sistema hidráulico que posee tres cilindros, uno que eleva la base de la plataforma y otros dos encargados de la elevación de las alas o compuertas laterales. Adicionalmente, toda la operación es dirigida desde una cabina donde se ubica el tablero de mandos, instrumento con el que el Controlador dirige la operación, coordina el sistema de luces y verifica el desarrollo normal del ciclo. [10]

3.2. Mantenimiento

El Mantenimiento es un conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados, además de restablecer dicha condición cuando esta se pierde [11].

3.2.1. Tipos de mantenimiento

Se puede identificar varios tipos de mantenimiento, los cuales poseen características propias que difieren unos de otros en función de: estrategias, objetivos, asertividad, practicidad, resultados y costos, sin embargo unificar estos parámetros resulta complejo, pero conseguirlo conlleva a desarrollar un plan adecuado de mantenimiento que incluye los

diferentes tipos de mantenimiento existentes. Actualmente se reconocen los siguientes tipos de mantenimiento:

- *Mantenimiento preventivo:*

El mantenimiento preventivo es una estrategia en la que se programan periódicamente las intervenciones de máquinas, con el fin de inspeccionar, reparar y/o reemplazar componentes. También intenta anticipar o prever las fallas para evitar daños y paros imprevistos. Las intervenciones se realizan aun cuando la máquina está operando satisfactoriamente. Programa el mantenimiento basándose en estimaciones de vida útil o tiempo entre fallas esperadas. [11]

- *Mantenimiento predictivo*

También conocido como “Mantenimiento Basado en Condiciones” (CBM), monitorea y detecta parámetros operativos de los sistemas, máquinas y equipos. Realiza un seguimiento del desgaste de los mismos para determinar o predecir el punto exacto de cambio o reparación. Busca determinar el punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, es decir, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle y asuma valores indeseables y programa el mantenimiento basado en el pronóstico de ocurrencia de fallas o vida remanente. [11]

- *Mantenimiento correctivo*

También llamado “mantenimiento reactivo”, consiste en dejar a los equipos que operen sin ningún servicio o control del estado de los mismos, hasta que se produzca una falla en su funcionamiento en la mayoría de las ocasiones hasta que llegue a detenerse. El mantenimiento correctivo tiene costo nulo en función del tiempo, hasta que la unidad falla, y hay que repararla sorpresivamente y de urgencia, sin posibilidades de planificación y programación. Se caracteriza por generar lucros cesantes y daños que representan costos de gran magnitud [11].

- *Mantenimiento proactivo*

El mantenimiento proactivo se lleva a cabo antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Abarca lo que comúnmente se denomina mantenimiento “predictivo” y “preventivo” [11].

3.2.2. Objetivos del mantenimiento

- Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- Maximizar el beneficio global [11].

3.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) ó Reliability-centred Maintenance (RCM), es un proceso que se usa para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. El MCC pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración: De una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

- Atención: En las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantiza que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar [12].

El MCC, ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años, el proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico, se utiliza en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso MCC [13].

El mantenimiento industrial actual se presenta como un conjunto de técnicas y organización para hacer que los "equipos" cumplan con las funciones para los cuales fueron diseñados. La aplicación de estas técnicas y metodologías actuales como la del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), traen como consecuencia la disminución de las "interrupciones (paradas inesperadas por fallas)" que a su vez incrementan la "disponibilidad" de los equipos, traduciéndose esto en un menor gasto por mantenimiento correctivo indeseado y obteniendo productos de excelente calidad, que es lo que se quiere en este mundo tan competitivo a nivel industrial [14].



Figura 2. Clasificación del RCM. [15]

3.3.1. Proceso del mantenimiento centrado en la confiabilidad

El proceso consiste en una serie ordenada y lógica de pasos sistemáticamente orientados a identificar las funciones de los equipos, sus fallas funcionales, los modos y causas de fallas dominantes y sus efectos [16]. Para cada posible modo de falla encontrado, se evalúa el riesgo y vulnerabilidad generada al sistema. De acuerdo al nivel de riesgo se conoce la criticidad de la falla y el nivel de atención necesario [2]. En la figura 3 presenta el esquema de desarrollo de la metodología para aplicar el MCC.

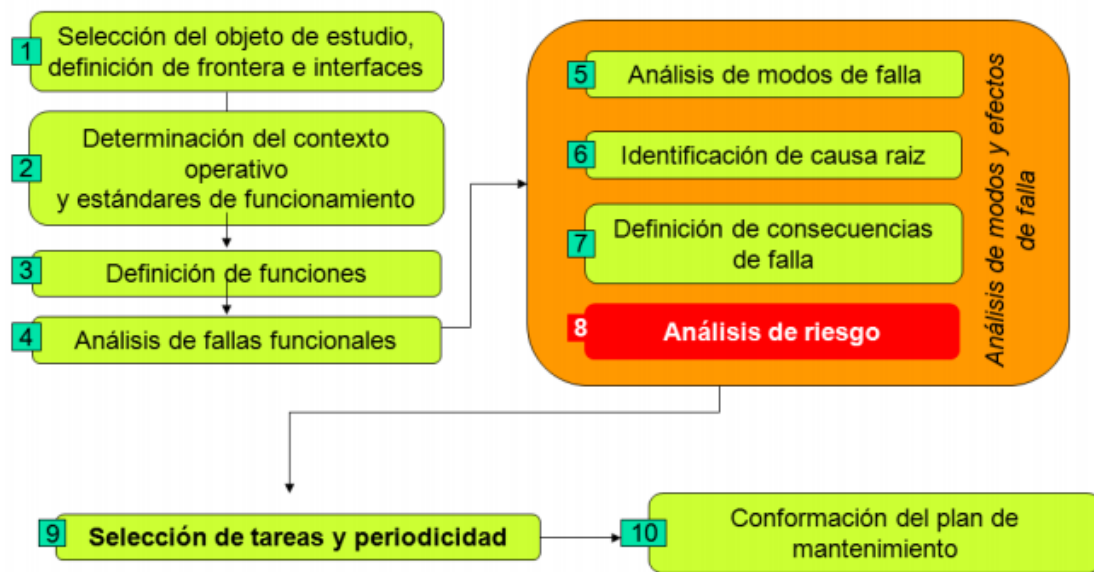


Figura 3. Diagrama de Flujo del Proceso RCM. [15]

3.3.2. Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.

- Si el MCC se aplicará a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en las empresas, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70%.
- Si el MCC se aplicará para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento preventivo en la empresa, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.
- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso MCC, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber

qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo [11].

3.4. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF) permite identificar las fallas potenciales de un producto o un proceso y, a partir de un análisis de su frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; estas fallas se jerarquizan, y para las fallas que vulneran más la confiabilidad del producto o el proceso será necesario generar acciones para atenderlas [11]. A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.
6. Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la expresión 1.

$$NPR = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección \quad (1)$$

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describan para cada uno de ellos, siendo puntaje el menor 1 y 1000 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMEF [17].

- i. Gravedad o severidad: Se refiere a la probabilidad de fallos en el proceso, está basada únicamente en el efecto de fallo; todas las causas potenciales de fallo para un efecto particular también reciben la misma clasificación.
- ii. Ocurrencia: Frecuencia en la cual se presentan las fallas, cuando se asigna esta clasificación, se deben considerar dos probabilidades: La probabilidad de que se produzca una falla. La probabilidad de que, una vez ocurrida la falla, esta provoque el efecto nocivo indicado.
- iii. Detección o probabilidad de no detección: Este indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue a ser informado. Se está definiendo la “no detección”, para que el índice de prioridad crezca de forma análoga del resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa [17].

3.5. Análisis de Criticidad

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. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (2)$$

Donde:

La frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costo Mantenimiento} + \text{Impacto SAH} \quad [17] \quad (3)$$

En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 4. El establecimiento de criterios se basa en los seis criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis [18].

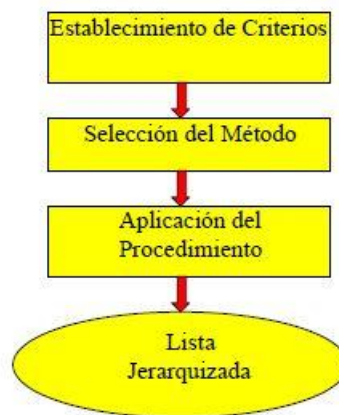


Figura 4. Modelo Básico de Análisis de Criticidad [18].

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla, como se muestra en la figura 5:



Figura 5. Matriz de Criticidad [19]

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis [19].

3.6. Indicadores de Confiabilidad

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 costos de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocada a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento. [15]

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. Estos indicadores son:

- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF).
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR).

- Disponibilidad.
- Utilización.
- Confiabilidad.
- Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF). [15]
-

3.6.1. 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”.

3.6.2. 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. 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.

$$\text{Tiempo medio para la reparación} = \frac{\text{Tiempo para la eliminación de las fallas}}{\text{Cantidad total de fallas}} \quad (4)$$

3.6.3. 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. La disponibilidad del equipo se define como:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Programado de Funcionamiento} - \text{Tiempo de Inactividad por falla}}{\text{Tiempo Programado de Funcionamiento}} \quad (5)$$

3.6.4. Utilización

La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado.

3.6.5. 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, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo. La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos.

Los datos suministrados por los indicadores de confiabilidad debe darnos la distribución de fallos para una o más combinaciones de esfuerzos y ambientes. Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, nivel operativo del equipo, número de ciclos conectados – desconectados, número de horas de funcionamiento, naturaleza y distribución del fallo. Otros aspectos a tomar en cuenta en la

configuración de los sistemas son el tipo y grado de redundancia, naturaleza y frecuencia de las acciones de mantenimiento, modos de fallos de componentes sobre sistemas. Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y componentes, como modelos matemáticos, técnicas de simulación y determinación de valores límites.

La tecnología de monitoreo por condiciones realiza un análisis lógico que relaciona los fallos de los componentes con los fallos del sistema. Se utilizan modelos de un conjunto de bloques en el que cada bloque representa un componente o combinación de componentes que realiza una función, cada bloque solo tiene posibles estados mutuamente excluyentes (Satisfactorio y fallado). La función representada por cualquier bloque es necesaria para el funcionamiento del sistema. No obstante, el fallo de un bloque no implica fallo del sistema si otro bloque realiza la misma función conteniendo el modelo todas las funciones críticas para el sistema. La tecnología dispone de estrategias para reducir la probabilidad de fallo de un sistema y sus componentes. Consiste en dispositivos más de una serie de elementos que pueden realizar la misma función.

3.6.6. 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.

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \text{Tiempo real de operación} / \text{Cantidad total de fallas} \quad (6)$$

Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información. El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil. El

estudio de la confiabilidad se utiliza en el análisis de data operativa para mantenimiento. Es posible conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo. [15]

3.7. Árbol lógico de decisiones

Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del MCC, con el objetivo de definir el tipo de mantenimiento a realizar y las actividades concretas a ejecutar, se utiliza el árbol lógico de decisión de las consecuencias de los modos de falla y el árbol lógico de decisión de las actividades de mantenimiento respectivas según el MCC, como se muestra en el siguiente gráfico:

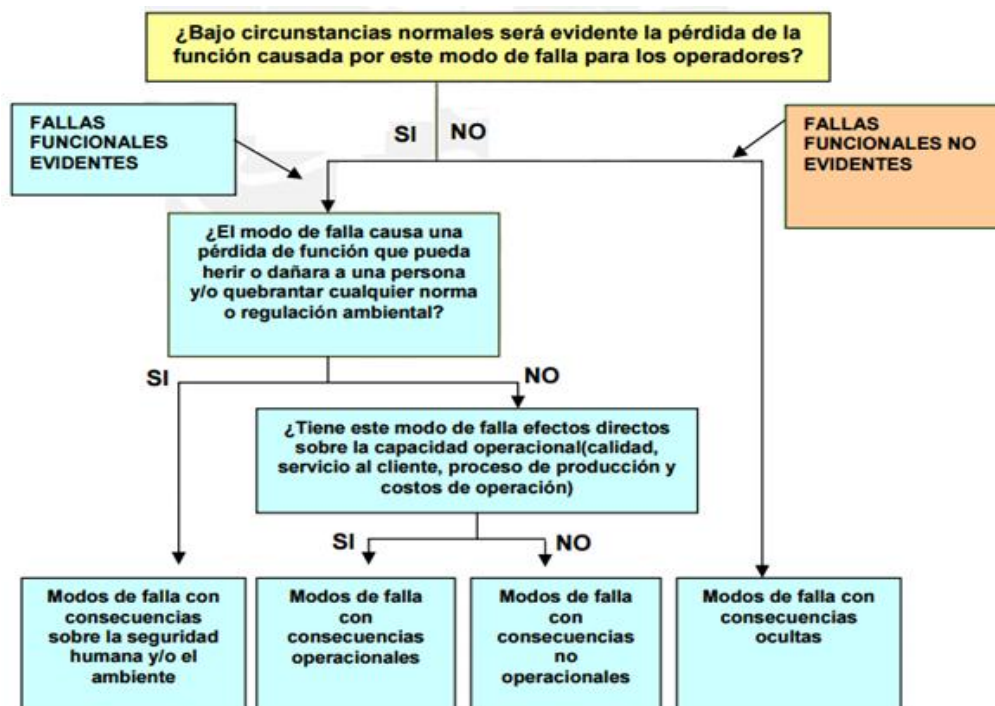


Figura 6. Árbol lógico de decisiones [17].

3.8. Normas SAE JA1011 y JA1012

Ante la diversidad de metodologías que decían llamarse RCM aparecidas a partir de 1990, y como resultado de la demanda internacional por una norma que estableciera unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. Tal y como anuncia la introducción de ambas normas, no intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen unos criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM. [20]

3.9. El árbol jerárquico de activos – Norma ISO 14224

La taxonomía es la ciencia que estudia los principios, métodos y fines de la clasificación. Los conceptos de taxonomía aplicados a instalaciones permiten clasificar los activos de una instalación para agruparlos en entidades de jerarquía superior. Esto hace que se tenga una visión estructurada de todos los activos que componen la planta, y gracias ella, un mejor control sobre ellos. La norma ISO 14224 da una serie de pautas para estructurar los activos de una instalación, que son compatibles con lo indicado en este capítulo. Relacionado con la implantación de la metodología RCM, esta clasificación permite estructurar como se va a llevar a cabo el estudio, comenzando generalmente por los niveles jerárquicos más bajos (equipos) para acabar con los más altos (áreas e incluso la planta en su totalidad). [20]

4. Metodología

Se han planificado cuatro etapas principales que encierran todo el desarrollo y la gestión de los procesos que se llevaran a cabo durante el periodo que tome la ejecución del proyecto; cada una de las etapas conlleva una serie de actividades esenciales para el soporte y la ejecución del proyecto, sin embargo las dos primeras etapas se enfocara en la recolección de información y en las dos últimas etapas se llevara a cabo un análisis de criticidad y disponibilidad de los componentes y piezas de la atracción X-Treme.

- Etapa I (Evaluación) - Indagar acerca de los componentes críticos de la atracción: En donde se examinarán todos los informes de mantenimiento mecánico, eléctrico y de END anuales, reportes de mantenimiento e intervenciones relevantes, en el transcurso de cinco años. Además, se indagaran manuales de fabricante de las atracción, planos existentes, reportes de trabajos realizados por terceros y reportes de fallos por parte del área de operaciones; aparte, se examinarán al detalle las normas internacionales ISO 14224, SAE J1011 y SAE JA1012.
- Etapa II (Validación) - Recopilar información sobre los componentes de la atracción: En donde, luego de identificar los componentes que han sido reemplazados en la misma, se validaran directamente en la máquina, su existencia y estado de los mismos. Así mismo se efectuara una revisión de componentes y piezas que no estuviesen reportados, por ello se contara con el apoyo del personal de mantenimiento del parque mundo aventura para el desmontaje y montaje de equipos y partes, de los sistema Eléctrico, Motriz, Estructural, Hidráulico y Neumático, verificando medidas, referencias, dimensiones, materiales y cantidades.
- Etapa III (Elaboración) - Realizar una clasificación taxonómica de las atracción: En este se tomara como guía la norma internacional ISO 14224, para la elaboración de un documento Excel, el cual poseerá un listado maestro de partes y piezas de mayor relevancia, que se encuentran en la máquina.
- Etapa IV (Documentación) - Realizar un análisis de criticidad tomando como referencia las normas internacionales SAE JA1011 y JA1012, de los elementos y equipos que presentan mayor frecuencia de cambio y cantidad de fallos durante la operación de la máquina, a partir del listado maestro elaborado en la etapa III. Adicionalmente, se elaborara un análisis de disponibilidad de la máquina en relación a los fallos documentados por parte de las áreas de operaciones y mantenimiento.

Durante la ejecución de todo el proyecto se realizará el seguimiento y control de las actividades del cronograma propuesto para garantizar la culminación exitosa del mismo.

5. Cronograma

El diagrama de Gantt de la tabla 2, muestra el cronograma de actividades y su respectiva duración en semanas.

Diagrama Gantt		Semanas																					
		S 01	S 02	S 03	S 04	S 05	S 06	S 07	S 08	S 09	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17	S 18	S 19	S 20	S 21	S 22
1.	Recopilar información de todos los componentes y partes de la atracción	█	█	█	█	█																	
2.	Clasificación taxonómica de los componentes y partes de la atracción		█	█	█	█	█																
3.	Indagar acerca de los componentes críticos de la atracción, según check list anuales, últimos 5 años							█	█	█													
4.	Indagar acerca de los componentes críticos de la atracción, según check list diarios, últimos 5 años								█	█	█												
5.	Indagar acerca de los componentes críticos de la atracción, según check list semanal y mensual, últimos 5 años									█	█												
6.	Indagar acerca de los reportes de fallos generado por el área de atracciones											█											
7.	Definir tiempos de fallos y entre fallos, según información Recolectada											█	█										
8.	Establecer cuáles son los elementos de mayor criticidad en la atracción												█										
9.	Realizar un análisis de criticidad, para los componentes de la atracción													█	█	█	█	█					
10.	Elaborar un análisis de disponibilidad de la atracción en relación a la información recolectada																█	█	█	█	█		
11.	Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones																					█	█

Tabla 2. Cronograma de Tareas. Fuente: El Autor

6. Presupuesto y fuentes de financiación

La financiación del proyecto estará a cargo de “Corparques – Mundo Aventura” dado que se pretende efectuar una mejora en los procesos y procedimientos de mantenimiento realizados a la atracción X-treme del Parque Mundo Aventura.

La compra de los insumos de escritorio, la adquisición de las normas y demás herramientas, así como el costo de la mano de obra, se tienen contemplados dentro del costo del proyecto, el cual afecta directamente la carga presupuestal hecha para el manteniendo anual de la atracción. A continuación en la tabla 3 se detalla los costos de personal, en la tabla 4 los costos de insumos y en la tabla 5 el presupuesto total estimado para el proyecto.

Presupuesto Mano de Obra						
Ítem	Personal	Cantidad	Salario	Hora Ordinaria	Horas Trabajas	Costo
1.	Técnico Mecánico	1	\$ 1.604.939,31	\$ 6.687,25	37	\$ 247.428,25
2.	Auxiliar Eléctrico	1	\$ 901.846,73	\$ 3.757,69	37	\$ 139.034,53
3.	Encargado	2	\$ 715.751,23	\$ 2.982,30	330	\$ 1.968.318,00
TOTAL		4	\$ 3.222.537,27	\$ 13.427,24	404	\$ 2.354.780,78

Tabla 3. Presupuesto Mano de Obra. Fuente: El Autor

Presupuesto Insumos				
Ítem	Material	Cantidad	Precio	Costo Total
1.	Fotocopias	468	\$ 60	\$ 28.080
2.	Servicio Plotter	1	\$ 50.396	\$ 50.396
3.	Papelería Escritorio	2	\$ 126.487	\$ 252.974
4.	Calibrador Pie de Rey Mitutoyo 8"	2	\$ 175.000	\$ 350.000
5.	Fluxómetro Stanley 5m	2	\$ 42.500	\$ 85.000
6.	Calibrador Galgas Espesores	1	\$ 27.179	\$ 27.179
7.	Juego de destornilladores Stanley -6 Piezas	1	\$ 42.299	\$ 42.299
8.	Llave expansiva 12" - Proto	1	\$ 67.523	\$ 67.523
9.	Micrómetro 0-25mm	1	\$ 553.900	\$ 553.900
10.	Norma SAE JA1011	1	\$ 220.926	\$ 220.926
11.	Norma SAE JA1012	1	\$ 220.926	\$ 220.926
12.	Norma ISO 14224	1	\$ 577.701	\$ 577.701
TOTAL				\$ 2.476.904

Tabla 4. Presupuesto Insumos. Fuente: El Autor

Presupuesto Total Proyecto		
Ítem	Centro de Costo	Costo
1.	Mano de Obra	\$ 2.354.780,78
2.	Insumos	\$ 2.476.904,03
TOTAL		\$ 4.831.684,81

Tabla 5. Presupuesto Total del Proyecto. Fuente: El Autor

7. Bibliografía

- [1] UZCÁTEGUI, Jessica. VARELA, Andrónico. Et all. “*Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC*”. Universidad Experimental del Táchira. San Cristóbal. Venezuela. 2015
- [2] PRAT, Miquel. “*Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora digital industrial*”. Ingeniería técnica industrial, especialidad electricidad. Ctaluña, España, 2015
- [3] GONZALES, Ever. “*Diseño de la estrategia de m,antenimiento basada en la confiabilidad RCM-MSG3 para la maquina llenadora HKS-DELTA 77/20, pasteurizadora-KHSPIIS 55-120 serie 296 y etiquetadora TOPMATIC K071-118 “56.9.8” de la linea de salon de envase de la cerveceria Bavaria S.A. ubicada en Bucaramang*”. Universidad pontificia Bolibariana. Facultad de ingenieria mecanica. Bucaramanga 2009.
- [4] MATOS Q, Tamanaco J, Torres, Junior J. 2*Diseño e implantación de programas de mantenimiento usando técnicas de confiabilidad operacional mediante la administración del SAP*”. Universidad Central de Venezuela. Caracas 2004.
- [5] REYES, Ruber. “*Diseño de un modelo de mantenimiento preventivo para los equipos eléctricos de laminación barra*”. Universidad Simón Bolívar, Decanatura de estudios de postgrado. Venezuela. Octubre 2007.
- [6] MARCANO, Manuel. “*Implementación de un sistema de mantenimiento en productos EFE S.A, Planta Chaca*”. Universidad Simón Bolívar, Decanatura de estudios de postgrado. Venezuela. Octubre 2012.
- [7] MARROQUÍN, Uber. “*Programa de mantenimiento de la planta freskaleche, ubicada en el municipio de Aguachica Cesar*”. Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de ingenierías, Ocaña, 2016
- [8] RAMIREZ, Jhon. “*Metodología para optimizar estrategias de mantenimiento en el área de molienda de INCAUCA S.A*”. Universidad de occidente. Facultad de ingeniería. Cali, Colombia. 2012.

- [9] RODRIGUEZ, Manuel. *“Implementación de mantenimiento predictivo en la planta de cogeneración IPS”*. Universidad autónoma de occidente. Facultad ingeniería. Departamento ingeniería mecánica. Santiago Cali. Colombia. 2009.
- [10] Ficha Técnica de la Atracción X-treme. Parque Mundo Aventura. Bogotá DC. Colombia 1991.
- [11] PICO, Edith. *“Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la inyectora de poliuretano de la empresa calzado Marcia - Buffalo industrial”*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato. Ecuador. 2016.
- [12] R. Barahona, *“Plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos del ICE”*. UCI, San José, Costa Rica, Marzo 2010.
- [13] “RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Tomado de www.gestiopolis.com/rcm-mantenimientocentrado-en-confiabilidad/. Consultado el día 30 de Marzo de 2017.
- [14] R. Andogoya. ”Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) del Autotransformador de Pomasqui”. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2005.
- [15] ROMERO, Angélica. JOLIANIS, Liliana. “Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el sistema Eléctrico de Baja Tensión que suministra energía a los pozos productores pertenecientes a la superintendencia de operaciones de Mares – Gerencia Regional de Magdalena Medio – Ecopetrol S.A.”. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia. 2011.
- [16] C. Quinteros, J. Razzo, M. Solórzano y G. Rubio. “Análisis y Diseño de un modelo experimental de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el sector Industrial”. ESPOL, Guayaquil.
- [17] C. Burga. “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de motores a gas de dos tiempo en pozos de alta producción”. PUCP, Lima, 2010.
- [18] El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. Tomado de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope> , consultada el día 01 de Abril de 2017.
- [19] “Metodología Análisis de Criticidad (AC)”, tomado de la página prendizaje.virtual@pemex.com , consultado el día 05 de Abril de 2017.
- [20] El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. Tomado de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope> , consultada el día 01 de Abril de 2017.