

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA
EL ANÁLISIS INDIVIDUAL DE SISTEMAS MECÁNICOS SIGUIENDO
EL ENFOQUE DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

JONATHAN ELIAS MITCHEL MORENO

ANGEL LEONARDO RIOS BARRERA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA
EL ANÁLISIS INDIVIDUAL DE SISTEMAS MECÁNICOS SIGUIENDO
EL ENFOQUE DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

JONATHAN ELIAS MITCHEL MORENO

ANGEL LEONARDO RIOS BARRERA

**Plan de proyecto para optar al
TITULO DE INGENIERO MECANICO**

Director

CARLOS BORRÁS PINILLA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Esta meta que he alcanzado el día de hoy ha sido gracias a mi mamá, que siempre confió en mí, estoy seguro que sin ella no hubiera podido terminar mis estudios y a mi papá que siempre estuvo presente en el tiempo que más lo necesite.

ANGEL LEONARDO RIOS BARRERA

Con todo mi cariño quiero exaltar a mi mamá y dedicarle este logro como el primer fruto de sus esfuerzos, sin ella no sería el ser humano que soy hoy, también dedico este logro a mi papá y a mis hermanos, por apoyarme y ser una inspiración para mí en los momentos más difíciles.

JONATHAN ELIAS MITCHELL MORENO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan profundos agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por formarnos como profesionales íntegros y ser el pilar fundamental de conocimiento para esta etapa que culmina en nuestras vidas.

Al ingeniero Carlos Borrás Pinilla por sus oportunos consejos, orientaciones y la confianza brindada en el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Luis Angel Ríos por su asesoría en el desarrollo de este proyecto.

A la ingeniera Camila Calderón por la motivación que nos inspiró y los consejos que nos brindó desde su experiencia.

A todos aquellos amigos que han estado presentes en los buenos y malos momentos, o simplemente complementando nuestra alegría con la suya en momentos como este.

A nuestros familiares, fuentes de infinita inspiración y cálida compañía, seres indispensables a la hora de alcanzar grandes metas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	23
2.1. OBJETIVO GENERAL	23
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. MARCO CONTEXTUAL	25
3.1. ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.....	25
3.2. UBICACIÓN	27
3.3. MISIÓN	27
3.4. VISIÓN.....	28
3.5. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	28
3.6. CÁTEDRA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.	29
3.6.1. Objetivo de la materia.....	29
3.6.2. Contenido de la materia.	30
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	36
4.1. DEFINICIÓN.	36
4.2. HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.	37
4.2.1. La primera generación.....	37
4.2.2. La segunda generación.	37
4.2.3. La tercera generación.....	38
4.2.4. Nueva Investigación.	41
4.2.5. Nuevas Técnicas.....	42
4.3. DEFINICIÓN DE RCM.	42
4.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA RCM.	43

4.4.1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	44
4.4.2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?	50
4.4.3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?	52
4.4.4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?	56
4.4.5. ¿En qué sentido es importante cada falla?	60
4.4.6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?.....	61
4.4.7 ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?.....	62
4.5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO.	62
4.5.1. MTBF.....	63
4.5.2. MTTR	64
4.5.3. Confiabilidad y Disponibilidad.....	65
4.5.4. Mantenibilidad.	67
4.6. DISPONIBILIDAD.	69
4.6.1. Modelo universal para pronosticar indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (cmd).....	71
4.7. CONFIABILIDAD	90
4.7.1 Probabilidad	91
4.7.2. Desempeño satisfactorio	92
4.7.3. Período.....	92
4.7.4. Condiciones de operación	93
4.8. MANTENIBILIDAD	93
5. NORMAS ISO 14224, SAE JA1012 Y NORSOK Z-008.....	96
5.1. NORSOK STANDARD Z-008	96
5.1.1. Referencias normativas.....	98
5.1.2. Generalidades de la norma.	99
5.1.3. Jerarquía funcional y análisis de criticidad.	100
5.2. NORMA ISO 14224.....	103
5.2.1. FMEA.	104
5.2.2. Consideración sobre FMEA.....	105

5.3. ESTRUCTURACIÓN DE JERARQUÍAS ISO 14224.....	105
6. ESTRUCTURA Y MEDOLOGIA DE LA HERRAMIENTA INFORMATICA.....	109
6.1. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	110
6.2. FUNCIONES Y MODOS DE FALLA.....	111
6.3. CONFIBILIDAD.....	115
6.4. DISPONIBILIDAD.....	117
6.5. MANTENIBILIDAD.....	118
6.6. BASE DE DATOS.....	120
7. CASO DE ESTUDIO.....	121
7.1. DESCRIPCION.....	121
7.2. ETAPAS DEL PROCESO.....	122
7.2.1. Transporte.....	123
7.2.2. Molino.....	123
7.2.3. Tamizado y almacenamiento i.....	124
7.2.4. Bombeo.....	125
7.2.5. Separación y almacenamiento ii.....	126
7.3. CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO.....	126
7.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	139
7.4.1. Introduciendo sistemas, subsistemas e ítems.....	139
7.4.2. Reportando fallas.....	141
7.4.3. Reportando reparaciones.....	142
7.4.4. Generación de hoja de funciones.....	143
7.4.5. Generación de hoja de decisiones.....	144
7.4.6. Generación informe de confiabilidad.....	145
8. CONCLUSIONES.....	146
9. RECOMENDACIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	148
ANEXOS.....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Herramientas de computación	22
Figura 2. Escuela de Ingeniería Mecánica	25
Figura 3. Estructura organizacional de la Escuela de Ingeniería Mecánica	28
Figura 4. Crecientes expectativas del mantenimiento.....	39
Figura 5. Técnicas cambiantes de mantenimiento	41
Figura 6. Cómo se debe escribir la función de un activo	45
Figura 7. Margen de deterioro.....	46
Figura 8. Composición del contexto operacional	48
Figura 9. Definición de funciones secundarias.....	49
Figura 10. Pantalla de información de RCM	52
Figura 11. Modos de falla de una bomba	53
Figura 12. Capacidad Decreciente.....	54
Figura 13. Aumento del esfuerzo aplicado.....	55
Figura 14. Capacidad Inicial.....	56
Figura 15. Efectos de falla	57
Figura 16. Comenzar a un nivel Bajo.....	58
Figura 17. Comenzando Desde Arriba.....	59
Figura 18. Importancia de la Falla.....	60
Figura 19. Tareas de mantenimiento	61
Figura 20. Tiempos importantes, siglas y demás convecciones que se usan en la medición y predicción CMD.	69
Figura 21. Primera etapa de datos para la predicción CMD	71
Figura 22. Segunda etapa selección de disponibilidad a usar en predicción CMD.	74
Figura 23. Tercera etapa de parametrización y alineación de Weibull, o de uso de MLE.	75
Figura 24. Cuarta etapa de validación de ajuste bondad de Weibull o búsqueda de otra función.	76
Figura 25. Quinta etapa	77
Figura 26. Sexta etapa de cálculos, predicciones y estrategias CMD.	78
Figura 27. Ejemplos de disponibilidades.....	88
Figura 28. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y la disponibilidad.	89
Figura 29. Relaciones y leyes que gobiernan un sistema de mantenimiento.....	90
Figura 30. Descripción de CMD en el tiempo, funciones y responsabilidades.....	95

Figura 31. Diagrama de procesos, estructura funcional y análisis de criticidad ..	100
Figura 32. Diagrama de flujo de adquisición de datos	110
Figura 33. Diagrama de flujo de Serie, Paralelo y Mixto	111
Figura 34. Diagrama de flujo de falla funcional	112
Figura 35. Diagrama de flujo de reparaciones y tareas recomendadas.	113
Figura 36. Diagrama de flujo de hoja de funciones y decisiones.	114
Figura 37. Diagrama de flujo grafica de historial de ítem.	115
Figura 38. Diagrama de flujo de confiabilidad.	116
Figura 39. Diagrama de flujo de disponibilidad.	117
Figura 40. Diagrama de flujo de mantenibilidad.	118
Figura 41. Ejemplo de informe de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad	119
Figura 42. Sistema dbms usado para almacenar y procesar la información del rcm	120
Figura 43. Esquema de proceso de molienda.....	121
Figura 44. Banda transportadora de rocas.....	123
Figura 45. Molino SAG.....	124
Figura 46. Harneros y estanque.....	124
Figura 47. Bombas en paralelo	125
Figura 48. Hidrociclón y Acumulador	126
Figura 49. Introducción de sistemas, subsistemas e ítems	139
Figura 50. Visualización del sistema global	140
Figura 51. Disposición serie o paralelo	140
Figura 52. Introducción de fallas	141
Figura 53. Reporte de reparaciones	142
Figura 54. Hoja de funciones	143
Figura 55. Hoja de decisiones.....	144
Figura 56. Informe de confiabilidad.....	145

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Software de RCM disponibles en el mercado	20
Tabla 2. Programas ofrecidos por la Escuela de Ingeniería Mecánica	27
Tabla 3. Contenidos cátedra de ingeniería de mantenimiento	30
Tabla 4. Referencia Normativas NORSOK Z-008.....	98
Tabla 5. Datos de los ítems mantenibles.	127
Tabla 6. Funciones de los ítems mantenibles.	128
Tabla 7. Historial de Banda transportadora.....	130
Tabla 8. Historial de Molino.....	131
Tabla 9. Historial de Harnero I	132
Tabla 10. Historial de Harnero II	133
Tabla 11. Historial de Estanque	134
Tabla 12. Historial de Bomba I.....	135
Tabla 13. Historial de Bomba II.....	136
Tabla 14. Historial de Hidrociclón	137
Tabla 15. Historial de Acumulador.	138

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. RECOMENDACIONES DE MODOS DE FALLA ISO 14224.....	150
ANEXO B. MANUAL DE USUARIO.....	167

RESUMEN

TÍTULO:

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS INDIVIDUAL DE SISTEMAS MECÁNICOS SIGUIENDO EL ENFOQUE DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM). *

AUTORES:

Jonathan Elias Mitchell Moreno.

Angel Leonardo Rios Barrera. **

PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento centrado en confiabilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo principal de este trabajo de grado es desarrollar una herramienta computacional de mantenimiento centrado en confiabilidad para uso académico con el fin complementar los contenidos de la asignatura de ingeniería de mantenimiento en la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Se resalta la importancia de esta herramienta en el proceso de aprendizaje como un complemento de los componentes prácticos en la formación del conocimiento.

La importancia de la normatividad en el campo de la ingeniería a nivel mundial conlleva a la implementación de las normas ISO 14224, SAE JA 1012 y NORSOK Z-008 en el desarrollo de esta herramienta computacional, la cual se denominó RCM-UIS por su aplicabilidad y actualmente se presenta como una versión 1.0.

Entre las funciones destacables de la herramienta computacional desarrollada se encuentran:

- Módulo de adquisición de información que almacena y organiza jerárquicamente, de acuerdo a las normativas actuales, los activos que posteriormente serán estudiados.
- Módulo de falla funcional que permite el reporte en detalle de cada falla presentada en el periodo de estudio.
- Módulo de reparaciones y tareas que permite el reporte de reparaciones para cada falla y la documentación respectiva de acuerdo a las tareas realizadas.
- Módulos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, para la visualización de índices de mantenimiento para un posterior mejoramiento de las tareas realizadas.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Carlos Borrás Pinilla

ABSTRACT

TITLE :

DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR INDIVIDUAL ANALYSIS OF MECHANICAL SYSTEMS FOLLOWING THE APPROACH OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) METHODOLOGY. *

AUTHORS:

Jonathan Mitchell Elias Moreno.

Angel Rios Leonardo Barrera. **

KEYWORDS :

Reliability Centered Maintenance , Reliability , Maintainability , Availability .

DESCRIPTION :

The main objective of this degree work is to develop a computational tool of reliability centered maintenance for academic use in order to complement the contents of the subject of maintenance engineering at the school of Mechanical Engineering, Industrial University of Santander. The importance of this tool is remarked in the learning process as a complement of practice components in the knowledge formation.

The importance of standards in the field of engineering worldwide leads to the implementation of ISO 14224 , SAE JA 1012 and NORSOK Z -008 standards in the development of this computational tool , which is called RCM -UIS by its applicability and is currently presented as a 1.0 version.

Notable features of the computational tool developed include:

- Acquisition module that stores and organizes information hierarchically, according to current regulations standards, the assets will be studied later.
- Functional failure module that enables detailed report of each failure presented in the study period.
- Module repairs and tasks to enable the reporting of repairs for each fault and the documentation according to the tasks performed.
- Modules Reliability, Maintainability and Availability for visualization index maintenance for further improvement of the work involved.

*Degree work

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering School, Engineer Carlos Borrás Pinilla.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se realizó en la Universidad Industrial de Santander y se desarrolla buscando complementar los contenidos en lo que concierne al mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la escuela de Ingeniería Mecánica, para lograrlo se ideó la herramienta RCM-UIS que propone una alternativa que introduce como componente teórico la filosofía de RCM y un componente práctico que consiste en la manipulación de la herramienta para dar solución a problemas en programas de mantenimiento ineficientes o en el diseño de un programa de mantenimiento apropiado de acuerdo a los contextos operacionales de los activos dentro del sistema global.

La herramienta desarrollada se programó en Visual Basic y almacena la información en una base de datos tipo DBMS ya que es práctica, los requerimientos mínimos de software y hardware y el proceso de instalación se especifican en un manual de usuario que se diseñó para todos aquellos que harán uso de esta herramienta.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el mantenimiento es una división muy importante dentro de las organizaciones y está cada vez más ligado a los cambios tecnológicos, posibilitando la competitividad de las empresas en el mundo globalizado.

En el mercado hay gran variedad de software que garantiza la confiabilidad, optimización y sistematización del servicio de mantenimiento; aplicaciones tales como R-mes, Raptor, Block Sim y Relex son un ejemplo de software que se encarga de hacer esto, lo que garantiza que a nivel de las organizaciones estos programas puedan ser comprados e implementados.

Para saber qué software garantiza la mejor opción en el momento de la selección de uno de ellos, es posible encontrar mucha información en la web, pero es cierto que los software anteriormente nombrados tienen ventajas en diversos campos, lo que los hace bastante específicos. Además, factores como flexibilidad en su programación, número de funciones que realiza e incluso su idioma garantizan la selección de uno u otro, dependiendo del contexto en el que van a ser usados. “Si se tienen claras las necesidades hay mayor probabilidad de encontrar el éxito en la búsqueda e implementación de un software”¹.

Cabe resaltar que actualmente la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander no cuenta con un programa de gestión de mantenimiento de uso académico, esta limitación dificulta el proceso de aprendizaje e investigación en el área de ingeniería de mantenimiento. Otro factor limitante está relacionado a la disponibilidad idiomática, pues la mayoría de estos

¹ CARMONA HERNÁNDEZ, Edith Carolina. *Selección de software de ingeniería de mantenimiento*. Universidad Técnica Federico Santamaría, Departamento de Industrias, Valparaíso, Chile, p. 9.

² Fuente: Vanguardia Liberal, Sábado 02 de Julio de 2011 Economía, local

software están en inglés y en promedio sólo un 6% de los bumangueses están certificados para trabajar en esta lengua extranjera².

Tabla 1. Software de RCM disponibles en el mercado

	<p>Maintenance Engineering System RMES</p> <p>Versión 4.1 Origen Chileno Empresa CGS Idioma Español, Inglés, Italiano, Web www.rmes.cl</p>
	<p>Raptor</p> <p>Descripción</p> <p>Versión 7.0 Origen Estados Unidos Empresa Arinc Idioma Inglés Web www.arinc.com</p>
	<p>Blocksim</p> <p>Descripción</p> <p>Versión 7.0.3 Origen Estados Unidos Empresa Reliasoft Idioma Inglés, alemán, portugués, chino Web www.reliasoft.com</p>
	<p>Relex</p> <p>Descripción</p> <p>Versión 2008 Origen Estados Unidos Empresa Relex Software Corporation Idioma Inglés, Chino Web www.relex.com</p>

Fuente: Selección de software de ingeniería de mantenimiento, página 3

Un factor fundamental para la capacitación de los ingenieros que venimos de la academia, es afrontar el mantenimiento apoyándose en un software, pues la

constante evolución de los tipos de mantenimiento así lo requiere. Esta opción se ve limitada por el precio de algunos de estos software, por ejemplo la licencia de R-mes cuesta, al día de la redacción de este texto, unos 6.400 dólares/año, lo que es un costo bastante elevado; esta alternativa propuesta permitiría también un ahorro en los recursos económicos de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

A través del tiempo el mantenimiento ha ocupado una parte importante en la industria de cualquier país, lo que ha llevado al desarrollo y experimentación de técnicas que hagan de ésta una labor rápida, segura y confiable. Una de estas técnicas es el mantenimiento centrado en confiabilidad, el cual genera informes constantes del estado de las máquinas y demás variables de importancia en la industria actual.

El uso del software de mantenimiento se ha implementado desde que la informática llegó a la industria, pero el software de mantenimiento centrado en confiabilidad está relegado a unas cuantas empresas que han desarrollado sus propias aplicaciones y las venden a las industrias. En la academia las cosas no son iguales, y acceder a uno de estos programas puede ser complicado por razones burocráticas. Por ello es necesario que los ingenieros mecánicos egresados de la UIS tengan competencias en este tipo de aplicaciones.

Con la ayuda de un software académico, basado en una infraestructura de acceso libre, podemos llevar este tipo de competencia a los ingenieros mecánicos de la UIS, y se hace importante resaltar esto ya que hoy en día la escuela no cuenta con un software que se encargue de este tema en la clase de ingeniería de mantenimiento. Este software académico sería idóneo para la enseñanza de esta asignatura.

La posesión de una herramienta RCM en la escuela complementaría el plan de estudios de Ingeniería Mecánica en los aspectos relacionados a los tipos de

mantenimiento en la industria moderna, y puede representar una motivación para que los egresados de la escuela ingresen a la especialización de Gerencia en Mantenimiento cuyas cátedras se dictan en el campus universitario.

Figura 1. Herramientas de computación



Fuente:<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/salud/escuelas/medicina/programasAcademicos/maestriaCienciasBasicasBiomedicas/calendario.jsp>

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander en la construcción, aplicación y divulgación de conocimientos teniendo una participación activa en la formación de profesionales íntegros con altas competencias, mediante el desarrollo de una herramienta computacional de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para fomentar la investigación y desarrollar las competencias en los estudiantes de Ingeniería Mecánica en el área de la ingeniería de mantenimiento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer una revisión del estado del arte en mantenimiento centrado en confiabilidad de activos siguiendo los lineamientos de las normas SAE JA1012, NORSOK Z-008 y la ISO 14224.

- Diseñar un programa de mantenimiento RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) en un lenguaje de programación orientado a objetos, para uso académico que permita:
 - Incluir sistemas y subsistemas (serie, paralelo y mixto) para el tratamiento de la confiabilidad de los procesos y los activos en el programa.

- Generar plantillas de funciones y modos de falla.
- Calcular los indicadores tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de recuperación (MTTR).
- Generar gráficos e informes de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.
- Generar hojas de decisiones para programa de mantenimiento.

3. MARCO CONTEXTUAL

3.1. ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Figura 2. Escuela de Ingeniería Mecánica



Fuente: <http://mecanicaxserver.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S100>

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander inició actividades con la fundación de la institución en 1948, constituyéndose en el primer programa de formación profesional en esta disciplina de la ingeniería ofrecido por una universidad colombiana. En consecuencia, acumula más de 60 años de vigencia ininterrumpida, durante los cuales ha realizado importantes aportes en la consolidación de la industria nacional, incorporando los resultados de la investigación científica y tecnológica en las múltiples áreas de su desarrollo específico, y entregando al país miles de profesionales formados en la rigurosa disciplina del método científico. Por lo anterior, el programa ha contado con el

reconocimiento permanente de otras instituciones que ofrecen en Colombia este mismo tipo de formación profesional, y no en pocas ocasiones ha servido como modelo para la concepción y diseño curricular de los mismos.²

Como cualquier otra dependencia de la Universidad Industrial de Santander es importante mencionar que cuenta con una estructura organizacional la cual está enfocada a garantizar la calidad de los programas y servicios que ofrece la Escuela de Ingeniería Mecánica a sus estudiantes.

La Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con 4 grupos de investigación y extensión, los cuales se encargan de cumplir uno de los objetivos que se encuentran en la misión de la escuela: estar a la vanguardia de las nuevas tecnologías y las necesidades de la industria.

Los grupos de investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica son:

- Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales
- Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente (GIEMA)
- Grupo de Investigación en Diseño y Procesos de Manufactura
- Centro de Investigaciones en Sistemas Dinámicos Multifísicos, Control y Robótica - DicBot.

Como la escuela también cuenta con distintos programas para contribuir al cumplimiento de la misión institucional, estos programas se encargan de complementar los conocimientos y hacer que nuestros egresados sean más competitivos en el momento de enfrentarse a la industria o a la investigación científica.

Los programas ofrecidos por la Escuela de Ingeniería Mecánica son:

²

<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/ingenieriaMecanica/presentacion.jsp>

Tabla 2. Programas ofrecidos por la Escuela de Ingeniería Mecánica

Programas de pregrado	
Ingeniería Mecánica	
Programa de posgrado	
Maestría en ingeniería Mecánica	Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Programa de extensión	
Diplomado en proyectos de Climatización	

3.2. UBICACIÓN

La escuela se encuentra ubicada en el interior de la Universidad Industrial de Santander, más exactamente en la carrera 27, con calle 9, Ciudad Universitaria, en Bucaramanga (Santander).

3.3. MISIÓN

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander tiene como propósito la formación de ingenieros mecánicos con alta calidad humana, ética, política, técnica y científica; la construcción, aplicación y divulgación de conocimiento; el desarrollo y transferencia de tecnologías; la promoción de una cultura orientada al aprovechamiento racional de la energía y la

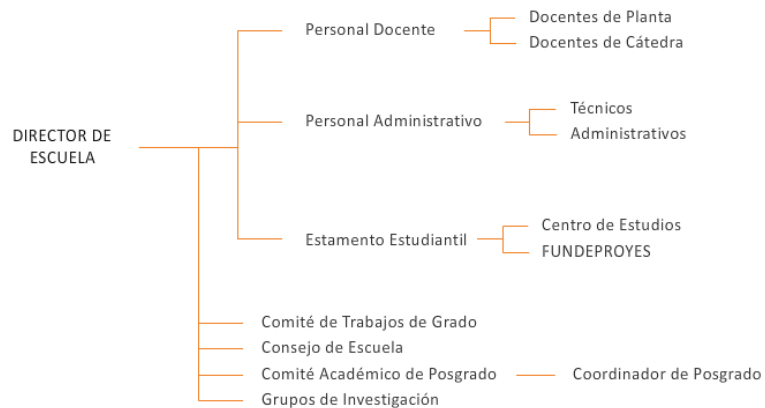
conservación de los recursos naturales; el fomento del espíritu emprendedor, y la interacción con la comunidad.³

3.4. VISIÓN

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander será líder en la formación integral de ingenieros mecánicos con amplia dimensión humanista, científica, técnica, política, ética, social y ecológica.⁴

3.5. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 3. Estructura organizacional de la Escuela de Ingeniería Mecánica



Fuente:

<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/ingenieriaMecanica/estructuraOrganizacional.html>

³<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/ingenieriaMecanica/presentacion.jsp>

⁴<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/ingenieriaMecanica/presentacion.jsp>

3.6. CÁTEDRA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.

La asignatura de ingeniería de mantenimiento es requisito para optar al título de ingeniero mecánico, otorgado por la escuela; es una cátedra que se dicta en octavo nivel del pregrado y actualmente es dictada por los siguientes profesores:

- Ingeniero Carlos Borrás Pinilla
- Augusto Gómez Martínez

3.6.1. Objetivo de la materia

- Preparar a los participantes en la conceptualización filosófica del mantenimiento. Sus Objetivos; su Organización, Administración y formas de Gestión y Control del Mantenimiento de Calidad.
- Crear en los participantes, actitudes positivas sobre la importancia del mantenimiento para lograr los fines institucionales de toda empresa.
- Crear conciencia sobre la importancia de la interdisciplinariedad y el trabajo mancomunado de todas las personas de la empresa en las actividades del mantenimiento; para lograr los fines institucionales, en armonía interior, con la sociedad y el medio ambiente.
- Demostrar, con argumentación científica, que la ingeniería de mantenimiento es el área fuerte para sostener una alta competitividad de las empresas del sector productivo en tanto el objetivo principal del mantenimiento es la producción.
- Demostrar en el terreno práctico que la Universidad puede coadyuvar al desarrollo de la Ingeniería del Mantenimiento a través de sus programas de relación Universidad-Comunidad, por medio de la estructuración de su currículo.

3.6.2. Contenido de la materia.

Tabla 3. Contenidos cátedra de ingeniería de mantenimiento

1. Generalidades del mantenimiento
1.1. Definiciones, Generalidades y criterios sobre mantener bien
1.2. Breve análisis sobre la Evolución Histórica del mantenimiento
1.3. Los conceptos de Ingeniería de Fábricas e Ingeniería de Mantenimiento
1.4. Significado económico del mantenimiento y su importancia para la competitividad empresarial
1.5. Consecuencias de la Falta de Mantenimiento
1.6. El Análisis ABC en el mantenimiento. Diagrama de Pareto
1.7. Términos comúnmente utilizados en el mantenimiento
2. Organización y administración general del mantenimiento
2.1. Diferenciación entre los conceptos de organización, administración y Gestión
2.2. El concepto de Empresa, Principios e Ideología
2.3. Outsourcing y el negocio del mantenimiento.
2.4. La Estructura Organizacional de la Empresa
2.5. La posición del Mantenimiento en la estructura organizacional de la Empresa. Criterios Técnico-Económicos
2.6. La estructura Organizacional del Mantenimiento
2.7. El Mantenimiento y sus relaciones con el entorno interno externo. Particularidades de sus relaciones con las demás dependencias de la Empresa
2.8. Los conceptos de Autoridad y Responsabilidad. Autoridad Epistemológica; Autoridad Deontológico
Funciones y Actividades del mantenimiento

2.10. Recursos Humanos para el Mantenimiento y el concepto de Potencial Humano
3. Modos de gestión del mantenimiento
3.1. El concepto de Gestión
3.2. El enfoque Sistémico y el enfoque Analítico
3.3. La Inspección en mantenimiento, La Inspección Humana; la Inspección instrumental
3.4. Mantenimiento Correctivo
3.5. El Mantenimiento con Ingeniería de Proyectos
3.6. Mantenimiento Programado y los Grandes Mantenimientos
3.7. Mantenimiento Preventivo
3.7.1. Filosofía del Mantenimiento Preventivo
3.7.2. Justificaciones, Razones y Beneficios del Mantenimiento Preventivo
3.7.3. Cómo iniciar un Programa de Mantenimiento Preventivo
3.7.4. Pasos a seguir en el Desarrollo del Programa de Mantenimiento Preventivo
3.7.5. Evaluación del Programa de Mantenimiento Preventivo
3.7.6. Otros programas: Lubricación, Limpieza, Pintura, Ajustes y Calibración, Apriete de Tuercas y Tornillos
3.7.7. La Investigación en el mantenimiento
3.8. Mantenimiento Predictivo
3.8.1. Principios
3.8.2. Relación con el Mantenimiento Preventivo
3.8.3. Tecnologías más importantes
3.9. Mantenimiento Productivo Total
3.9.1. Pilares fundamentales contextualización
3.9.2. Eficiencia global de producción

3.10. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
4. Indicadores de gestión del mantenimiento
4.1. Concepto y Función de los Indicadores de Gestión
4.2. Análisis de prioridades en las actividades del Mantenimiento
4.3. La Confiabilidad en el Mantenimiento. Cálculo y aplicación
4.4. La Disponibilidad de Maquinaria y Equipos. Cálculo y aplicación
4.5. La Mantenibilidad. Su previsión desde el Diseño. Cálculo y aplicación
4.6. Concepto de Volumen de Mantenimiento. Volumen óptimo. Cálculos y aplicación
4.7. Ciclo de Vida Económico y otros Indicadores
4.8. Otros indicadores de gestión
5. Sistemas de información para el mantenimiento
5.1. Teoría del Sistema de Información
5.2. Sistema manual de información para el mantenimiento
5.3. Sistema automatizado
5.3.1. Los Computadores en el Mantenimiento
5.3.2. Formas de Implementar los Sistemas Informáticos en Mantenimiento
5.4. Elementos del sistema de información
5.4.1. Registro de equipos. Ficha Técnica
5.4.2. Códigos de Mantenimiento
5.4.3. El Mantenimiento Básico
5.4.4. Cuadros de inspecciones, registros y reportes
5.4.5. Repuestos críticos
5.4.6. La Hoja de Vida

5.4.7. De la Solicitud de Servicio a la Orden de Trabajo
5.4.8. La Tarjeta de Costos por Máquina y el registro de los costos de mantenimiento
5.4.9 Los listados de fallas, causales y remedios
5.4.10. De los índices de equipos al programa de Mantenimiento
5.4.11. De los tableros de programación y Control
5.4.12. Los Manuales de mantenimiento
5.4.13. Los Indicadores de Gestión y otros elementos en el Sistema de Información
5.5. Gestión de Repuestos
5.5.1 Materiales, repuestos e insumos
5.5.2 Problemas sobre repuestos
5.5.3 Almacenamiento de repuestos especiales
5.5.4 Tipos de Repuestos
5.5.5 Repuestos críticos
5.5.6 Codificación de repuestos
5.5.7 Control de inventarios
5.5.8 Niveles de Existencias y criterios de Aprovisionamiento
5.5.9 Repuestos Reparables
6. Planeación y control del mantenimiento
6.1. Métodos de Planificación e Importancia de la Planeación en el Mantenimiento
6.2. La Planeación Estratégica en el Mantenimiento
6.3. Principios en la Planificación de los trabajos de Mantenimiento
6.4. La Orden de Trabajo y demás Instrumentos Administrativos en la Planeación del Mantenimiento
6.5. Objetivos e Instrumentos del Control

6.6. El Control como Retroalimentación de la Planeación del Mantenimiento
6.7. Herramientas para la programación de los trabajos de mantenimiento: Software
7. Análisis de fallas
7.1. Análisis de daños en las máquinas
7.2. Morfología y Apariencia de los daños en elementos de máquinas
7.3. Principales causas de daño de las máquinas:
7.3.1. Fatiga
7.3.2. Termofluencia
7.3.3. Corrosión
7.4. El registro de los Daños en el Sistema de información
7.5. Metodologías de Análisis de Fallas:
7.5.1. Método de Causa-Efecto. Espina de Pescado
7.5.2. Método del árbol Lógico
7.5.3. Ordinograma
7.6. Aseguramiento de las máquinas
8. Aplicaciones sobre mantenimiento de sistemas mecánicos
8.1. Transmisiones Mecánicas de potencia: Flexibles, Rígidas y Automáticas
8.2. Bombas
8.3. Compresores
8.4. Intercambiadores de Calor
8.5. Sistemas Eléctricos
8.6. Sistemas Hidráulicos
8.7. Instrumentación tecnológica para inspección de equipos

8.8 Turbinas de vapor y a gas
8.9 Calderas
8.10 Dispositivos de control ambiental
8.11 Lubricantes
8.11.1 Sistemas de Lubricación
8.11.2 Programas de Lubricación
9. Pasantías estudiantiles en la función mantenimiento
9.1. Primera fase
9.1.1. Conocimiento de la actividad y objetivos de la empresa
9.1.2. Estudio de la organización y su estructura funcional
9.1.3. Análisis de la estructura organizacional del mantenimiento y su ubicación en la estructura de la empresa
9.1.4. Identificar: las políticas, criterios y filosofía del mantenimiento que rigen en la empresa
9.1.5. Estudiar las diferentes dependencias de la empresa: Recursos Humanos, funciones y actividades principales
9.1.6. Descripción técnica de la maquinaria y equipo de producción y servicios
9.2 Segunda fase
9.2.1. Estudiar a fondo los elementos del sistema de información para el mantenimiento, coadyuvando en su mejoramiento, de conformidad con las políticas de la empresa al respecto
9.2.2. Elaborar proyectos específicos en beneficio de la organización de mantenimiento.
9.2.3. Planear y presentar en forma coherente, nuevos proyectos de mantenimiento para la empresa
9.2.4. Elaborar junto con los directores del mantenimiento, un programa de pasantes a corto y mediano plazo

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se hace la recopilación necesaria de toda la información científica para el desarrollo de este proyecto, que es el sustento teórico que será implementado en la herramienta informática, con el propósito de ser usada en la cátedra de mantenimiento.

4.1. DEFINICIÓN.⁵

Los diccionarios más importantes definen mantener como: “*Causar que continúe (Oxford)*”. “*Conservar algo en su ser (RAE)*”. “*Conservar su estado existente (Webster)*”. Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo. Por otro lado, están de acuerdo con que modificar algo significa cambiarlo de alguna manera. Esta diferencia entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que se discutirán con detenimiento en los capítulos siguientes. De cualquier manera, en este momento nos centralizamos en mantenimiento.

***Mantenimiento: asegurar que los activos
físicos continúen haciendo lo que
sus usuarios quieren que hagan.***

⁵ MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II. 2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 6-7

4.2. HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.⁶

4.2.1. La primera generación.

La primera generación cubre el periodo hasta la Segunda Guerra Mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mayoría de los gerentes y manejadores de la industria. Al mismo tiempo, la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar.

Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora.

4.2.2. La segunda generación.

Todo cambió dramáticamente desde la Segunda Guerra Mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevó a una mayor mecanización. Para 1950 las maquinarias de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad. La industria estaba comenzando a depender de ellas.

A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de *mantenimiento preventivo*. En

⁶ MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II. 2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 6-9

1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se realizaba en intervalos fijos.

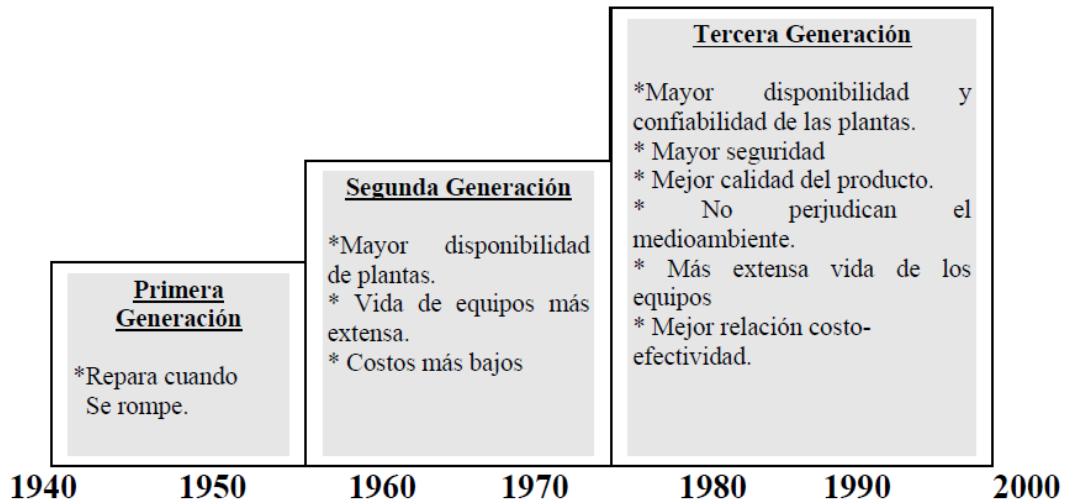
El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto propició el crecimiento de la *planificación de mantenimiento y programas de control*. Estos fueron una enorme contribución para comenzar a controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste.

Finalmente, la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, condujo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

4.2.3. La tercera generación.

Desde mediados de 1970 el proceso de cambio en la industria ha conjugado un *momentum* aún mayor. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de *nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas*.

Figura 4. Crecientes expectativas del mantenimiento.



Fuente: MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II. 2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 3

El tiempo de inactividad afecta la capacidad productiva de los bienes físicos, reduciendo su rendimiento, incrementando los costos operativos y afectando el servicio al cliente. Esto ya era un problema de gran envergadura en 1960 y 1970, que perjudicaba a los sectores fabriles, mineros y de transporte. Los efectos de la inactividad se agravan aún más por la tendencia mundial a adoptar sistemas de exactitud, donde al reducirse la cantidad de material a través de la cadena de provisión, trae aparejado el hecho de que un número mínimo de fallas tienden a interferir con la operación general de la planta. Recientemente, el crecimiento de la mecanización y automatización trajo aparejado que la *garantía* de funcionamiento y disponibilidad se conviertan en planteamientos claves en sectores tan diversos como cuidado de la salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y administración de edificios.

Una mayor automatización significa también que cada vez más fallas afectan nuestra capacidad de mantener los *estándares elevados de calidad*. Esto se aplica tanto a los servicios como a la calidad del producto. Por ejemplo, las fallas en equipos pueden afectar la climatización imprescindible en edificios, y la puntualidad de las redes de transportes puede ser clave en el cumplimiento de fechas específicas de fabricación.

Estas fallas tienen serias consecuencias *medioambientales* y de *seguridad*, en una época cuando los estándares en estos aspectos son cada vez más elevados. En algunos sectores del mundo se está llegando al punto donde una organización tiene que garantizar la seguridad de la sociedad y el medioambiente, o en su defecto debe dejar de operar. Esto agrega aún más a la magnitud de nuestra dependencia en la integridad de nuestros bienes físicos: hace que esto vaya más allá de los costos y se convierta simplemente en una cuestión de supervivencia organizacional.

Al mismo tiempo que nuestra dependencia en los bienes materiales está creciendo, también se incrementan sus costos *de operación* y *de adquisición*. Para asegurar el máximo retorno en la inversión que ellos representan, debemos lograr que trabajen eficientemente durante la vida útil que nosotros esperamos tengan. Finalmente, *el costo de mantenimiento en sí mismo* está también aumentando, en forma equitativa y como una proporción de los gastos generales.

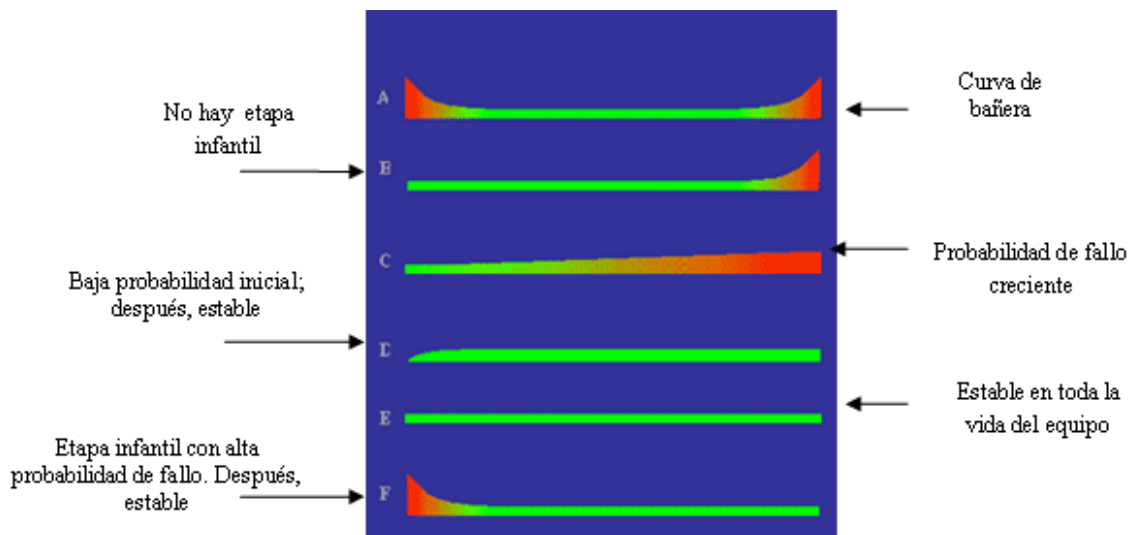
Para algunas industrias, este representa el segundo o hasta inclusive el mayor gasto entre los costos operativos. Como consecuencia, en los últimos treinta años se posicionó, desde el lugar prácticamente sin la importancia que ocupaba, hasta formar hoy en día parte de las prioridades de los sistemas de control de costos.

4.2.4. Nueva Investigación.

Difiriendo con expectativas mayores, las nuevas investigaciones están modificando muchos de nuestros principios más arraigados sobre la relación entre antigüedad y fallas. En particular, hay aparentemente cada vez una menor conexión entre la edad operativa de la mayoría de los bienes y que están propensos son a fallar.

La figura 5, muestra cómo las primeras apreciaciones sobre las fallas estaban totalmente basadas en el principio de que a medida de que los bienes envejecen, tiene una mayor tendencia a fallar. La advertencia creciente de “mortalidad infantil” llevó a que se expandiera la idea de la Segunda Generación en la curva de “la bañera”.

Figura 5. Técnicas cambiantes de mantenimiento



Fuente: <http://modelomantenimiento.wikispaces.com/>

Sin embargo, las investigaciones de la tercera generación revelaron que no uno o dos, sino seis modos de fallas ocurren durante la práctica. Como se discute más detalladamente adelante en este capítulo, una de las conclusiones más importantes que emergen de este estudio es el convencimiento de que, aunque se halla hecho exactamente lo planeado, un enorme número de las operaciones tradicionales de mantenimiento no llevan a absolutamente nada, mientras que otras son activamente contraproducentes y hasta peligrosas. Esto es particularmente verídico en muchas acciones realizadas bajo nombre de mantenimiento preventivo. Por otro lado, muchas tareas de mantenimiento, que son esenciales para la operación segura de sistemas industriales modernos y complejos, no figuran en los programas asociados de mantenimiento. En otras palabras: la industria, en general, está poniendo una gran atención en realizar los trabajos de mantenimiento en forma correcta (hacer correctamente el trabajo), pero se necesita hacer mucho más para asegurar que los trabajos planificados, son los trabajos que deben realizarse (hacer el trabajo correcto).

4.2.5. Nuevas Técnicas.

Hubo un crecimiento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Se desarrollaron cientos de ellos en los últimos 20 años y cada semana emergen nuevos.

4.3. DEFINICIÓN DE RCM.

Según John Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es “un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo

físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.⁷

También podemos ver que las sociedades de estudio en ingeniería tienen su propio significado, como por ejemplo: La SAE lo define como “un proceso específico usado para identificar políticas, las cuales tienen que ser implementadas para manejar modos de fallas los cuales pueden causar la pérdida de la función de cualquier activo físico en el contexto operacional dado”.⁸

Otro autor como Anthony R. Smith dice que es “una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas del mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de falla de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones”.⁹

4.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA RCM.

La teoría básica del RCM se fundamenta en la formulación de 7 Preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar.

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

⁷ **MOUBRAY, John Mitchell.** Mantenimiento Centrado en confiabilidad II. 2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 7

⁸ “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)”, (SAE JAE1011), Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, USA.

⁹ **SMITH, Anthony.** Reliability Centered Maintenance, citado por VALENCIA, Guillermo. Plan piloto MCC como herramienta que ayuda a garantizar los indicadores de calidad marcados por la regulación Colombiana. Medellín, 2001. p.13

- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

En las subsecciones siguientes se explica en detalle cada una de las preguntas mencionadas anteriormente.

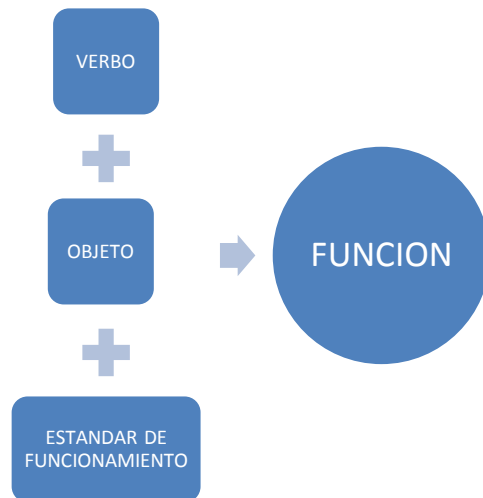
4.4.1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

Antes de iniciar un proceso de estudio para mantenimiento es necesario saber en detalle cuáles son los límites y alcances de desempeño que se esperan del activo cuando se encuentra en correcto funcionamiento.

Cuando se refiere a la primera pregunta de RCM se define la función del activo, es decir que espera el usuario del activo; con ello la descripción completa de una función consiste de un objeto, verbo y nivel de desempeño deseado por el usuario, por ejemplo, la función primaria de la bomba se detallaría como: “impulsar agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto”.

Cuando se hace la descripción de la función de un activo el nivel de desempeño es una variable muy importante a la hora de la formulación de la oración; por ello se debe definir un estándar mínimo de desempeño.

Figura 6. Cómo se debe escribir la función de un activo



4.4.1.1. Estándar mínimo de funcionamiento.

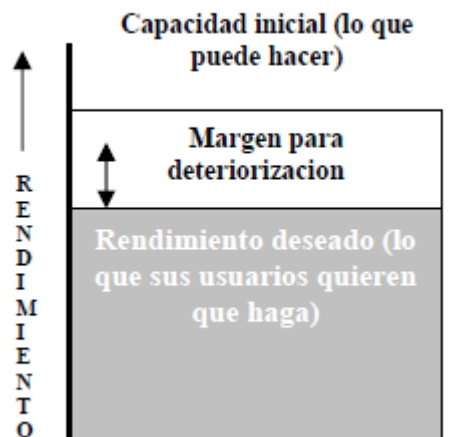
La existencia de un activo está relacionado con una o varias funciones que se desean dicho activo realice. Es necesario, entonces, conocer cuándo el activo está realizando correctamente las funciones para las cuales éste fue diseñado. Una tendencia natural de las cosas es el deterioro debido a sobrecarga, fatiga y vejez; esto puede llevar un activo en correcto funcionamiento a la pérdida de sus capacidades y puede dejar de cumplir los requerimientos para los cuales fue diseñado. Entonces se hace de vital importancia definir un límite mínimo de deterioro; este límite se conoce como “estándar mínimo de funcionamiento”.

Los estándares de funcionamiento se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de trabajo que el usuario impone al activo.

- Estándar de funcionamiento múltiple
- Estándar de funcionamiento cuantitativo
- Estándares cualitativos
- Estándares absolutos
- Estándares variables
- Límite superior e inferior

La forma como el mantenimiento afecta estos activos debe garantizar el menor deterioro posible del activo. Así, un correcto mantenimiento debe prolongar el funcionamiento óptimo del activo.

Figura 7. Margen de deterioro



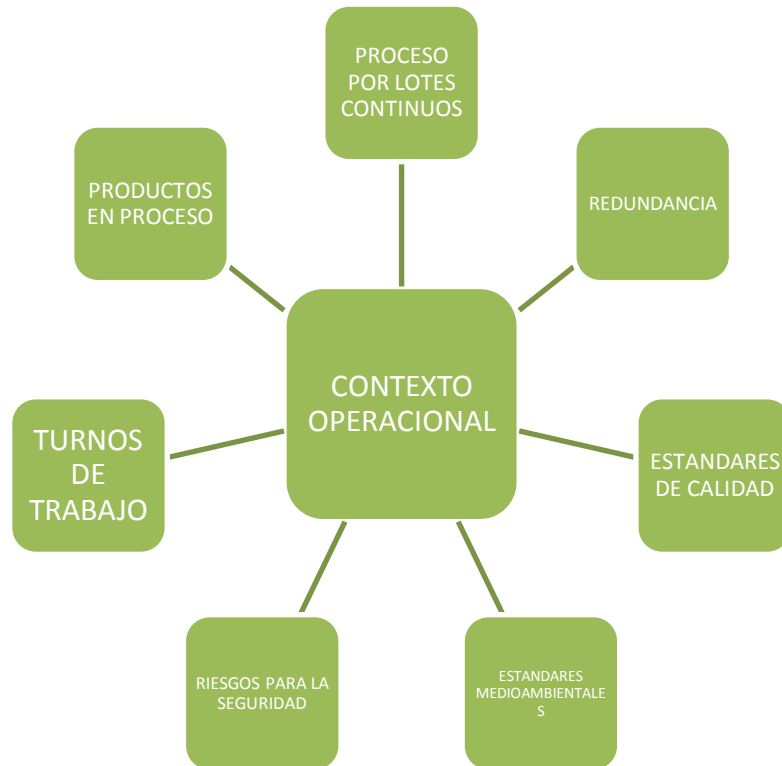
Fuente: MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II.
2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 24

Se debe tener en cuenta que los activos se diseñan para una capacidad inicial (que es la máxima) y el programa de mantenimiento ideal debe ser capaz de alcanzar esta capacidad mas no superarla; sin embargo, el mantenimiento RCM es apropiado para estar en el margen de deterioro, lo que nos garantiza que el activo es capaz de cumplir su función.

4.4.1.2. Contexto operacional.

El contexto operacional es mencionado directamente en la primera pregunta básica de la teoría de RCM, ya que es indispensable para poder formular la función del activo, por ejemplo, bombear lodo a un tanque a no menos de 900 litros por minuto; esto quiere decir que el contexto operacional es el bombeo de lodo y no de otro líquido, lo cual indica que el contexto operacional no es solo geográfico sino de la operación del activo.

Figura 8. Composición del contexto operacional



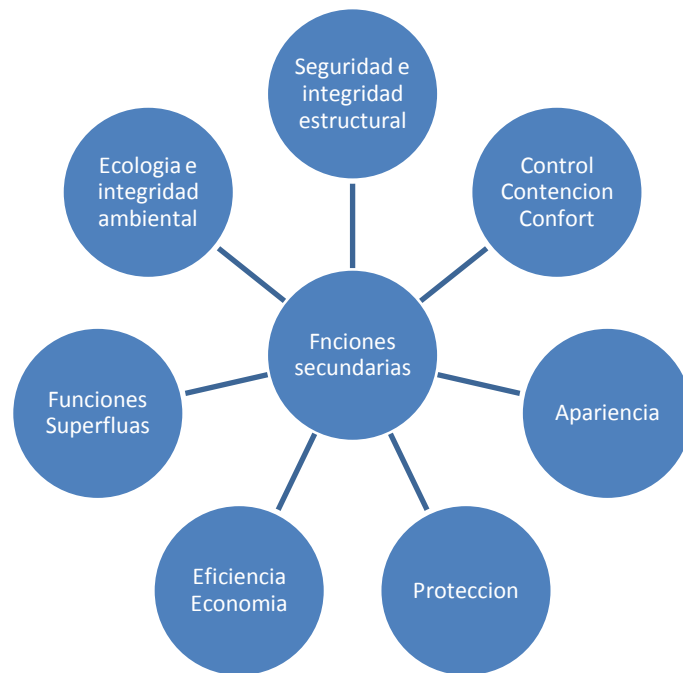
4.4.1.3 funciones PRIMARIAS.

Son las funciones que justifican la adquisición del equipo. Son las razones por la cual existe el activo, por lo que debemos definirla tan precisamente como sea posible

4.4.1.4. FUNCIONES SECUNDARIAS.

Lo que se espera del equipo, además de sus funciones primarias, suele atender a ciertas necesidades importantes que obedecen a la metodología escape.

Figura 9. Definición de funciones secundarias



- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

4.4.2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

4.4.2.1. Fallas.

Es necesario definir claramente qué es una falla y cuándo se puede considerar que el activo del análisis se encuentra en estado de falla. La característica principal de una falla es que el activo es incapaz de hacer lo que el usuario desea. No obstante, en el contexto del RCM, esta definición no es apropiada debido a que algunos activos están diseñados para realizar más de una función y es necesario identificar con precisión y detalle cuál función falló para tomar las decisiones pertinentes al mantenimiento.

Esta necesidad nos lleva a la definición de una **falla funcional**: Incapacidad de un activo físico para cumplir una función, según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

4.4.2.2. Tipos de fallas asociados a la función.

La falla total es un tipo de falla asociado a la falla funcional y se define como la pérdida total de la función para cual fue diseñado el activo; por otra parte, la falla parcial es una pérdida de parte de la función que se le atribuye al activo.

4.4.2.3. Límites superiores e inferiores.

Teniendo en cuenta que se definió el estándar mínimo de funcionamiento como el límite mínimo de deterioro aceptable por el usuario del activo, caer por debajo de este límite implica una falla funcional. Existe otro tipo de falla que está asociada a

la capacidad máxima que el usuario espera del activo: esta capacidad se denomina límite superior y si se supera se entra en estado de falla funcional.

4.4.2.4. Contexto operativo.

El contexto operativo es un factor que se debe considerar ya que indica cómo y dónde está operando el activo para así poder establecer la prioridad e importancia que dicha falla implica para el proceso en general. También se tiene en cuenta qué personal interfiere directa o indirectamente en un activo, debido a que un modo de falla para un operario quizá no es igual de relevante que para alguien del servicio de mantenimiento; por ello se debe tener en cuenta quiénes interfieren en él, para así establecer las fallas funcionales.

4.4.2.5. Como se debe reportar una falla.

La metodología para reportar una falla es la siguiente.

Figura 10. Pantalla de información de RCM

SISTEMA		<u>TURBINA 5</u>	
SUBSISTEMA		<u>Mw.</u>	
		<u>SISTEMA DE ESCAPE</u>	
	<u>FUNCION</u>	<u>FALLA FUNCIONAL</u>	
<u>1</u>	<u>Canalizar todos los gases de escape de la turbina de aire caliente sin restricción a un punto fijo de 10 metros sobre el techo de la antecámara de la turbina</u>	<u>A</u>	Incapaz de canalizar el gas
		<u>B</u>	Flujo de Gas restringido
<u>2</u>	<u>Reducir los niveles de ruido de escape a Nivel de Ruido ISO de 30 a 50 metros.</u>	<u>C</u>	Falla la contención de Gas.
<u>3</u>	<u>Asegurar que la temperatura de la superficie del conducto interno del hall de la turbina no excede los 60° C.</u>	<u>D</u>	Falla en transportar el gas a un punto de 10 metros sobre el techo
<u>4</u>	<u>Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura del gas de escape excede los 475 °C, y una señal de apagado si excede los 500° C a un punto de cuatro metros de la turbina.</u>	<u>A</u>	El nivel de Ruido excede el Nivel de Ruido ISO de 30 a 150 metros.
		<u>A</u>	La temperatura de la superficie del conducto excede los 60°
		<u>A</u>	Incapaz de enviar una señal de Alarma si la temperatura de escape excede los 500 ° C
<u>5</u>	<u>Permitir el movimiento libre del conducto en respuesta a los cambios de temperatura.</u>	<u>A</u>	No permite el movimiento libre del conducto.
		<u>A</u>	

Fuente: MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II.
2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 55

4.4.3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

4.4.3.1. Modo de falla.

Al referirse a fallas en un activo en una serie de ellos se debe establecer y diferenciar qué es una falla funcional y un modo de falla, ya que tener claro estos conceptos facilita la implementación de la teoría AMFE. Un **modo de falla** podría tratarse del estado anterior a una **falla funcional**.

Figura 11. Modos de falla de una bomba

SISTEMA		<u>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA</u>	
SUBSISTEMA			
<u>FUNCION</u>	<u>Falla Funcional</u>	<u>MODOS DE FALLA</u>	
<u>1</u>	<u>Transferir Agua del Tanque X Al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.</u>	<u>A</u>	Incapaz de transferir Agua
			1 Rodamiento falla
			2 El propulsor se suelta
			3 Propulsor atascado por un objeto extraño
			4 Campana de enganche falla por fatiga.
		<u>B</u>	Transfiere menos de 800 litro Por minuto.
			5 Se quema el motor
			6 Válvula de entrada tapada
			7 Propulsor desgastado
			8 Línea de succión Parcialmente bloqueada.

Fuente: MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II. 2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 57

4.4.3.2. Categorías de modos de falla.

La teoría RCM define el mantenimiento así: “Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga”. De esta definición se infiere que es necesario considerar cualquier tipo de modo de falla, no sólo el causado por el deterioro del equipo; debe considerarse el diseño del equipo, el contexto operacional, las fallas humanas, etc. La teoría sugiere clasificar los modos en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial.

- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

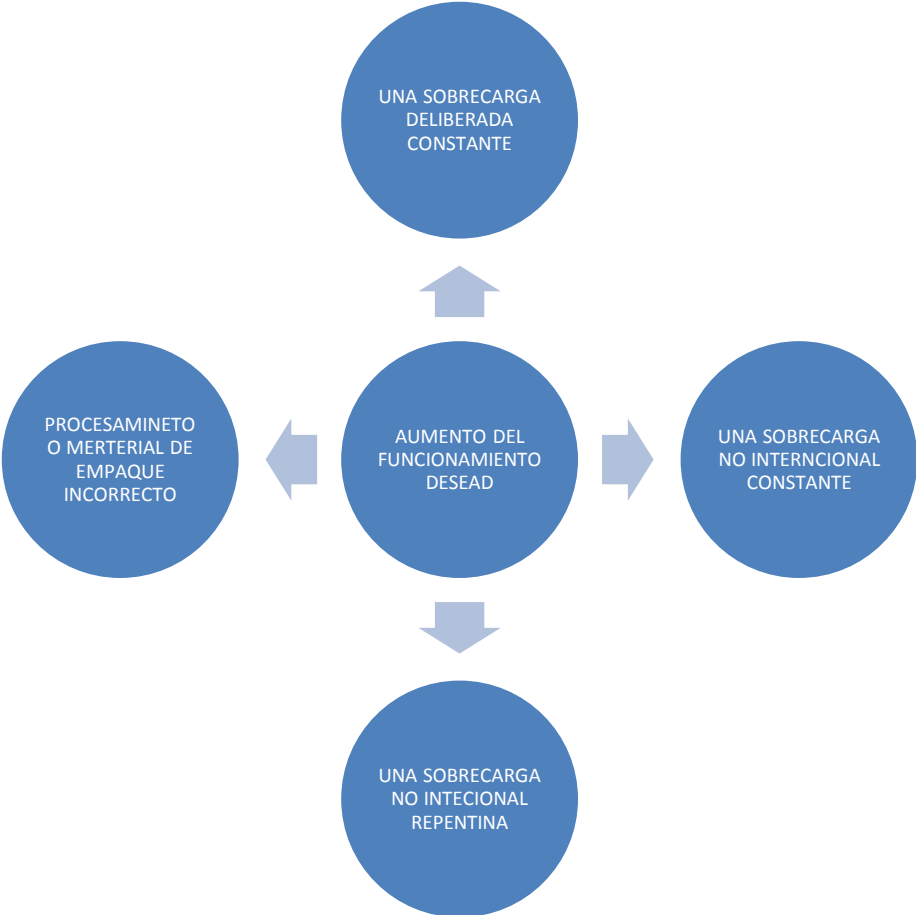
4.4.3.2.1. Capacidad decreciente.

Figura 12. Capacidad Decreciente



4.4.3.2.2. Aumento del funcionamiento deseado.

Figura 13. Aumento del esfuerzo aplicado



4.4.3.2.3. Capacidad inicial.

Figura 14. Capacidad Inicial



Fuente: MOUBRAY, John Mitchell. Mantenimiento Centrado en confiabilidad II.
2ed. España: Aladon Ltd 2004, p 67

4.4.4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

La cuarta pregunta que se plantea bajo la teoría RCM se resuelve identificando los denominados efectos de falla.

4.4.4.1. Efectos de falla.

“Los efectos de falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla”. Usualmente los efectos de falla se manifiestan de muchas formas, y se clasifican como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Efectos de falla



4.4.4.2. Nivel de análisis y efectos de falla.

El nivel de análisis y efectos de falla hacen referencia al grado de profundidad que se aplica en el análisis AMFE. Es importante considerar este nivel de análisis, ya que un estudio muy profundo puede llevar gran consumo de tiempo y recursos que pueden ser mejor utilizados en los procesos en los cuales está contenido el activo bajo observación, y un estudio demasiado superficial puede dejar un modo de falla potencial sin identificar, lo cual es un riesgo que no se debe tomar.

4.4.4.2.1. Nivel bajo.

Cuando se hace RCM lo más común es realizar el análisis a un nivel muy bajo en la jerarquía del equipo. Por ello cuando se hace esto se pueden presentar las siguientes situaciones, descritas en la figura 16.

Figura 16. Comenzar a un nivel Bajo



4.4.4.2.2. Nivel de arriba.

En contraparte con empezar de un nivel bajo se presenta empezar desde arriba, lo cual también presenta algunas situaciones:

Figura 17. Comenzando Desde Arriba



4.4.4.2.3. Nivel intermedio.

Dicho lo anterior se debe tener en cuenta que los extremos pueden presentar problemas a la hora de hacer un análisis RCM lo que nos presenta la cuestión ¿desde dónde se debe empezar el análisis RCM?

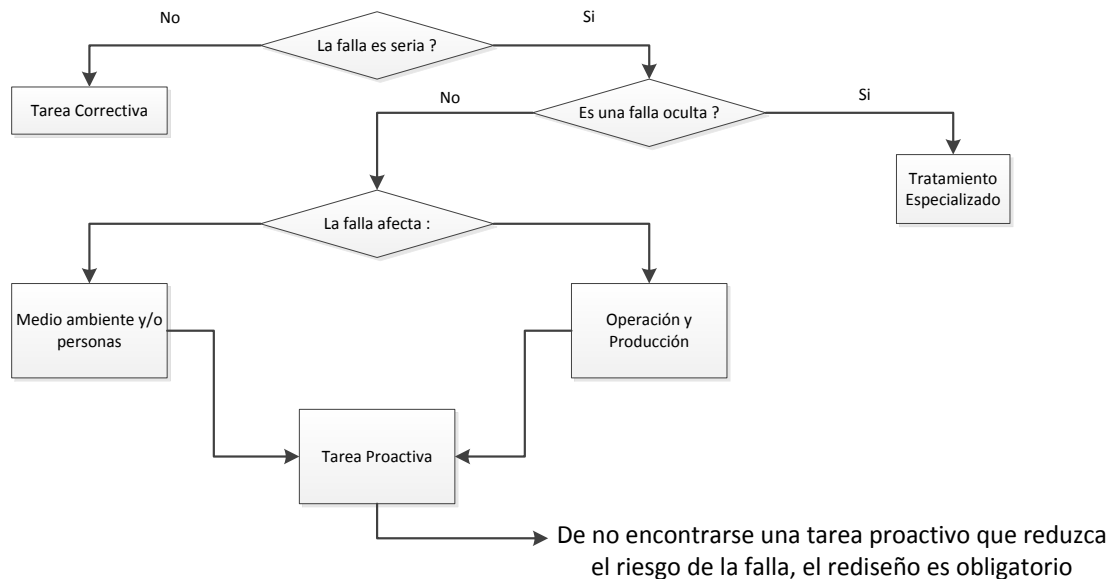
Hemos observado que el nivel superior generalmente abarca demasiados modos de falla por función para permitir un análisis sensible. A pesar de eso, sin embargo, aun así necesitamos identificar las principales funciones de un activo o sistema en el nivel más alto, para proveer una estructura estratégica para el resto del análisis.

Por otro lado, hemos visto que la inclinación inicial es la de comenzar desde muy abajo en la jerarquía del activo. Por esta razón, una buena regla general (especialmente para personas nuevas en RCM) es realizar el análisis a uno o inclusive dos niveles más arriba de que parezca sensato. Esto es porque siempre es más sencillo descomponer subsistemas complejos desde un nivel superior, que tratan de elevarse, cuando ya se ha comenzado muy abajo.

4.4.5. ¿En qué sentido es importante cada falla?

Una falla es importante en la medida en que afecte la producción o la actividad económica en general; por ello se debe definir la gravedad de las fallas para saber quién evalúa los riesgos de éstas o las consecuencias que puede traer para nuestro proceso.

Figura 18. Importancia de la Falla

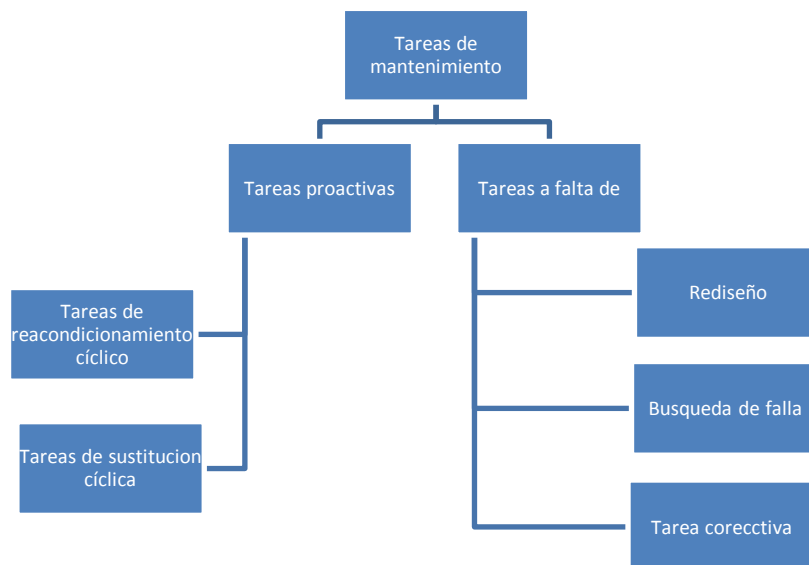


4.4.6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

Para predecir o prevenir una falla se debe tener en cuenta el concepto de tarea proactiva y si ésta es técnicamente viable para poder “prevenir o predecir”; en consecuencia, se plantea que una tarea es técnicamente viable si tiene la posibilidad física de reducir o permitir que la acción seleccionada disminuya las consecuencias del modo de falla asociado a un grado que sea aceptable para el propietario o usuario del activo. Teniendo esto claro se plantean dos aspectos que dominan la selección de tareas proactivas:

- La relación entre la edad del ítem bajo consideración y cuáles son sus posibilidades de fallar.
- Qué sucede una vez que la falla comenzó a manifestarse.

Figura 19. Tareas de mantenimiento



- **Tareas proactivas:** Son tareas que se efectúan antes de que ocurra la falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla.
- **Acciones a falta de:** Éstas tratan del estado de falla y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva.
- **Tareas de reacondicionamiento cíclico:** Consisten en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición actual.
- **Tareas de sustitución cíclica:** Consisten en descartar un elemento o componente antes o en el límite de edad definido independientemente de su condición en ese momento.

4.4.7 ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

En caso de no encontrar una tarea proactiva adecuada es necesario ejecutar acciones a falta de (éstas implican la búsqueda de fallas) rediseño y tareas correctivas. El ingeniero de mantenimiento será el encargado de tomar las decisiones pertinentes en caso de.

4.5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO.

Los indicadores de mantenimiento son valores importantes que se deben tener en cuenta para cuando se implementa el proceso de RCM ya que nos permiten ver el histórico del estado de nuestros equipos, además de proporcionarnos información fácil de entender de cómo se está ejecutando el servicio de mantenimiento.

4.5.1. MTBF.

El tiempo medio entre fallos (MTBF) es el tiempo transcurrido entre averías predicho inherente de un sistema durante la operación. MTBF puede ser calculado como la media aritmética (promedio) del tiempo medio entre fallos de un sistema. El MTBF es típicamente parte de un modelo que supone que el sistema no se repara inmediatamente (tiempo medio de reparación o MTTR media), como parte de un proceso de renovación. Esto es un contraste con el tiempo medio hasta el fallo (MTTF) que mide el tiempo promedio de fallos con la suposición de que el sistema de modelado fallado no es reparado (tiempo de reparación infinita).

La definición de MTBF depende de la definición de lo que se considera una falla del sistema. Para los sistemas complejos reparables, los fracasos se consideran aquellos fuera de las condiciones de diseño que colocan el sistema fuera de servicio y en un estado de reparación.

Calculo del MTBF

$$MTBF = \frac{TTO}{N^{\circ}.F}$$

Dónde:

- *TTO* es tiempo total de operación en el periodo
- *N^o.F* es el número de fallas

4.5.2. MTTR

Tiempo medio de recuperación (MTTR) es el tiempo promedio que un dispositivo se tardará en recuperarse de cualquier fallo. Ejemplos de tales dispositivos: se extienden de fusibles de reposición automática (en el que el tiempo medio de reparación sería muy corto, probablemente segundos) hasta sistemas enteros que tienen que ser reparados o reemplazados.

Incluye tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo para conseguir la refacción, tiempo de planeación, etc. Es una medición de la mantenibilidad de un equipo y también Es el intervalo de tiempo obtenido dividiendo el tiempo total de las reparaciones entre el número total de fallas en un sistema.

$$MTTR = \frac{TDF}{N^{\circ}F}$$

Dónde:

- TDF es el tiempo que dura en falla el ítem.
- $N^{\circ}. F$ es el número de fallas

4.5.3. Confiabilidad y Disponibilidad.

La confiabilidad es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

Es decir, cuando hablamos de confiabilidad el componente trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado; en otras palabras: la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación (arriba) y se mantiene arriba. Por otra parte, cuando hablamos de disponibilidad el componente es puesto arriba en un instante dado y no importa lo que pase después, la función del componente puede ser interrumpida sin ningún problema.

Veamos ahora las ecuaciones matemáticas que se utilizan en el ámbito operacional para el cálculo de estos dos parámetros, en función de los tiempos de mantenimiento:

La confiabilidad operacional C_o

$$C_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

La disponibilidad Operacional Do

$$D_o = \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

Dónde:

MTBF: Es el tiempo promedio entre fallas

MTTR: Es el tiempo promedio para reparar

MUT: es tiempo promedio en operación (arriba) o tiempo promedio para fallar (MTTF)

$$MUT = \frac{MT}{N^{\circ}.F}$$

Dónde:

- MT: Es el número de horas de operación del ítem sin fallas.
- $N^{\circ}.F$ es el número de fallas

4.5.4. Mantenibilidad.

Es definida por la ISO/DIS 14224, como la capacidad (o probabilidad si hablamos en términos estadísticos), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados. Esto quiere decir, que si un componente tiene un 95% de mantenibilidad en una hora, entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora.

La ecuación clásica de la Mantenibilidad es:

$$M_0 = 1 - e^{-(\mu * TTO)}$$

Dónde, *TTO* es tiempo total de operación en el periodo.

Cuando μ o rata de reparación es constante.

El MTTR (Mean Time To Repair) es el tiempo promedio para reparar un componente cuando este falla, es parte del tiempo promedio arriba o en servicio (MDT) y es un indicador directo de la Mantenibilidad.

Podemos definir la tasa de reparación (μ) en función del MTTR como:

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

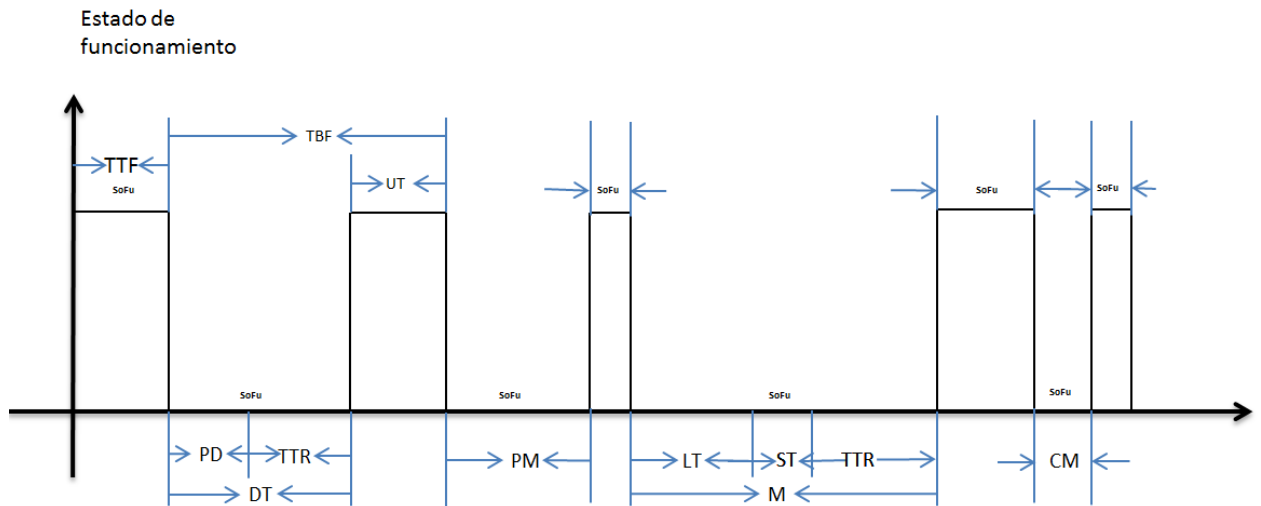
La tasa de reparación es un parámetro el cual permite evaluar la probabilidad que tiene un componente a ser reparado y juega un papel exactamente similar a la tasa de falla ($\lambda = 1/MTBF$) para el cálculo de la confiabilidad.

Podemos decir entonces que la Mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido para realizar las actividades de Mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento en relación con la obtención del comportamiento deseable de un componente.

Existen dos tipos de Mantenibilidad: la intrínseca, que está relacionada al aspecto de diseño de una instalación y que hace una consideración sobre como las características de diseño ayudan al mantenimiento de un componente (accesibilidad y facilidades para el mantenimiento) y la extrínseca, que considera el contexto de dependencia de la gestión de mantenimiento cuando se repara un componente (logística, organización de las tareas, aislamiento, entrega de los equipos etc.), estas dos diferenciaciones deben considerarse al analizar los factores que afectan a la Mantenibilidad.

4.6. DISPONIBILIDAD¹⁰.

Figura 20. Tiempos importantes, siglas y demás convecciones que se usan en la medición y predicción CMD.



Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor S.A. p 70.

Dónde:

TTF = Time to Failure = Tiempo hasta fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables).

TMBF = Time Between Failures = Tiempo medio entre fallas.

UT = Up Time = Tiempo útil en el que equipo funciona correctamente.

DT = Down Time = Tiempo no operativo.

¹⁰ **MORA GUTIERREZ, Alberto.** Mantenimiento planeación ejecución y control. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. 20090, p 67-94

F_t = Falla i-ésima.

TTR = Time to Repair = Tiempo que demora la reparación.

CM = Corrective Maintenance = Tiempo que demora la reparación correctiva o modificativa.

PM = Planned Maintenance = Mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivo), Moubray los denomina Tareas Proactivas.

LT = Logistical Times = Tiempos logísticos o administrativos (incluye MD (Maintenance Delays) demoras y retrasos de mantenimiento)

ST = Supplies Times = Tiempos de suministros de repuestos, insumos o de recursos humanos.

NTTR = Net Time To Repair = Tiempo Neto para la reparación, no incluye ni demoras, ni tiempos logísticos, ni tiempos de suministros, ni otros tiempos exógenos que impiden la reparación.

PD = Production Delays = Retrasos en producción para informar y notificar a mantenimiento de la no funcionabilidad del equipo o sistema, o demoras en la producción por causas imputables a ella (falta de materias primas, falta de personal, etc.).

La disponibilidad es una consideración importante en sistemas relativamente complejos, como plantas de energía, plantas químicas y estaciones de radar. En dichos sistemas, una confiabilidad alta no es suficiente, por si misma, para asegurar que el sistema esté disponible para cuando se necesite.

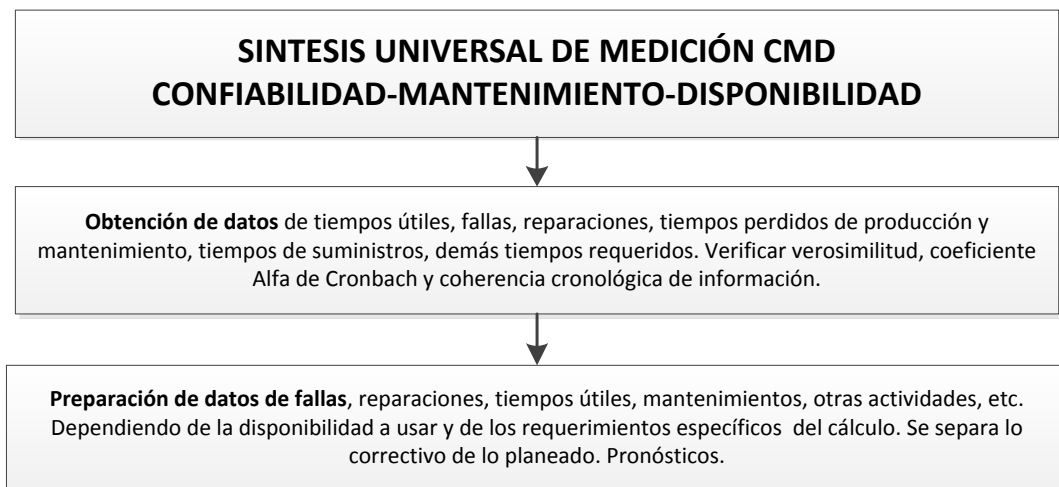
También es una medida relevante y útil en los casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar

información que abarque todas las nuevas características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionabilidad.

4.6.1. Modelo universal para pronosticar indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (cmd)

El método internacional se conforma de varias etapas. En la primera de ellas se dedica a definir los pasos claves para la obtención, tabulación, la manipulación, el tratamiento de los datos, con el fin de que sean compatibles en su forma, estilo y composición básicos para los cálculos en los métodos puntuales y de distribuciones.

Figura 21. Primera etapa de datos para la predicción CMD



Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control.
Alfaomega Grupo Editor S.A. p 71.

En la segunda fase debe decidir la disponibilidad más adecuada de acuerdo con los datos que se posean y con las expectativas de la empresa, y acorde con los elementos que desea controlar; todas las disponibilidades difieren y prestan diferentes servicios, pero, en síntesis, sus ventajas son:

- Disponibilidad genérica: sirve para organizar la información acerca de lo que se dispone solo contempla los tiempos útiles y lo que no se dispone (sin especificar causa, ni razón, ni tipo). Es muy adecuada para inicializar pruebas piloto en empresa.
- Disponibilidad inherente o intrínseca: es muy útil cuando se trata de controlar la actividades de mantenimiento no planeados (correctivos, /o modificativos). Solo contempla su posible uso cuando los promedios de tiempo útiles son supremamente grandes frente a los DT y los tiempos de retraso o demora administrativos o físicos son mínimos o tienden a cero (al igual las otras tres disponibilidades que siguen: alcanzada, operacional y operacional generalizada). Sus parámetros MTBF y MTTR. Solo tiene en cuenta daños o fallas o pérdidas de funcionabilidad, por razones propias del equipo y no exógenas a él.
- Disponibilidad alcanzada: es excelente cuando se busca controlar las tareas planeadas de mantenimiento (tareas proactivas: preventivas o predictivas) y las correctivas por separado; no le interesan los tiempos de espera, ni los registra obligatoriamente. Es muy rigurosa en el manejo y la especificación de la información y de los datos, requiere un manejo detallado y preciso; usa como parámetros de cálculo: $MTBM, MTBM_c, MTBM_p, MTTR, M_p, M, etc.$
- Disponibilidad Operacional: es adecuada cuando se requiere vigilar de cerca los tiempos de demora administrativas o de recursos físicos o

humanos; trabaja con las actividades planteadas y no planteadas de mantenimiento, en forma conjunta. Es precisa, exigente y metodológica exige bastantes recursos económicos. Utiliza los mismo parámetros de la anterior (alcanzada) más los correspondientes de moras, *ADT*, *LDT'* y *LDT*.

- Disponibilidad Operacional generalizada: básicamente se usa cuando se predice el CMD en equipos con mucho tiempo de operación en que funciona mas no producen, algo así como trabajar en el vacío; por ejemplo, una turbina de generación a carga mínima, un compresor de aire al mínimo, una bomba de agua en recirculación por no tener carga, un vehículo detenido y encendido en neutro. Trabaja con los mismos parámetros de operación, sólo que los tiempos en que la máquina funciona pero que no produce se le agregan a los tiempos útiles más cercanos en fecha, para de esta manera aumentar los tiempos útiles que si no se registran los *ready time*. Es la manera compleja y completa de las disponibilidades pero, así mismo, la más exigente y costosa de implementar, aparte de que la empresa debe tener ya mucha experiencia en al tema.

Figura 22. Segunda etapa selección de disponibilidad a usar en predicción CMD.

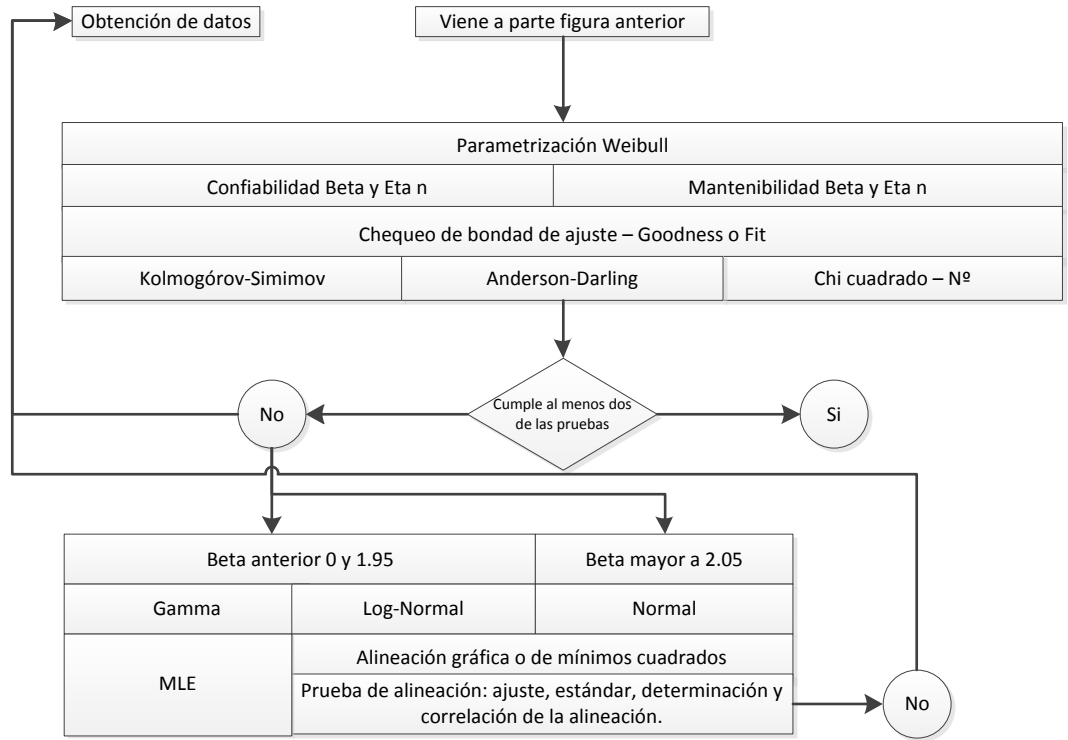
DISPONIBILIDAD A USAR EN PREDICCIÓN CMD				
Genérica o de Steady-state	Inherente o intrínseca	Alcanzada	Operacional	Operacional generalizada
<p>Es útil cuando no se tiene desglosados los tiempos de reparaciones o de mantenimientos planeados, o cuando no se mide con exactitud ni los tiempos logísticos, ni administrativos ni los tiempos de mora por repuestos o recursos Humanos que afecten el DT.</p> <p>No asume que los UT sean altos y los DT bajos. Es útil al inicial procesos CMD, engloba todas las causas</p> <p>Debe usarse entre 2 y en eventos.</p>	<p>Considere que lo no funcionalidad del equipo es inherente o más al tiempo activo de reparación.</p> <p>No incluyen los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni los tiempos de demora en suministros. Asume idealmente que todo esta listo al momento de realizar la reparación.</p> <p>Se debe cumplir que los UT sean muy superiores en tiempos los MTRR (al menos unas 6 o más veces) y que DT tienda a cero en el tiempo.</p>	<p>Tiene en cuenta tanto las reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivos); no incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni otros tiempos de demora.</p> <p>Los mantenimientos planeados en exceso puede disminuir la disponibilidad alcanzada, aún cuando puede incrementar le MTBM</p>	<p>Comprende, a efectos de la no funcionalidad, en el tener en cuenta: tiempos activos de reparación correctiva, tiempos de mantenimientos planeados (preventivos o predictivos), tiempos logísticos (preparación, suministros de repuestos o recursos humanos), tiempos administrativos, de mora, etc.</p> <p>Es útil cuando existen equipos en espera mantenimiento</p>	<p>Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continua, o en los eventos en que el equipo están disponibles pero no producen.</p> <p>Es necesaria cuando se requiere explicar los tiempos no operativos asume los mismo parámetros de cálculo de alcanzada, adicionando el Ready Time tanto en el numerador como en el denominador.</p> <p>Se usa cuando las máquinas están listas (Ready Time) u operan en vacío.</p>

Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor S.A. p 73.

Para completar con las tercera fase, se debe tomar la decisión de si utiliza el método directo de máxima verosimilitud que no hace alineación, o si se resuelve usar método de alineación con sus dos facetas: estimación de parámetros $F(t)^2$ (función de no confiabilidad) y de $M(t)$ mantenibilidad.

En ambas opciones de la tercera etapa (sea para el método de la máxima verosimilitud o el de Weibull) se deben comprobar los valores de ajuste que se obtienen, mediante la valoración de los índices de bondad de ajuste: r (coeficiente de correlación múltiple) y r^2 (coeficiente de determinación muestral), que sirven

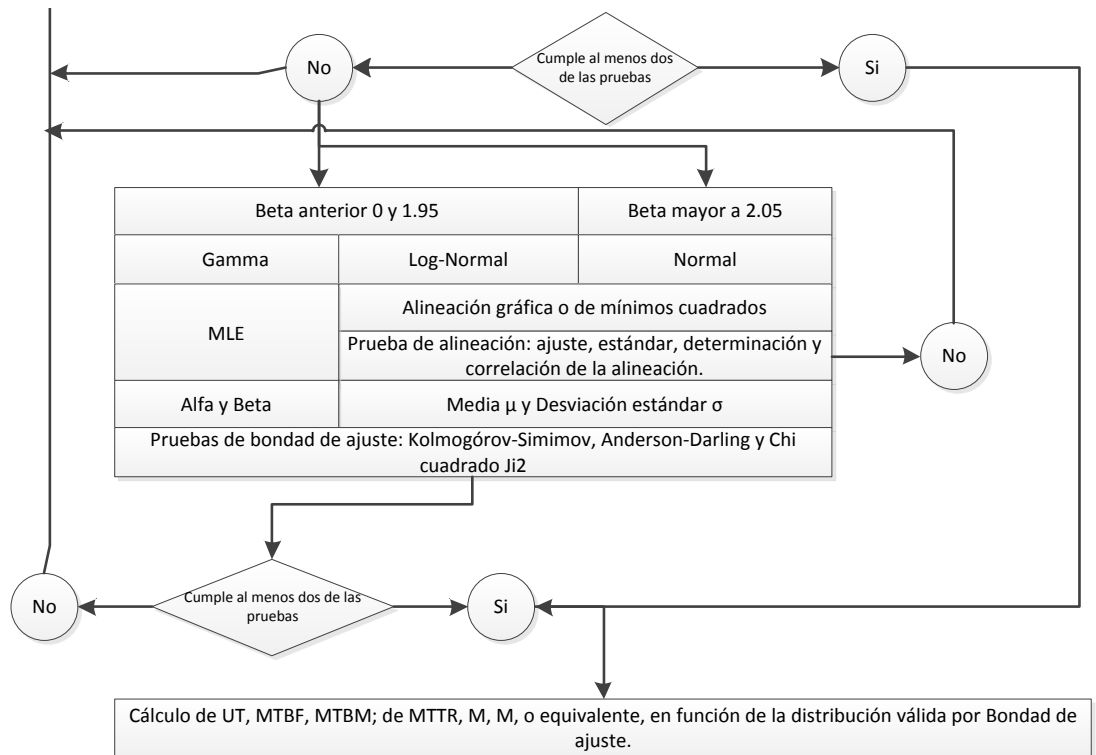
Figura 24. Cuarta etapa de validación de ajuste bondad de Weibull o búsqueda de otra función.



Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor S.A. p 75.

La quinta etapa sirve para parametrizar y realizar la alineación o MLE, que se requiere con otra función diferente a Weibull, como para estimar sus bondades de ajuste.

Figura 25. Quinta etapa

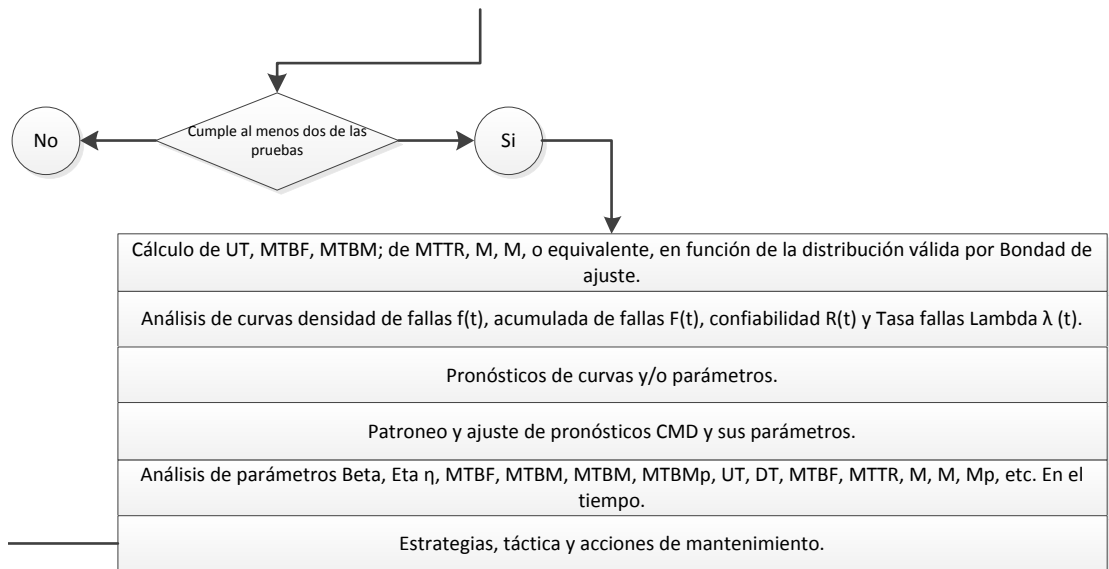


Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control.

Alfaomega Grupo Editor S.A. p 75.

En la etapa seis, se realizan todas los cálculos CMD, con la función que se selecciona y cumpla bien todos los ajustes.

Figura 26. Sexta etapa de cálculos, predicciones y estrategias CMD.



Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor S.A. p 76.

Toda eficiencia, en el ámbito empresarial, se mide a partir de los siguientes conceptos el total es lo bueno para el fin que se persigue; lo bueno es las cifra que adecua a la meta que se desea, y lo no bueno es la medida de los fines que no alcanzan a cumplir con el nivel de los parámetros que se plantean como requisitos para clasificarlos como buenos.

3.6.1.1. EFICIENCIA GENERAL DE CUALQUIER ÍNDOLE.

$$Eficiencia = \frac{\textit{metas que cumplen}}{\textit{Metas que cumplen} + \textit{metas que no se cumplen}}$$

Si se hace la analogía con los términos de la ecuación anterior y el CMD, se determina que lo bueno es la confiabilidad, lo no bueno es la mantenibilidad, de donde se deduce que se puede establecer una fórmula genérica de CMD, así.

3.6.1.2. RELACION DE DISPONIBILIDAD.

$$Dispobibilidad = \frac{\textit{Confiabilidad}}{\textit{Confiabilidad} + \textit{Mantenibilidad}}$$

Donde interactúan los tiempos UT y los tiempos de fallas debidas a reparación (imprevistas), DT, o a mantenimientos planeados, M_p , como de otros tiempos relevantes en la disponibilidad o no de las maquinas.

La medición de disponibilidad se puede aproximar a la relación entre:

$$Disponibilidad = \frac{\textit{tiempo en que el dispositivo opera correctamente}}{\textit{tiempo en que el elemento o máquina puede operar}}$$

3.6.1.3. DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE MAYOR USO EMPRESARIAL

La modelación la predicción del CMD se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos, que se calculan independientemente de la estimación de

probabilidades, mediante medidas móviles y de las leyes que modelan el CMD, hasta otra más complejas en las que sí se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantabilidad. Hasta llegar al uso de simulaciones tipo Montecarlo o de los procesos HPP y NHPP, como también con el uso de series temporales.

Para los alcances de este proyecto no se utilizarán análisis de predicción CMD como los mencionados anteriormente, sin embargo los software de mantenimiento RCM industriales sí cuentan con estas herramientas entre las muchas que están programadas.

Disponibilidad genérica - D_G^4

Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no funcionalidad, los cuales se miden en forma global (no discrimina los tiempos correctivos, preventivos, predictivos, las demoras a los *Ready Time*); en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras lógicas, suministros, retrasos, acciones correctivas ni modificativas, tiempos planeados, etc. Es muy útil para empresas principiantes en el tema de predicción de CDM.

Para utilizar cualquiera de las otras disponibilidades: intrínseca como inherente, alcanzada, operacional u operacional generalizada, se deben cumplir varias particularidades:

- MUT debe ser infinitamente superior al MDT, al menos unas diez veces.
- Los tiempos logísticos ADT, y LDT deben tener a cero o no existen, lo cual LDT.

Ambas situaciones suceden en las empresas muy maduras u organizadas en mantenimiento y en el área de ingeniería de fábricas. En las siguientes ecuaciones se vislumbra la transformación de MTBF y de DT.

3.6.1.4. TRANSFORMACIONES DE MTBF, UT, MTTR, DT, ETC.

En la disponibilidad genérica se cumple que.

$$MTBF = UT + DT, \text{ pero si } UT \gg \gg DT, \text{ entonces queda que } MTBF \cong UT.$$

$$DT = LDT + MTTR, \text{ con } LDT \text{ despreciable o igual a cero, esta se transforma.}$$

Si ambos resultados se reemplazan en la disponibilidad genérica, esta se transforma en:

$$A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \text{ queda como } D_{inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

De donde se deduce que los términos MUT y MDT son propios de la disponibilidad genérica, MTBF de la disponibilidad inherente o intrínseca, y MTTR de la disponibilidades intrínseca o inherente, alcanzada, operacional y operacional generalizada.

3.6.1.5. EQUIVALENCIAS DE MUT CON TBF Y DE DT CON TTR

Al asumir varias consideraciones, como que el MTTR tiende en el tiempo a ser igual al MDT, que el MTBF es mucho mayor que MTTR (al menos unas 10 veces), que el tiempo total de análisis de eventos es muy largo superior al menos 10

veces el MTTR, el MLDT tiende cero en el tiempo, se puede suponer como válido que:

$$\frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

De donde se puede asumir que $MUT \approx MTBF$, pese a ser usado por algunos autores, es válido solo bajo las premisas enunciadas.

3.6.1.6. DISPONIBILIDAD INGERENTE O INTRÍNSECA A_l

$$\text{Disponibilidad ingerente} = A_l = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Disponibilidad inherente intrínseca - D_l

A_l del sistema es probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando se requiere en cualquier tiempo, bajo las condiciones de operación específicas y con un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar demora alguna, logística o administrativa (Blanchard, y otros 1994 y Blanchard, 1995). El MTTR es el tiempo activo neto de reparación sin demoras y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación. La A_l no contempla los mantenimientos planeados. La disponibilidad inherente está basada únicamente en la distribución de fallas y en la distribución de tiempo de reparación (Ebeling, 2005). A_l se usa como un parámetro para el diseño (hecht y otro 2001) y, como su palabra lo expresa, solo reconoce actividad de reparaciones inherentes al sistema, no exógenas.

3.6.1.7. DISPONIBILIDAD ALCANZADA A_A

$$Disponibilidad\ Alcanzada = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}} + \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}}}$$

Donde $MTBM = Mean\ Time\ Between\ Maintenance$, o sea el tiempo medio entre mantenimiento.

$y = Mean\ Time\ Active\ Maintenance\ MTM = Mean\ Time\ Maintenance =$ tiempo medio de mantenimiento.

El tiempo medio entre mantenimientos, $MTBM$, en lugar de ser un índice de confiabilidad es un indicador de frecuencia de los mantenimientos; es función de la frecuencia de los mantenimientos planeados y no planeados, y en ausencia de mantenimiento preventivo el $MTBM$ se aproxima al $MTBF$.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Con $MTBM_C$, como el tiempo medio entre mantenimiento no planeados, se aproxima al $MTBF$ en ausencia de tareas proactivas y el $MTBM_p$ como el tiempo medio entre mantenimientos planeados.

Ahora, para el cálculo del se usa la expresión:

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Donde $MTTR = Mean\ time\ to\ repair =$ es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimiento correctivos, sin incluir las demora logística, ni los retrasos administrativos; es el mismo que se define anteriormente.

M_p = Es el tiempo medio para efectuar tareas proactivas de mantenimiento planeados.

EL \bar{M} (*Mean Time Active Maintenance*) es el tiempo medio de mantenimiento activo que se requiere para realizar una tarea de mantenimiento. Es función de los tiempos medio de mantenimiento correctivo y planeado y sus frecuencias relativas; sólo considera los tiempos activos de mantenimientos y no tiene en cuenta los tiempos administrativos y tampoco los logísticos.

Disponibilidad alcanzada A_A

A_A es la probabilidad de que es sistema opera satisfactoriamente cuando se requiere en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales y en un entorno ideal del soporte logístico, sin condiciones de operación normales y en un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar retraso ni logístico ni administrativo, pero involucra en sus cálculos los tiempos imputables a la actividad planeadas de mantenimiento, aparte de las acciones correctivas que ya trae desde la inherente o intrínseca.

Cuando se presente el caso especial de que durante la realización de una tarea proactiva o planeada aparezca un daño que implique una independiente y considérese los dos tiempos en forma aislada, debido a que la reparación requiere horas-hombre adicionales a las del mantenimiento preventivo. Se puede manejar como un tiempo correctivo entre dos preventivos o simplemente tomar un preventivo por el tiempo invertido y otro correctivo o modificativo por la acción no planeada (o viceversa, si se presenta o superpone un planeado, durante la ejecución de un correctivo o modificativo) pero en todo caso asumir los tiempos planeados y no planeados y no planeados en forma separada, y se deben contabilizar por aparte si se presentan en el mismo instante.

Recuérdese que en confiabilidad los tiempos útiles son inherentes al equipo o sistema, mientras que en mantenibilidad los tiempos de reparación o de tareas proactivas son inherentes al recurso humano que las realiza.

3.6.1.8. DISPONIBILIDAD OPERACIONAL $D_o - A_o$

$$\text{Disponibilidad operacional} = A_o = \frac{MTBM}{MTBM + M'}$$

$MTBM = \text{Mean Time Between Maintenancees}$ tiempo medio entre mantenimientos y se calcula igual que en la anterior D_A , disponibilidad alcanzada tanto para reparaciones correctivas como para mantenimiento planeados; en este elemento no inciden ADT LDT' ni LDT. Ya que los cambios en la fracción no se dan en el numerador que es la confiabilidad, y sólo afecta el denominador en la mantenibilidad, pues incrementa los MTTR y/o los M_p' en función de donde se presenten los ADT, los LDT' y los LDT' que aumetna los MTTR y los M_p' .

El \bar{M} (que incluye los LDT= ADT+LDT) se calcula exactamente igual que él, solo que el momento de calcular el MTTR no solo se toman los correspondientes $TTR_1, TTR_2, \dots, TTR_N$ netos, sino que se le suman respectivamente sus LDT pertinentes a cada una de las reparaciones. Del mismo modo, al momento de calcular el M_p se le debe sumar a cada tiempo de mantenimiento planeado su respectivo LDT, en caso de existir. Casi siempre las demoras ocurren antes del mantenimiento; debido a ello, por lo general, se le suma al evento que continua de la acción de mantenimiento en el tiempo posterior o seguido. En algunas ocasiones ocurren demora después de la acción de manteamiento y antes de poner en marcha el equipo; en estos casos se le contabiliza a mantenimiento es sus respetivos MTTR o M_p y se le imputa a producción.

$$\overline{M'} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}} \quad MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Ambos valores se calculan exactamente igual que en la disponibilidad alcanzada.

Disponibilidad operacional- D_o

D_o Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales, en un entorno real de soportes logísticos y abarca, por tanto, dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos que se causan por los retrasos logísticos y administrativos; es decir todos los tiempos concernientes al estado de reparación e incluyen el mantenimiento programado y el no planeado. Le interesan todas las demoras, los mantenimientos planeados y los no planeados.

3.6.1.9. DISPONIBILIDAD OPERACIONAL GENERALIZADA A_{GO}

$$\text{Disponibilidad operacional generalizada} = A_{GO} = \frac{MTBM'}{MTBM' + \overline{M'}}$$

Los cálculos de $MTBM'$ se realiza exactamente igual al de $MTBM$ de la D_o del caso anterior en al disponibilidad operacional, sólo que los *Ready Time* se les suman a los tiempos útiles que los anteceden o siguen (el que este más cercano), de tal forma que los tiempos útiles correspondientes se aumentan en el valor del tiempo de *Ready Time* y por ende, aumenta el $MTBM_c$ o $MTBM_p$ en cada caso,

tanto en reparaciones (correctivos) como en estas tareas proactivas (mantenimiento planeado), con lo cual aumenta entonces el $MTBM_c$ y el $MTBM_p$ razón por la cual la D_{OG} debe ser mayor que la D_o .

Los valores de $MTTR$ y M_p nos varían con respecto a los valores, se calculan en D_o (disponibilidad operacional).

Para estimación numérica de A_{GO} o D_{GO} , se mantienen todas las premisas y paradigmas de la operacional.

Disponibilidad operacional generalizada G_{GO}

A_{GO} Es útil cuando los tiempos en que los equipos están disponibles y no producen, para explicar estos lapsos del tiempo. La traducción de *Ready Time* no es exactamente literal en castellano como tiempo de alistamiento; se entiende mejor como listo en el tiempo, listo para producir; en general, significa que funciona adecuadamente mas no produce.

En síntesis con el mismo ejemplo se logra visualizar los cambios en la estimación de la disponibilidad, así:

Figura 27. Ejemplos de disponibilidades

Disponibilidad	Símbolo		Valor %
	Inglés	Castellano	
Genérica	A_G	D_G	89.08
Inherente o intrínseca	A_i	D_i	93.21
Alcanzada	A_A	D_A	88.74
Operacional	A_O	D_O	88.59
Operacional Generalizada	A_{OG}	D_{OG}	90.37

Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control.

Alfaomega Grupo Editor S.A. p 92.

Se observa que en la medida en que se incorporan más conceptos de no disponibilidad (desde la A_A hacia A_O disminuye por los LDT y al llevarla a la A_{GO} mejora el aumentar las UT debidos al *Ready Time*). De igual manera, mejora el índice de disponibilidad al considerar solo el tiempo activo de reparación neto en al A_i .

En síntesis, se puede concluir que los diferentes factores que afectan la funcionalidad de los equipos son considerados por las distintas maneras de calcular la disponibilidad; cada empresa asume la que más le conviene y, sobre todo, adopta la que puede usar de acuerdo con los datos que posee.

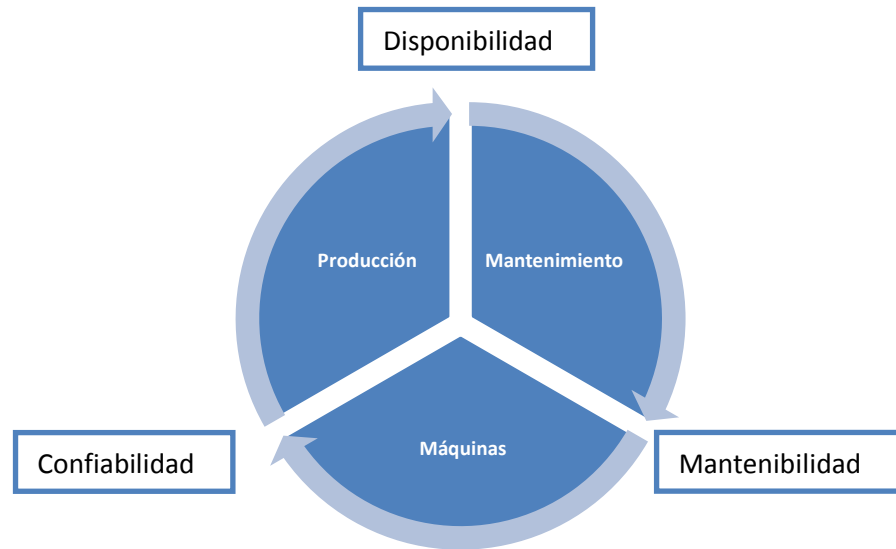
Figura 28. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y la disponibilidad.

	Factores que disminuyen la funcionalidad del dispositivo, equipo o sistema						
	DT	TTR	MUT	PM	LTD	LTD`	MT
Genérica	x						
Inherente		x					
Alcanzada		x	x				
Operacional		x	x	x	x	x	x
Operacional Generalizada		x	x	x	x	x	x

Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control.
Alfaomega Grupo Editor S.A. p 92.

Los conceptos, aplicaciones, demostraciones y fundamentos que se esbozan hasta el momento dejan sentadas las bases para entender las relaciones y leyes existentes entre los elementos de un sistema de mantenimiento y las relaciones que los gobiernan, bajo un enfoque sistemático. Todo con el fin de predecir el comportamiento del CMD y de cada una de sus variables, al menos con el método puntual, que si bien no es muy exacto, es muy útil para las empresas que se inician en el tema, aparte de que otorga toda la rigurosidad y la metodología de cálculo, aplicables en los otros modelos de predicción CMD.

Figura 29. Relaciones y leyes que gobiernan un sistema de mantenimiento.



Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor S.A. p 83.

4.7. CONFIABILIDAD¹¹

La palabra confiabilidad se usa ahora con mucha frecuencia y, desafortunadamente, algunas veces lo hacen desconociendo el contexto y la real implicación.

¹¹ **MORA GUTIERREZ, Alberto.** Mantenimiento planeación ejecución y control. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. 20090, p 67-94

El concepto más conocido para definir confiabilidad es: “la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas”.

Este concepto es, a veces usado de una forma equivocada debido al uso particular de la expresión “falla”; para muchos “falla” significa sólo paradas y así construyen complejos modelos matemáticos para calcular la probabilidad de paradas, sin tener en cuenta que también hay falla cuando se es ineficiente, inseguro, costoso, etc.

Otro elemento que debe considerarse son las causas de las paradas, que pueden darse por diferentes motivos, por ejemplo una parada de por lubricación en los rodamientos es muy diferente a una para por error de montaje en los rodamientos.

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de ella.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseñó durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno.

Esta definición muestra que existen 4 características que determinan su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones de operación.

4.7.1 Probabilidad

Las mediciones de confiabilidad y mantenibilidad se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica como el resultado de dividir el

número de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total de casos posibles (intentos o eventos); en la medida en que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor, la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. Por ejemplo, la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas de 0,75 (o 75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de cada 100 ensayos, durante al menos 80 horas.

4.7.2. Desempeño satisfactorio

Indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que se considera como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema (equipo) debe realizar, y que usualmente son las especificaciones del sistema. Implica, además, conocer cuándo el equipo falla y ya no se desempeña satisfactoriamente. Para un automóvil, por ejemplos, un adecuado nivel de satisfacción consiste en que se pueda desplazar; si es así, el auto se desempeña satisfactoriamente, aún si su radio se daña o ciertas luces no funcionan.

4.7.3. Período

Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o longitud de vida; no necesariamente tiene que ser dado en horas, días, meses o años; de acuerdo con el sistema, el tiempo se puede medir con un reloj, el tiempo exacto de operación, el número de ciclos de operación o incluso en otras medidas como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil. El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad, que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida.

4.7.4. Condiciones de operación

Son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione, y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad; incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de la carga, etc.

4.8. MANTENIBILIDAD

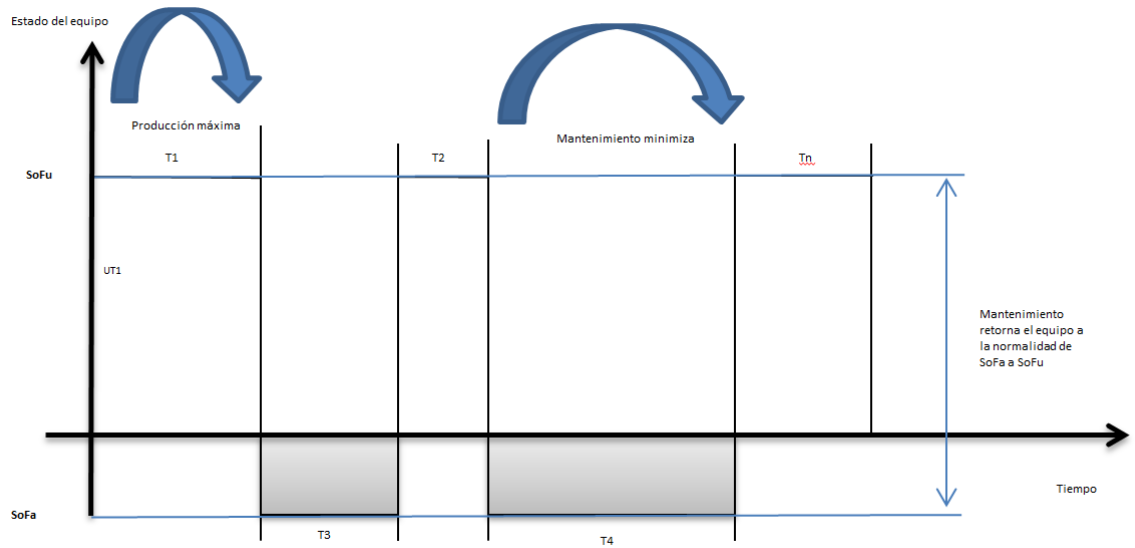
Se denomina mantenibilidad a la probabilidad de que un elemento máquina o dispositivo puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción. La normalidad del sistema al restaurarse su funcionalidad se refiere a su cuerpo y a su función.

La mantenibilidad se asocia a la facilidad con que un elemento o dispositivo se puede restaurar a sus condiciones de funcionalidad establecidas, lo cual implica tener en cuenta todas las características y hechos previos ocurridos antes de alcanzar ese estado de normalidad, tales como: diseño, montaje, operación, habilidades de los operarios, las modificaciones realizadas, las reparaciones anteriores, la capacidad de operación, la confiabilidad, los mantenimientos realizados a lo largo y ancho de la vida útil del equipo, el entorno, la legislación pertinente, la calidad de los repuestos, la limpieza, el impacto ambiental que genera, etc., que influyen directamente en el grado de mantenibilidad de un equipo.

En general, la forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad. La mantenibilidad expresa la capacidad con que un equipo se deja mantener para regresarlo a su estado de referencia, El mantenimiento consiste en las acciones concretas que se realizan para mejorar la mantenibilidad, y es esta última la calificación de cómo se realiza el mantenimiento.

En síntesis, hasta el momento se puede afirmar que la confiabilidad permite establecer y medir cómo actúa el área de producción en la administración y explotación de los equipos para generar bienes y servicios y, por otro lado, la mantenibilidad evalúa la gestión y la operación del mantenimiento que se realiza a esos elementos o máquinas. La disponibilidad es el calificativo integral de las dos áreas (producción y mantenimiento, actuando conjuntamente), como de otras divisiones de la empresa; mide la obtención de productos y bienes intangibles de la empresa en general. La confiabilidad es responsabilidad de producción, la mantenibilidad es compromiso de mantenimiento y la disponibilidad es encargo de la gerencia o dirección que está por encima de ambas y que abarca probablemente otras áreas de la compañía.

Figura 30. Descripción de CMD en el tiempo, funciones y responsabilidades.



Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control.
Alfaomega Grupo Editor S.A. p 105.

5. NORMAS ISO 14224, SAE JA1012 Y NORSOK Z-008.

En este capítulo se abordará una a una las normas que son sustento para esta tesis.

5.1. NORSOK STANDARD Z-008

El propósito de la norma NORSOK Z-008 es especificar los requerimientos y los lineamientos para establecer bases para la preparación y optimización de los programas de mantenimiento en los centros de servicio en altamar y en tierra teniendo en cuenta los riesgos relacionados a:

- Personal
- Medio ambiente
- Pérdidas en la producción
- Pérdidas económicas (todas las demás pérdidas además de las pérdidas en la producción)

El resultado de esta norma NORSOK es aplicable para diferentes propósitos, que se observan de acuerdo a la siguiente clasificación:

Fase de diseño.

El establecimiento de requisitos iniciales de dotación de mantenimiento, identificar fallas ocultas en los equipos críticos y selección de piezas de repuesto seguras.

Preparación para la operación.

Desarrollo de programas de mantenimiento iniciales para la implementación en los sistemas de gestión del mantenimiento y selección de repuestos comunes.

Fase operativa.

Optimización de los programas de mantenimiento existentes y como una guía para la priorización de los órdenes de trabajo.

En principio, todo tipo de modos de falla y de mecanismos de falla están cubiertos por esta norma NORSOK. Esta norma NORSOK cubre:

- Directrices para el análisis de criticidad, entre ellos:
 - Desglose funcional de las plantas y los sistemas de la planta en las principales funciones y sub-funciones.
 - Identificación de las funciones principales y las sub-funciones de redundancia.
 - Definición de las clases de consecuencias de falla.
 - Evaluación de las consecuencias de la pérdida de las funciones principales y sub-funciones.
 - Asignación de equipos a las funciones secundarias y clases de consecuencias asociadas.

Ejemplos de aplicación de la descomposición funcional y el análisis de criticidad:

- Selección de los equipos en los cuales las actividades de mantenimiento preventivo se pueden basar en los conceptos genéricos de mantenimiento.
- Selección de los equipos donde se recomienda detallado análisis RCM (FMECA).

- Establecimiento de las actividades e intervalos de mantenimiento, la especificación de los recursos y los requisitos competentes.
- Elaboración y optimización conceptos genéricos de mantenimiento.
- Evaluaciones de diseño.
- Priorización de las órdenes de trabajo.
- Valoración de piezas de recambio.

5.1.1. Referencias normativas.

Las siguientes normas contienen disposiciones que constituyen disposiciones de esta norma Norsok. La última edición de las referencias se utilizará a menos que se acuerde lo contrario. Otras normas reconocidas se podrán utilizar siempre que se pueda demostrar que cumplen o exceden los requerimientos de los estándares mencionados a continuación.

Tabla 4. Referencia Normativas Norsok Z-008

DNV RP-G-101	Inspección basada en riesgos relacionados a equipo estático mecánico.
IEC 60300-3-11	Guía de aplicación, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
OLF 066 Rev. No 01	Lineamientos y recomendaciones para la aplicación de IEC 61508 y IEC 61511 en las actividades petroleras en la plataforma continental noruega.
Norsok Z-016	Gestión de regularidad y tecnología de confiabilidad.
Norsok Z-013	Riesgos y análisis de preparación de emergencia.

5.1.2. Generalidades de la norma.

La aplicación de los conceptos genéricos de mantenimiento es eficaz para las nuevas instalaciones que no tienen experiencia operativa específica del sitio y para instalaciones en las que el programa de mantenimiento en curso no se ha establecido de acuerdo con los criterios para operaciones seguras y rentables. Se recomienda un análisis más detallado RCM para una mayor optimización de las actividades de mantenimiento para las instalaciones en servicio, teniendo en cuenta los conocimientos y experiencia de funcionamiento del equipo de la planta real. Ambos enfoques, los conceptos de mantenimiento genéricos y el análisis RCM, se basan en los principios de análisis de riesgos para la selección y priorización de las actividades de mantenimiento. El propósito de la obra y la práctica documentado, es decir, la disponibilidad de los conceptos genéricos de mantenimiento aplicables, decide cuál de los dos enfoques a ser utilizados.

Principios para la evaluación de riesgos y la asignación de las actividades de mantenimiento

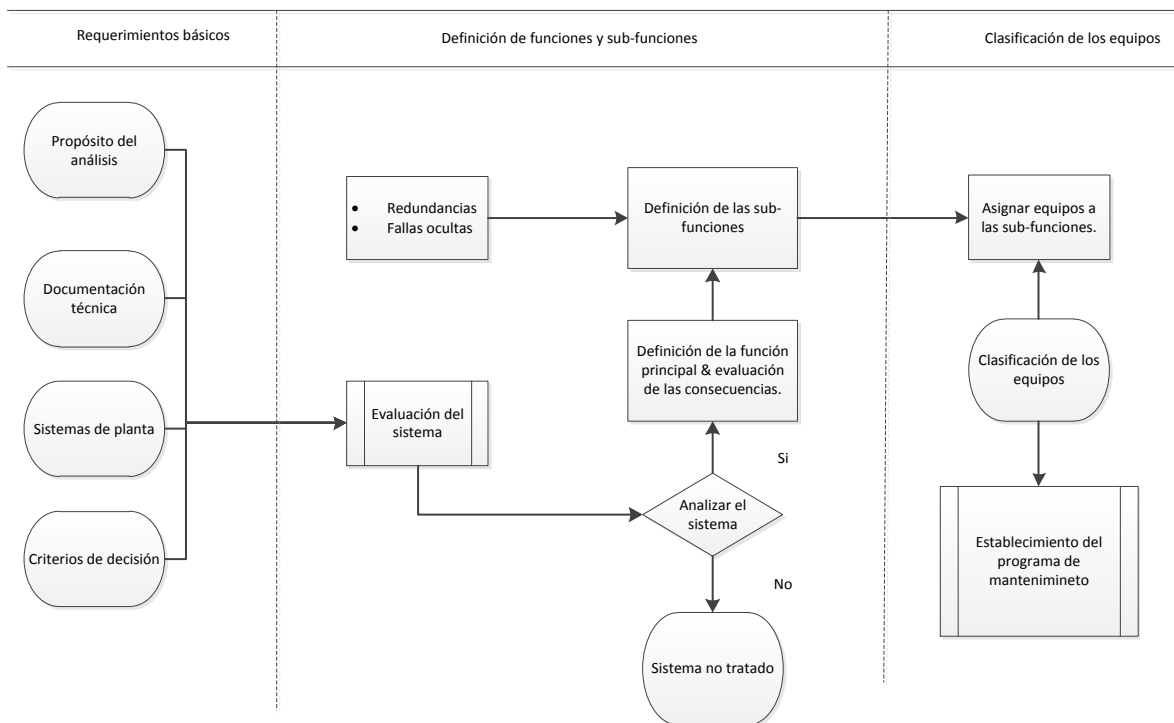
Las consecuencias y las probabilidades de fallos se evaluaron de forma independiente, como:

- Las consecuencias de los fallos del sistema, pérdida de las funciones principales y sub-funciones, son independientes de las funciones llevadas a cabo por los equipos.
- El equipo actual y las condiciones de operación afectan la probabilidad de fallo.

5.1.3. Jerarquía funcional y análisis de criticidad.

Al llevar a cabo los pasos definidos posteriormente para establecer una jerarquía funcional y un análisis de criticidad, una plataforma para decisiones basadas en riesgos relacionados a la gestión de las actividades de mantenimiento es establecido. El proceso de trabajo en general (vea la figura 8) describe sistemáticamente el desglose de los sistemas de la planta en los elementos adecuados para el análisis de la criticidad.

Figura 31. Diagrama de procesos, estructura funcional y análisis de criticidad



Fuente: Norma NORSOK Z-008

Para la realización del diagrama mostrado anteriormente se definen los contenidos que debe tener cada uno de los cuadros para lograr un análisis apropiado y óptimo para la gestión de mantenimiento.

I. Documentación técnica

Previo al análisis de criticidad la siguiente documentación técnica debe estar disponible

- Descripción técnica de los sistemas de la planta que contienen:
 - ✓ Descripción detallada de la planta y del sistema.
 - ✓ Los requisitos de capacidad.
 - ✓ Condiciones de funcionamiento.
 - ✓ Descripción del equipo

- Dibujos técnicos / diagramas que contienen los datos de proceso, materiales y códigos de los medios de comunicación:
 - ✓ P & ID
 - ✓ Diagramas de flujo.
 - ✓ Diagramas de una línea (cables y equipos eléctricos).
 - ✓ Lógica de apagado.
 - ✓ F & G de causa y efecto diagramas.
 - ✓ Hojas de datos de protección contra incendios.

II. Sistemas de planta.

Los sistemas con sus límites deben ser definidos y documentados por el uso del sistema de numeración de ingeniería

III. Criterios de decisión

Para los análisis de criticidad que evalúan las consecuencias de las fallas y el grado de redundancia funcional, las clases de consecuencias tienen que ser adecuadamente definidas antes de la realización de los análisis. La definición de las clases de consecuencias debe hacerse de acuerdo con los criterios generales de la empresa en materia de seguridad y medio ambiente, y reflejan el funcionamiento real de la planta cuando se trata de pérdidas económicas.

Para clasificar el efecto más grave de pérdida de funcionalidad (tanto la pérdida de la función principal y sub-funciones) las clases de consecuencias definidas en la tabla 1¹² se deben aplicar, a menos que se especifique lo contrario. Tenga en cuenta que la pérdida de "Producción" debería, en valor monetario cumplir con los límites de costes correspondientes especificados para 'Coste' dentro de cada clase.

IV. Selección de sistemas para el análisis

La primera actividad consiste en seleccionar los sistemas que deben ser incluidos en el análisis. La clasificación criterios depende del propósito del análisis y debe ser documentado. Los criterios de selección podrían basarse en los costos de mantenimiento, los principales contribuyentes a la pérdida de producción / indisponibilidad y los incidentes relacionados con la seguridad.

Una vez establecida la jerarquía funcional y realizado el análisis de criticidad se procede a la aplicación de los mismos para obtener un programa de mantenimiento apropiado que cumple con los lineamientos especificados en los contenidos de la norma NORSOK Z-008.

¹² NORSOK standard Z-008, Rev.2, Nov. 2001, p.10

5.2. NORMA ISO 14224.

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de equipos y compararla con la de otros de características similares.

Los parámetros sobre confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de

DISEÑO MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

a) Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del Sistema.
- Seguridad, Confiabilidad y Disponibilidad de los Sistemas y Plantas.
- Costo del Ciclo de Vida.
- Planeamiento, optimización y ejecución del Mantenimiento.

b) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio de datos entre Plantas.
- Asegurar que los datos sean de calidad suficiente, para el análisis que se pretende realizar.

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de operación, como también la calificación de la jerarquía de las fallas. Parte desde el Modo de Falla (perdida de la función) hasta el detalle de la Causa de Falla y el componente (ítem mantenible para la norma) que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el Técnico de Mantenimiento (y las que quedan para un Especialista como metalografía, fractomecánica, etc.)

5.2.1. FMEA.

Es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que provocan las fallas de cada componente (ítem mantenible para la norma ISO 14224) de un equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Sus objetivos principales son:

-Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, operación y mantenimiento de un equipo, a partir de los componentes (ítem mantenibles para la norma ISO 14224).

-Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.

-Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla potencial.

- Analizar la Confiabilidad del Sistema
- Cuantificar Riesgos y Confiabilidad.
- Documentar el proceso

5.2.2. Consideración sobre FMEA.

FMEA llega a los modos de falla partiendo de la supuesta falla de un componente.

Considerando que los componentes son perfectamente identificables, la supuesta falla total o parcial de cada uno nos lleva directamente a todos los modos de falla potenciales (pérdida de la función.)

Una tormenta de ideas en RCM NO asegura que se identifiquen TODOS los modos de falla. Los responsables de las pérdidas de funciones de los equipos (Sistemas) son los componentes (Ítem Mantenibles, para la ISO 14224)

Si se identifican desde un principio los modos de falla estándar para cada tipo de equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional, y se listan sistemas y subsistemas, componentes (Items Mantenibles), causa de fallas y descriptores de falla; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar afuera ninguna falla supuesta que afecte a las funciones del equipo.

Los operadores y mantenedores están muy identificados con las fallas funcionales y los componentes que las provocan.

Las listas de causas de falla (que incluyen todas las causas preestablecidas) limitan así la profundidad de análisis. Están adaptadas al nivel de conocimiento del personal involucrado; lo que le otorga confiabilidad al dato.

5.3. ESTRUCTURACIÓN DE JERARQUÍAS ISO 14224.

La norma ISO 14224 toma la máquina dividiéndola de mayor a menor jerarquía o grado de detalle:

- CLASES
- SISTEMA
- SUB SISTEMA
- ÍTEM MANTENIBLE
- COMPONENTE DE DETALLE (en un grado último de división, opcional)

Para mayor detalle puede consultarse la NORMA ISO 14224, donde se muestra cómo quedan perfectamente determinados los límites constituyentes de cada clase de equipo.

Esta división es primordial y de la mayor importancia debido a que permite definir cómo se tratará a los equipos, respecto a la posterior interpretación de los resultados; y luego cómo se asociarán los registros de operación y mantenimiento, de modo de contar con metodologías sencillas de análisis (y la aplicación de software avanzados). Los registros de mantenimiento deben relacionarse con cada nivel dentro de la jerarquía del equipo a fin de que puedan compararse.

- **CLASES DE EQUIPOS.**

A partir de la estructura presentada por la norma, acorde a un orden de JERARQUÍA, se establecen cuáles son las clases de equipos (siendo este el nivel más alto) se las puede asociar a funciones; cada una en su contexto operacional; entendiendo por función, de acuerdo con la definición de RCM, a las razones por las cuales un equipo existe dentro del proceso.

Acorde al glosario definimos como clase a un determinado tipo de equipo, que para la norma son los siguientes:

- **SISTEMAS.**

Bajo los conceptos de RCM / FMEA (así lo toma la Norma ISO 14224) se considera sistema a un conjunto que realiza una función específica, en un servicio determinado dentro del proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida.

Incluyen todos los equipamientos disponibles para la operación de los mismos y, en general, comparten muy pocas partes con otros sistemas.

Como norma genérica para la fijación de sus límites, se pueden tomar todas las válvulas que lo aíslan.

Para el caso de la norma quedan clasificados por:

- TIPOS DE EQUIPOS
- APLICACIÓN

Ejemplos de Sistemas:

- Sistema de Bomba Centrífuga Agua de Inyección
- Sistema de Bomba Alternativa Trasvase de Petróleo

- **SUB SISTEMAS.**

Son aquellos equipos que posibilitan que el sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo equipo calificado como subsistema que falle, afecta directamente al sistema.

Por ejemplo, el Control, Monitoreo e Instrumentación (o instrumentación), pueden considerarse como Unidad.

- **ITEM MANTENIBLE – COMPONENTE DE DETALLE.**

La unidad final de la división es el Ítem Mantenible (COMPONENTE), entendiendo como tal a las partes de los equipos sobre las cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento, con el objeto de alcanzar la confiabilidad deseada.

Analizado desde otro punto de vista, Ítem Mantenible es aquella parte en que su falla (Crítica, Incipiente o por Degradación, ver OREDA), provoca una pérdida de la capacidad del sistema (calificadas en los Modos de Falla n) para que continúe operando dentro de las condiciones especificadas o determinadas para un proceso.

Los datos de confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del equipo a fin de que puedan compararse.

6. ESTRUCTURA Y MEDOLOGIA DE LA HERRAMIENTA INFORMATICA.

El mantenimiento hoy en día requiere de procesos sistematizados, la ingeniería y la informática en conjunto son una buena combinación para lograr esto. En el presente capítulo nos centramos en presentar al lector cómo funciona esta sinergia.

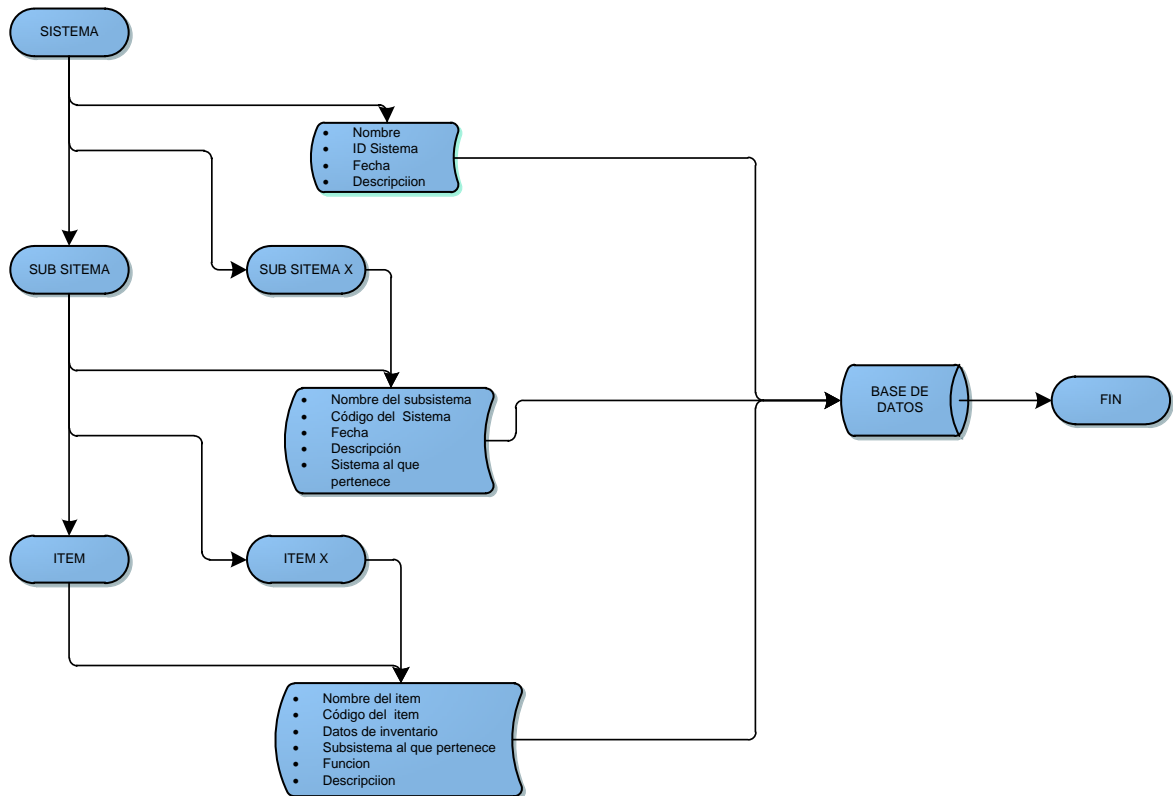
La herramienta computacional que se presenta a continuación cuenta con 5 pestañas de funciones los cuales recogen y procesan la información para luego presentarla acorde a las metodologías establecidas por las normas internacionales.

- Adquisición de datos.
- Funciones y modos de falla
- Confiabilidad
- Disponibilidad
- Mantenibilidad

6.1. ADQUISICIÓN DE DATOS.

La pestaña adquisición de datos es la ventana que se encarga de recoger toda la información de nuestro proceso organizándolo en sistema y subsistema e implementado la metodología serie, paralelo y mixto.

Figura 32. Diagrama de flujo de adquisición de datos

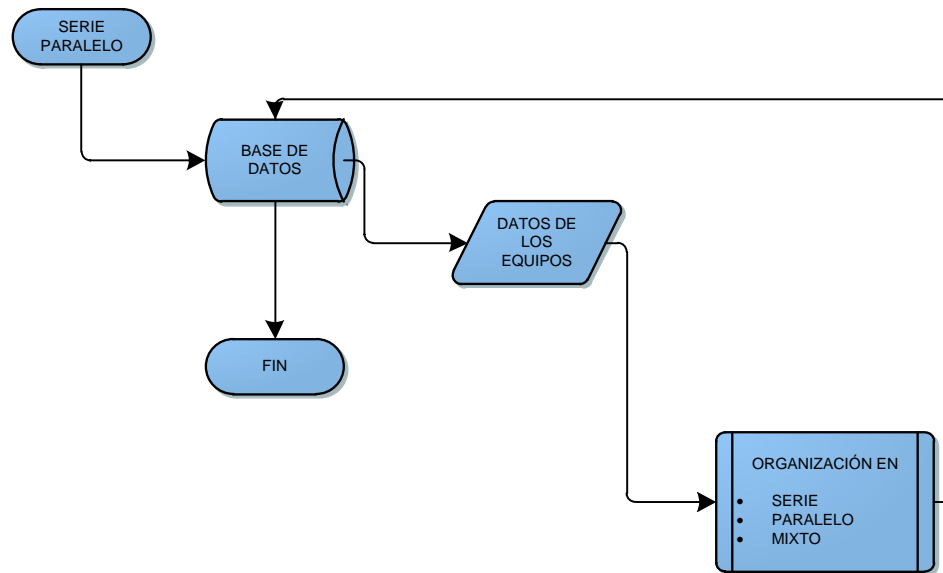


La herramienta computacional de mantenimiento solicita al usuario la información referente al proceso la cual es organizada y almacenada en la base de datos. El

proceso lógico de introducción de la información permite adicionar más de un subsistema o un ítem (esto se representa como subsistema x e ítem x) dependiendo de lo que se requiera para el proceso que se va analizar.

Con la información en base de datos nos disponemos a implementar la configuración serie, paralelo y mixto.

Figura 33. Diagrama de flujo de Serie, Paralelo y Mixto

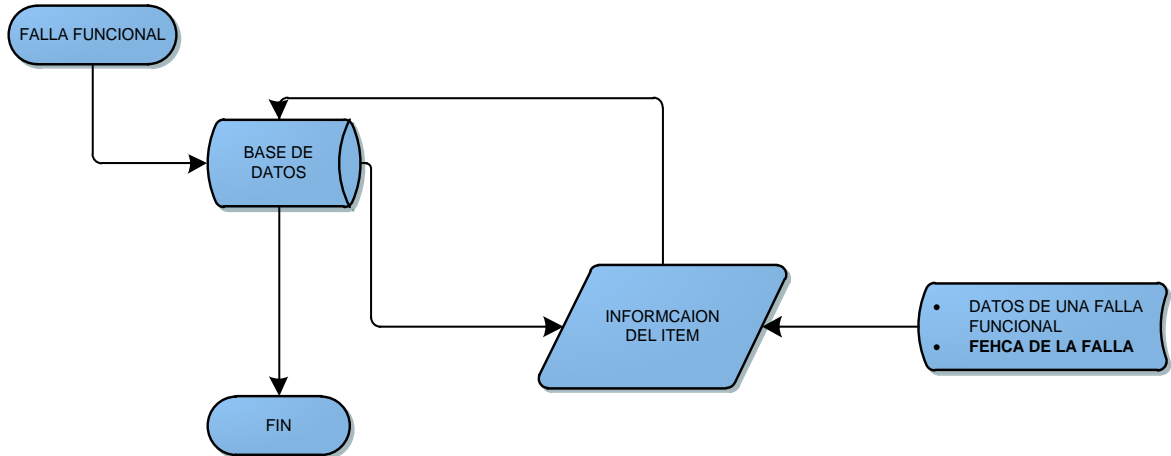


6.2. FUNCIONES Y MODOS DE FALLA.

La pestaña de funciones y modos de falla es una pestaña diseñada para operarios y personal del área de mantenimiento. Consta de 4 componentes programables de

los cuales 2 son de adquisición de fallas y reparaciones y los otros presentan informes relevantes para el mantenimiento.

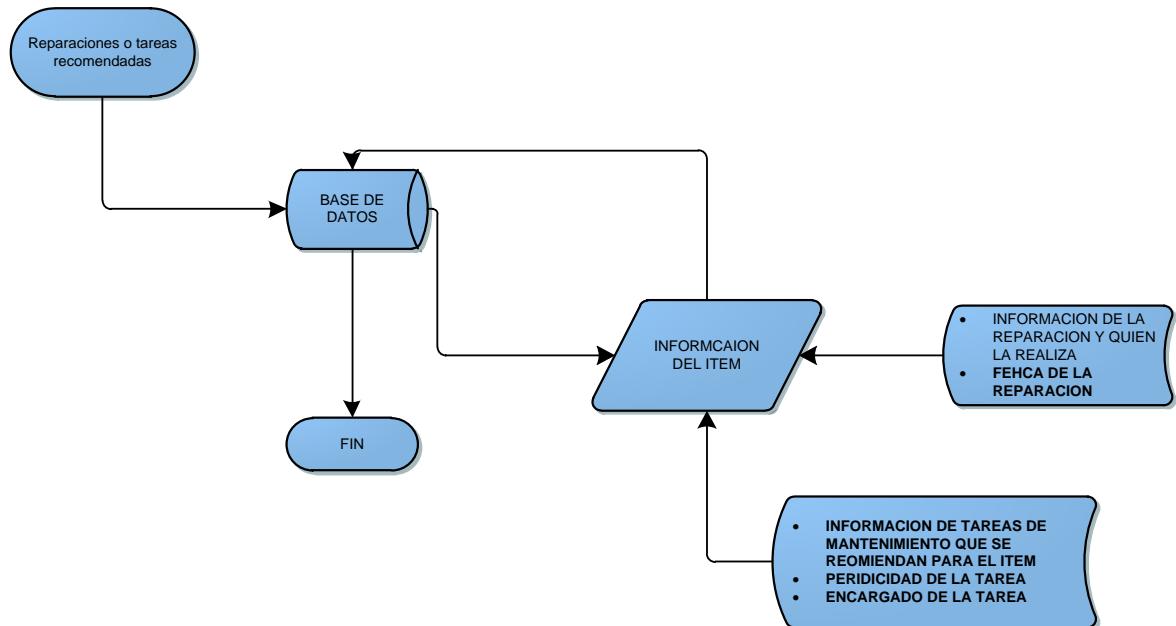
Figura 34. Diagrama de flujo de falla funcional



Para lograr introducir la información de una falla a un ítem se modifica en la base de datos el estado del ítem agregándole una variable que indica su condición actual y una lista con todas las fallas agregadas puesto que se tiene en cuenta que una falla funcional puede ser causada por uno o muchos modos de falla.

A cada falla funcional la metodología RCM asigna una reparación o tarea apropiada de acuerdo con los modos de falla presentados, la herramienta nos permite hacer un registro del servicio de mantenimiento, ya sea por parte de la división del mantenimiento o por parte del operario de la máquina.

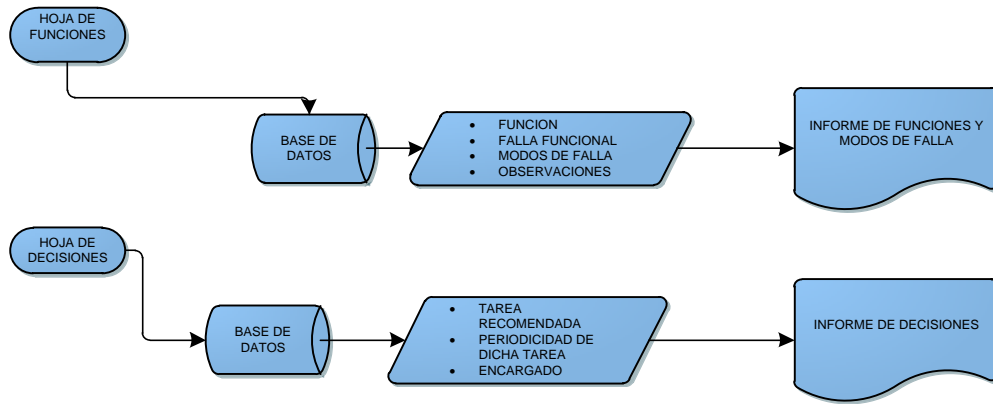
Figura 35. Diagrama de flujo de reparaciones y tareas recomendadas.



De este proceso obtenemos información de mucha importancia para el proceso del RCM, primero el registro de las tareas de mantenimiento a la hora de la reparación de las fallas permite tener un control y un histórico de que tareas se están realizando y cuanto tardan en pasar, por otra parte se encuentra el módulo de decisiones que se encarga de permitir el ingreso de tareas periódicas al ítem y de un encargado esto.

En la parte siguiente de los procesos hechos en esta pestaña nos encontramos con los botones que muestran los informes de funciones y modos de falla además del informe de toma de decisiones para cada ítem de un sistema.

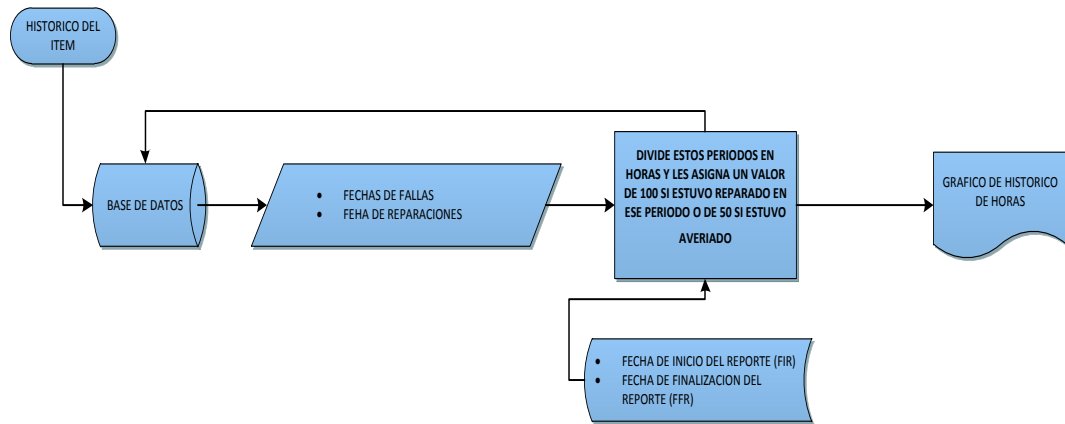
Figura 36. Diagrama de flujo de hoja de funciones y decisiones.



Esta parte muestra dos informes de mucha importancia para cualquier proceso que se guie por la metodología del RCM y permiten llevar un histórico de toda esta información además de tenerla a la mano para cualquier persona que le interese.

Por último en esta pestaña se muestra la parte de la creación de graficas históricas del ítem, para ello se pide al usuario seleccione uno de los ítems previamente ingresado con falla y sus correspondientes reparaciones además del periodo del reporte, que para facilidad de entendimiento del grafico se pide que sea de tres meses.

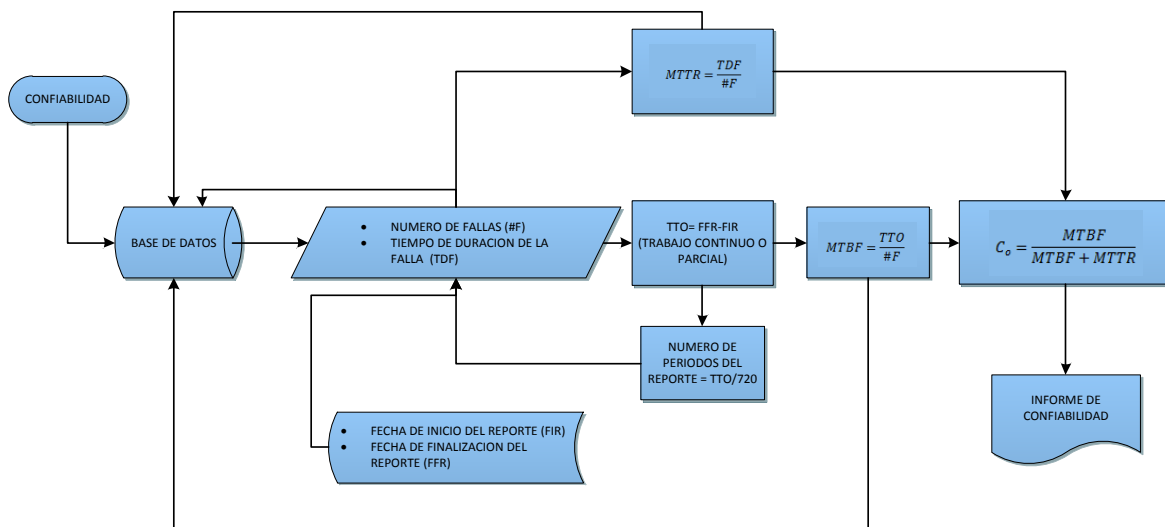
Figura 37. Diagrama de flujo grafica de historial de ítem.



6.3. CONFIBILIDAD.

La pestaña de informe de confiabilidad es uno de los aspectos importantes de la metodología RCM para ello se requiere solo de la información de cuál es el periodo del informe que se va a mostrar.

Figura 38. Diagrama de flujo de confiabilidad.



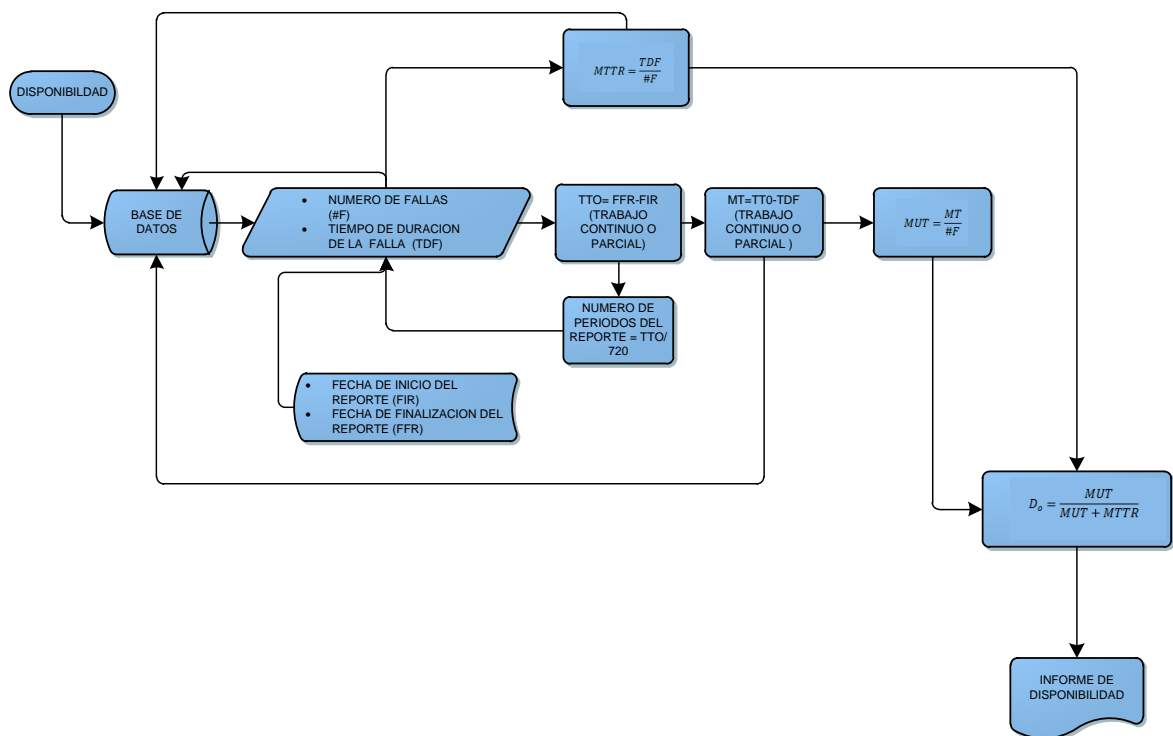
Este diagrama de flujo muestra el proceso de operación del programa para generar los informes de confiabilidad. Cabe resaltar que el proceso es repetitivo y la cantidad de repeticiones depende del número de periodos que se desean en el reporte. Para hacer reportes mensuales se debe tener en cuenta que el número de horas en un mes es de 720 y que el TTO se calcula en horas a partir de la diferencia de las fechas y una función pre-programada.

Para obtener las variables #F y TDF, al reportar una falla, ésta se almacena y se suma a las fallas anteriormente reportadas para un ítem correspondiente. La sumatoria total es el #F. Para la determinación del TDF se implementa una operación lógica a la base datos que guarda el estado de la falla (reparada o no reparada). El tiempo que la falla permanezca sin estar reparada es equivalente al TDF.

Con la información del número de periodos definida se ingresa en las formulas básicas de mantenimiento para hacer los respectivos cálculos y luego presentarlos de manera organizada en el reporte de confiabilidad, el cual contiene el valor de la confiabilidad para cada periodo organizado en columnas, valores que se pueden graficar en una curva de confiabilidad vs tiempo.

6.4. DISPONIBILIDAD.

Figura 39. Diagrama de flujo de disponibilidad.



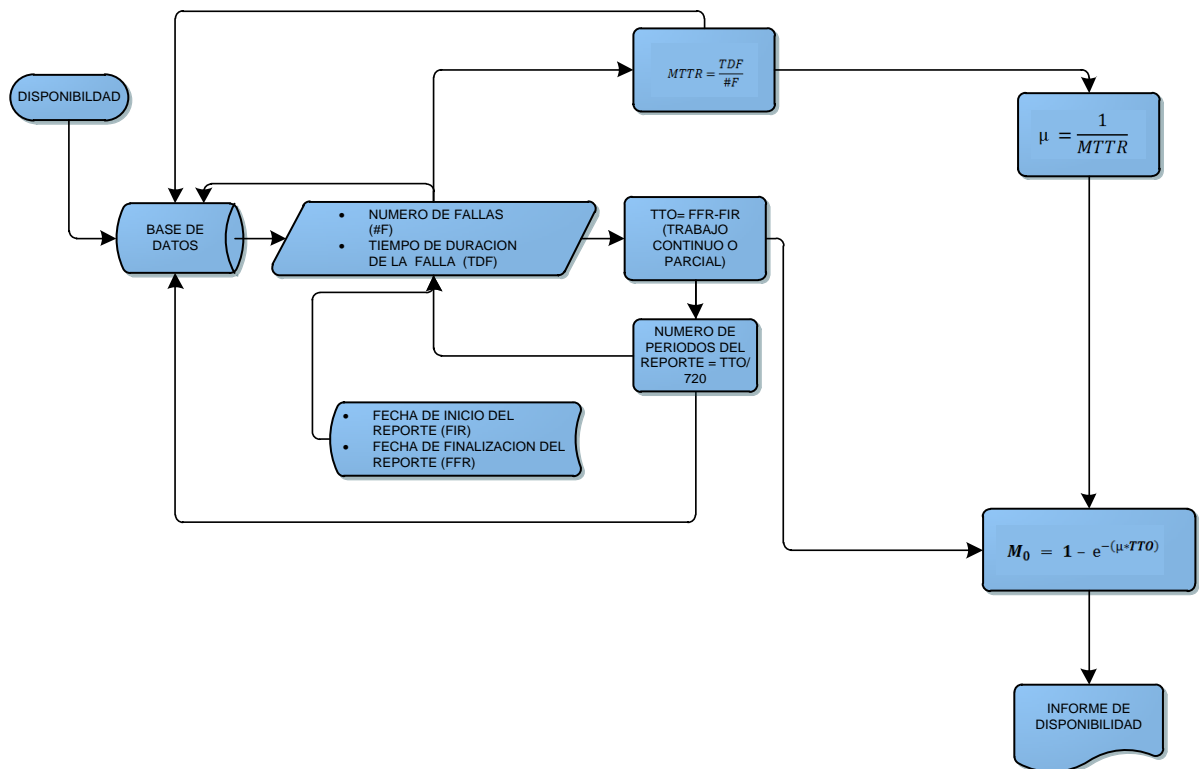
El reporte de disponibilidad se obtiene de una manera similar a la confiabilidad sólo hay que tener en cuenta el hecho de que se introduce una nueva variable

(MT) que se calcula con los datos (TTO) y (TDF) y que la variable que se deriva de esta es el valor de tiempo promedio de operación (MUT).

El informe de disponibilidad se presenta de manera similar al informe de confiabilidad.

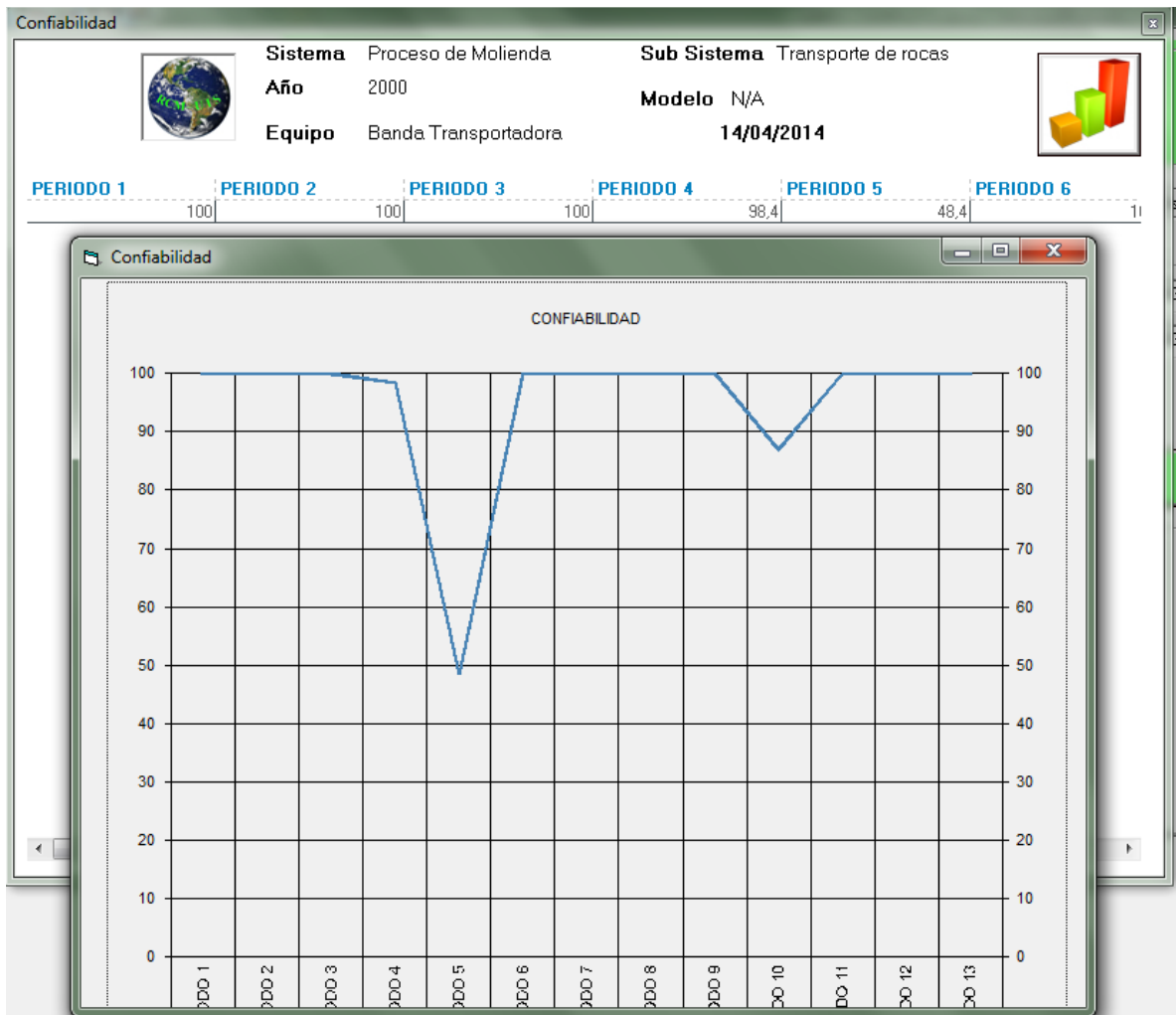
6.5. MANTENIBILIDAD.

Figura 40. Diagrama de flujo de mantenibilidad.



Al igual que los informes anteriores se extrae la información de la base de datos y se procesa para poder brindar la información. Este informe tiene una particularidad ya que necesita la función exponencial. La presentación del informe se hace de manera similar a los anteriores.

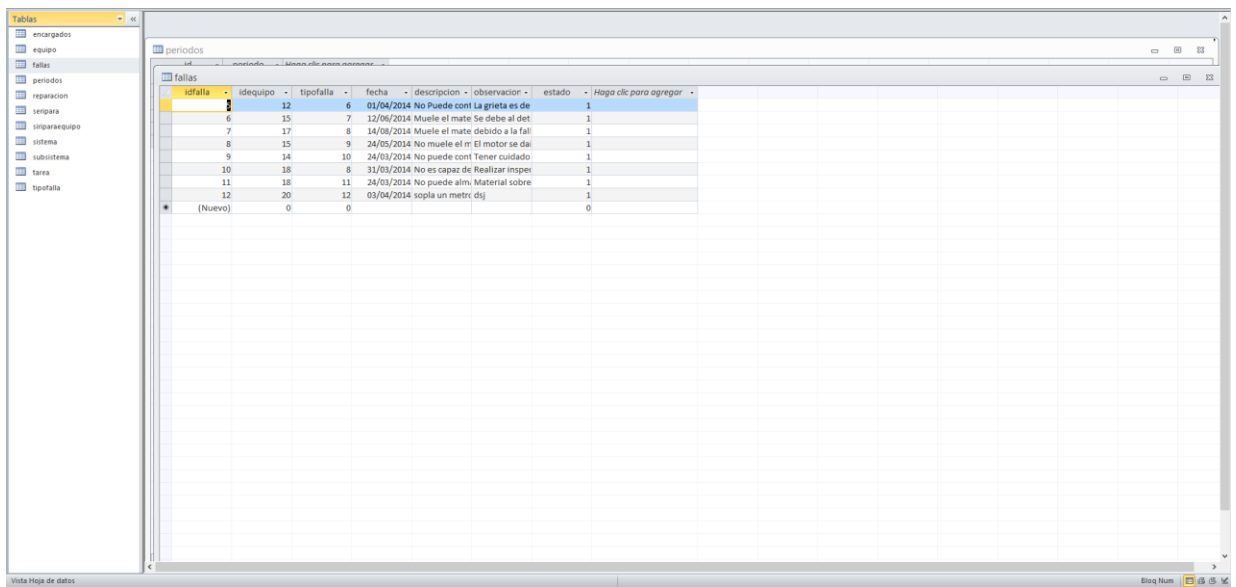
Figura 41. Ejemplo de informe de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad



6.6. BASE DE DATOS.

La base de datos se hizo usando un sistema de administración de base de datos (DBMS), lo cual facilita el acceso a la base de datos; se ofrece como una opción de un gran abanico de posibilidades de software gratis y de pago para acceder a la información.

Figura 42. Sistema dbms usado para almacenar y procesar la información del rcm



The screenshot displays a database management system interface. On the left, a sidebar lists various tables: encargados, equipo, fallas, periodos, reparacion, riesgos, tiposreparacion, sistema, subsistema, tarea, and tipofalla. The main window shows the 'fallas' table with the following data:

idfalla	idequipo	tipofalla	fecha	descripcion	observacion	estado	Haga clic para agregar
6	15	7	12/06/2014	Muele el mate	Se debe al det	1	
7	17	8	14/08/2014	Muele el mate	debido a la fall	1	
8	15	9	24/05/2014	No muele el m	El motor se da	1	
9	14	10	24/03/2014	No puede conl	Tener cuidado:	1	
10	18	8	31/03/2014	No es capaz de	Realizar inspe	1	
11	18	11	24/03/2014	No puede alim.	Material sobre	1	
12	20	12	03/04/2014	sopla un metr	dsj	1	
(Nuevo)	0	0				0	

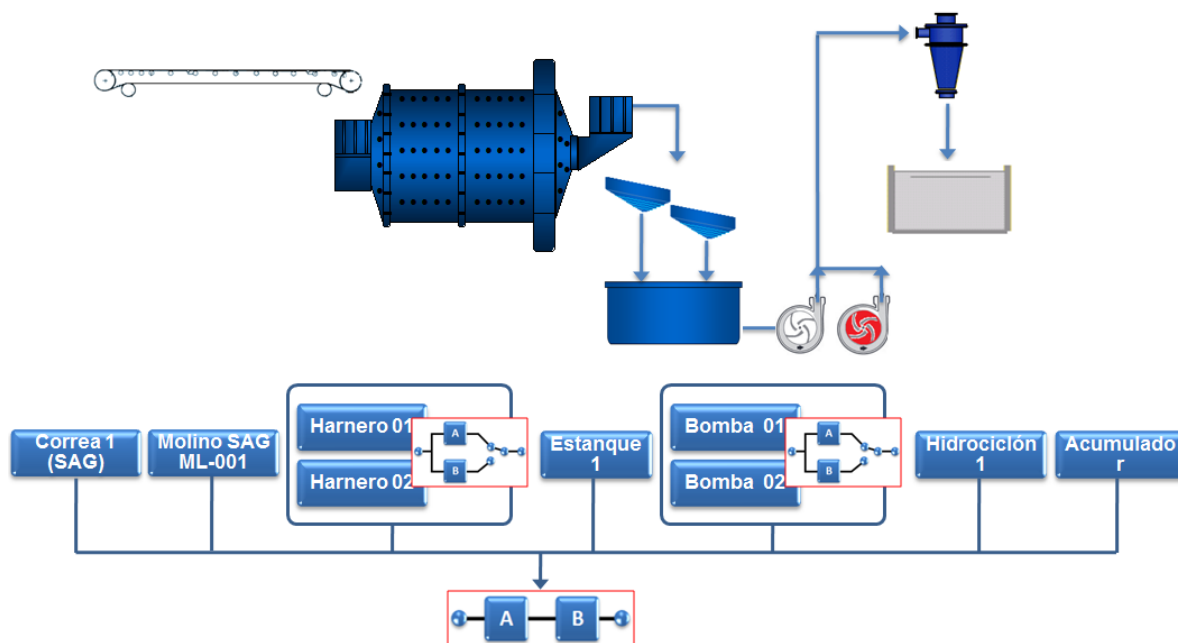
7. CASO DE ESTUDIO.

7.1. DESCRIPCION.

Para un buen entendimiento del funcionamiento de la herramienta computacional se presenta en este capítulo un ejemplo que ilustra los procedimientos de ingreso de información, reporte de fallas y generación de reportes y plantillas.

Se analiza un proceso que es usado en plantas mineras para moler rocas y reducirlas a un tamaño que sea apto para las etapas siguientes del procesamiento de dicho material. El proceso consta de 5 subsistemas y 9 ítems mantenibles. Estos subsistemas están en disposición mixta como se observa en la figura 31.

Figura 43. Esquema de proceso de molienda



Fuente: <http://www.mes.cl/tutorial.html>.

En la figura 31, se observan los subsistemas:

- Subsistema de Transporte de Rocas
- Subsistema de Molino
- Subsistema de Tamizado y Almacenamiento I
- Subsistema de Bombeo
- Subsistema de Separación y Almacenamiento II

Y los ítems:

- Banda transportadora
- Molino SAG
- Harnero 1
- Harnero 2
- Estanque
- Bomba 1
- Bomba 2
- Hidrociclón
- Acumulador

7.2. ETAPAS DEL PROCESO.

Para la obtención del material en el estado final, la roca debe pasar por procesos específicos. Estos procesos se realizan en cada uno de los subsistemas; por consiguiente, se hace un análisis de cada uno de los subsistemas para la comprensión del proceso global y de parcialmente.

7.2.1. Transporte.

El transporte se hace a través del subsistema de transporte de rocas que viene del proceso de extracción del material (el cual no se detalla en este caso de estudio) y se realiza con la banda transportadora.

Figura 44. Banda transportadora de rocas.



Fuente: <http://www.agregados.biz/producto/piedra-braza/equipos-285/>

7.2.2. Molino.

Luego de ser transportado el material por la banda transportadora pasa a un molino SAG que se encarga de moler las rocas con el objetivo de disminuir su tamaño de manera que se pueda seguir con el proceso global.

Figura 45. Molino SAG.



Fuente: <http://www.mineraesperanza.cl/multimedia/fototeca/area-planta/Pages/default.aspx>

7.2.3. Tamizado y almacenamiento i

El tamizado se realiza para obtener un tamaño estándar de todo el material, con esto se espera uniformidad en el proceso, se observa una disposición en paralelo, debido a la necesidad de tratar una mayor cantidad de material. Luego de esto el material resultante es mezclado con agua en el primer estanque para ser bombeado posteriormente.

Figura 46. Harneros y estanque.



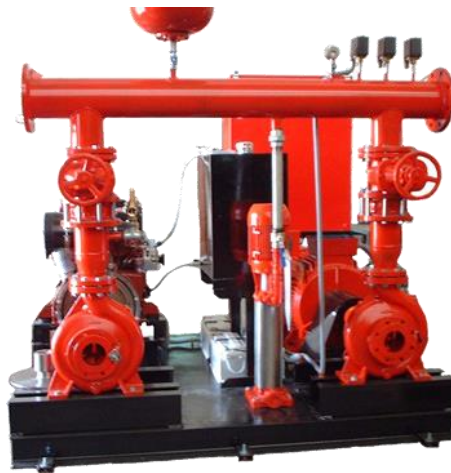
Fuente: <http://i1.ytimg.com/vi/ohghIE4WDyo/0.jpg>

7.2.4. Bombeo.

Para el bombeo se utilizan 2 bombas en disposición en paralelo. En este caso el sistema en paralelo se implementa para no suspender el proceso en caso de que la bomba requiera mantenimiento; la bomba auxiliar está en Stand-By, y sólo se acciona cuando la bomba principal está fuera de servicio.

El sistema bombea la mezcla de agua y roca reducida para aumentar la presión de y que el hidrociclón pueda operar normalmente.

Figura 47. Bombas en paralelo



Fuente:http://www.bombascaprari.es/es/_products/products.jsp?idType=&civile=1&page=8

7.2.5. Separación y almacenamiento ii

Este subsistema se encarga de separar la mezcla de agua con rocas. El hidrociclón opera como separador debido a las velocidades de rotación características del mismo; unas tuberías se adicionan al hidrociclón para retirar el agua y las rocas secas se depositan en el acumulador.

Figura 48. Hidrociclón y Acumulador



Fuente: http://www.copersa.com/es/catalogo/odis-hidrociclones/hidrociclones-serie-5000/_p:108/

Toda esta información es ingresada a RCM-UIS y se almacena como un sistema global.

7.3. CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO.

Para entrar en un contexto operacional, se va a estimar que todos los ítems operan de manera continua (salvo las bombas), los datos de fabricante, referencia y demás son ficticios, que todos los ítems ingresaron al sistema global el mismo día y que son nuevos.

Tabla 5. Datos de los ítems mantenibles.

Nombre	Código	Fabricante	ID	Modelo	Referencia	Subsistema de:	Tipo de trabajo	Fecha de introducción al sistema
Banda Transportadora	BT1	Twentebelt	01	N/A	2516	Transporte de rocas	Continuo	24/03/2014
Molino SAG	MS1	Miningepcm	02	N/A	45964	Molino	Continuo	24/03/2014
Harnero I	H1	Quiminet	03	N/A	5665	Tamizado y almacenamiento I	Continuo	24/03/2014
Harnero II	H2	Quiminet	04	N/A	15616	Tamizado y almacenamiento	Continuo	24/03/2014
Estanque	E1	Fibra	05	N/A	19687	Tamizado y almacenamiento	Continuo	24/03/2014
Bomba I	B1	SIHlpumps	06	N/A	6316	Bombeo	Parcial	24/03/2014
Bomba II	B2	SIHlpumps	07	N/A	49651	Bombeo	Parcial	24/03/2014
Hidrociclón	HC	Regaber	08	N/A	6321	Separación y almacenamiento II	Continuo	24/03/2014
Acumulador	E2	Regaber	09	N/A	1565	Separación y almacenamiento II	Continuo	24/03/2014

Ahora que se han ingresado los datos históricos de los ítems, se procede a definir las funciones de cada uno de los mismos.

Tabla 6. Funciones de los ítems mantenibles.

Nombre	Función	Observaciones
Banda Transportadora	Transportar rocas del proceso de extracción al molino a razón de 500 kg por hora.	N/A
Molino SAG	Moler rocas a razón de 500 kg por hora.	N/A
Harnero I	Tamizar material particulado procedente del molino a razón de 250 kg por hora.	Este harnero tamiza la mitad del material proveniente del molino
Harnero II	Tamizar material particulado procedente del molino a razón de 250 kg por hora.	Este harnero tamiza la mitad del material proveniente del molino
Estanque	Almacenar material tamizado y mezclado con agua con una capacidad 750 metros cúbicos	Limpieza de fondo semanal
Bomba I	Bombear Material mezclado con agua a razón de 750 metros cúbicos por hora	Se somete a mantenimiento preventivo cada 3 meses de operación alternado con la bomba II
Bomba II	Bombear Material mezclado con agua a razón de 750 metros cúbicos por hora	Se somete a mantenimiento preventivo cada 3 meses de operación alternado con la bomba I
Hidrociclón	Separar el material mezclado con agua a una rata de 750 metros cúbicos por hora.	N/A
Acumulador	Almacenar el material sólido tratado con una capacidad de 50 kg.	N/A

Como se ha explicado anteriormente en este libro, cada función puede manifestar diferentes modos de falla; entre la tabla 7 y 15 se muestra un historial de cada ítem que incluye los modos de falla que hipotéticamente se han presentado en cada uno de los ítems a lo largo del año de estudio; también se documentará la fecha correspondiente a cada falla y su respectiva reparación y, finalmente, se presenta una serie de tareas recomendadas para el incremento de la confiabilidad del sistema en general.

Tabla 7. Historial de Banda transportadora.

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	Incapaz de transportar material	El motor no arranca en el momento de encender	17/07/2014	Realizada	17/07/2014	Revisar las escobillas de los motores	Mecánico
02	Transporta material a razón 400 kg/hora	Baja energía de salida	10/08/2014	Realizada	11/09/2014	Lubricar los engranajes de la caja reductora	Mecánico
03	Transporta material a razón 300 kg/hora	Vibración en la banda	25/12/2014	Realizada	29/12/2014	Evitar el ingreso de partículas a la caja reductora	Operario
04	Transporta material a razón 250 kg/hora	El material se cae de la banda	06/01/2015	Realizada	06/01/2015	Inspeccionar el estado de la banda	Operario
05	Incapaz de transportar material	Colapso del motor	19/03/2015	No Realizada	21/03/2015	Cambio de motor	Servicio de mantenimiento

Tabla 8. Historial de Molino

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	Incapaz de moler el material	El motor no arranca en el momento de encender	19/04/2014	Realizada	21/04/2014	Revisar las conexiones eléctricas	Servicio de mantenimiento

Tabla 9. Historial de Harnero I

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	Tamiza 150 kg/hora	Los vibradores no operan en su capacidad	19/06/2014	Realizada	19/06/2014	Revisar las escobillas de los motores	Mecánico
02	No tamiza	Rotura de la malla	31/12/2014	Realizada	31/12/2014	Cambiar la malla	Operario

Tabla 10. Historial de Harnero II

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cambiar la malla	Operario

Tabla 11. Historial de Estanque

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Limpieza de fondo	Operario

Tabla 12. Historial de Bomba I

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Chequeo del estado del impulsor y sellos	Servicio de mantenimiento

Tabla 13. Historial de Bomba II

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Chequeo del estado del impulsor y sellos	Servicio de mantenimiento

Tabla 14. Historial de Hidrociclón

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	No separa el material	Paso del filtro de entrada obstruido	01/11/2014	Realizada	01/11/2014	Chequeo del estado del filtro de entrada	Servicio de mantenimiento
02	Separa el material a razón de 100 m ³ /hora	Fuga en la tubería	09/11/2014	Realizada	10/11/2014	Inspección de manómetros en las tuberías	Operario
03	No separa el material	Válvula de drenaje atascada/estrangulada	22/11/2014	Realizada	24/11/2014	N/A	N/A
04	No separa el material	Paso del filtro de entrada obstruido	30/11/2014	Realizada	30/11/2014	N/A	N/A

Tabla 15. Historial de Acumulador.

Nº. Falla	Falla funcional	Modo de falla	Fecha de la falla	Reparación	Fecha de la reparación	Tarea de recomendada	Encargado
01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Limpieza del fondo	Operario

Para el cumplimiento del objetivo relacionado con la generación de informes de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad se procesa toda la información suministrada, y, mediante el uso de las fórmulas incluidas en el capítulo 3 de este libro, se calcula cada indicador.

7.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

A continuación se muestran imágenes acerca de cómo se implementan todas las etapas anteriores del proceso en la herramienta RCM-UIS. La metodología se hace únicamente para uno de los subsistemas e ítems del sistema global ya que el proceso es el mismo para cada uno.

Se recomienda que todo lo que se menciona en esta sección se ejecute con la ayuda del manual de usuario, dicho manual se encuentra en los anexos de este libro.

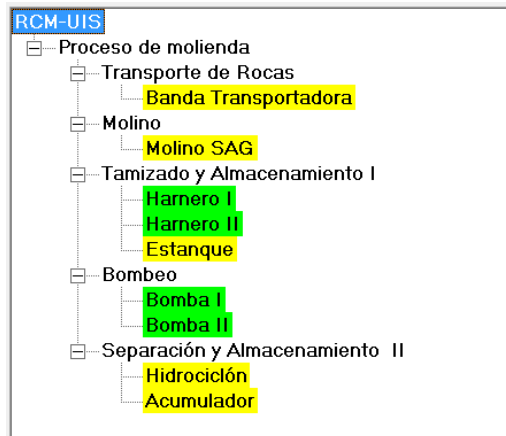
7.4.1. Introduciendo sistemas, subsistemas e ítems

Figura 49. Introducción de sistemas, subsistemas e ítems

SISTEMA	SUBSISTEMA	ÍTEM

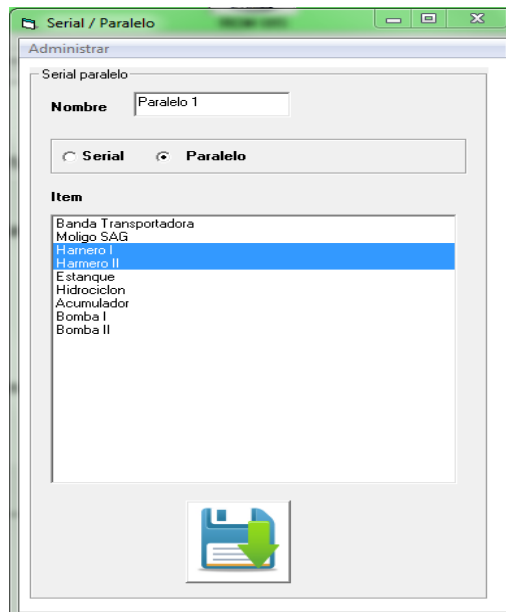
En el programa el sistema completo se visualiza en el gestor de componentes.

Figura 50. Visualización del sistema global



Los colores amarillo y verde representan la disposición serie y paralelo, respectivamente.

Figura 51. Disposición serie o paralelo



7.4.2. Reportando fallas

Figura 52. Introducción de fallas

The screenshot shows a software window titled "Falla funcional" with a sub-header "Administrar". The interface is divided into several sections:

- Datos equipo:** A form with input fields for "Nombre" (Banda Transportadora), "Codigo" (BT1), "Id" (01), "Año" (2000), "Modelo" (N/A), and "Referencia" (2516).
- Fecha de falla:** A dropdown menu showing "17/07/2014".
- Descripción de la falla:** A text area containing "Incapaz de transportar material".
- Modo de falla:** A dropdown menu with "arranca en el momento de encender" selected.
- Recomendaciones de fallas segun la norma ISO 14224:** A grid of green buttons for equipment types: Bomba, Compresor, Contenedor, Generador Electrico, Intercambiador, Motor de Combustion, Motor Electrico, Sensores de Proceso, Turbina de Gas, Unidad Logica de Control, and Valvula.
- Observaciones:** A text area containing "N/A".
- Save icon:** A floppy disk icon with a green arrow pointing down, indicating a save function.

7.4.3. Reportando reparaciones

Figura 53. Reporte de reparaciones

Tareas recomendadas

Administrar

Datos equipo

Nombre: Banda Transportadora
Código: BT1
Id: 01
Año: 2000
Modelo: N/A
Referencia: 2516

Fecha de reparación
17/07/2014

Fallas a reparar
El motor no arranca en el momento de encender 17/07/2014

Reparada Si No

Observaciones
N/A

Tareas recomendadas

Tarea: Revisar las escotillas de los motores
Periodo: Mensual
Encargado: Mecanico


Recomendacion ISO 14224

Ayuda de Hoja de decisiones

Cambio de pieza
Servicio de mantenimiento

7.4.4. Generación de hoja de funciones

Figura 54. Hoja de funciones

Hoja funciones				
		Sistema Proceso de Año 2000 Equipo Banda	Sub Sistema Transporte Modelo N/A	07/04/2014
#	FUNCION	FALLA FUNCIONA	MODE DE FALLA	OBSERVACIONES
1	Transportar rocas del proceso de extracción al molino a razón de 500 kg por hora.	Incapaz de transportar material	El motor no arranca en el momento de encender	Tener cuidado
1	Transportar rocas del proceso de extracción al molino a razón de 500 kg por hora.	Transporta material a razón 400 kg/hora	Baja energía de salida	Tener cuidado
1	Transportar rocas del proceso de extracción al molino a razón de 500 kg por hora.	Transporta material a razón 300 kg/hora	Vibración en la banda	Tener cuidado

7.4.5. Generación de hoja de decisiones

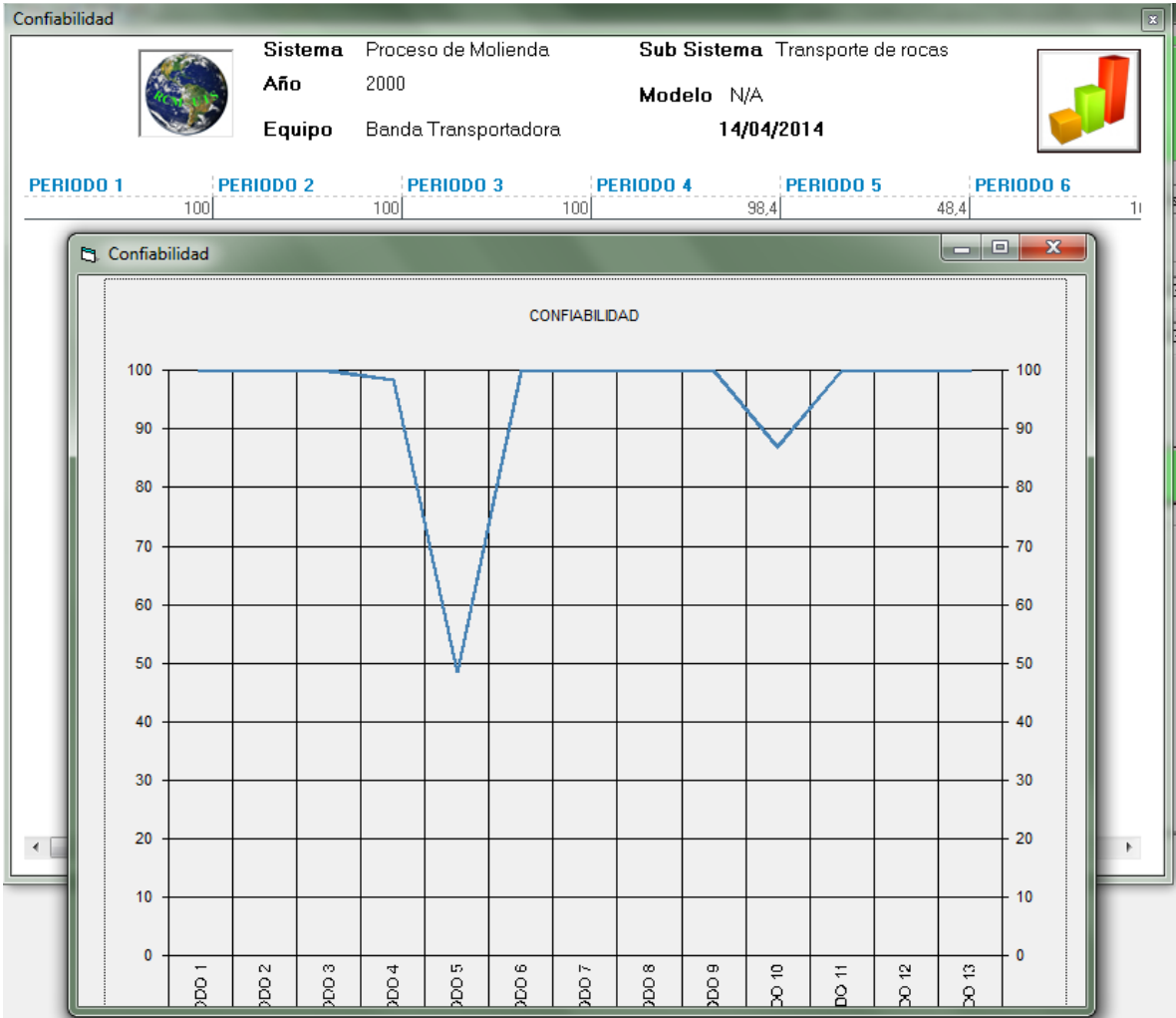
Figura 55. Hoja de decisiones

Sistema Proceso de **Sub Sistema** Transporte
Año 2000 **Modelo** N/A
Equipo Banda **07/04/2014**

TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	REALIZADO POR
Revisar las escobillas de los motores	Mensual	Mecanico
Lubricar los engranajes de la caja reductora	Semanal	Mecanico
Evitar el ingreso de partículas a la caja reductor	Semanal	Mecanico

7.4.6. Generación informe de confiabilidad

Figura 56. Informe de confiabilidad



8. CONCLUSIONES

- Se logró contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander en la construcción, aplicación y divulgación de conocimientos mediante el desarrollo de la herramienta computacional para fomentar la investigación y desarrollar competencias en los usuarios de la misma en el área de mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Se logró revisar el estado del arte en mantenimiento centrado en confiabilidad de acuerdo a los lineamientos de las normas SAE JA 1012, ISO 14224 y NORSOK Z-008, información que está implementada en la herramienta computacional.
- Se logró crear un sistema para almacenamiento de información de sistemas, subsistemas, ítems, fallas y reparaciones en una base de datos de uso libre.
- Se logró crear un sistema para la organización de los ítems de un proceso en disposición serie o paralelo.
- Se logró implementar un sistema de generación de reportes de funciones, modos de falla, gráficos de tiempo medio entre fallas.
- Se logró implementar un sistema que calcula los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para su posterior presentación en gráficos o en tablas.

9. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta que está es una versión 1.0 de la herramienta computacional de código libre, que está sujeta a cambios en el futuro.
- Utilizar el manual de usuario para comprender el correcto funcionamiento de la herramienta.
- El gráfico del histórico de los ítems presenta un inconveniente que no permite visualizar claramente la horas que un ítem se mantuvo fuera de servicio, se recomienda una mejora de esta función para una mejor utilidad de RCM-UIS.

BIBLIOGRAFÍA

- **BORRÁS PINILLA, Carlos.** Ingeniería de mantenimiento material docente. Bucaramanga: Publicaciones Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2011.
- **GONZÁLEZ, Carlos Ramón.** Ingeniería de Mantenimiento. Bucaramanga: Publicaciones Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2001.
- ----- . Conferencia Ingeniería de Mantenimiento. Bucaramanga; Universidad Industrial de Santander, 2001.
- **GONZALEZ FERNANDEZ, Javier Francisco.** Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. 2ed. Madrid: Fundación confemetal. 2005, p 90-130.
- **MORA GUTIERREZ Alberto.** Mantenimiento, planeación, ejecución y control. México: alfa omega S.A. 2009 p 67-137
- **MOUBRAY, John Mitchell.** Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II, 2ed. España Aladon Ltd 2004

ANEXOS

**ANEXO A. RECOMENDACIONES DE MODOS DE FALLA
ISO 14224**

Tabla A.41 – Modos de avería – Bombas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Bombas	FTS	No se activan al momento de encender	Incapacidad para activar la bomba
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada de la bombas
	BRD	Colapso	Daños graves (incautación, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Presión/flujo oscilante o inestable
	ELP	Fuga externa - medio de procesamiento	Escape del medio de procesamiento al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, medio de elaboración en aceite lubricante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios.
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A.8 – Modos de avería – Compresores

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Compresor	FTS	No se activa al momento de encender	Incapacidad para activar el compresor
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del compresor
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Presión/flujo oscilante o inestable
	ELP	Fuga externa - medio de elaboración	Escape del medio de elaboración al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, medio de elaboración en aceite lubricante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, contaminación, etc.
OTH	Otros	Ninguna de las anteriores se aplica. Especifique en la celda de comentarios.	
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A.53 – Modos de avería – Contenedores

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Contenedores	ELP	Fuga externa – medio de elaboración	Fuga del fluido primario al ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Fuga del fluido secundario al ambiente
	PLU	Atascado/estrangulado	Restricción parcial o total del flujo
	PDE	Desviación del parámetro	El parámetro monitoreado excede las tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ej. falsa alarma, lectura defectuosa
	STD	Deficiencia estructural	Menor resistencia debido a impacto, corrosión inaceptable, grietas, etc.
	SER	Problemas menores durante el servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especificar en campo para comentarios
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/faltante

Tabla A.16 – Modos de avería – Generadores eléctricos

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Generadores eléctricos	FTS	No se activan al momento de encender	Incapacidad para activar el generador
	STP	No se detienen al momento de apagar	Incapacidad para detener el generador o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del generador
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	SYN	No logra sincronizar	Incapacidad para sincronizar el generador
	FOF	Frecuencia de salida defectuosa	
	FOV	Voltaje de salida defectuosa	
	LOO	Baja energía de salida	Transmisión de energía reducida
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante, refrigerante, etc.
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A.33 – Modos de avería – Intercambiadores de calor

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Intercambiador de calor	IHT	Transferencia de calor insuficiente	Calefacción/refrigeración insuficiente
	ELP	Fuga externa – medio de procesamiento	El medio de procesamiento escapa al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Escape del refrigerante al medio ambiente
	INL	Fuga interna	Comunicación entre el lado caliente y lado frío
	PLU	Enchufado/obturado	Restricción total o parcial del flujo debido a hidratos, cera, incrustaciones, etc.
	STD	Deficiencia estructural	Fortaleza reducida debido al impacto, corrosión inaceptable, roturas, etc.
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura defectuosa
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A.4 – Modos de avería – Motores de combustión

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Motor de combustión	FTS	No arranca al momento de encender	Incapacidad para arrancar el motor
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detener el motor o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del motor
	OWD	Opera sin accionar	Arranque no deseado
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Velocidad excesiva/energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Energía de salida por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Oscilante o fluctuante
	ELF	Fuga externa – combustible	Fuga de gas combustible o diesel
	ELU	Fuga externa- medio de servicio	Aceite lubricante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, fuga de agua del refrigerador interno
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en la tapa o soporte de cilindro
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
OTH	Otros	Especificar en la celda de comentarios	
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A.20 – Modos de avería – Motores eléctricos

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Motores eléctricos	FTS	No arranca al momento de encender	Incapacidad para activar el motor
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detener el motor o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del motor
	OWD	Opera sin accionar	Arranque no deseado
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Transmisión de energía reducida
	ERO	Energía de salida errática	Oscilante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante, refrigerante, etc.
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas, desgaste, fractura
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Aparatos flojos, decoloración, suciedad, etc.
OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios	
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A. 37 – Modos de avería – Sensores de proceso

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Sensores de proceso	FTF	No funciona al momento de encender	Sensor “atascado”
	OWD	Opera sin previa demanda	Falsa alarma
	AOL	Energía de salida anormal - baja	
	AOL	Energía de salida anormal – baja	Tendencia a presentar averías de tipo FTF, por ejemplo, baja energía de salida
	AOH	Energía de salida anormal – alta	Tendencia a presentar averías de tipo OWD, por ejemplo, alta energía de salida
	ERO	Energía de salida errática	Lectura ininteligible, por ejemplo, oscilante
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Se requieren algunas reparaciones menores
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible

Tabla A.29 – Modos de avería – Turbinas de gas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Turbinas de gas	FTS	No funcionan al momento de encender	Incapacidad para activar la turbina
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada de la turbina
	OWD	Opera sin previa acción	Arranque no deseado
	FCH	No puede cambiar de un tipo de combustible al otro	Motores de dos combustibles: no logra cambiar de un tipo de combustible al otro
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Por ejemplo, velocidad excesiva
	LOO	Baja energía de salida	Eficiencia/ energía por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Operación inestable/rpm oscilante
	ELF	Fuga externa – combustible	Gas combustible o fuga de diesel
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, medio de procesamiento en aceite lubricante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

Tabla A.12 – Modos de avería – unidades lógicas de control

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Unidades lógicas de control	FTF	No funcionan al momento de activarlas	No activa la función de energía de salida
	OWD	Opera sin accionar	Falsa alarma
	AOL	Energía de salida anormal – baja	Tendencia a presentar averías de tipo FTF, por ejemplo, baja energía de salida
	AOH	Energía de salida anormal – alta	Tendencia a presentar averías de tipo OWD, por ejemplo, alta energía de salida
	ERO	Energía de salida errática	Lectura ininteligible, por ejemplo, oscilante
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Se requieren algunas reparaciones menores
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible
	OTH	Otros	Ninguna de las anteriores se aplica. Especifique en la celda de comentarios

Tabla A.49 – Modos de avería – Válvulas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Válvulas	FTC	No cierra cuando se da la orden	Se atasca abierta o no cierra completamente
	FTO	No abre cuando se da la orden	Se atasca cerrada o no abre completamente
	FTR	No regula	Válvula “atascada”, sólo para válvulas de control
	OWD	Funciona sin activarla	Cierre/apertura no deseados
	DOP	Operación retardada	Tiempo de apertura/cierre diferente al de la especificación
	HIO	Energía de salida alta	Regulación defectuosa, sólo para válvulas de control
	LOO	Energía de salida baja	Regulación defectuosa, sólo para válvulas de control
	ELP	Fuga externa – medio de elaboración	El medio de elaboración escapa al ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Fluido de actuación, lubricación, etc.
	INL	Fuga interna	Fuga interna del fluido de actuación, o comunicación válvula-actuador
	LCP	Fuga en la posición cerrada	Fuga en la válvula en posición cerrada
	PLU	Atascado/estrangulado	Restricción parcial o total del flujo
	STD	Deficiencia estructural	Menor integridad debido a impacto, corrosión inaceptable, grietas, etc.
	AIR	Lectura anormal de los instrumentos	Por ej. indicación de posición defectuosa
	SER	Problemas menores durante el servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especificar en el campo para comentarios
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/faltante

Tabla B.1 – Descriptor de averías

No.	Anotación	Descripción
1.0	Avería mecánica - general	Avería relacionada con algún defecto mecánico, pero no se conocen los detalles
1.1	Fuga	Fugas externas e internas, ya sean líquidos o gases. Si el modo de avería en la unidad de equipo indica una fuga, se debe usar un descriptor de averías más orientado hacia las causas de las mismas, en la medida de lo posible.
1.2	Vibración	Vibración anormal. Si el modo de avería en la unidad de equipo indica vibración, se debe usar un descriptor de averías más orientado hacia las causas de las mismas, en la medida de lo posible
1.3	Avería por espacio libre/alineamiento	Avería causada por espacio libre o alineamiento deficientes
1.4	Deformación	Distorsión, dobladura, pandeo, abolladura, deformación, encogimiento, etc.
1.5	Aflojamiento	Desconexión, aparatos sueltos
1.6	Atascamiento	Atascamiento, agarrotamiento, atoramiento debido a otras razones que no sean deformación o averías por espacio libre o alineamiento deficientes
2.0	Averías materiales – general	Avería relacionada con un defecto material, pero no se conocen los detalles
2.1	Cavitación	Aplicable a equipos tales como bombas y válvulas
2.2	Corrosión	Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) como seca (química)
2.3	Erosión	Desgaste erosivo
2.4	Desgaste	Desgaste abrasivo y adhesivo, por ejemplo, arañazos, ludimiento, arrastre, fisuración, etc.
2.5	Ruptura	Fractura, ruptura, rajadura
2.6	Fatiga	Si la causa de la ruptura es la fatiga, se debe usar este código
2.7	Sobrecalentamiento	Daño material debido a sobrecalentamiento/quemadura

2.8	Estallido	Estallido, voladura, explosión, implosión de aparato
3.0	Avería de instrumentos – gener.	Avería relacionada con la instrumentación, pero no se conocen los detalles
3.1	Avería por control	
3.2	Sin señal/indicación/alarma	Sin señal/indicación/alarma cuando se espera
3.3	Señal/indicación/alarma defectuosa	La señal/indicación/alarma no funciona correctamente en relación al proceso en curso. Puede ser indebida, intermitente, oscilante, arbitraria
3.4	Desajuste	Error de calibración, desviación del parámetro
3.5	Falla del software	Control/monitoreo/operación defectuosos o inexistentes
3.6	Avería en modo normal	Diversos aparatos con instrumentos fallan simultáneamente, por ejemplo, detectores de incendio y gas redundantes
4.0	Avería eléctrica - general	Averías relacionadas con el suministro y transmisión de energía eléctrica, pero no se conocen los detalles
4.1	Corto circuito	Corto circuito
4.2	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, línea/cable roto
4.3	Sin energía/voltaje	Suministro de energía eléctrica faltante o insuficiente
4.4	Energía/voltaje defectuosos	Suministro de energía eléctrica defectuoso, por ej., sobrevoltaje
4.5	Falla en conexión a tierra/aislamiento	Falla en conexión a tierra, baja resistencia eléctrica

Tabla B.2 – Causas de averías

No.	Anotación	Descripción
1.0	Causas relacionadas con el diseño – general	Avería relacionada con un diseño inadecuado para la operación y/o mantenimiento, pero no se conocen los detalles
1.1	Capacidad inadecuada	Capacidad/dimensión inadecuadas
1.2	Material inadecuado	Selección de material inadecuada
1.3	Diseño inadecuado	Diseño o configuración del equipo inadecuado (forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad, etc.)
2.0	Causas relacionadas con la fabricación/instalación – general	Avería relacionada con la fabricación o instalación, pero no se conocen los detalles
2.1	Error de fabricación	Falla de fabricación o procesamiento
2.2	Error de instalación	Falla en instalación o ensamblaje (no se incluye ensamblaje después de mantenimiento)
3.0	Avería relacionada con la operación/mantenimiento – general	Avería relacionada con operación/uso o mantenimiento del equipo, pero no se conocen los detalles
3.1	Servicio fuera de diseño	Condiciones de servicio no diseñadas o no planeadas, por ejemplo, operación del compresor fuera de la envoltura, presión por encima de la especificación, etc.
3.2	Error operativo	Error, mal uso, negligencia, inadvertencia, etc. durante la operación
3.3	Error de mantenimiento	Confusión, error, negligencia, inadvertencia, etc. durante el mantenimiento
3.4	Desgaste esperado	Avería causada por el desgaste que resulta de la operación normal de la unidad de equipo
4.0	Avería relacionada con la administración – general	Avería relacionada con algún sistema administrativo, pero no se conocen los detalles
4.1	Error de documentación	Avería relacionada con procedimientos, especificaciones, dibujos, reportes, etc.
4.2	Error de administración	Avería relacionada con planeamiento, organización, control/certificación de calidad, etc.
5.0	Varios – general ^a	Causas que no caen dentro de ninguna de las categorías arriba descritas
5.1	Desconocido ^a	No hay información disponible con respecto a la causa de la avería
^a La persona a cargo de recoger los datos debe juzgar cuál es el descriptor más importante de existir más de uno, y tratar de evitar los códigos 5.0 y 5.1.		

Tabla B.3 – Método de detección

No.	Anotación	Descripción
1	Mantenimiento preventivo	Avería descubierta durante el servicio preventivo, reemplazo o rehabilitación de un aparato al momento de ejecutar el programa de mantenimiento preventivo
2	Pruebas funcionales	Avería descubierta al activar una función programada y comparar la respuesta con un estándar predefinido
3	Inspección	Avería descubierta durante una inspección planeada, por ej. inspección visual, prueba no destructiva
4	Monitoreo periódico de condición	Averías reveladas durante el monitoreo de condición planeado y programado de un modo predefinido de averías, ya sea manual como automáticamente, por ejemplo, termografía, medición de vibraciones, análisis de petróleo, muestreo
5	Monitoreo continuo de condición	Averías detectadas durante el monitoreo continuo de condición de un modo predefinido de averías.
6	Mantenimiento correctivo	Avería observada durante el mantenimiento correctivo
7	Observación	Observación durante inspecciones rutinarias o casuales y no rutinarias realizadas por el operador principalmente con los sentidos (oído, olfato, humo, fuga, apariencia, indicadores locales)
8	Combinación	Uso de varios de los métodos arriba descritos. Si uno de los métodos es el predominante, este deberá ser codificado.
9	Interferencia con la producción	Avería descubierta debido a interrupción, reducción, etc. en la producción
10	Otros	Otros métodos de observación

Tabla B.4 – Actividad de mantenimiento

No.	Actividad	Descripción	Ejemplos	Uso ^a
1	Reemplazar	Reemplazo del aparato por uno nuevo, o repotenciado, del mismo tipo y marca	Reemplazo de un cojinete desgastado	C,P
2	Reparar	Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un aparato a su apariencia y estado originales	Volver a empacar, soldar, taponear, reconectar, rehacer, etc.	C
3	Modificar	Reemplazar, renovar o cambiar el aparato, o parte de él, con un aparato/parte de diferente tipo, marca, material o diseño	Instalar un filtro con un diámetro de malla más pequeño, reemplazar una bomba para aceite de lubricación con otro tipo de bomba, etc.	C
4	Ajustar	Hacer que alguna condición que está fuera de tolerancia se encuentre dentro del rango de tolerancia	Alinear, programar y reprogramar, calibrar, balancear	C
5	Reparar	Actividades de reparaciones/servicios menores para mejorar la apariencia interna y externa de un aparato	Pulir, limpiar, esmerilar, pintar, revestir, lubricar, cambiar aceite, etc.	C
6	Verificar ^b	La causa de una avería es investigada, pero no se realiza ninguna acción de mantenimiento, o se posterga la acción. Es posible que pueda funcionar nuevamente con acciones simples como, por ejemplo, reiniciar o reprogramar	Reiniciar, reprogramar, etc. particularmente para averías funcionales como por ejemplo en los detectores de incendios y gas	C
7	Dar servicio	Tareas periódicas de servicio. Normalmente no es necesario desmantelar el aparato	Por ejemplo, limpieza, reabastecimiento de insumos, ajustes y calibraciones	P
8	Probar	Pruebas periódicas de la disponibilidad de funciones	Prueba de funciones de la bomba contra incendios, detectores de gas, etc.	P
9	Inspeccionar	Inspecciones/verificaciones periódicas. Cuidadoso escrutinio de un aparato con o sin desmantelamiento, normalmente con el uso de los sentidos	Todos los tipos de verificaciones generales. El mantenimiento general se incluye como parte de tareas de inspección	P
10	Acondicionamiento	Acondicionamiento integral	Inspección/recondicionamiento integral con desensamblaje y reemplazo de aparatos según se especifique o requiera	P(C)
11	Combinar	Se incluyen varias de las actividades arriba descritas	Si una actividad es la que domina, esta podría ser registrada	C,P
12	Otros	Actividad de mantenimiento que no sea la especificada anteriormente		C,P

ANEXO B. MANUAL DE USUARIO

PRÓLOGO



RCM-UIS (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de la Universidad Industrial de Santander) es una herramienta informática para la implementación de mantenimiento centrado en confiabilidad para uso académico de los estudiantes de ingeniería de mantenimiento de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

Este programa fue desarrollado por ÁNGEL LEONARDO RÍOS BARRRERA Y JONATHAN ELIAS MITCHELL MORENO, en cooperación con el ingeniero CARLOS BORRÁS. Es una versión 1.0 desarrollada bajo plataformas de uso libre para que así la comunidad universitaria tenga acceso a él y pueda llevarlo a mejoras continuas.

Esta publicación incluye las instrucciones para la instalación y funcionamiento del programa, la descripción de las principales operaciones realizadas y las instrucciones para la utilización del mismo.

Esperamos que RCM-UIS sea de gran utilidad para los estudiantes y profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica que buscan llevar a un nuevo nivel la cátedra de ingeniería de mantenimiento.

Deseamos agradecer por la contribución de todos aquellos que han participado y participarán en el desarrollo de esta herramienta informática.

ÍNDICE



1. INSTALACION.....	171
1.1. REQUERIMIENTOS MINIMOS DE SISTEMA.....	171
1.2. PASOS PARA LA INSTALACION.....	172
2. DESCRIPCIÓN GENERAL	173
2.1 ESTRUCTURA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	173
2.1.1 SISTEMA	173
2.1.2 SUBSISTEMA	173
2.1.3 ÍTEM	174
2.1.4 SERIE Y PARALELO	174
2.2 ESTRUCTURA DE INFORMES DE FALLAS, MODOS DE FALLA Y REPARACIONES	174
2.2.1 FALLAS	175
2.2.2 REPARACIONES.....	175
2.3 REPORTE DE MANTENIBILIDAD, CONFIDABILIDAD, DISPONIBILIDAD, HOJA DE DECISIONES Y FUNCIONES.....	175
3. INTRODUCCIÓN DE DATOS	176
3.1 ENTORNO GENERAL	176
3.1.1 ADQUISICIÓN DE DATOS	176
3.2.FUNCIONES Y MODOS DE FALLA	181
4. GENERACIÓN DE REPORTES	185
4.1. CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD.....	185
4.2. HOJA DE DECISIONES Y FUNCIONES.....	187

INTRODUCCIÓN



RCM-UIS es una de muchas herramientas informáticas de mantenimiento que existen. Esta versión totalmente gratuita busca la implementación de este tipo de herramientas en las cátedras de ingeniería de mantenimiento, no sólo de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, sino que también en todo el país. Este software es una versión 1.0 susceptible a cambios que pueden ser realizados a futuro.

EL RCM-UIS tiene características heredadas de otras herramientas informáticas de ingeniería y además tiene un sustento teórico de las normas SAE JA1012, NORSOK Z-008 y la ISO 14224. Incorpora facilidades técnicas que ofrece el entorno WINDOWS, principalmente para la introducción de datos.

El programa está diseñado para realizar los siguientes cálculos necesarios en un proceso de RCM.

- Incluir sistemas y subsistemas (serie, paralelo y mixto) para el tratamiento de la confiabilidad de los procesos y los activos en el programa.
- Generar plantillas de funciones y modos de falla
- Calcular los indicadores tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de recuperación (MTTR).
- Generar gráficos e informes de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.
- Generar hojas de decisiones para programa de mantenimiento.

1. INSTALACIÓN



1.1. REQUERIMIENTOS MINIMOS DE SISTEMA

Procesador: PC multimedia con un procesador 486DX/66 MHz o superior (procesador Pentium, AMD o superior recomendado).

Sistema operativo: Microsoft Windows 95/98/XP/Vista/7 o Windows NT versión 4.0 con Service Pack 3 o posterior (se incluye el Service Pack 3).

Memoria RAM: 16 MB de RAM para Windows 95/98/XP/Vista/7; 24 MB para Windows NT 4.0 Microsoft Internet Explorer 4.01 Service Pack 1 (incluido).

Espacio de disco duro: Instalación 65 MB

Espacio de disco duro adicional puede ser necesario para los siguientes productos:

- Software con capacidad para leer formato pdf: 43 MB típica, 59 MB máximo

Monitor: VGA o de mayor resolución; Se recomienda Super VGA.

Unidad de CD-ROM.

Microsoft Mouse o dispositivo señalador compatible.

1.2. PASOS PARA LA INSTALACIÓN.

- Introducir el cd en la unidad de cd compatible.
- Esperar unos segundos a que se ejecute el autorun. En caso de tener desactivado el autorun, en versiones de Windows XP o superiores, ir a la aplicación de administración de archivos de Windows, y, en la parte de equipo, dar clic derecho sobre la unidad de cd compatible y explorar.
- Ejecutar el archivo RCM-UIS.exe

2. DESCRIPCIÓN GENERAL



2.1. ESTRUCTURA DE AQUISICIÓN DE DATOS.

RCM-UIS es una herramienta informática que permite realizar un análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad de sistemas mecánicos individualmente.

Para hacer un estudio de RCM se requiere información detallada de los sistemas, subsistemas y equipos de un proceso, la cual incluye datos de fabricante, año de manufactura, fecha de implementación, referencia y datos más específicos como capacidades, potencias, caudales, voltajes, que son importantes para este tipo de análisis. Esta información será solicitada por la herramienta durante el proceso de adquisición de datos para su posterior procesamiento y almacenamiento.

2.1.1. SISTEMA.

Es en general un conjunto de equipos organizados para realizar una tarea específica que tendrá como resultado un bien para una organización. La herramienta RCM-UIS requerirá de éste un nombre, una id (código de inventario), la fecha en que se introdujo en el sistema y una breve descripción de sus características principales.

2.1.2. SUBSISTEMA.

Un subsistema es un conjunto de equipos interrelacionados que, en sí mismo es un sistema, pero a la vez es parte de un sistema superior. La herramienta RCM-UIS requerirá de éste un nombre, una id (código de inventario), identificación del

sistema al que pertenece, una descripción del mismo, y, si es posible, una fotografía para tener una referencia gráfica.

2.1.3. ITEM.

Es el componente básico de un sistema y se presenta como un ítem, ya puede ser una bomba en su totalidad o el impulsor de la misma; esto depende de hasta qué nivel se quiera llevar el estudio de RCM. La herramienta RCM-UIS requerirá de éste un nombre, una id (código de inventario), identificación del subsistema al que pertenece, el fabricante, en que año fue fabricado, el modelo, la referencia del fabricante, la fecha en que entró en operación, si lleva a cabo una función primaria o secundaria, su función, observaciones y si trabaja continuamente o parcialmente, y, de ser así, cuántas horas lo hace.

2.1.4. SERIE & PARALELO

El apartado serie y paralelo se presenta como uno de los requerimientos básicos para cualquier análisis de RCM ya que permite organizar los ítems en un subsistema; adicionalmente se puede obtener una estructura mixta mezclando ítems en serie y paralelo, lo cual representa información clave a la hora de la realización de los reportes. RCM-UIS requerirá al usuario la información necesaria para esta organización.

2.2. ESTRUCTURA DE INFORME DE FALLAS, MODOS DE FALLA Y REPARACIONES.

Luego de que se tiene total conocimiento de todos los ítem de un sistema y sus subsistemas en un proceso el RCM-UIS nos permite hacer reportes de fallas, modos de falla e informar de reparaciones, lo cual es de gran importancia para la

recopilación de la información necesaria para la generación de los reportes correspondientes de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad, además de las plantillas de funciones, modos de falla y toma de decisiones. Toda esta información se almacena en una base de datos la cual es accesible para cualquier persona que interfiera en el proceso y sea relevante para él.

2.2.1 FALLAS.

Las fallas de un ítem en RCM-UIS se introducen, con la fecha en la cual ocurrieren, la descripción de las fallas, si es posible los modos de falla y observaciones relevantes para este suceso.

2.2.2. REPARACIONES.

Las reparaciones se introducen en RCM-UIS, con la fecha en la cual se realizó, las fallas que soluciona, observaciones, y si hubo que hacer un cambio de pieza, solicitar el servicio de mantenimiento o parar la máquina.

2.3. REPORTES DE MANTENIBILIDAD, CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, HOJA DE DECISIONES Y FUNCIONES.

Para esto RCM-UIS solicita el usuario cuales ítems incluirá en el reporte, la fecha de inicio y finalización del mismo además que podrá seleccionar si quiere un gráfico del mismo o no. Para las hojas de decisiones y funciones RCM-UIS requiere del usuario sólo los ítems de los cuáles quiere este informe.

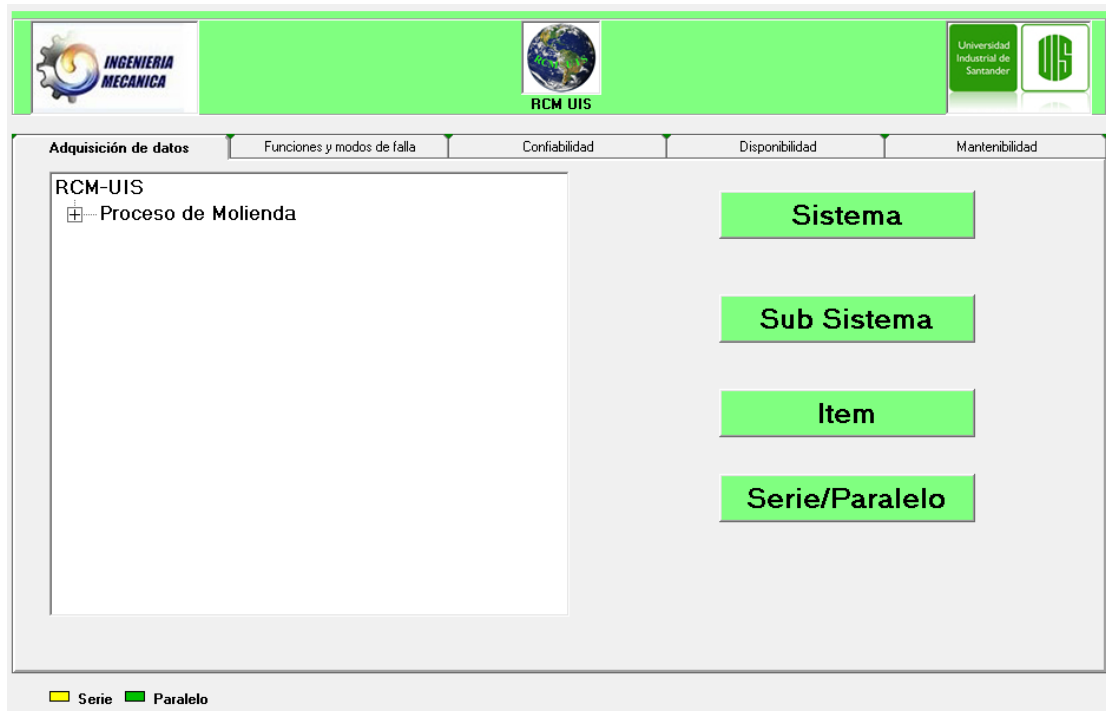
3. INTRODUCIENDO DATOS.



Teniendo claro qué información tiene que tener disponible el usuario de RCM-UIS haremos una descripción detallada de las ventanas que componen la herramienta informática, además se indicara dónde se incluye toda esta información y cómo identificar rápidamente donde se encuentran todos y cada uno de los elementos de sistema.

3.1. ENTORNO GENERAL.

3.1.1. ADQUISICIÓN DE DATOS



Esta es la primera ventana con la que el usuario de RCM-UIS se encuentra y de aquí se podrá desplazar a todas y cada una de las funciones programadas.

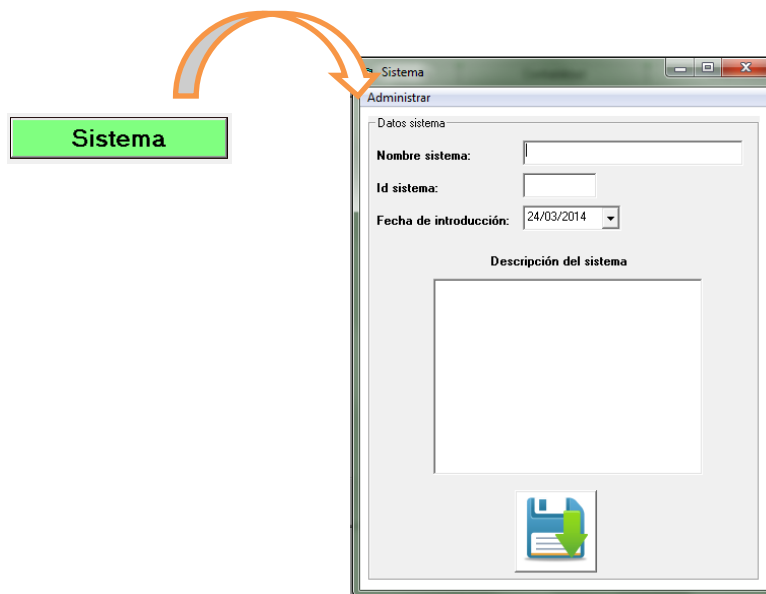


En la parte superior se encuentran las pestañas de funciones de la herramienta informática. Adquisición de datos, fusiones y modos de falla, confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

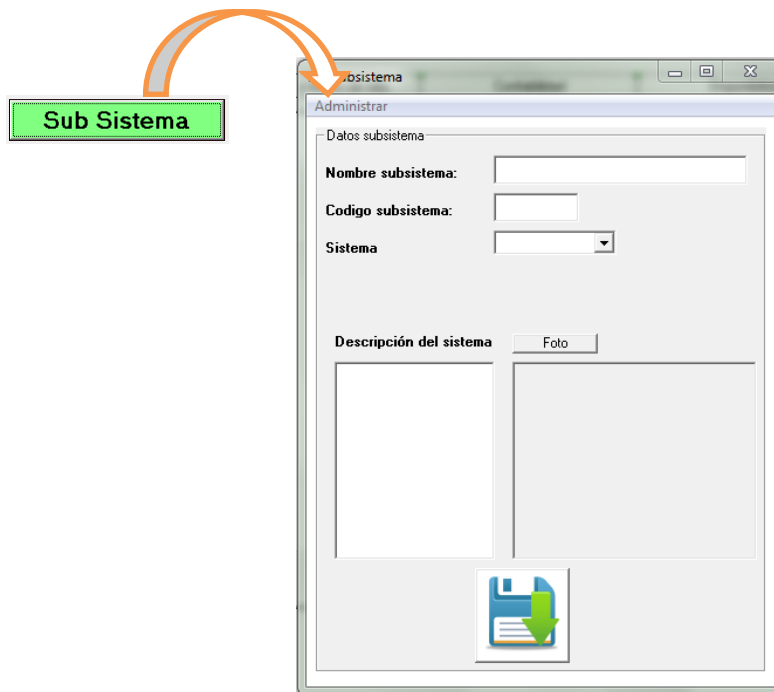
Si el usuario “*cliquea*” sobre la pestaña adquisición de datos, (que es la pestaña en la que por defecto inicia la herramienta) se encontrara con:

Aquí el usuario tiene varias opciones las cuales se describen a continuación:

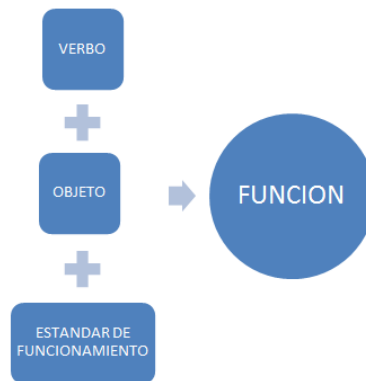
Sistema: Esta ventana muestra la interfaz introducción de un sistema en la herramienta. El nombre del sistema que guardara en base de datos y su ID que será como se presentara en el gestor de sistemas subsistemas e ítems, para finalizar el botón guardar.



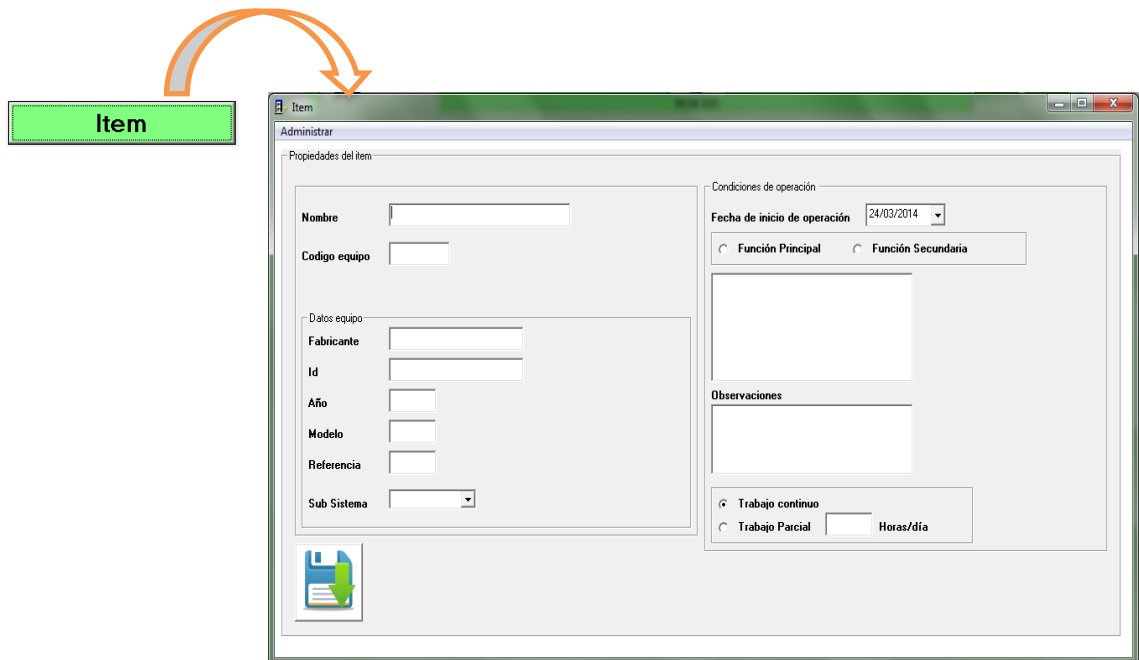
Subsistema: Esta ventana muestra la interfaz introducción de un subsistema en la herramienta. El nombre del sistema que guardara en base de datos y su ID que será como se presentara en el gestor de sistemas subsistemas e ítems. El “popup” menú sirve para seleccionar los sistemas existentes en la herramienta e introducirlo a alguno de ellos. Es importante introducir la descripción del subsistema ya que esta información será usada para generar las plantillas de funciones, y, por último, una fotografía, que es opcional, nos da una visión global del sistema, para finalizar con el botón “guardar”.



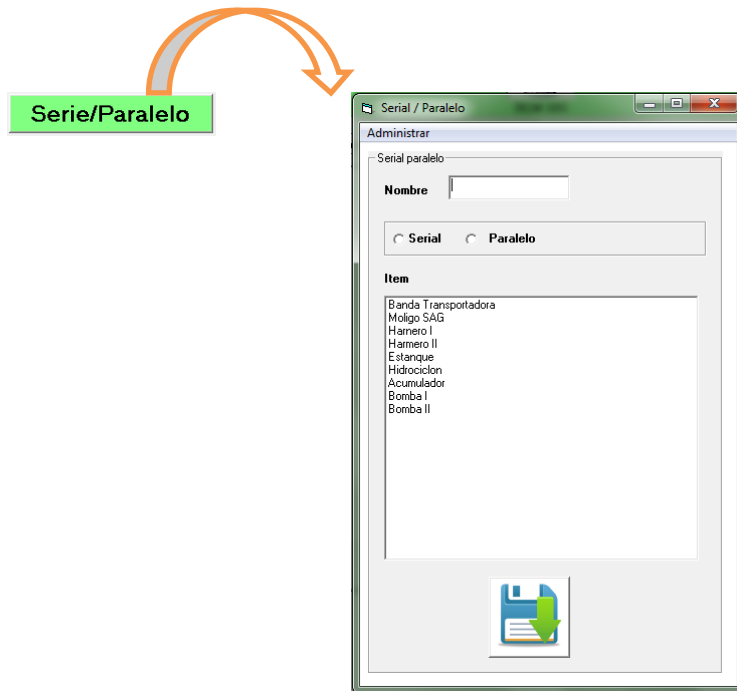
Ítem: esta ventana muestra la interfaz introducción de un ítem en la herramienta. Esta ventana es muy importante y representaría el último paso en la introducción de nuestro proceso al sistema, aquí solicitamos los datos antes indicados, y muy importante la función del equipo que debe tener la siguiente estructura.



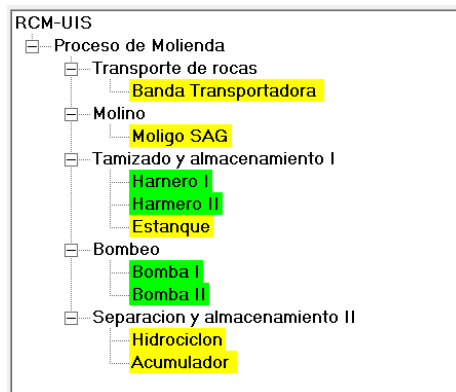
Luego de esto, las observaciones del ítem, como si es nuevo o es de segunda, etc. Para finalizar con el botón “guardar”.



Serie y paralelo: esta ventana muestra la interfaz de organización de un ítem en serie o paralelo, el nombre y el código son opcionales solo se ponen para la organizar la base de datos, para finalizar darle en el botón serie o paralelo respectivamente.

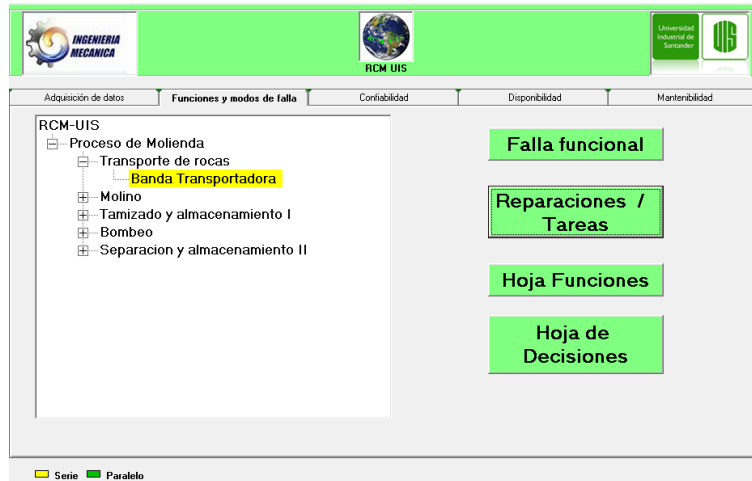


Gestor de sistemas, subsistemas e ítems: En esta zona de la ventana principal de adquisición de datos se presentan los sistemas, subsistemas e ítems del proceso, y también muestra cómo están organizados (serie o paralelo).

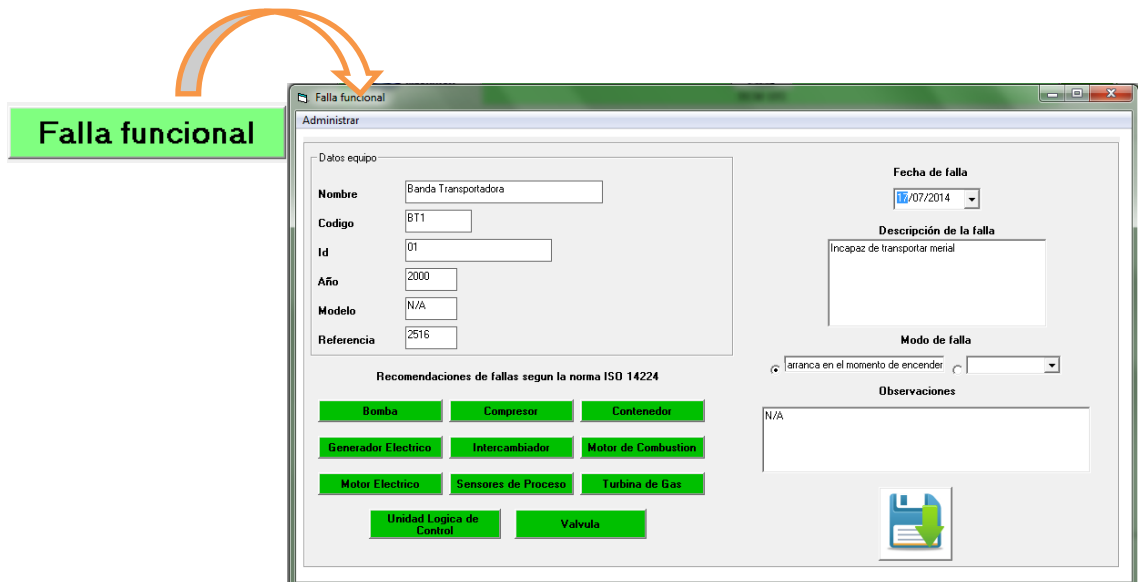


3.2. FUNCIONES Y MODOS DE FALLA

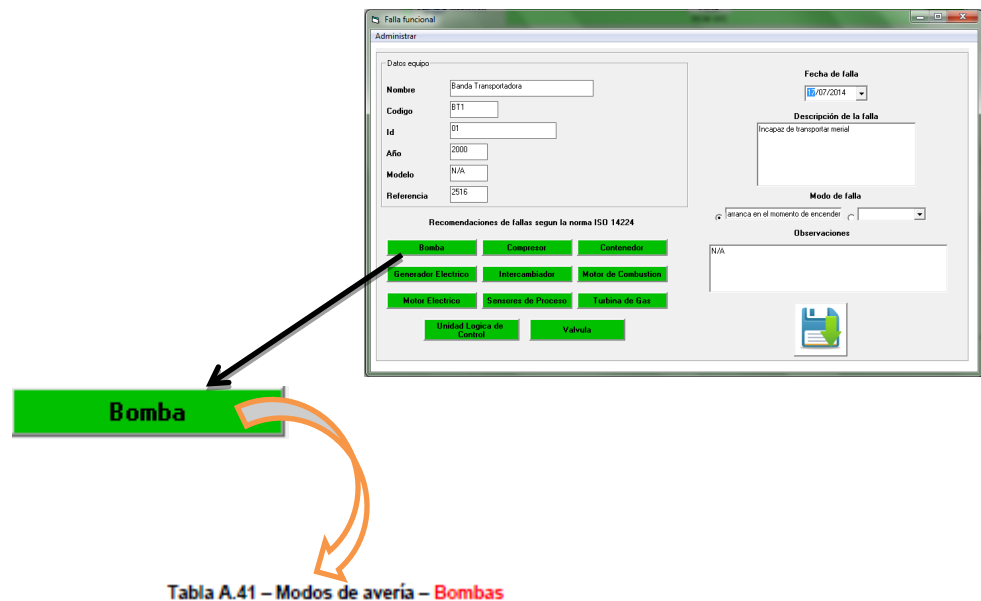
Al abrir la pestaña de “Funciones y modos de falla” aparecerá la siguiente la ventana. (Esta ventana sólo podrá ser vista si previamente se ha definido un sistema para su análisis).



Falla funcional: Es de especial importancia describir la falla. Dicha información será muy importante en el momento de generar la plantilla de funciones y modos de falla. Las observaciones también deberán ser lo más detalladas posibles y deben responder a “qué pasa cuando ocurre la falla”.



Recomendaciones de fallas según la norma ISO 14224: Algunos de los activos del sistema son propensos a fallar en repetidas ocasiones a raíz de los mismos modos de falla, la norma ISO 14224 ha considerado algunos activos y ha listado sus modos de falla más comunes, por esta razón se presenta al usuario una serie de botones que permiten acceder a esta información y obtener una ayuda para un correcto reporte de la falla que se va a documentar.



Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Bombas	FTS	No se activan al momento de encender	Incapacidad para activar la bomba
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada de la bombas
	BRD	Colapso	Daños graves (Incautación, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Presión/flujo oscilante o inestable
	ELP	Fuga externa - medio de procesamiento	Escape del medio de procesamiento al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Acetle lubricante/sellante, refrigerante, etc.

Al presionar “click” sobre alguno de los botones de recomendaciones, el programa abrirá un documento pdf que contiene los modos de falla documentas por la ISO 14224. Si la falla que se quiere reportar no es ninguna de las que se presentan en el documento el usuario deberá escribirla de acuerdo a cómo se explica en el libro.

Reportar Reparación: Inmediatamente se realice la reparación se debe reportar la misma; una demora en esta tarea de reporte puede llevar a informes poco precisos, pues algunos indicadores de interés dependen propiamente de los tiempos entre fallos y tiempos de reparación.

Adicionalmente un ítem puede fallar por la misma razón en más de una ocasión: por tanto, cada vez que un ítem falla el sistema guarda este tipo de falla y la próxima vez que una falla se vaya a reportar, aparecerán como opciones de elección las fallas anteriormente documentas para el equipo en análisis.

Reparaciones / Tareas

Tareas recomendadas

Administrar

Datos equipo

Nombre: Banda Transportadora

Codigo: BT1

Id: 01

Año: 2000

Modelo: N/A

Referencia: 2516

Fecha de reparación: 17/07/2014

Fallas a reparar: El motor no arranca en el momento de encender 17/07/2014

Reparada: Si

Observaciones: N/A

Tareas recomendadas

Tarea: Revisar las escotillas de los motores

Periodo: Mensual

Encargado: Mecanico

Recomendacion ISO 14224

Ayuda de Hoja de decisiones

Ayuda hoja de hoja de decisiones: RCM-UIS también cuenta con una ayuda para la comprensión de la hoja de decisiones; al presionar “click” sobre este botón, se abrirá un documento pdf que describe la actividad que se debe realizar y muestra un ejemplo, con el fin de que el operario del activo no tenga inconvenientes de interpretación de la hoja de decisiones y prevenir cualquier problema al sistema por una interpretación errónea.

Tareas recomendadas

Administrar

Datos equipo

Nombre: Banda Transportadora

Codigo: BT1

Id: 01

Año: 2000

Modelo: N/A

Referencia: 2516

Fecha de reparación: 17/07/2014

Fallas a reparar: El motor no arranca en el momento de encender 17/07/2014

Reparada: Si No

Observaciones: N/A

Tareas recomendadas

Tarea: Revisar las escotillas de los motores

Periodo: Mensual

Encargado: Mecanico

Recomendacion ISO 14224

Ayuda de Hoja de decisiones

Cambio de pieza

Servicio de mantenimiento

Ayuda de Hoja de decisiones

Tabla B.4 – Actividad de mantenimiento

No.	Actividad	Descripción	Ejemplos	Uso*
1	Reemplazar	Reemplazo del aparato por uno nuevo, o repotenciado, del mismo tipo y marca	Reemplazo de un cojinete desgastado	C,P
2	Reparar	Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un aparato a su apariencia y estado originales	Volver a empacar, soldar, taponear, reconectar, rehacer, etc.	C
3	Modificar	Reemplazar, renovar o cambiar el aparato, o parte de él, con un aparato/parte de diferente tipo, marca, material o diseño	Instalar un filtro con un diámetro de malla más pequeño, reemplazar una bomba para aceite de lubricación con otro tipo de bomba, etc.	C
4	Ajustar	Hacer que alguna condición que está fuera de tolerancia se encuentre dentro del rango de tolerancia	Alinear, programar y reprogramar, calibrar, balancear	C
5	Reparar	Actividades de reparaciones/servicios menores para mejorar la apariencia interna y externa de un aparato	Pulir, limpiar, esmerilar, pintar, revestir, lubricar, cambiar aceite, etc.	C
6	Verificar*	La causa de una avería es investigada, pero no se realiza ninguna acción de mantenimiento, o se posterga la acción. Es posible que pueda funcionar nuevamente con acciones simples como, por ejemplo, reiniciar o reprogramar	Reiniciar, reprogramar, etc. particularmente para averías funcionales como por ejemplo en los detectores de incendios y gas	C

4. GENERACIÓN DE REPORTE



4.1. CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, DISPONIBILIDAD.

Las pestañas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad sirven para solicitar reportes al programa.



Para obtener un reporte es necesario tener anteriormente un sistema creado, seleccionar cualquiera de las 3 pestañas abrirá la siguiente pantalla:



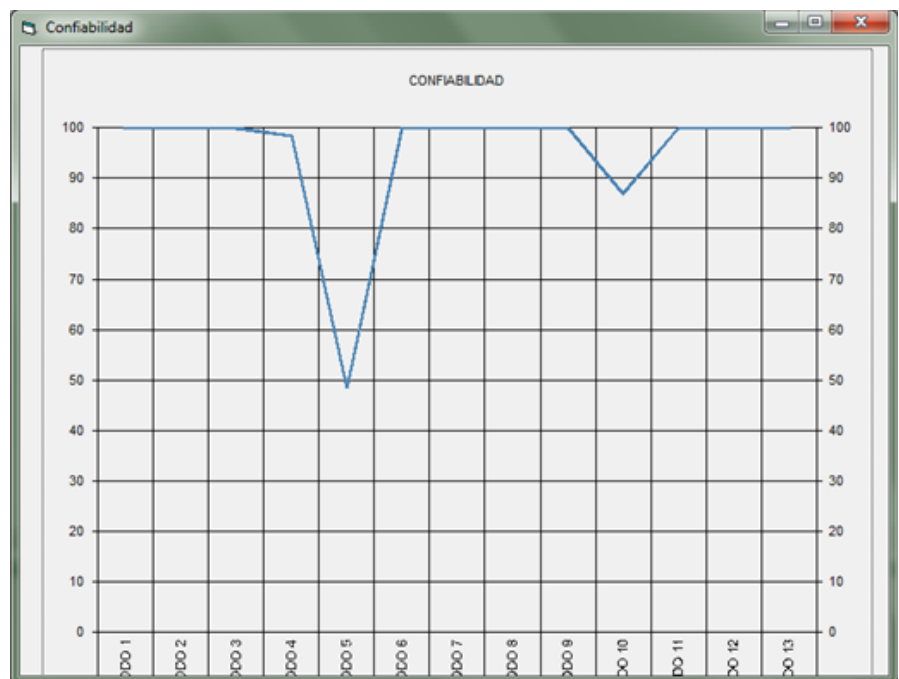
El gestor de sistemas, subsistemas e ítems muestra la clasificación de todos los componentes que se han creado. Será necesario utilizar las checkbox para seleccionar cuál componente será considerado en la presentación del reporte.

Las fechas de inicio y final también son requeridas al igual que los periodos en los que se va a fraccionar el rango de fechas seleccionadas. Adicionalmente el usuario tendrá la posibilidad de generar un gráfico que muestre la variación del indicador.

El informe de confiabilidad disponibilidad y mantenibilidad se presenta de dos maneras, la primera una tabla con los valores por periodo del informe.



El segundo un reporte gráfico de línea al cual se puede acceder mediante el botón de la parte superior de la ventana del informe correspondiente.



4.2. HOJA DE DECISIONES Y FUNCIONES

Los botones de hoja de decisiones y funciones tienen información acerca de las fallas, modos de falla y observaciones de los activos en estudio, el acceso a esta información se realiza como se muestra a continuación.

The diagram illustrates the flow of information between two interface elements. On the left, a green button labeled 'Hoja Funciones' and another labeled 'Hoja de Decisiones' are shown. Orange arrows indicate that clicking 'Hoja Funciones' opens a window titled 'Hoja funciones', and clicking 'Hoja de Decisiones' opens a window titled 'Hoja de decisiones'.

Hoja funciones window:

Sistema: Proceso de
Año: 2000
Equipo: Banda

Sub Sistema: Transporte
Modelo: N/A
22/04/2014

# FUNCION	FALLA FUNCIONA	MODE DE FALLA	OBSERVACIONES
Transportar rocas del proceso de extracción al molino a razón de 500 kg por hora.	Incapaz de transportar el material	El motor no arranca en el momento de encender	
Transportar rocas del proceso de extracción al molino a razón de 500 kg por hora.	Transporta material a razón de 400kg/hora	Baja energía de salida	

Hoja de decisiones window:

Sistema: Proceso de
Año: 2000
Equipo: Banda

Sub Sistema: Transporte
Modelo: N/A
22/04/2014

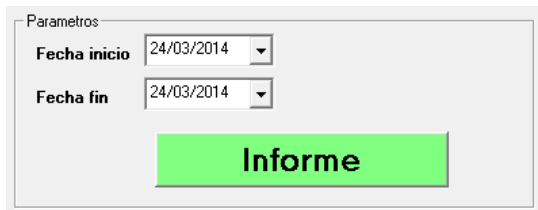
TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	REALIZADO POR
Revisar las escobillas de los motores	Mensual	Operario
Lubricar los engranajes de la caja reductora	Semanal	Mecanico

2.3.1. HISTORIAL DEL ITEM

El historial del ítem nos muestra un gráfico a través del tiempo que nos permite ver como funcionó nuestro ítem en el proceso, en este gráfico vemos el tiempo expresado en horas en el eje X y en el eje Y se especifica el estado del ítem 100

para funcionamiento sin ningún problema y 50 para cuando el ítem no hace lo que el usuario espera de él

Del perfil que se genera en esta gráfica se puede visualizar el tiempo medio entre fallas.



Parametros

Fecha inicio 24/03/2014

Fecha fin 24/03/2014

Informe

El reporte solicita las fechas para las que se desea el gráfico, una recomendación es no hacer el reporte para un periodo superior a 3 meses es decir aproximadamente 2160 horas, ya que visualmente se pierde precisión en la visualización de fallas que se presenten durante periodos demasiados pequeños.



En caso de exceder la condición de tres meses se presenta la siguiente ventana mostrando una advertencia del contenido que se va a presentar.

