

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA  
DOCUMENTACIÓN Y MANEJO DE INDICADORES DE GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS A CARGO DEL DEPARTAMENTO DE  
MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE  
MARES DE ECOPETROL S.A.**

**VICTOR HUGO BONZA TORRES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2006**

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA  
DOCUMENTACIÓN Y MANEJO DE INDICADORES DE GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS A CARGO DEL DEPARTAMENTO DE  
MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE  
MARES DE ECOPETROL S.A.**

**VICTOR HUGO BONZA TORRES**

Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Director

**JABID EDUARDO QUIROGA MÉNDEZ**  
Ingeniero Mecánico

Codirector

**RODRIGO ALONSO MANZANO MANZANO**  
Ingeniero Mecánico



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2006**

A Víctor Julio, mi padre, por su inquebrantable fé y quien gracias a sus enormes esfuerzos hizo posible que este sueño se hiciera realidad.

A Ligia Yadira, mi hermana por creer siempre en mi y por ser mi apoyo incondicional en todo momento.

A Jairo Geovany, mi hermano, por estar ahí justo en los momentos que más necesitaba.

A Maria Inés y espero que como lo has hecho hasta el momento me acompañes siempre, gracias por enseñarme que con esfuerzo y dedicación cualquier meta es realizable. Ojalá que donde sea que te encuentres tengas una sonrisa en el rostro y el pecho lleno de orgullo por este nuestro logro.

Víctor Hugo.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia quisiera agradecer al Ingeniero Jabid Eduardo Quiroga Méndez por su gran colaboración, orientación profesional y empeño puesto no solo en el desarrollo de este proyecto, sino en cada una de las actividades académicas, en las cuales demostró más que un profesor ser un amigo.

Igualmente al Ingeniero Rodrigo Alonso Manzano por la oportunidad recibida con la adjudicación de este proyecto, especialmente por sus conocimientos y consejos oportunos, brindados en cada etapa del desarrollo hasta su culminación.

A ECOPETROL S.A.; a todo el personal del Departamento de Mantenimiento de Mares, quienes me acogieron como un integrante más, suministrándome todo el apoyo y la información necesaria para la realización del proyecto durante el transcurso de esta enriquecedora práctica empresarial.

Un agradecimiento especial a Ivonne Ortega por su paciencia y ayuda desinteresada en la culminación de este trabajo, además a todas las personas que de una u otra manera estuvieron presentes en el cumplimiento de esta meta.

## TABLA DE CONTENIDO

pág.

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MARES DE ECOPETROL S.A.</b> .....	<b>18</b>
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE ECOPETROL.....	18
1.2 ASPECTOS ORGANIZACIONALES DE ECOPETROL S.A. ....	19
1.2.1 Estructura general de ECOPETROL S.A.....	19
1.2.2 Vicepresidencia de Producción.....	20
1.2.3 Gerencia Regional del Magdalena Medio. ....	21
1.2.4 Departamento de Mantenimiento de Mares .....	23
1.2.5 Ubicación geográfica de la Superintendencia de Mares .....	25
1.3 MATRIZ DE EXCELENCIA DE MANTENIMIENTO Y EL PLAN ESTRATEGICO DE MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE MARES. ....	26
1.3.1 Plan estratégico de mantenimiento de la Superintendencia de Mares 2005	27
1.3.1.1 Misión.....	29
1.3.1.2 Visión 2005-2007 .....	29
1.3.1.3 Objetivos entregables por área en la Matriz de Excelencia en el Plan Estratégico de Mantenimiento de la SMA para el 2005. ....	29
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>31</b>
2.1 INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO .....	31
2.1.1 Disponibilidad.....	32
2.1.2 Confiabilidad .....	33
2.1.3 Mantenibilidad.....	33
2.2 CÁLCULO DE INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO .....	34
2.2.1 Cálculo de la Disponibilidad .....	34
2.2.1.1 Disponibilidad Inherente.....	34
2.2.1.2 Disponibilidad lograda.....	35
2.2.1.3 Disponibilidad operacional .....	35

2.2.2 Cálculo de la Confiabilidad.....	36
2.2.3 Cálculo de la Mantenibilidad .....	37
<b>3. DESCRIPCION NORMA ISO 14224 .....</b>	<b>38</b>
3.1 GENERALIDADES .....	38
3.2 ESTRUCTURACIÓN DE JERARQUÍAS ISO 14224.....	39
3.2.1 Sistemas .....	40
3.2.2 Equipos .....	40
3.2.3 Subunidades .....	41
3.2.4 Ítem mantenible .....	42
3.3 ASISTENCIA DE LA NORMA ISO 14224 EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) Y CON EL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF). .....	42
3.3.1 Relación con el RCM .....	42
3.3.1.1 Clasificación de las fallas. ....	44
3.3.1.2 Tareas preventivas – Métodos de detección.....	44
3.3.2 Relación con el FMECA.....	45
<b>4. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO EN LA SMA .....</b>	<b>46</b>
4.1 MODELO Y METODOLOGÍA ACTUAL .....	46
4.1.1 Recolección de datos.....	47
4.1.2 Planeación y organización del seguimiento. ....	47
4.1.3 Tabulación y cálculo de los indicadores de gestión. ....	47
4.1.4 Análisis de los resultados.....	50
4.1.5 Elaboración del informe. ....	50
4.2 EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACTUAL.....	51
<b>5. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>53</b>
5.1 PREANÁLISIS .....	53
5.1.1 Alcance .....	53
5.1.2 Objetivo.....	53
5.1.3 Delimitación del sistema .....	54
5.1.4 Restricciones del sistema .....	55
5.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA.....	55
5.2.1 Medio ambiente .....	55

5.2.2 Entradas y salidas.....	56
5.3 ANÁLISIS.....	58
5.3.1 Definición de requerimientos.....	58
5.3.2 Especificación de roles y funciones .....	60
5.3.2.1 Operador.....	60
5.3.2.2 Mecánico.....	61
5.3.2.3 Administrador.....	61
5.3.3 Modelado del flujo de actividades .....	64
5.3.3.1 Iniciar sesión .....	64
5.3.3.2 Registrar comportamiento funcional de plantas.....	65
5.3.3.3 Registrar descripción de parada de plantas.....	67
5.3.3.4 Generar informe de disponibilidad y confiabilidad.....	69
5.3.3.5 Generar informe de MTBF y MTTR .....	71
5.3.3.6 Generar informe de malos actores.....	72
5.3.3.7 Generar informe de equipos críticos .....	75
5.3.3.8 Generar informe de indicadores de gestión .....	76
5.3.3.9 Modificar informe de operador .....	77
5.3.3.10 Modificar informe de mecánico.....	79
<b>6. DESARROLLO DEL SISTEMA.....</b>	<b>82</b>
6.1 BASE DE DATOS .....	82
6.1.1 Codificación .....	83
6.1.2 Elaboración .....	90
6.2 DISEÑO DE LA INTERFASE.....	92
6.2.1 Estándares de la interfase .....	93
6.2.2 Menús .....	93
6.2.3 Reportes .....	93
6.3 PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE CÓDIGO.....	94
6.4 PRUEBAS DEL SOFTWARE.....	95
6.4.1 Pruebas de funcionalidad.....	96
6.4.2 Pruebas de unidad.....	96
6.4.3 Pruebas de integración .....	97
6.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	97
6.5.1 Inicio de programa .....	97
6.5.2 Acceso al sistema.....	98
6.5.3 Módulo administrador .....	99
6.5.4 Módulo Mecánico.....	111

<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Organigrama General de ECOPETROL S.A. ....	20
Figura 2. Organigrama de la Vicepresidencia de Producción. ....	22
Figura 3. Estructura organizacional de la GRMM .....	23
Figura 4. Estructura organizacional Departamento de Mantenimiento de Mares...24	
Figura 5. Ubicación geográfica de la SMA.....	25
Figura 6. Matriz de Excelencia de Mantenimiento y posición de la SMA 2003 - 2005.....	28
Figura 7. Distribución según la ISO 14224 para el equipo Bomba.....	41
Figura 8. Procedimiento para el seguimiento de los indicadores.....	46
Figura 9. Formato reporte diario de equipos.....	48
Figura 10. Entradas del sistema .....	57
Figura 11. Salidas del sistema.....	58
Figura 12. Definición de funciones mediante el método de casos de uso. ....	63
Figura 13. Diagrama de actividades inicio de sesión.....	65
Figura 14. Diagrama de actividades registrar comportamiento de plantas. ....	66
Figura 15. Diagrama de actividades descripción de paradas de plantas.....	68
Figura 16. Diagrama de actividades generar informe de disponibilidad y confiabilidad.....	70
Figura 17. Diagrama de actividades generar informe de MTBF y MTTR.....	72
Figura 18. Diagrama de actividades generar informe malos actores.....	74
Figura 19. Diagrama de actividades generar informe de equipos críticos.....	75
Figura 20. Diagrama de actividades generar informe indicadores de gestión.....	77
Figura 21. Diagrama de actividades modificar informe de operador.....	78
Figura 22. Diagrama de actividades modificar informe de mecánico.....	81

Figura 23. Relaciones de las diferentes tablas del sistema. ....	91
Figura 24. Pantalla de presentación .....	98
Figura 25. Inicio de sesión .....	99
Figura 26. Pantalla Módulo administrador .....	100
Figura 27. Pantalla Nueva Ítem.....	101
Figura 28. Formulario relacionar ítem equipo y sistema .....	101
Figura 29. Pantalla informes .....	102
Figura 30. Formulario reporte Disponibilidad y Confiabilidad.....	103
Figura 31. Formulario primera búsqueda Malos Actores .....	104
Figura 32. Formulario búsquedas subsecuentes Malos Actores.....	104
Figura 33. Formulario reporte MTTR y MTBF .....	105
Figura 34. Selección fecha informe de Equipos Críticos.....	106
Figura 35. Formulario Guardar archivo .....	106
Figura 36. Selección periodo Reporte Indicadores de Gestión .....	107
Figura 37. Pantalla Menú Modificar .....	107
Figura 38. Formulario Modificar Registro Operario .....	108
Figura 39. Formulario Modificar Registro Mecánico.....	108
Figura 40. Formulario Acerca de.....	109
Figura 41. Pantalla Módulo operador .....	110
Figura 42. Pantalla Modulo Mecánico.....	112

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Niveles de calificación en la Matriz de Excelencia de Mantenimiento.....	27
Tabla 2. Indicadores Actuales y su forma de cálculo en la SMA.....	49
Tabla 3. Descripción de sistemas por planta .....	83
Tabla 4. Ejemplos de identificación de la plantas. ....	84
Tabla 5. Ejemplos de identificación de sistemas.....	85
Tabla 6. Ejemplos identificación de los equipos.....	85
Tabla 7. Ejemplos identificación subunidades .....	86
Tabla 8. Ejemplos identificación ítems mantenibles.....	86
Tabla 9. Identificación para causa de falla .....	87
Tabla 10. Identificación para método de detección.....	88
Tabla 11. Identificación para actividad de mantenimiento .....	88
Tabla 12. Identificación de los modos de falla .....	89
Tabla 13. Identificación de mecanismo de falla .....	90

## LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA .....	118
ANEXO B. REPORTES DEL PROGRAMA .....	146

## RESUMEN

**TÍTULO:** DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA DOCUMENTACIÓN Y MANEJO DE INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS A CARGO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE MARES DE ECOPETROL S.A.. \*

**AUTOR:** BONZA TORRES, Víctor Hugo. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Indicadores de gestión de mantenimiento, Jerarquía de equipos, Estado operacional, Malos actores, Matriz de excelencia.

### DESCRIPCIÓN:

Dentro de una buena organización para el mantenimiento, el manejo de la información es uno de los componentes más importantes y al cual se ha venido aplicando la tecnología informática para desarrollar software que permita que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costos y confiabilidad.

El sistema desarrollado es una herramienta de gestión cuyo resultado proviene del estudio y mejoramiento del proceso de seguimiento a los indicadores de gestión de mantenimiento que se realiza actualmente en la SMA., el cual permite la interacción directa de los diferentes actores involucrados en el funcionamiento de los equipos y plantas para la documentación y el manejo de la información relacionada con el registro del tiempo operacional de los equipos y análisis de falla.

El software fue diseñado tomando como base las recomendaciones estipuladas en la norma ISO 14224:2004, brinda un soporte para el cálculo y seguimiento de los indicadores de gestión y malos actores para vigencias posteriores y al mismo tiempo una base para realizar el análisis de modo y efecto de falla AMEF, optimizando así el desarrollo del seguimiento, mediante, el análisis de los datos y la entrega oportuna de resultados a través de reportes sobre el desempeño operacional de cada una de las plantas y sistemas objetos de estudio.

---

\* Proyecto de Grado - Práctica Empresarial.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Mecánica. QUIROGA MENDEZ, Jabid Eduardo.

## SUMMARY

**TITLE:** A COMPUTER TOOL DEVELOPMENT FOR DOCUMENTATION AND HANDLING OF KEY PERFORMANCE INDICATORS OF MAINTENANCE OF EQUIPMENT UNDER THE RESPONSIBILITY OF MAINTENANCE DEPARTMENT OF THE SUPERINTENDENCE OF SEAS OF ECOPETROL S.A.\*

**AUTHOR:** BONZA TORRES, Victor Hugo.\*\*

**KEY WORDS:** Indicators of maintenance administration, Equipments hierarchy, Operational state, Bad actors, Matrix of excellence.

### DESCRIPTION:

Inside a good organization for the maintenance, the handling of the information is one of the most important components and to which has been come applying the computer technology to develop software that allows that is contained and consulted according to each user's specific requirements, that which facilitates the analysis processes and taking of decisions, so important in the areas of costs and reliability.

The developed system is an administration tool whose result comes from the study and improvement from the pursuit process to key performance indicators that is carried out at the moment in the SMA., which allows the direct interaction of the different actors involved in the operation of the equipments and plants for the documentation and the handling of the information related to the operational time of the equipments register and failure analysis.

The software was designed taking the recommendations specified in the norm ISO 14224:2004, it offers a support for the calculation and pursuit of the key performance indicators and bad actors for later validities and at the same time a base to carry out the failure modes and effects analysis FMEA, optimizing in this way the development of the pursuit, by means of, the analysis of the data and the opportune delivery of results through reports on the operational performance of each one of the plants and systems study objects.

---

\* Graduation Project – Managerial Practical

\*\* Ability of Engineerings Physique–mechanical. Mechanical engineering. QUIROGA MENDEZ, Javid Eduardo.

## INTRODUCCIÓN

La tecnología utilizada en la producción se ha convertido en un factor de alto nivel y confiabilidad. Esta lleva implícito un alto costo, en el cual se debe evitar que se alcancen niveles aún mayores, y esto se logra cuando el costo de mantenimiento, como parte fundamental del valor añadido de una empresa, disminuye sin dejar de garantizar la disponibilidad de los activos productivos. Para lograrse esto, se hace necesario tener un mantenimiento organizado, eficiente y desarrollado que lo garantice, a un costo competitivo.

En la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que se respete y que considere ser competitiva. Es por ello que el mantenimiento desarrolla técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de la maquinaria. Lo anterior resulta imposible sin una eficiente estrategia y organización de esta disciplina en cada empresa. Con estos fines existen, se mejoran y se crean, nuevos productos informáticos que garantizan de forma automatizada el procesamiento de toda la información relacionada con la gestión de mantenimiento y su evaluación. Esto también forma parte del salto cualitativo y cuantitativo que una empresa moderna debe dar.

El Departamento de Mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones de Mares de ECOPETROL S.A., es uno de los principales interesados en conseguir unos niveles altos en sus prácticas de mantenimiento que permitan que sea competitivo y reconocido a nivel internacional, para esto adopta diferentes planes de gestión como estrategia de mejoramiento, los cuales se desarrollan y evalúan en un tiempo determinado. El principal mecanismo que permite medir la gestión de mantenimiento es el seguimiento de los indicadores, el cual es un proceso que

ayuda a determinar las diferentes acciones que se deben tomar para la mejora.

Por esta razón, surge el presente proyecto que se titula, **Desarrollo de una herramienta informática para documentación y manejo de indicadores de gestión de mantenimiento de equipos a cargo del Departamento de Mantenimiento de la Superintendencia de Mares de ECOPETROL S.A.**, el cual busca agilizar y mejorar el proceso de medición, retroalimentación y análisis que actualmente se realiza sobre los indicadores de gestión de mantenimiento en la entidad mencionada.

El resultado obtenido, es un programa que permite tener una administración de los diferentes indicadores de gestión y algunos que se manejan a nivel interno de la empresa, soportado en los estándares de la norma ISO 14224 para la identificación, jerarquización y codificación de los equipos y sus componentes, así como la concerniente a los estudios de fallas. Fue diseñado atendiendo los requerimientos de algunos objetivos del Plan estratégico de mantenimiento, teniendo en cuenta la facilidad de su manejo y proporcionando una interfaz amigable para los usuarios

## **1. ASPECTOS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MARES DE ECOPETROL S.A.**

### **1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE ECOPETROL<sup>1</sup>**

El descubrimiento del petróleo a nivel nacional se remonta a la época de la conquista cuando la maltrecha expedición de Gonzalo Jiménez de Quezada descubre en 1536, en la confluencia de los ríos Oponcito y La Colorada, las primeras fuentes, que en memoria de las recién nacidas hijas del rey de España, los conquistadores bautizaron con el nombre de “Infantas”.

La explotación comercial de estos yacimientos ubicados en el Departamento de Santander, se comenzó en junio de 1916, aunque posteriormente se fijó el 25 de agosto de 1921 como la fecha oficial de dicha concesión por traspaso que se había hecho a la Tropical Oil Company.

De esta forma en los terrenos de lo que es hoy la Gerencia Regional del Magdalena Medio, nació la Industria Petrolera Colombiana. Fue aquí, en el pozo Infantas II donde el 29 de abril de 1918 emanó petróleo colombiano por primera vez con base en la Concesión de Mares que data del año 1905. También en 1905, fue firmada la concesión Barco en los terrenos de Catatumbo (Norte de Santander), donde la producción se inició en firme en el año de 1920. Casabe (Antioquia) y Cantagallo (Bolívar), comenzaron a operar en 1941 y 1942 respectivamente y en 1962 inicia su producción el campo de Provincia en Sabana de Torres (Santander).

El 25 de agosto de 1951, en el Club Internacional de El Centro (Santander) se firmó la reversión de Mares por medio del cual los derechos de la concesión del mismo nombre revirtieron al estado colombiano y sus bienes y operaciones

---

<sup>1</sup> Fuente: ECOPETROL S.A. Departamento de Mantenimiento de Mares.

pasaron a ser manejadas directamente por la recién formada Empresa Colombiana de Petróleos.

ECOPETROL S.A. fue creada por la ley 15 de 1948 y organizada por el decreto N° 30 de 1951, como una empresa Industrial y Comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía. Sus estatutos están contenidos en el Decreto 062 de enero 20 de 1970.

Después de este hecho histórico y de manera paulatina los demás campos continuaron estos proceso de reversión para llegar a manos de la estatal petrolera: Cantagallo en 1974, Casabe y Tibú en 1975, Cicuco en 1976 Provincia y Río Zulia en la época de los 90.

## **1.2 ASPECTOS ORGANIZACIONALES DE ECOPETROL S.A.**

A esta empresa se le ha encomendado la responsabilidad de suministrar los principales combustibles, lubricantes y derivados petroquímicos que el país requiere para su desarrollo. Para lograr este abastecimiento, ECOPETROL:

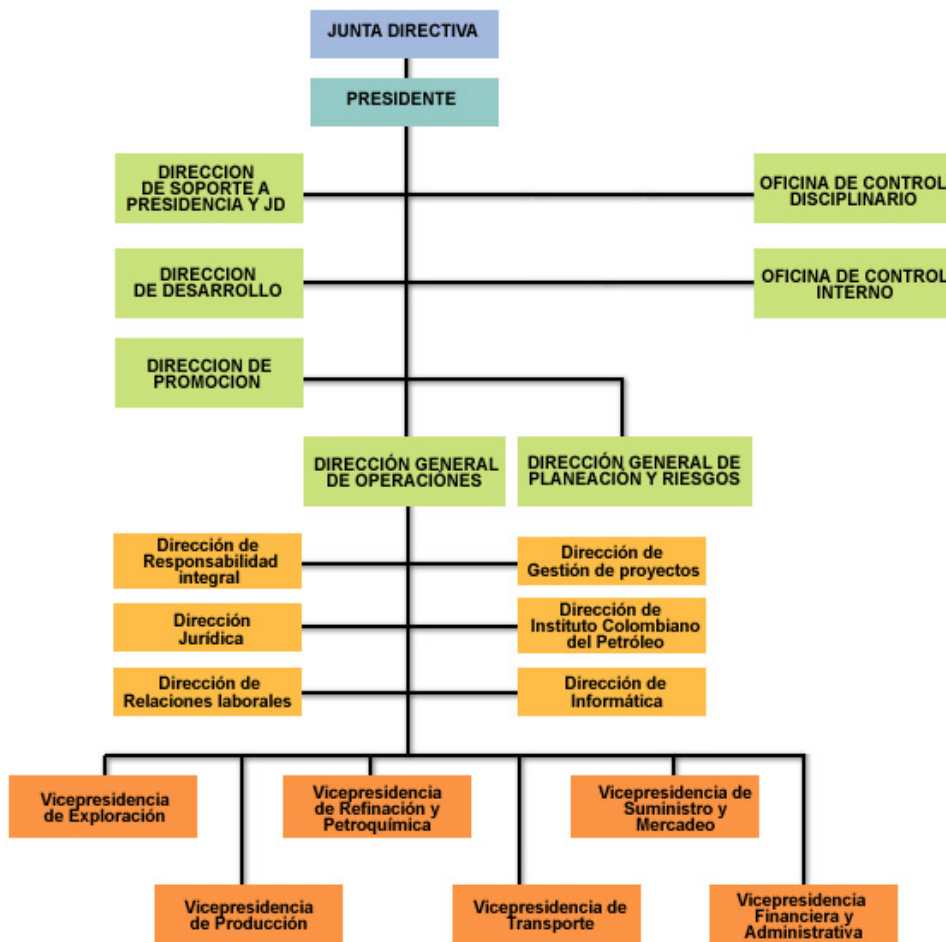
- Explora directamente o bajo asociación el subsuelo potencialmente petrolífero
- Produce y refina el petróleo utilizando los más modernos sistemas existentes en esta industria.
- Transporta los diversos productos hasta los sitios de consumo.
- Comercializa el crudo excedente del consumo interno del país.

### **1.2.1 Estructura general de ECOPETROL S.A. (Ver figura 1)**

La dirección y administración de la empresa están a cargo de la Junta Directiva y el Presidente. La Junta directiva la preside el ministro de Minas y energía y consta además de otros cuatro miembros designados por el Presidente de la República. Sus principales funciones se dirigen a formar la política general de la empresa,

aprobar su presupuesto y controlar su funcionamiento, la Dirección y representación legal de la empresa están a cargo del presidente, de quien dependen directamente las vicepresidencias responsables de las áreas fundamentales en el funcionamiento de la misma.

**Figura 1. Organigrama General de ECOPETROL S.A.**



Fuente: <http://ecored.bog>

### 1.2.2 Vicepresidencia de Producción

ECOPETROL S.A. cuenta con seis Vicepresidencias:

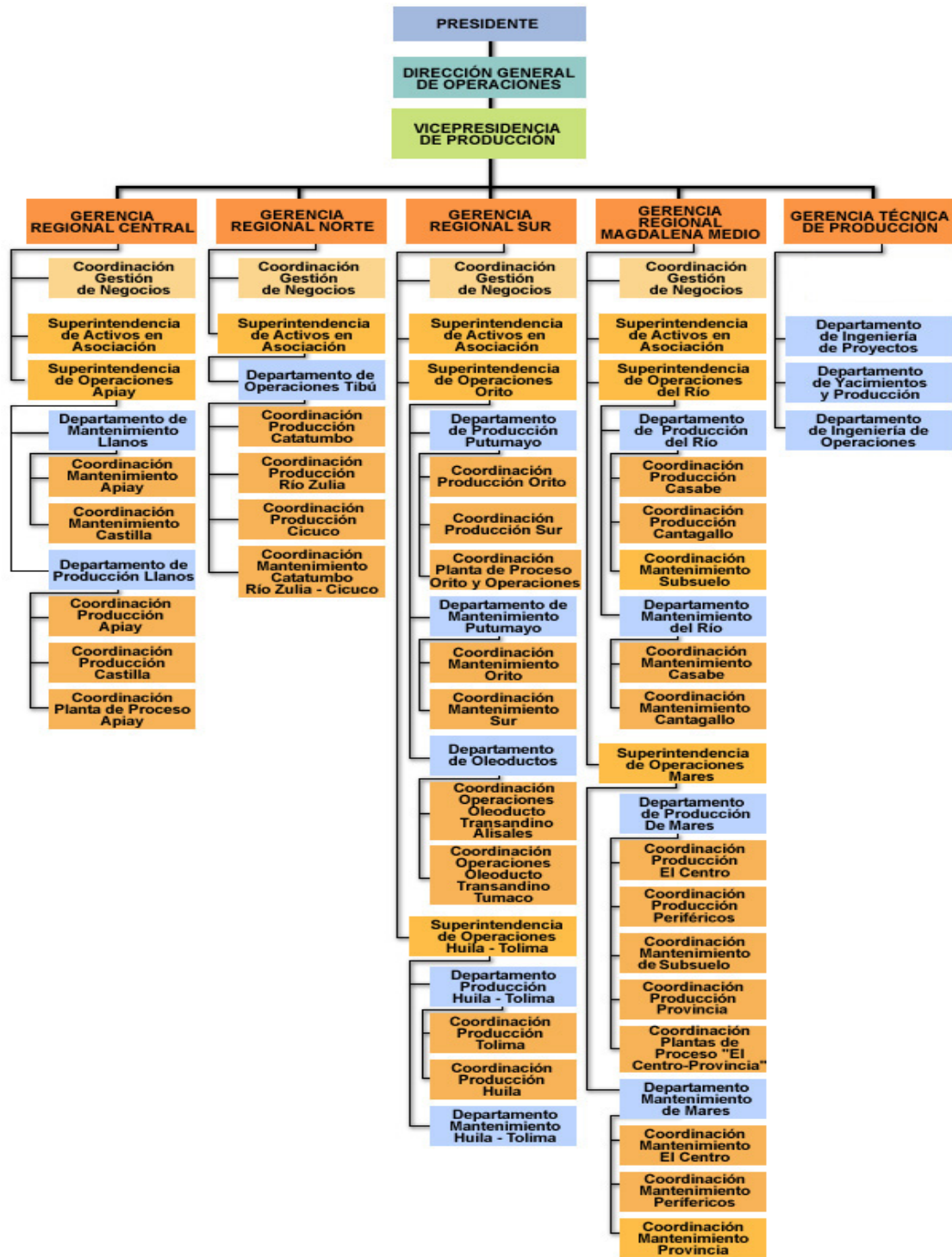
- Vicepresidencia de explotación
- Vicepresidencia de refinación y petroquímica
- Vicepresidencia de suministro y mercadeo
- Vicepresidencia de transporte
- Vicepresidencia financiera y administrativa
- Vicepresidencia de Producción: Consta de 5 gerencias (Fig. 2):
  - ✓ Gerencia Regional Central.
  - ✓ Gerencia Regional Norte.
  - ✓ Gerencia Regional Sur.
  - ✓ Gerencia Técnica.
  - ✓ Gerencia Regional Magdalena Medio.

### **1.2.3 Gerencia Regional del Magdalena Medio.**

La Gerencia Regional del Magdalena Medio de ECOPETROL (GRMM) tiene una estructura organizacional desde el punto de vista administrativo así: (Ver figura 3).

- **Gerencia:** (una)
- **Coordinación Gestión de Negocios:** (una).
- **Superintendencia de Activos Asociados:** (una).
- **Superintendencias de Operaciones:** (dos) Superintendencia de Operaciones del Río y Superintendencia de Operaciones de Mares.
- **Departamentos de Producción:** (dos) Departamento de Producción del Río y Departamento de Producción De Mares.
- **Departamentos de Mantenimiento:** (dos) Departamento de Mantenimiento del Río y Departamento de Mantenimiento De Mares.
- **Coordinaciones de Producción:** (cinco) Coordinación de Producción Casabe, Coordinación de Producción Cantagallo, Coordinación de Producción El Centro, Coordinación de Producción Periféricos y Coordinación de Producción Provincia.

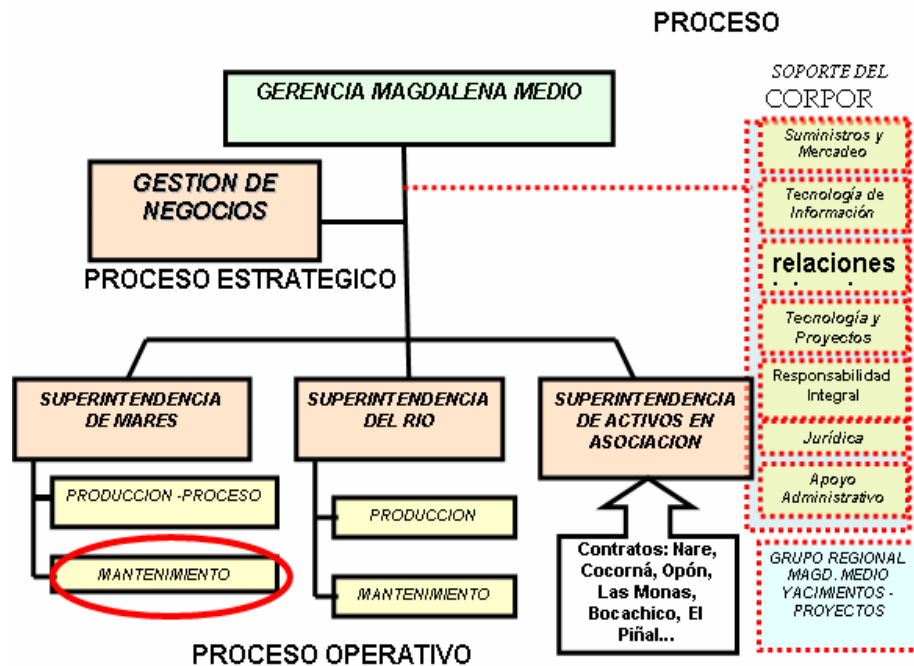
Figura 2. Organigrama de la Vicepresidencia de Producción de ECOPETROL S.A.



Fuente: <http://ecored bog>

- **Coordinaciones Mantenimiento de Subsuelo:** (dos) Coordinación Mantenimiento de Subsuelo del Río y Coordinación Mantenimiento Subsuelo de Mares.
- **Coordinación de Plantas de Procesos El Centro- Provincia:** (una)
- **Coordinaciones de Mantenimiento:** (cinco) Coordinación de Mantenimiento Casabe, Coordinación de Mantenimiento Cantagallo, Coordinación de Mantenimiento Centro, Coordinación de Mantenimiento Periféricos, Coordinación de Mantenimiento Provincia.

**Figura 3. Estructura organizacional de la GRMM**

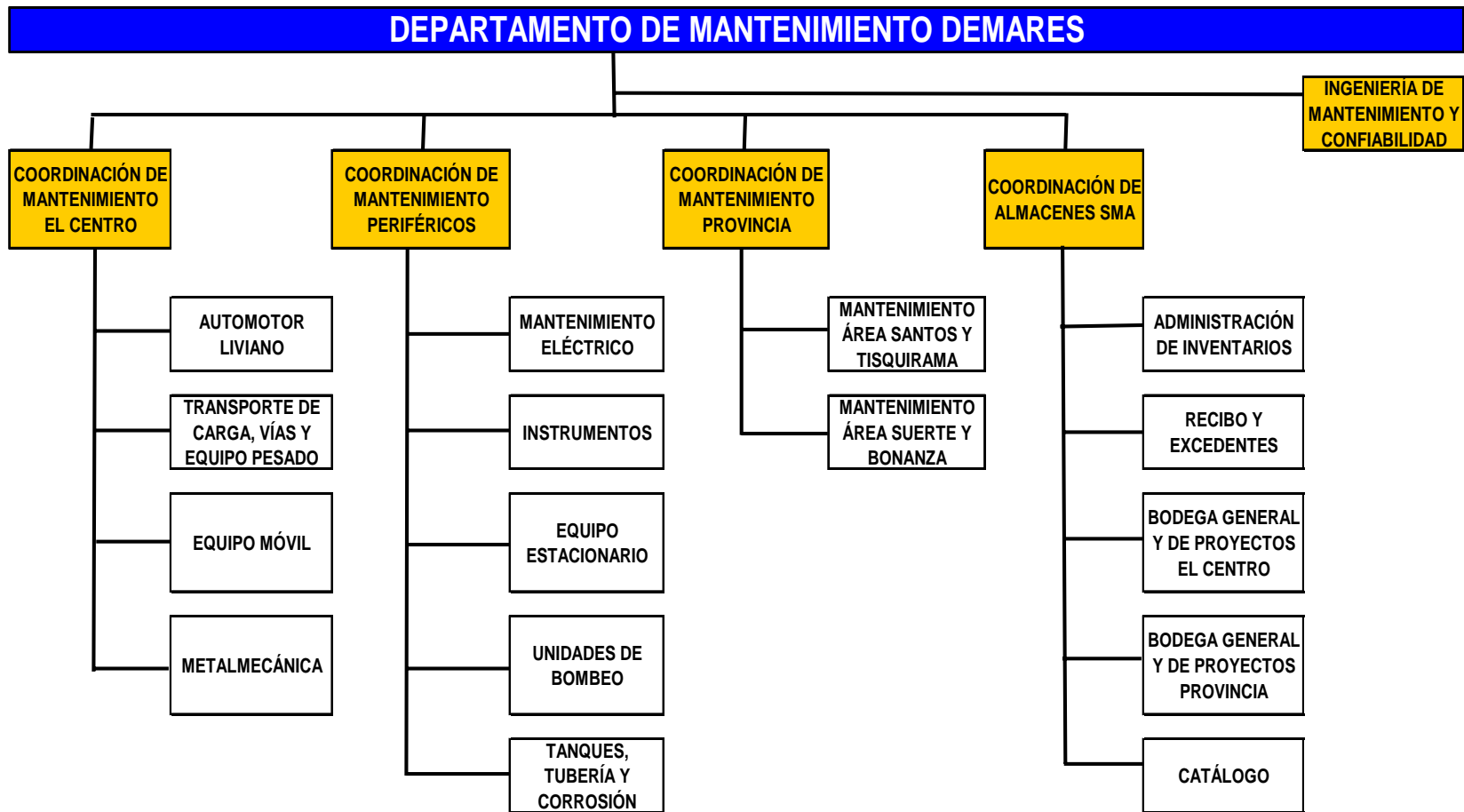


Fuente: <http://ecored bog>

#### 1.2.4 Departamento de Mantenimiento de Mares

La estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento de Mares se puede observar en la figura 4.

Figura 4. Estructura organizacional Departamento de Mantenimiento de Mares.

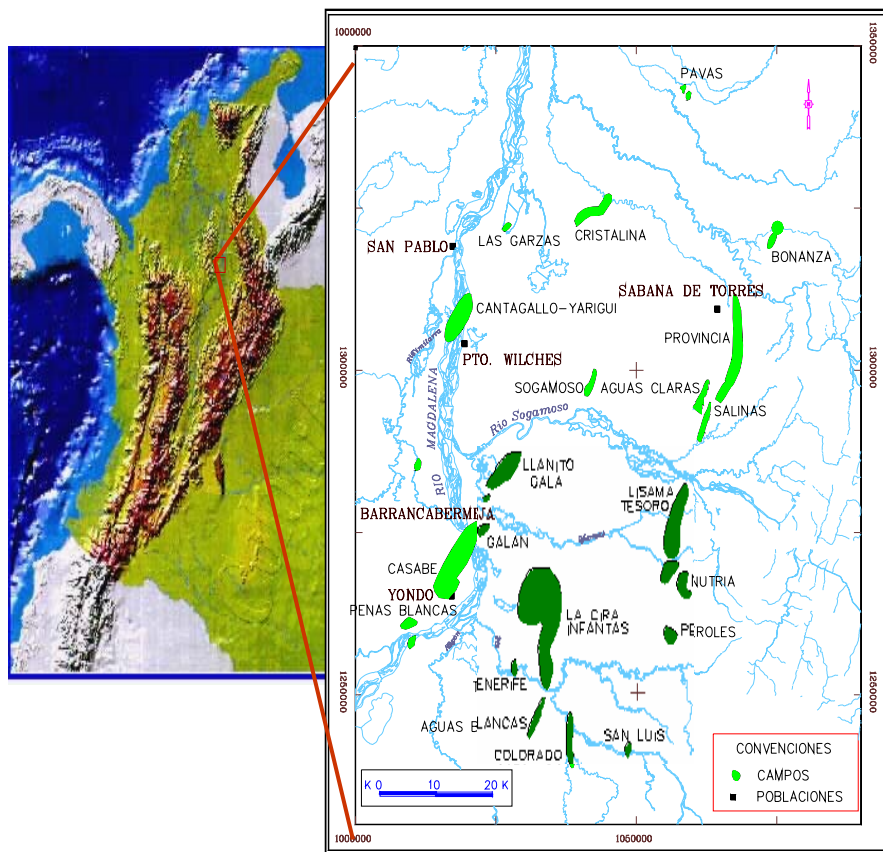


Fuente: ECOPEPETROL S.A. Departamento de Mantenimiento de Mares.

### 1.2.5 Ubicación geográfica de la Superintendencia de Mares

Las áreas en Colombia se representan gráficamente en el Mapa de ubicación (Figura 5). En él se muestran las áreas que se encuentran en Exploración y Explotación asignadas a la operación directa de ECOPETROL S.A. o contratadas bajo las diferentes modalidades pertenecientes a la Superintendencia de Mares (SMA), de la Gerencia Regional Magdalena Medio, su ubicación es en el Departamento de Santander es en los municipios de Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí y Sabana de Torres, con una extensión aproximada de 4609,3 km<sup>2</sup>.

**Figura 5. Ubicación geográfica de la SMA.**



Fuente: <http://ecored.bog>

## **Campos:**

- Reversión Trocó (1.918-1.951): Infantas, La Cira, San Luís, Colorado, Galán, San Silvestre, Aguas Blancas.
- Descubiertos por ECOPETROL: Llanito, Lisama, Tesoro, Tenerife, Peroles, Nutria, Gala y Cardales-Yuma.
- Reversión Esso (1.962-1.992): Bonanza, Santos, Suerte y Conde.
- Reversión Petronorte (1.965-1.998): Tisquirama.

### **1.3 MATRIZ DE EXCELENCIA DE MANTENIMIENTO Y EL PLAN ESTRATEGICO DE MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE MARES.**

En el año 2003 se realizó un Benchmarking con respecto a las demás empresas petroleras que realizan las mismas actividades a nivel nacional e internacional, encontrándose que existe una metodología de valoración a nivel internacional, este mecanismo de comparación de valoración es la matriz de la excelencia, en la cual se identifica nivel que tiene cualquier empresa de acuerdo a las buenas prácticas de mantenimiento que esta ejecuta, y lo concerniente debe realizarse para posicionarse en un mejor nivel de mantenimiento.

Esta matriz consta de cinco filas que muestran el desempeño, valorando desde el nivel de **INNOCENSE** hasta el **WORLD CLASS** de acuerdo al cumplimiento de diez indicadores contenidos en columnas que miden la parte organizacional, el seguimiento de las acciones, el uso de tecnología y el manejo de la información y las labores de mantenimiento, esta clasificación y el puntaje respectivo se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1. Niveles de calificación en la Matriz de Excelencia de Mantenimiento.**

<b>PUNTAJE</b>	<b>NIVELES DE CALIFICACIÓN</b>
Entre 0 -10	Mantenimiento "INNOCENSE"
Entre 10 -20	Mantenimiento "UNSATISFACTORY"
Entre 20 -40	Mantenimiento "AWARNNESS"
Entre 40 -70	Mantenimiento "BEST IN CLASS"
Entre 70 -100	Mantenimiento "WORLD CLASS"

A finales del año 2003 se realizó el ejercicio de valoración posicional de la SMA utilizando la matriz en la cual se obtuvo una puntuación de 8.25 puntos clasificando en el tipo de mantenimiento de clase **INNOCENSE**. En el 2004 se estructuró el Plan Estratégico de Mantenimiento con el cual se empezaron a desarrollar actividades enfocadas a obtención de más de 20 puntos en la matriz de la excelencia como meta para finales de ese año, obteniéndose así un resultado de 22.25 puntos.

La meta para la Superintendencia de Mares en el 2005 consiste en obtener un puntaje mayor o similar a 40.75 sobre un 22.25 obtenido en el diagnóstico del 2004 según la matriz, calificación que la posicionaría en el nivel esperado como **AWARNNESS**, para esto es necesario implementar el desarrollo mecanismos que permitan aumentar la calificación dentro de cada uno de los campos evaluados, como es el caso Medidas de Desempeño, Análisis de Confiabilidad e Información sobre infraestructura e Instalaciones, en los cuales entra a formar parte el desarrollo de este proyecto (Ver figura 6).

### **1.3.1 Plan estratégico de mantenimiento de la Superintendencia de Mares para el año 2005**

Esta es la validación de objetivos y entregables por área del Plan Estratégico del departamento de Mantenimiento para la Superintendencia de Mares para el 2005.

Figura 6. Matriz de Excelencia de Mantenimiento y posición de la SMA 2003 - 2005

CLASS	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	MEDIDAS DE DESEMPEÑO	TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	ANÁLISIS DE PROCESOS	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES
WORD CLASS	Estrategia Corporativa de Mantenimiento	"Organización de Alto Desempeño"	Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de Largo Plazo (Vista a tres años mínimo)	Todas las técnicas derivadas de un análisis estructurado	Cálculo de Efectividad de Equipos y de planta. Benchmarking y excelente base de datos de costos implementada	Bases de datos totalmente integradas	Equipos de trabajo autónomos	Programa total de confiabilidad (Predicción y Ajuste de Estrategia de Mantenimiento con base en estudios Confiabilidad)	Revisión regular de los procesos de costo, tiempo y calidad, certificación ISO 9000 de los procesos de mantenimiento	Fuente única de información con toda la infraestructura de Equipos, componentes jeraquizada para realizar la gestión de mantenimiento
BEST IN CLASS	Plan de Mejoramiento a largo plazo	Admon y organización de mannto "Ampliada" (integrada) con proveedores de bienes y servicios externos	Buena planeación del trabajo, programación y Soporte de Ingeniería de Mantenimiento implementado Pvos con base en RCM, Análisis de Falla, Soporte Técnico)	CBM formal y dando resultados. PPMs con base en RCM. Inspecciones basadas en riesgo	MTBF/MTTR, Availability, Reliability, costos de mantenimiento muy estructurados y gestionados	CMMs Convencional ligado a materiales	Equipos de mejoramiento continuo formalmente ligados y funcionando	Modelamiento de Confiabilidad	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estratégicos, tácticos y operativos)	Infraestructura de equipos y componentes estandarizada en las diferentes bases de datos con las cuales se realiza la gestión de mantenimiento
AWARENESS	Plan estratégico de mantenimiento a un año	Estructura organizacional de mannto integrada con logística, financiera, recursos humanos, gerencia y demás áreas de la compañía.	Grupos de Planeación e Ingeniería de mantenimiento establecidos formalmente	Algo de CBM. Algo de NDT	Tiempos de parada con modo, causa y elementos de falla. Costos de mantenimiento despreciables	CMMs convencional no ligado a otros paquetes, operando produciendo resultados	Comités de mejoramiento ad-hoc	Buena base de datos de falla, en uso y utilización de RCFA y FMEA	Revisiones periódicas de procesos o procedimientos técnicos y documentación de los procesos administrativos	Infraestructura jeraquizada y clasificada de manera que permita realizar gestión administrativa y técnica
UNSATISFACTORY	Plan de Mejoramiento de mantenimientos preventivos	Mantto organizado como respuesta a la necesidad operativa del proceso productivo principal	Soporte para detección de fallas y programación elemental (no balanceo, planeación no profunda)	Inspecciones basadas en tiempo	Algunos registros de falla y costos de mantenimiento no segregados	Algunos programas y registros de repuestos	Algunas reuniones de mejoramiento en seguridad	Registro de Fallas poco usado	Procesos técnicos (procedimientos), revisados por lo menos una vez	Se dispone de la infraestructura de Equipos y componentes debidamente estructurada en algún medio magnético
INNOCENSE	Mantenimiento reactivo (run to fail)	Organización y administración funcional	No planeación. La programación es elemental y no existe la Ingeniería de mantenimiento	Paradas anuales de inspección únicamente	Ninguna aproximación sistemática a costos de mantenimiento y falla de equipos	Manual y registro ad-hoc	Solo reuniones con el personal para tocar temas sindicales o sociales	No existe registro estructurado de fallas	Procedimientos técnicos y Procesos administrativos de mantenimiento no documentados y nunca revisados (verbales o de conocimiento individual)	No existe ningún registro de la infraestructura de Equipos y Componentes

Fuente: Plan estratégico de Mantenimiento SMA 2003 - 2005

### **1.3.1.1 Misión.**

Maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos que soportan la producción de crudo y gas de la SMA, mediante la aplicación de programas de Mantenimiento empleando modernas técnicas con personal capacitado y comprometidos con las metas establecidas.

### **1.3.1.2 Visión 2005-2007**

Seremos una organización de Mantenimiento “Clase Mundo” mediante la aplicación de los planes estratégicos de Mantenimiento establecidos para cada vigencia, apoyados principalmente en la capacidad, compromiso, políticas de HSEQ y liderazgo de su equipo humano.

### **1.3.1.3 Objetivos entregables por área en la Matriz de Excelencia en el Plan Estratégico de Mantenimiento de la SMA para el 2005.**

- **Área Estratégica:** Definir e Implementar un Plan estratégico para el año 2005, con una visión a tres años y una estrategia compartida y alineada con producción.
- **Área de Administración Y Organización:** Ejecución de la función mantenimiento orientados hacia un mantenimiento Integral con costos y eventos documentados en el sistema de información actual
- **Área de Planeación y Programación:** Subprocesos de planeación y programación e ingeniería de mantenimiento, para todo el Departamento operativizados

- **Área de Técnicas De Mantenimiento:** Implementar y configurar programa de inspecciones para dos familias de equipos críticos con base en CBM y su análisis de resultados.
- **Área de Medidas de Desempeño:** Implementar el registro de tiempos de parada de equipos críticos con su cálculo y seguimiento de indicadores de confiabilidad.
- **Área de Tecnología de Información y su uso:** Optimizar el uso de Ellipse, como fuente y soporte de toda la labor y costos de mantenimiento en la Superintendencia de Mares.
- **Área de involucramiento de Empleados:** Implementar Comité de Mejoramiento continuo en el análisis de la información de MDD y el subproceso de análisis de falla.
- **Área de Análisis de Confiabilidad:** Definir códigos de falla en equipos críticos basado en técnicas de RCFA y FMEA.
- **Área de Análisis de Procesos:** Documentar, divulgar y definir mecanismo de actualización de los procedimientos de intervención de equipos.
- **Área de Información Sobre Infraestructura e Instalaciones:** Actualizar y divulgar la información de equipos y componentes a toda la organización con una revisión y depuración adecuada.
- **Área de Materiales:** Área de Materiales integrada a la gestión de mantenimiento con la capacidad óptima y con respuestas oportunas.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO

Todas las actividades pueden medirse con parámetros que enfocados a la toma de decisiones son señales para monitorear la gestión de las organizaciones, así se asegura que las actividades vayan en el sentido correcto y permiten evaluar los resultados de una gestión frente a sus objetivos, metas y responsabilidades. Estas señales son conocidas como indicadores de gestión.

Un indicador de gestión es la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso.

Para trabajar con los indicadores debe establecerse todo un sistema que vaya desde la correcta comprensión del hecho o de las características hasta la toma de decisiones acertadas para mantener, mejorar e innovar el proceso del cual dan cuenta.

Características de los indicadores:

Según su utilidad los indicadores de gestión deben ser:

- Pocos
- Claros de entender y calculables
- Útiles para conocer rápidamente cómo van las cosas y por qué

Según su gestión los indicadores deben:

- Identificar los factores claves de la producción.
- Definir índices que los evalúen.
- Establecer registros de datos que permitan su cálculo periódico.
- Establecer valores estándares (consigna) para dichos índices; objetivos.

- Tomar las oportunas acciones y decisiones ante las desviaciones que se detecten.
- Se trata no sólo de efectuar un control por objetivos, sino también un control de los objetivos para adecuarlos a cada circunstancia.

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

Estos indicadores generalmente son:

- Disponibilidad – Availability (A)
- Confiabilidad - Reliability (R)
- Mantenibilidad – Maintainability
- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) - Mean Time To Fail (MTTF)
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) - Mean Time To Repair (MTTR)
- Tiempo Promedio entre Fallas (TMEF) - Mean Time Between Failures (MTBF).

### **2.1.1 Disponibilidad**

Este término, puede expresarse, en una primera aproximación, como la proporción de tiempo que un equipo se encuentra apto para cumplir su misión, en condiciones dadas, respecto al tiempo que debió haber cumplido su misión y no lo hizo. El concepto de disponibilidad puede ser expresado como:

*“La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera”<sup>2</sup>.*

---

<sup>2</sup> ECOPETROL S.A. Memorias Curso “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, RCM”. El Centro – Santander. 2004. p 52.

La disponibilidad diverge de la duración del tiempo en servicio por operaciones, y es una medida de que tan frecuente el sistema este bien y listo para operar.

### **2.1.2 Confiabilidad**

La confiabilidad puede definirse como:

*“La probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período determinado”<sup>3</sup>.*

La confiabilidad se relaciona básicamente con la reducción de la frecuencia de fallas en un intervalo de tiempo y es así una medida del éxito para una operación libre de fallas.

### **2.1.3 Mantenibilidad**

La mantenibilidad puede definirse como:

*“La probabilidad de que un equipo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla, utilizando procedimientos de mantenimiento preestablecidos”<sup>4</sup>.*

La mantenibilidad se relaciona básicamente con el diseño y la complejidad del equipo, con el personal calificado que realice el mantenimiento, con las herramientas disponibles y con los procedimientos de mantenimiento.

El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad lo constituye el tiempo medio de reparación de las fallas (MTTR). Cuando el MTTR de un determinado equipo es alto, se dice que el equipo tiene una baja mantenibilidad (mientras más tiempo duren las reparaciones de las fallas asociadas a un equipo, su mantenibilidad irá disminuyendo). En el caso contrario, de que el tiempo medio de

---

<sup>3</sup> Ibíd. p 53.

<sup>4</sup> Ibíd. p 54.

reparación de las fallas de un determinado equipo sea bajo, se dice que el equipo tiene una alta mantenibilidad.

## **2.2 CÁLCULO DE INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

### **2.2.1 Cálculo de la Disponibilidad (A)**

De los tres conceptos mencionados anteriormente, la disponibilidad constituye el parámetro cuya información es la más representativa y útil para la gestión del mantenimiento. Calcular la disponibilidad es más sencillo, en comparación con el cálculo de los otros dos parámetros y relaciona a su vez, a la confiabilidad y a la mantenibilidad. Esta es generalmente expresada como:

$$A = \frac{\textit{Tiempo en servicio}}{(\textit{Tiempo en servicio} + \textit{Tiempo en parada})}$$

A continuación se presentan otras formas de calcular la disponibilidad:

#### **2.2.1.1 Disponibilidad Inherente (Ai)**

Es la que se toma tal como es vista por el personal de Mantenimiento, es decir aquella que excluye las paradas por Mantenimientos preventivos, demoras en suministros, y demoras administrativas, es definida como:

$$A_i = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

### 2.2.1.2 Disponibilidad lograda (Aa)

Toma en cuenta tanto el Mantenimiento correctivo como el preventivo, pero no incluye demoras en los suministros ni las administrativas, es tal y como es vista por el Departamento de Mantenimiento, y es definida por:

$$Aa = \frac{MTBM}{(MTBM + MAMT)}$$

Donde MTBM es el tiempo medio entre acciones correctivas y preventivas, y MAMT es el tiempo medio en que el mantenimiento estuvo activo.

### 2.2.1.3 Disponibilidad operacional (Ao)

La disponibilidad operacional es similar a la inherente, solo que esta toma en cuenta el tiempo no operativo del equipo de forma general (desde que el equipo sale fuera de servicio hasta que es otra vez puesto en operación), es decir, que incluye el retraso (más no lo estima ni cuantifica) que trae consigo la logística de las actividades de mantenimiento (compra de repuestos, transportación, tiempo de ocio no determinados, etc.). La ecuación para calcularse es:

$$Ao = \frac{MTBM}{(MTBM + MDT)}$$

Dónde MDT es el tiempo medio de parada.

**A<sub>o</sub>** considera el diseño del equipo, la disponibilidad del personal de mantenimiento, las políticas y procedimientos de mantenimiento y los factores no tomados en cuenta en el diseño de los equipos.

## 2.2.2 Cálculo de la Confiabilidad (R)

De forma práctica la Confiabilidad puede expresarse como:

$$R = \frac{(\textit{Tiempo en servicio} - \textit{Tiempo en reparación})}{\textit{Tiempo en servicio}} \textsuperscript{5}$$

Sin embargo, la expresión más utilizada para calcular la confiabilidad de un equipo mecánico o un componente mecánico, es la desarrollada a partir de la distribución de Weibull.

$$R(t) = e^{-(t/MTBF)} = e^{-\lambda t}$$

Donde:

R (t) = Confiabilidad del equipo o sistema

t = Es el intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la confiabilidad.

MTBF = Es el tiempo medio entre fallas, el cual por si solo es un índice básico de la confiabilidad expresado por:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total en operación}}{\textit{Número de operaciones}}$$

$\lambda$  = Es la rata de constante de falla que corresponde al recíproco de MTBF.

---

<sup>5</sup> Tiempo en reparación hace referencia a todos los mantenimientos no programados, es decir se debe tener en cuenta solo mantenimientos correctivos para el cálculo de R en esta forma.

### 2.2.3 Cálculo de la Mantenibilidad

El índice clave para la mantenibilidad es el tiempo medio entre reparaciones MTTR y es un límite para el tiempo máximo de reparación, este puede ser expresado como:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total en reparación}}{\textit{Número de paradas}}$$

Cuantitativamente este indicador es una probabilidad y es medido con base en el tiempo de parada por mantenimiento correctivo, incluyendo todos los tiempos por: diagnóstico, problemas de descarga, desarme, remoción/reemplazo, tiempo activo de reparación, pruebas de verificación para saber si la reparación fue adecuada, demoras por movimientos logísticos y demoras administrativas.

### **3. DESCRIPCION NORMA ISO 14224**

#### **3.1 GENERALIDADES**

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, 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 esta 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, (pérdida 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, diseñadores, etc.)

### **3.2 ESTRUCTURACIÓN DE JERARQUÍAS ISO 14224.**

Para hacer una completa identificación de los componentes, la norma hace una estructuración de acuerdo a dos categorías, la primera hace referencia a la localización, la cual permite describir completamente el sitio donde se encuentra el equipo a estudiar y/o analizar, y de acuerdo a la capacidad de cada empresa en el orden siguiente:

- ✓ INDUSTRIA
- ✓ CATEGORIA DEL NEGOCIO
- ✓ INSTALACION
- ✓ PLANTA

La segunda categoría toma la máquina dividiéndola de mayor a menor jerarquía o grado de detalle<sup>6</sup>:

- ✓ SISTEMA
- ✓ EQUIPO
- ✓ SUB SISTEMA
- ✓ ÍTEM MANTENIBLE
- ✓ PARTE O COMPONENTE EN DETALLE (Opcional).

---

<sup>6</sup> A manera de complemento, puede consultarse el anexo A de la norma ISO 14224, donde se muestra como 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.

### **3.2.1 Sistemas**

Bajo los conceptos de RCM/FMECA, y 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

### **3.2.2 Equipos**

A partir de la estructura presentada por la norma, acorde a un orden de jerarquía, se establecen cuáles son los equipos, siendo este el nivel más alto que se les puede asociar a funciones para así establecer un sistema; cada uno 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.

En definitiva un conjunto de equipos asociados o agrupados, son necesarios para que el sistema pueda cumplir con su función dentro del proceso

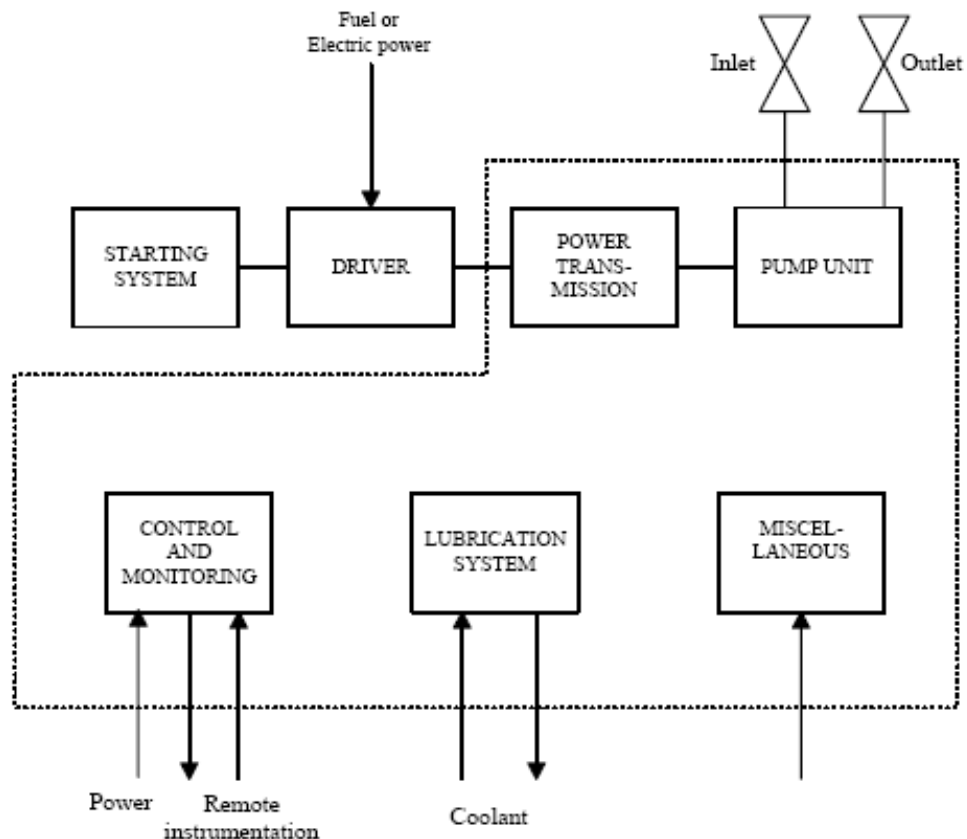
### 3.2.3 Subunidades

Son aquellos elementos unidos que trabajan conjuntamente, hacen parte de los equipos y de manera directa posibilitan que el sistema realice su función operativa, se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo equipo calificado como subunidad que falle, afecta directamente al sistema.

Por ejemplo, el control, monitoreo e instrumentación y lubricación pueden considerarse como subunidad.

A modo de ejemplo se toma la BOMBA, vista desde la norma ISO 14224 en la figura 7.

**Figura 7. Distribución según la ISO 14224 para el equipo Bomba**



Fuente: ISO 14224 Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Anexo A. p 73.

### **3.2.4 Ítem mantenible**

La unidad final de la división es el ítem mantenible, 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) provoca una pérdida de la capacidad del sistema, 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.

## **3.3 ASISTENCIA DE LA NORMA ISO 14224 EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) Y CON EL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF).**

### **3.3.1 Relación con el RCM**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial; útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de Mantenimiento.

Analiza cada sistema y cómo estos pueden fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la seguridad, la operación y el costo.

El objetivo principal es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran

nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones que la interrumpen o dificultan.

RCM es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones. Su éxito depende en gran parte de la experiencia de los participantes como también en la posibilidad de contar con datos de tasa de fallas y periodos de ocurrencia registrados, información dificultosa de encontrar o elaborar en el común de las plantas. La división en sistemas y subsistemas de cada equipo es tan amplia como criterios puedan definir los integrantes del grupo. Lo mismo ocurre con la profundidad de análisis para cada modo de falla / causa de falla; solo limitada por el grado de detalle al que el grupo oriente el análisis. En este sentido la metodología RCM es abierta y no es difícil caer en la trampa de hacer análisis tan detallados que los tiempos para la implementación del método se extienden en demasía, mientras que la planta debe continuar incrementando su grado de confiabilidad.

La norma ISO 14224, contiene en forma predefinida toda esta información, clasifica los equipos por jerarquías a saber: SISTEMAS/EQUIPOS/ SUBSISTEMAS/ ÍTEMS MANTENIBLES.

Como anteriormente se vió, los equipos quedan caracterizados según la norma por su clase, tipo de equipo y aplicación. A esta clasificación inicial, que define a grandes rasgos la función, se agrega la tabla correspondiente a los datos del equipo, y así quedan establecidas todas las funciones requeridas.

De esta forma podemos responder la primera pregunta del RCM *¿Cual la función deseada y el estándar de funcionamiento en el presente contexto operativo?*

La información completa se reproduce en tablas de la Norma ISO 14224. Esta información debe estar compilada antes de comenzar el análisis, para un equipo en particular. Para hacer un análisis genérico se pueden obviar datos específicos; pero es importante contar con este documento como guía de las funciones y sus desvíos.

### **3.3.1.1 Clasificación de las fallas.**

Para hacer una clasificación de las fallas en cualquier equipo se comienza tomando cada uno de los ítems mantenibles, se fijan y analizan cuales son las pérdidas de funciones, en caso de que falle y definir así los modos de falla que causan estas.

A diferencia del RCM la norma ISO 14224 tiene definidos los modos de falla por clase de equipo, de esta manera:

- ✓ No se pierde tiempo definiéndolas.
- ✓ No se cae en la trampa de buscar o listar enormes cantidades de modos de fallas asociados a funciones principales y secundarias.

Se comienza calificando a la falla con el modo de falla, la cual está asociada a las funciones del sistema. Con esto queda contestada la segunda pregunta del RCM *¿De qué forma puede Fallar (no ser satisfactorias las funciones)?*

Luego se calificará la falla con dos niveles, que dan mayor detalle y están orientados al ítem mantenible, estos son: mecanismo de falla y causa de falla.

Así la falla del ítem mantenible queda perfectamente acotada comenzando el análisis por la pérdida de función del sistema calificada por el modo de falla, esto es desde los macro al detalle. Se parte de la función del equipo, sistema, incrementando en detalle, desde el descriptor de la falla hasta la causa de falla. De esta manera respondemos la tercera pregunta del RCM *¿Qué causa que falle?*

### **3.3.1.2 Tareas preventivas – Métodos de detección**

En esta fase se pretende responder a la pregunta del RCM *¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?*

El orden va de lo simple y práctico, (la detección temprana), a lo más complejo como el cambio en el diseño.

### 3.3.2 Relación con el FMECA

El FMECA es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que provocan las fallas de cada ítem mantenible 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

De esta forma el FMECA 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).

Los responsables de las pérdidas de funciones de los Sistemas, son los ítems mantenibles, 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 equipos, subsistemas e ítems mantenibles, causa de fallas y descriptores de falla; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, así difícilmente puede quedar afuera ninguna falla supuesta que afecte a las funciones del equipo. Las listas de causas de falla limitan así la profundidad de análisis. Están adaptadas al nivel de conocimiento del personal involucrado; lo que le otorga confiabilidad al dato.

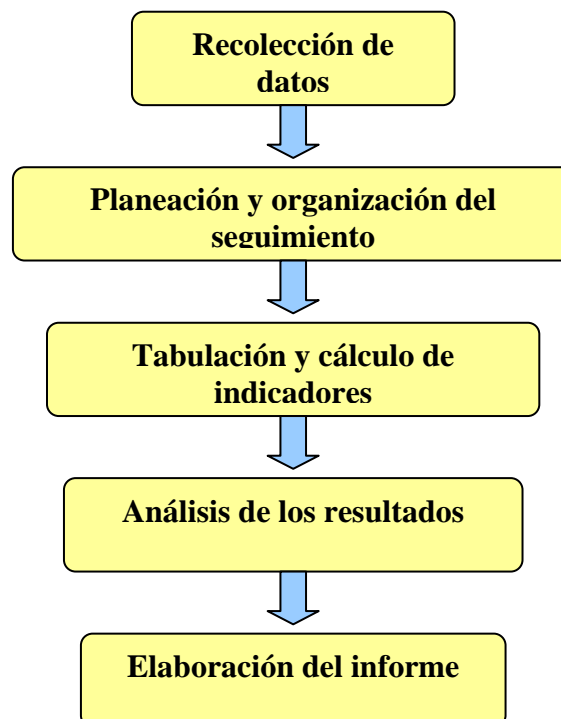
#### **4. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO EN LA SMA**

Para poder saber en buen detalle las características y requerimientos necesarios del sistema, es imperioso hacer un reconocimiento del proceso que actualmente se lleva a cabo para la evaluación y retroalimentación de los indicadores, definiendo las falencias y posibles ventajas del mismo, con el objetivo de establecer las mejoras y adaptaciones que se deben realizar en esta actividad.

##### **4.1 MODELO Y METODOLOGÍA ACTUAL**

Actualmente el proceso que se lleva la SMA mediante diferentes actividades (Ver figura 8) se describen a continuación:

**Figura 8. Procedimiento para el seguimiento de los indicadores**



#### **4.1.1 Recolección de datos.**

Esta actividad es realizada diariamente por cuenta de los jefes de las unidades de mantenimiento, y consiste en llenar una hoja de cálculo Excel con los valores en horas del comportamiento de los equipos, la información de los valores se obtiene cada una de las plantas de la SMA por medio de comunicación telefónica con los operadores.

En dicha hoja de cálculo se especifican para cada uno de los equipos la cantidad de horas de trabajo del equipo, como auxiliar y cuando sobre este se ejecuta un mantenimiento preventivo, además presenta la información de la fecha del reporte, estado del equipo como: disponible, en operación y fuera de servicio y una casilla para las observaciones necesarias para la descripción de la falla en caso que esta existiere. Este formato se puede ver en la figura 9.

#### **4.1.2 Planeación y organización del seguimiento.**

El equipo encargado de esta actividad es el grupo de Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad IMC, el cual ha establecido realizar seguimientos y análisis de forma mensual, semestral y anual, documentando a través de la presentación de un informe a gerencia.


#### **4.1.3 Tabulación y cálculo de los indicadores de gestión.**

Una vez establecidos los parámetros temporales para el análisis, se procede a la clasificación y tabulación, estas dos actividades tienen como función reorganizar y reclasificar la información recolectada de una manera más sencilla para el posterior cálculo de los indicadores.


Inicialmente se separa la información para cada uno de los equipos existentes en las plantas, para luego hacer un consolidado por plantas. Los indicadores y la forma como se evalúan se pueden observar en la tabla 2.

**Figura 9. Formato reporte diario de equipos**

DEPARTAMENTO MANTENIMIENTO DE MARES



REPORTE DIARIO EQUIPOS CRÍTICOS A CARGO DE LA UNIDAD DE EQUIPO ESTACIONARIO



FECHA		10/07/2006 22:41	
-------	--	------------------	--

EQUIPO			ESTADO EQUIPO HOY	POR CUENTA DE	FECHA REPORTE	FECHA FUERA DE SERVICIO	HORA DE PARADA	HORA DE ENTRADA	HORAS DE TRABAJO	HORAS AUXILIAR	HORAS PREVENTIVO	FECHA DE REALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN EVENTO
NOMBRE	NO	LOCALIZACIÓN											
<b>PLANTA DE COMPRESIÓN EL CENTRO</b>													
COMPRESOR DE GAS	1	PLANTA ELC	FUERA DE SERVICIO	MECANICA	10-feb-06	7-ene-06	9.00PM		0,0	0,0	24,0		FUERA DE SERVICIO ( REVISIÓN GENERAL AL COMPRESOR)
COMPRESOR DE GAS	2	PLANTA ELC	EN OPERACIÓN		10-feb-06				24,0	0,0	0,0		EN OPERACION NORMAL
NECESIDAD DE HORAS DE EQUIPOS		48	DISPONIBILIDAD PROYECTADA		50,00%	HORAS REALES DE TRABAJO		0	DISPONIBILIDAD REAL		0,00%		
<b>PLANTA DE COMPRESIÓN LISAMA</b>													
COMPRESOR DE GAS	2	COMP. LISAMA	FUERA DE SERVICIO	MECA/INST/SERV	10-feb-06	24-nov-05			0,0	0,0	24,0		MAQUINA EN PRE-ALISTAMIENTO DE ARRANQUE. AVANCE DE LA REPARACIÓN DEL 95 % .
COMPRESOR DE GAS	3	COMP. LISAMA	EN OPERACIÓN		10-feb-06				24,0	0,0	0,0		EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL
COMPRESOR DE GAS	4	COMP. LISAMA	EN OPERACION		10-feb-06		5.00PM	10.00PM	19,0	0,0	5,0	9-feb-06	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(LA MAQUINA PERDIO 5 HORAS REVISIÓN DEL CILINDRO DE TERCERA ETAPA POR ALTA TEMPERATURA)
COMPRESOR DE GAS	5	COMP. LISAMA	EN OPERACIÓN		10-feb-06				24,0	0,0	0,0		EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL
COMPRESOR DE GAS	7	COMP. LISAMA	EN OPERACION		10-feb-06				24,0	0,0	0,0		EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL
NECESIDAD DE HORAS DE EQUIPOS		72	DISPONIBILIDAD PROYECTADA			HORAS REALES DE TRABAJO		91	DISPONIBILIDAD REAL		126,39%		
<b>PLANTA DE COMPRESIÓN LLANITO</b>													
COMPRESOR DE GAS	1	COMP. LLANITO	EN OPERACIÓN		10-feb-06				24,0	0,0	0,0		EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL
COMPRESOR DE GAS	2	COMP. LLANITO	AUXILIAR		10-feb-06				0,0	24,0	0,0		EQUIPO DISPONIBLE
NECESIDAD DE HORAS DE EQUIPOS		24	DISPONIBILIDAD PROYECTADA		19-5%	HORAS REALES DE TRABAJO		24	DISPONIBILIDAD REAL		100,00%		

Fuente: Departamento de Mantenimiento SMA

**Tabla 2. Indicadores Actuales y su forma de cálculo en la SMA<sup>7</sup>.**

NOMBRE	CÁLCULO
Disponibilidad	$\frac{\text{Horas de trabajo} + \text{Horas de auxiliar}}{\text{Horas Totales}}$
Confiabilidad	$\frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas de correctivo}}{\text{Horas Totales}}$
MTBF	$\frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas de correctivo}}{\text{Fallas Totales}}$
MTTR	$\frac{\text{Horas de correctivo}}{\text{Fallas Totales}}$
Cantidad de fallas	$\sum \text{Fallas}$
Malos actores	$\frac{\sum \text{Fallas por componente}}{\sum \text{Horas correctivo por componente}}$

**Nota:** El cálculo de los malos actores consiste en la clasificación de los componentes que generan el mayor número de paradas no programadas, es decir el mayor tiempo de mantenimiento correctivo en los equipos, para su estudio se realiza una discriminación por cantidad de fallas y mayor tiempo de parada que estos producen.

<sup>7</sup> Todos los indicadores mencionados se calculan para el mismo tiempo establecido, de acuerdo al tipo de análisis que se desee realizar ya sea mensual, semestral, anual, etc.

#### **4.1.4 Análisis de los resultados.**

Una vez calculados los indicadores el grupo IMC se reúne para analizar la situación que estos reflejan, es decir, teniendo como base los resultados obtenidos en la tabulación, estos son graficados para que se puedan ver de una forma más cualitativa y observar la tendencia que estos presentan.

El análisis empieza de lo general a lo particular se analiza de forma global cada uno de los indicadores en las plantas, luego para cada uno de los equipos y es entonces de allí donde se comparan con los malos actores para determinar cuales son los componentes y en que equipos se esta afectando en mayor grado la gestión del mantenimiento.

Por último se decide las acciones a tomar dependiendo del resultado en el análisis previamente descrito, ya sea favorable o desfavorable según sean las metas establecidas por la gerencia.

#### **4.1.5 Elaboración del informe.**

A partir de la reunión del IMC se realiza un informe escrito donde se presentan las decisiones tomadas argumentándolas con la presentación de resultados en los cálculos de los indicadores.

La difusión de los resultados se hace en reunión donde participan Superintendente y Gerente del departamento de Mantenimiento de la SMA, mediante exposición verbal y escrita, para aprobación y visto bueno de por parte de los directivos, y establecimiento de nuevas metas en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad para los periodos posteriores.

## **4.2 EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACTUAL**

Para la evaluación y seguimiento de los indicadores de gestión de mantenimiento se deben proporcionar mecanismos que faciliten de una manera sistemática el cálculo y comportamiento de estos en el tiempo de manera oportuna y ágil, evitando así pérdidas deliberadas en horas de trabajo y errores por el tratamiento manual, así mismo se debe garantizar que los datos que se usan sean confiables, ya que dicho seguimiento tiene el propósito de encontrar las áreas que necesitan mejoramiento dentro de las organizaciones de mantenimiento.

El seguimiento de los indicadores en la SMA se lleva de una forma adecuada en cuanto a los indicadores que se calculan y se someten en análisis, pero no del todo correcto ya que la evaluación mediante hojas de cálculo, aunque por estas sea posible realizarlo, no está estructurado de la mejor manera, convirtiendo la metodología de seguimiento en extenuante y tediosa, esto puede conllevar a generar posibles errores, se requiere entonces que el procesamiento de datos no implique tantas horas por parte del personal del IMC, ya que la actividad preponderante de este grupo en el seguimiento de estos indicadores es el análisis, la formulación de estrategias y toma de decisiones adecuadas para la mejora.

La forma de recolección de datos en primera instancia donde interactúan operador de la planta y jefes de unidades de mantenimiento no es el más adecuado, el método vía telefónica hace que se pierda la confiabilidad al dato, además de esto la persona encargada de llenar los formatos tiene la facultad de cambiarlos por error a los que originalmente le fueron comunicados. Una manera más adecuada de llevar los datos de comportamiento del equipo está basada en el hecho que la información sea cargada directamente por los operadores en los formatos.

Existe también la necesidad de establecer una base de datos común para todas las plantas, donde se pueda tener a disposición la información en cualquier

momento, ya que se hallan algunas restricciones como es el caso de las plantas ubicadas en los municipios de San Vicente de Chucurí y Sabana de Torres: Lisama y de la Coordinación Provincia respectivamente, especialmente en esta última donde los valores de los indicadores deben ser solicitados al personal encargado del mantenimiento ya directamente para el análisis, sin ejercer control alguno sobre el proceso de cálculo de los mismos.

La codificación es un parámetro imprescindible en la gestión del mantenimiento, ya que esta permite identificar desde el componente de un equipo, hasta una acción correctiva a realizar, además este es un importante punto de partida para la eliminación de muchos errores en los procesos, más aun cuando estamos hablando de equipos críticos. El proceso de seguimiento actual no incluye codificación alguna para las plantas, equipos, componentes, acciones correctivas, etc., tampoco la información necesaria para realizar el análisis de modo y efecto de falla (AMEF) que para los intereses de la SMA es un factor clave para aumentar su calificación en el campo de Análisis de Confiabilidad incluido en la Matriz de Excelencia de Mantenimiento.

## **5. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN**

De acuerdo al diagnóstico realizado para la metodología actual de seguimiento a los indicadores de gestión de mantenimiento, se hace necesario el desarrollo de un sistema de información que permita el procesamiento de los datos en un tiempo más corto, de la manera más confiable y que esté alineado con los objetivos del Plan Estratégico de Mantenimiento.

### **5.1 PREANÁLISIS**

Esta etapa del diseño comprende la declaración del alcance y los objetivos por cumplir, para así establecer la definición del sistema.

#### **5.1.1 Alcance**

Almacenar y procesar la información correspondiente al comportamiento de los diferentes plantas y equipos, de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Plan Estratégico de Mantenimiento y bajo los estándares otorgados por la norma ISO 14224 sobre jerarquía de equipos y análisis de modo y efecto de falla (AMEF), de tal manera que se puedan generar reportes consolidados de los indicadores de gestión de mantenimiento que se manejan actualmente en diferentes niveles a cargo del Departamento de Mantenimiento de Mares de la SMA.

#### **5.1.2 Objetivo**

Generar y agilizar el proceso de obtención de la información referente a los indicadores de gestión de mantenimiento de manera que esta sea confiable,

oportuna y completa, con el fin de fortalecer las actividades de seguimiento de los mismos y al mismo contribuir con la validación de los objetivos del Plan estratégico de Mantenimiento.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Contribuir a la simplificación de los procedimientos empleados para el seguimiento de los indicadores de gestión de mantenimiento.
- ✓ Realizar la conversión de los datos de estado operacional de los equipos en indicadores de gestión, de acuerdo a los parámetros de cálculo establecidos en la SMA.
- ✓ Proporcionar una base de datos para la realización del proceso de análisis de modo y efecto de falla AMEF de acuerdo a lo estipulado en la norma ISO 14224.
- ✓ Facilitar la generación de la información sometida a análisis requerida por los usuarios del sistema.
- ✓ Permitir la centralización de información de las diferentes plantas mediante la correcta interacción: operador – mecánico – analista, en los procesos de cargue de información, documentación y análisis, para otorgar veracidad a los datos del sistema.

### **5.1.3 Delimitación del sistema**

El sistema es de uso exclusivo para reforzar el proceso de seguimiento a los indicadores de gestión de mantenimiento, actividad que se practica para cada una de las plantas y equipos críticos que están a cargo del Departamento de Mantenimiento de Mares de la SMA.

#### **5.1.4 Restricciones del sistema**

##### **Externas**

- ✓ Errores o inconsistencias en los datos entregados por parte del personal encargado.
- ✓ Obtención de los datos a tiempo, ya que el cargue de información del estado operacional de los equipos al sistema es una actividad que se realiza a diario.
- ✓ Obtención de reportes del comportamiento de los indicadores en periodos menores a un mes.
- ✓ Inconformidad por parte de los encargados del mantenimiento por los resultados arrojados por el sistema.
- ✓ El funcionamiento correcto del sistema requiere de la intervención de mínimo tres actores: operador, mecánico y administrador del sistema.

##### **Internas**

- ✓ Imposibilidad de efectuar algún cambio o modificación en las fórmulas empleadas para el cálculo de los indicadores.
- ✓ Nivel mínimo de oportunidad con que se requiere la información.
- ✓ Imposibilidad de modificar la estructura de jerarquización de equipos, así como la correspondiente a las descripciones de falla.
- ✓ Necesidad de limpiar la base de datos del sistema, cuando este llena.

### **5.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA**

#### **5.2.1 Medio ambiente**

El sistema interactúa directamente con los usuarios, es decir con los encargados de la operación del equipo, del mantenimiento y finalmente con aquellas personas

que están involucrados en el análisis de los indicadores, en este caso el grupo IMC, al igual que debe estar a disposición de los entes directivos como es el caso de Superintendente y el Gerente del Departamento de Mantenimiento, los cuales pueden requerir la información en cualquier momento.

El principal factor en el seguimiento de los indicadores, consiste en la entrega a tiempo y de la manera más confiable de la información sobre el desempeño diario de los equipos por parte de los operadores de las diferentes plantas, así como de la documentación respectiva de los mantenimientos correctivos que corresponde a los encargados del mantenimiento de los equipos, vitales para realizar los análisis de fallas correspondientes.

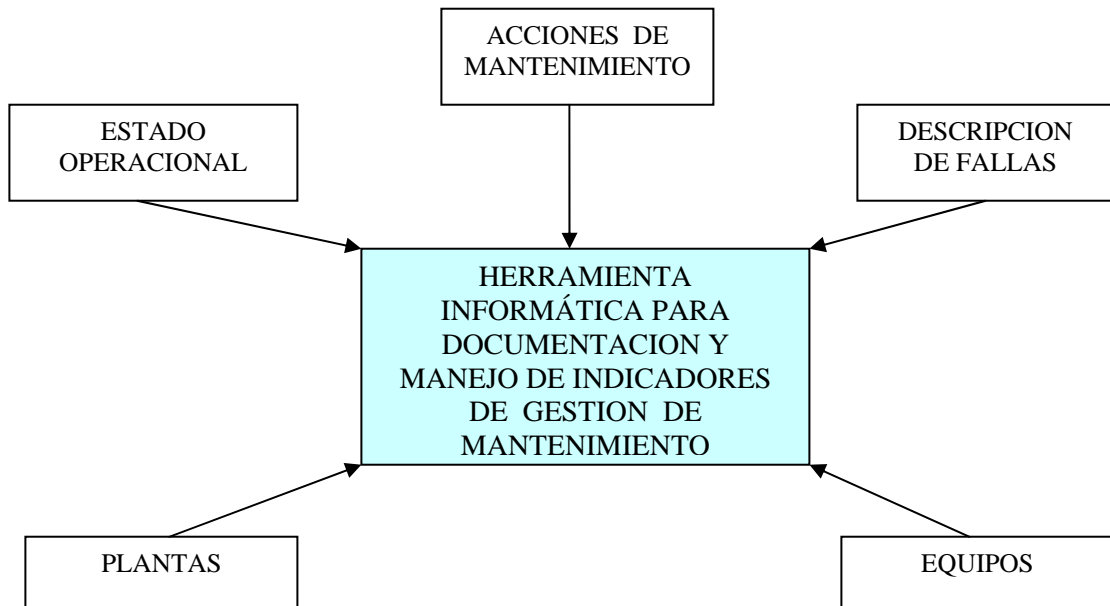
Una administración eficiente del sistema debe ser llevado por los integrantes del grupo analizador de los datos, ya que esta autoridad permite realizar manipulación de datos ya registrados en el mismo, para la realización de los respectivos informes del análisis.

### **5.2.2 Entradas y salidas**

Los datos de entrada son obtenidos de manera secuencial, donde los operadores de las plantas suministran la primera información referente a la operación de los equipos, para que sea complementada por los mantenedores en lo que concierne a la identificación de las fallas en caso que se presenten en las plantas y equipos objetos de estudio. Los datos deben ingresar al sistema mediante digitación y selección.

La información que es obtenida en este primer paso de documentación es almacenada para que luego sea procesada por el sistema, de acuerdo a los indicadores que se vayan a analizar, conforme a los periodos de tiempo y modos de presentación y en la forma como se elija que estos resultados sean mostrados por parte de los administradores y analistas.

**Figura 10. Entradas del sistema**

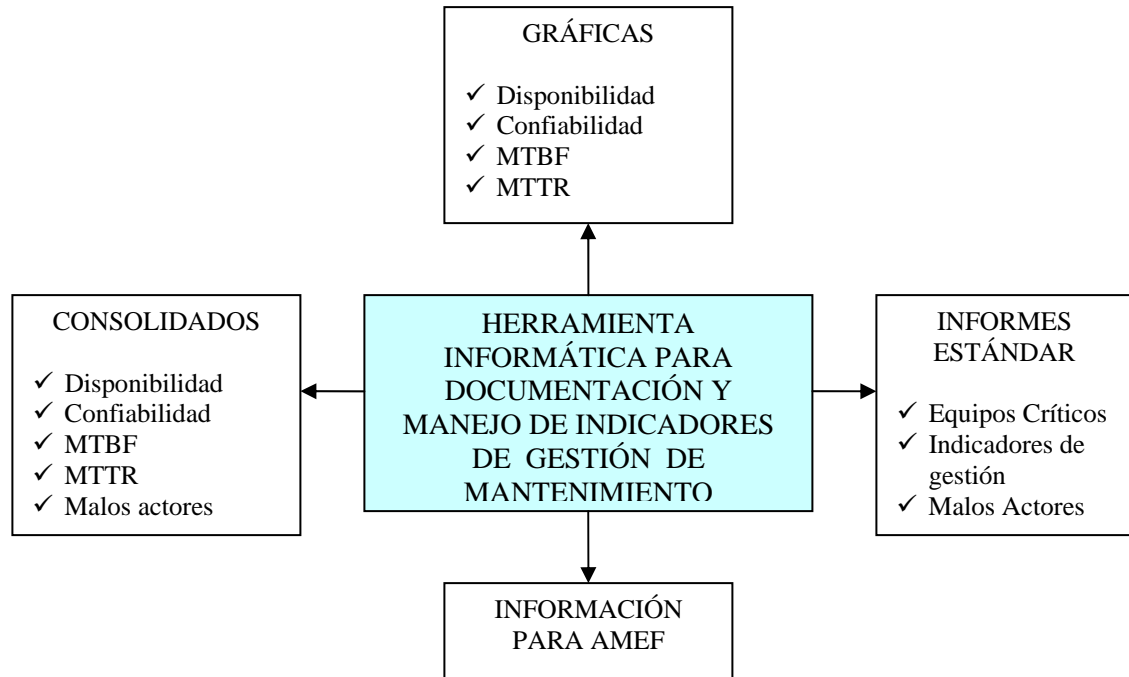


Del procesamiento inicial de los datos, se obtendrán los indicadores: Disponibilidad, Confiabilidad, Tiempo medio entre fallas, Tiempo medio entre reparaciones, de acuerdo como ya están establecidos sus cálculos en el Departamento de Mantenimiento que es la forma como se han venido llevando en los años anteriores, en periodos anuales con seguimiento mes a mes, para análisis de tendencias y comportamientos, además de un consolidado para evaluar la gestión en periodos largos. Igual es el caso del análisis de malos actores, que además de permitir hacer un detallamiento que comienza de lo particular y se extiende a lo general, debe hacer seguimiento por tiempos de parada y por número de fallas totales de los componentes.

El sistema generará en forma de reportes las gráficas y consolidados en números sobre el comportamiento de los indicadores como fueron solicitados en la fase anterior, al igual admitir dos tipos de reportes estándar que se manejan al interior del Departamento, uno donde se muestre el desempeño diario de los equipos

críticos a cargo de las unidades de mantenimiento y el segundo que corresponde a la recopilación de los indicadores de gestión para periodos abiertos.

**Figura 11. Salidas del sistema**



## 5.3 ANÁLISIS

### 5.3.1 Definición de requerimientos

Luego de finalizar la etapa de preanálisis dentro del proceso diseño, se establecen los requerimientos y elementos esenciales con los cuales debe contar el sistema para satisfacer las necesidades de los usuarios.

En el transcurso de esta fase se tomó nota de los problemas y limitaciones del mecanismo aplicado para el seguimiento de los indicadores por parte de los usuarios, a partir de esta recopilación fueron establecidos los siguientes requisitos del sistema:

- ✓ Establecimiento un medio informático que permita la centralización de la información necesaria para el funcionamiento del sistema, a través de una base de datos común para todas las plantas.
- ✓ Implementación de un mecanismo que permita la interacción de los responsables directos de la operación y mantenimiento de los equipos, para la adquisición correcta de datos de desempeño operacional y descripción de fallas
- ✓ Tabulación inmediata de los valores de entrada para facilitar la realización de tablas resúmenes y consolidados de los datos.
- ✓ Cálculo de los indicadores de gestión de mantenimiento comprendidos dentro del contexto al seguimiento de estos en el Departamento de Mantenimiento de Mares
- ✓ Posibilidad de selección de cada una de las plantas y equipos para seguimiento de los indicadores.
- ✓ Generación de reportes que contengan gráficos y tablas de consolidados, que permitan ver la situación y comportamiento de los indicadores en los periodos establecidos para análisis y que sirvan para la realización de los informes.
- ✓ Posibilidad para el ingreso de nuevos usuarios del sistema, así como nuevas plantas, equipos y demás necesarios, de acuerdo a la jerarquía establecida en la norma ISO 14224.
- ✓ Almacenamiento de la información respectiva para el AMEF según los parámetros establecidos en la norma ISO 14224.
- ✓ Posibilidad de modificación de los datos de entrada del sistema, únicamente por el administrador del sistema, en caso de errores.
- ✓ Creación de copias de seguridad para cada uno de los reportes generados en el sistema
- ✓ Creación de restricciones para los diferentes perfiles del sistema, para evitar confusiones y/o manipulación de la información.
- ✓ Solicitud de clave para ingreso al sistema.

### **5.3.2 Especificación de roles y funciones**

Para acercarnos más al diseño de los procesos internos, es necesario capturar los requisitos funcionales del sistema, a través de la definición de los perfiles de cada uno de los usuarios, es decir, establecer sus tareas, limitaciones y su valor, de acuerdo a los requerimientos establecidos y a la necesidad principal de generar un medio donde la interacción entre si permita obtener los mejores resultados.

De acuerdo a lo anterior se precisaron tres perfiles de usuario, los cuales son: operador, mecánico y administrador.

#### **5.3.2.1 Operador**

Como su nombre lo indica corresponde al perfil que manejarán los operadores de cada una de las plantas, dentro de sus responsabilidades para la empresa están la supervisión del funcionamiento correcto de los equipos, al mismo tiempo de informar sobre cualquier operación anormal, parada y daño presentado sobre los mismos, los cuales afectan directamente a la producción, es decir son las personas que están al tanto del comportamiento funcional de los equipos, en tiempos de operación, de parada y de las diferentes actividades de mantenimiento que sobre estos se realizan.

Debido a lo expuesto anteriormente, su función es primordial, corresponde al primer paso que se debe ejecutar para el funcionamiento del sistema y es la de suministrar la información necesaria sobre la forma de distribución de tiempo en las actividades que supervisa y de las cuales esta encargado. Esta actividad la debe realizar de manera diaria mediante digitación directa en el sistema.

Los datos que suministra el operador son la base para el cálculo de los indicadores de gestión.

Este perfil debe así mismo tener el acceso a la información concerniente a calcular, observar y detallar los diferentes reportes del sistema, ya que ejecuta

actividades que intervienen directamente en su comportamiento, así mismo no debe realizar cambios de información o correcciones sobre el en el sistema en vigencias anteriores.

### **5.3.2.2 Mecánico**

Corresponde a los encargados del mantenimiento en las plantas, es el personal que más conoce los equipos y que tienen la mayor capacidad y experiencia en la reparación y detección de fallas presentadas, dentro de sus responsabilidades esta la ejecución de las actividades de la mejor manera y en el menor tiempo posible.

Como se puede apreciar este es el personal que puede dar una descripción detallada de las fallas cuando estas se presentan, razón por la cual es el más apropiado para documentar la base de datos para el AMEF, complementando la información inicial suministrada por los operadores y terminando el cargue de datos en el sistema necesarios para realizar el seguimiento de los indicadores. Esta actividad la debe realizar de manera diaria y es seguido al proceso de cargue de datos por parte de los operadores.

Al igual que el operador para vigencias anteriores, la información que este otorgue al sistema debe ser inmodificable por el mismo, ya sus actividades influyen directamente en el comportamiento de los indicadores, al mismo tiempo, no debe poseer restricciones para el cálculo, y visualización de los mismos.

### **5.3.2.3 Administrador**

Este perfil cumple un mayor número de funciones en comparación con los demás usuarios del sistema, y corresponde en primera instancia al grupo de analistas del proceso de seguimiento a los indicadores de gestión y/o al personal directivo ya

que estos son los encargados de la toma de decisiones para un mejor desempeño.

Dentro del proceso de seguimiento, el administrador debe supervisar el cumplimiento de las diferentes tareas asignadas a cada usuario, para lo cual se puede apoyar mediante la verificación directa de los datos en el sistema, además debe ser la persona más habilidosa en el manejo del sistema ya que el mismo debe encargarse de:

- ✓ Ingreso de nuevas plantas, sistemas, equipos y los demás relacionados en la jerarquización según la norma ISO 14224.
- ✓ Ingreso de nuevos usuarios del sistema.
- ✓ Modificación de la información suministrada por el operador, en caso de error o por inconsistencias.
- ✓ Modificación de la información suministrada por el mecánico, en caso de error o por inconsistencias.
- ✓ Calcular los diferentes indicadores para seguimiento.
- ✓ Generar los diferentes reportes de indicadores en seguimiento y exportarlos.
- ✓ Informar sobre las modificaciones o nuevas versiones que se deben realizar sobre el sistema.

Las restricciones para este perfil dentro del sistema deben ser nulas.

Para una mejor identificación de tareas más importantes de cada usuario, se utilizó el método de caso de uso, cuyo resultado ayuda en gran medida a la construcción de la aplicación y se puede observar en la figura 12.

Figura 12. Definición de funciones mediante el método de casos de uso.



### **5.3.3 Modelado del flujo de actividades**

Para cada uno de los casos de uso utilizados en la definición de las funciones de los usuarios, es necesario establecer el orden lógico de las diferentes actividades que se producen a nivel interno para la implementación de las tareas, lo cual es la última fase dentro del proceso de análisis y permite dar el modelamiento de los algoritmos internos del programa.

Este ejercicio se efectúa mediante los diagramas de actividades, los cuales hacen parte de la documentación de los casos de uso y al mismo tiempo se obtiene un modelado gráfico muy semejante a los diagramas de flujo, pero visto desde la perspectiva de interacción de un grupo de procesos de trabajo para ejecutar una operación dada.

#### **5.3.3.1 Iniciar sesión**

##### SECUENCIA NORMAL

Se visualiza el formulario de presentación del programa:

Se carga los componentes del programa

Esperando la clave:

El usuario busca el login de acceso.

Digita el password a clave de acceso.

El programa verifica si login y password concuerdan y son correctos, en caso positivo, carga el perfil seleccionado.

##### ALTERNATIVAS

Clave incorrecta:

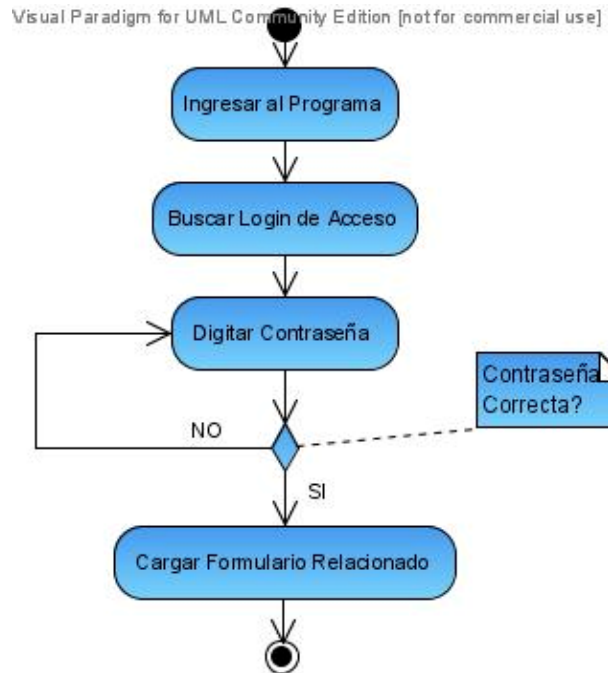
Se emite un mensaje donde anuncia al usuario que la clave es incorrecta.

Se da oportunidad al usuario para seleccionar login y password correctos.

Cancelar:

En cualquier momento el usuario puede salir del inicio de sesión.

**Figura 13. Diagrama de actividades inicio de sesión**



### 5.3.3.2 Registrar comportamiento funcional de plantas.

#### SECUENCIA NORMAL

Seleccionar sistema:

El usuario escoge la planta a documentar, el programa carga los sistemas relacionados.

El usuario selecciona el sistema.

Indicar la fecha del registro:

El usuario digita la fecha que corresponde al estado operacional.

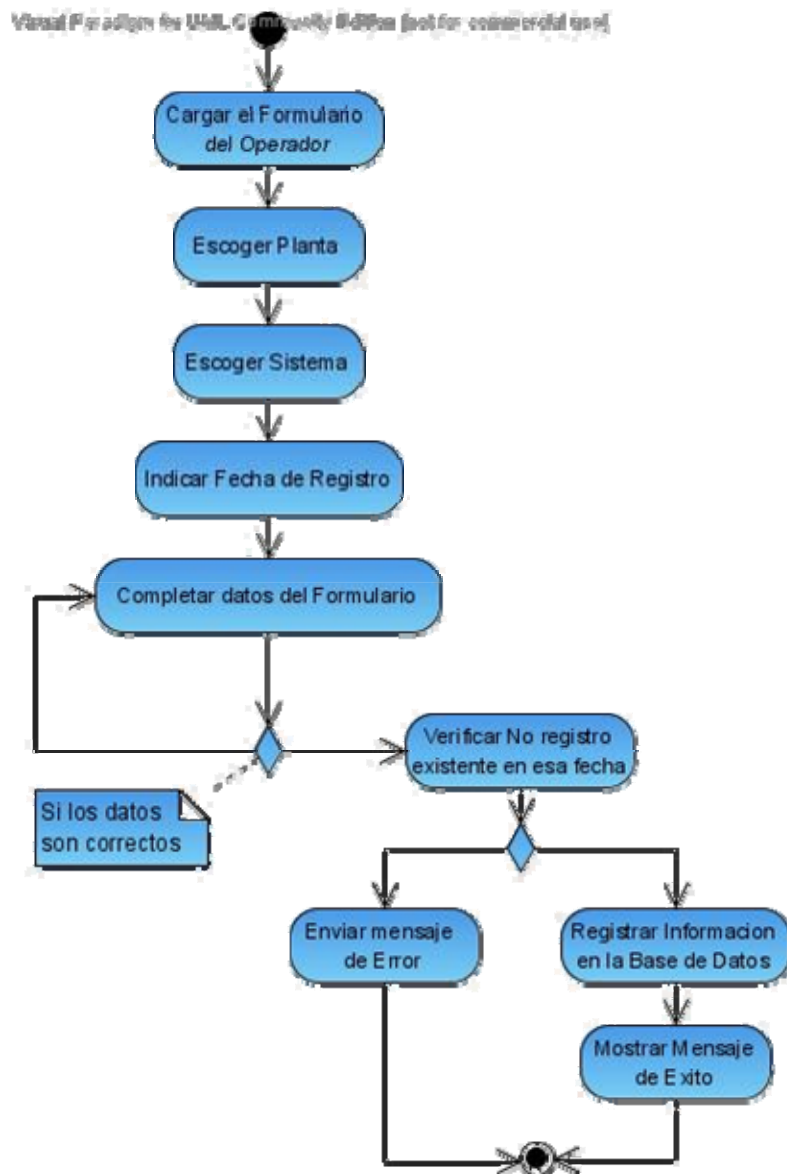
Si la fecha de registro es válida, el programa permite el acceso para completar los datos del formulario.

El usuario completa los datos del formulario y ordena guardar los datos.

Si los datos tienen coherencia, el programa los guarda en la base de datos.

El programa muestra mensaje de éxito de almacenamiento.

**Figura 14. Diagrama de actividades registrar comportamiento de plantas.**



## ALTERNATIVAS

La fecha seleccionada no es valida:

Se emite un mensaje de donde se anuncia al usuario que la fecha no es valida

Se da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Los datos no son coherentes:

Se emite un mensaje de la incoherencia de los datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la información.

Cancelar:

El programa le permite al usuario salir del formulario en cualquier momento.

### **5.3.3.3 Registrar descripción de parada de plantas**

#### SECUENCIA NORMAL

Seleccionar ítem mantenible:

El usuario elige planta, sistema, equipo, subunidad, en este orden hasta llegar al ítem mantenible donde fue realizada la acción correctiva.

Buscar existencia del registro de falla:

El usuario digita la fecha de parada de la planta y ordena buscar el registro.

Si el equipo tiene reportada falla para la fecha descrita, el programa carga el formulario para llenar la información de falla y mantenimiento correctivo.

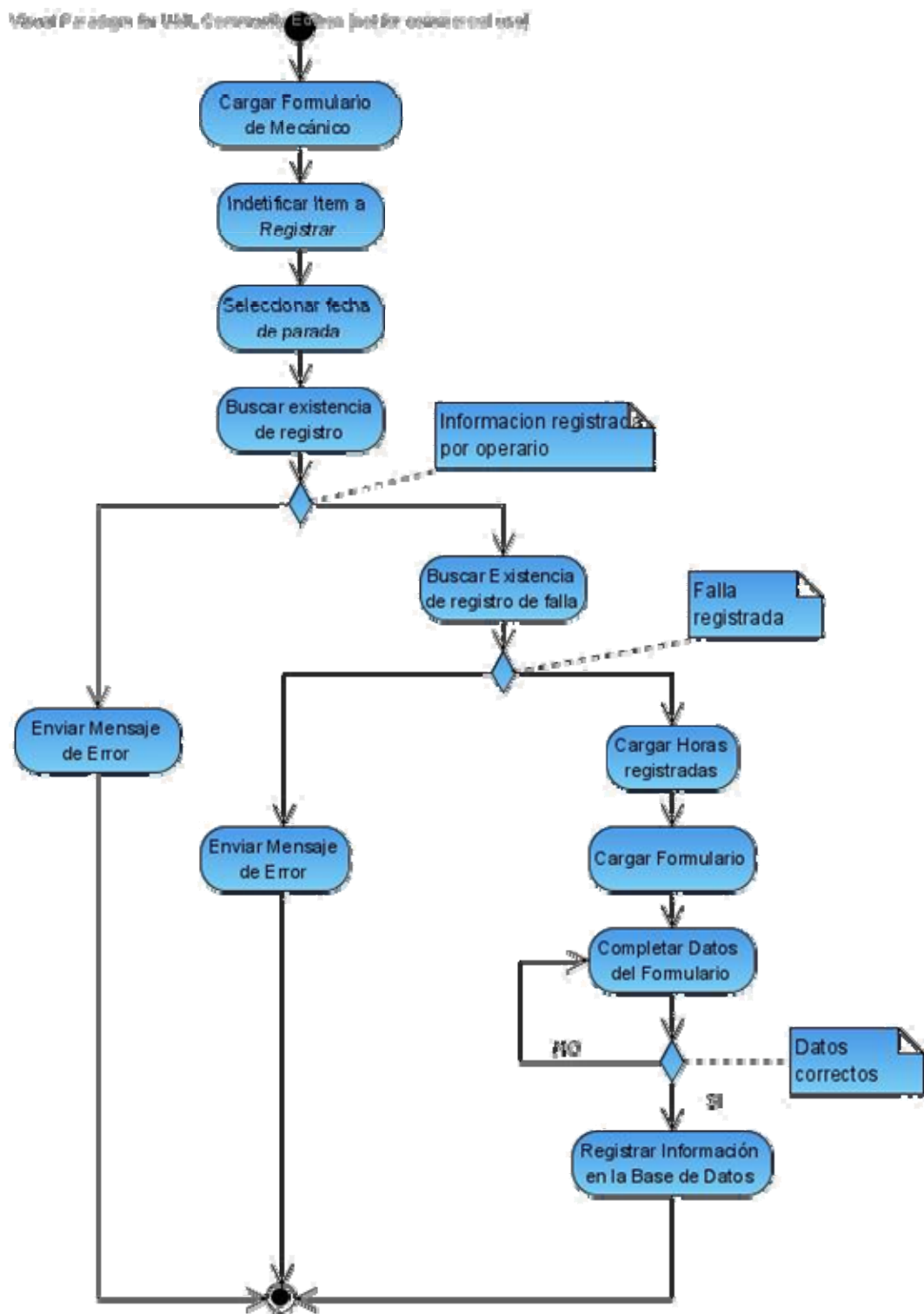
Documentar la falla y mantenimiento correctivo:

El usuario especifica las horas del mantenimiento correctivo.

El usuario completa la información establecida para análisis de falla y ordena registrar los datos.

Si los datos son correctos y coherentes, el programa los guarda en la base de datos.

Figura 15. Diagrama de actividades descripción de paradas de plantas



## ALTERNATIVAS

No aparece registro de la fecha seleccionada.

Se emite un mensaje donde se le anuncia al usuario que no se registraron fallas para esa fecha.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Los datos son incoherentes o incorrectos:

Se emite un mensaje de la incoherencia o error de los datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la información.

Cancelar:

El programa le permite al usuario salir del formulario en cualquier momento.

### **5.3.3.4 Generar informe de disponibilidad y confiabilidad**

#### SECUENCIA NORMAL

Se visualiza el formulario de generación del informe:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de generación del informe.

Seleccionar tipo de informe deseado:

El usuario especifica la jerarquía del informe, plantas o sistemas.

El usuario especifica el tipo de informe, mensual o anual.

Seleccionar periodo del informe:

El usuario selecciona la fecha del informe, especificando mes y año, en el caso de un informe mensual es el mes y año preciso, para informe anual el mes y año que sugieren el comienzo del análisis.

Se visualiza el informe:

El usuario ordena al programa realizar el informe.

El programa busca los datos para la jerarquía y el periodo de tiempo solicitado.

Si los datos existen, el programa calcula indicadores y visualiza el informe.

## ALTERNATIVAS

No existen datos para el periodo solicitado:

Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento.

**Figura 16. Diagrama de actividades generar informe de disponibilidad y confiabilidad.**



### 5.3.3.5 Generar informe de MTBF y MTTR

#### SECUENCIA NORMAL

Se visualiza el formulario de generación del informe:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de generación del informe.

Seleccionar tipo de informe deseado:

El usuario especifica la jerarquía del informe, plantas o sistemas.

El usuario especifica el tipo de informe, mensual o anual.

Seleccionar periodo del informe:

El usuario selecciona la fecha del informe, especificando mes y año, en el caso de un informe mensual es el mes y año preciso, para informe anual el mes y año sugieren el comienzo del análisis.

Se visualiza el informe:

El usuario ordena al programa realizar el informe.

El programa busca los datos para la jerarquía y el periodo de tiempo solicitado.

Si los datos existen, el programa calcula indicadores y visualiza el informe.

#### ALTERNATIVAS

No existen datos para el periodo solicitado:

Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento.

Figura 17. Diagrama de actividades generar informe de MTBF y MTTR



### 5.3.3.6 Generar informe de malos actores

#### SECUENCIA NORMAL

Se visualiza el formulario de generación del informe:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de generación del informe.

Seleccionar tipo de informe deseado:

El usuario especifica la planta para analizar.

El usuario especifica el tipo de informe, mensual o anual.

Seleccionar periodo del informe:

El usuario selecciona la fecha del informe, mes o año.

Se visualiza el informe:

El usuario ordena al programa realizar el informe.

El programa busca los datos para la planta y el periodo de tiempo solicitado.

Si los datos existen, el programa busca los ítems y visualiza el informe.

Se ordenan los ítems para seguimiento:

El usuario le indica al programa el orden, ya sea por número de fallas o por tiempo de parada.

El programa ordena los datos según las instrucciones del usuario.

Se visualizan los sistemas que afecta el ítem:

El usuario define el ítem para seguimiento de acuerdo al tipo de ordenamiento generado.

El usuario le ordena al programa referenciar la distribución en fallas y tiempo en los sistemas de la planta donde esta implicado el ítem y los visualiza.

Se visualizan los equipos que afecta el ítem:

El usuario le ordena al programa referenciar la distribución en fallas y tiempo de los equipos para el sistema relacionado y los visualiza.

Se visualizan los subsistemas que afecta el ítem:

El usuario le ordena al programa referenciar la distribución en fallas y tiempo de los subsistemas para el equipo relacionado y los visualiza.

## ALTERNATIVAS

No existen datos para el periodo solicitado:

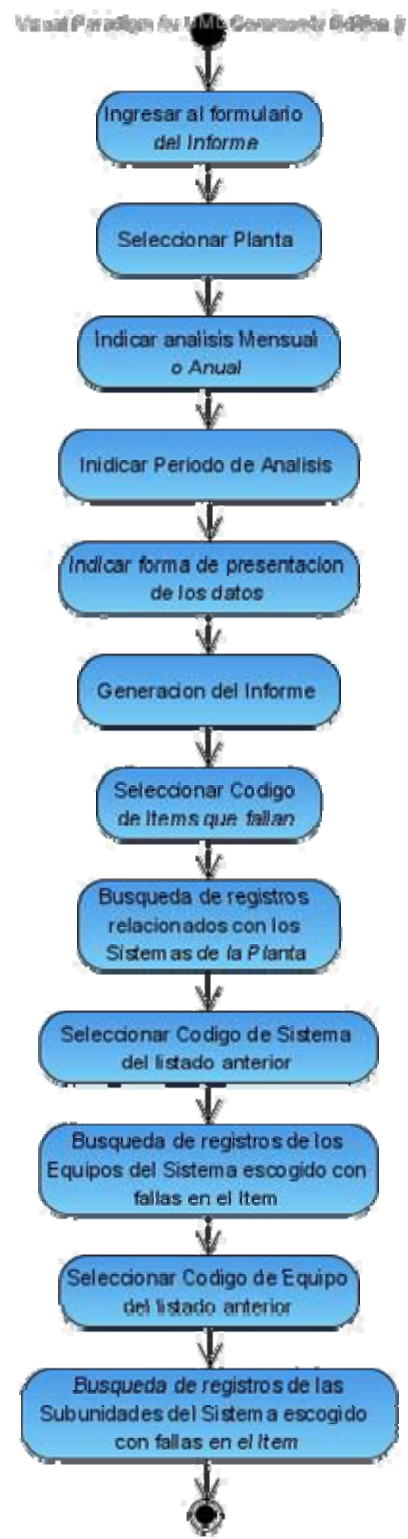
Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento.

Figura 18. Diagrama de actividades generar informe malos actores



### 5.3.3.7 Generar informe de equipos críticos

#### SECUENCIA NORMAL

Se visualiza el formulario de generación del informe:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de generación del informe.

Se genera el reporte:

El usuario selecciona la fecha del reporte y ordena su creación.

El programa busca los registros correspondientes a la fecha, si los datos existen genera el reporte.

**Figura 19. Diagrama de actividades Generar informe de equipos críticos**



## ALTERNATIVAS

No existen datos para la fecha especificada:

Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento.

### **5.3.3.8 Generar informe de indicadores de gestión**

#### SECUENCIA NORMAL

Se visualiza el formulario de generación del informe:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de generación del informe.

Se genera el reporte:

El usuario selecciona el periodo del reporte y ordena su creación.

El programa busca los registros correspondientes al periodo, si los datos existen genera el reporte.

## ALTERNATIVAS

No existen datos para el periodo especificado:

Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar las fechas.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento.

**Figura 20. Diagrama de actividades Generar informe indicadores de gestión**



### 5.3.3.9 Modificar informe de operador

#### SECUENCIA NORMAL

Identificar los datos a modificar:

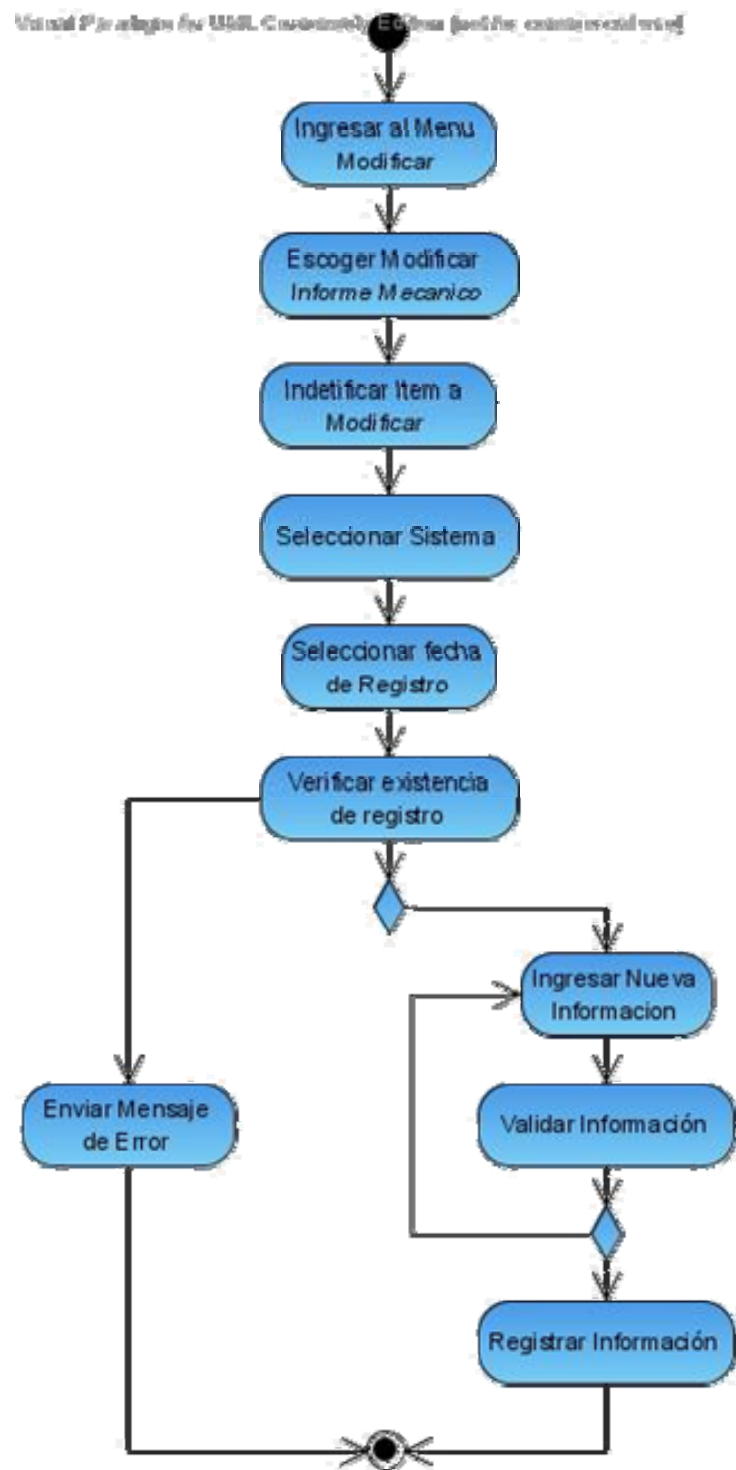
El usuario previamente estudia cuándo, cómo y dónde debe realizar los cambios en el formulario.

Se visualiza el formulario de modificación informe de operador:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de modificación del informe.

Figura 21. Diagrama de actividades modificar informe de operador



Se visualiza la información registrada:

El usuario selecciona el sistema donde se debe modificar la información.

El usuario selecciona la fecha del registro.

Si los datos para la fecha existen, el programa permite su visualización en el formulario.

Se modifican los datos del registro:

El usuario ingresa la nueva información en el formulario y ordena al programa registrarla.

Si la información es coherente, el programa guarda el nuevo registro.

## ALTERNATIVAS

No existen datos para la fecha especificada:

Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Los datos son incoherentes o incorrectos:

Se emite un mensaje de la incoherencia o error de los datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la información.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento

### **5.3.3.10 Modificar informe de mecánico.**

#### SECUENCIA NORMAL

Identificar los datos a modificar:

El usuario previamente estudia cuándo, cómo y dónde debe realizar los cambios en el formulario.

Se visualiza el formulario de modificación informe de operador:

El usuario selecciona la opción desde su perfil.

El programa carga el formulario de modificación del informe.

Se visualiza la información registrada:

El usuario selecciona el sistema donde se debe modificar la información.

El usuario selecciona la fecha del registro.

Si los datos para la fecha existen, el programa permite su visualización en el formulario.

Se modifican los datos del registro:

El usuario ingresa la nueva información en el formulario y ordena al programa registrarla.

Si la información es coherente, el programa guarda el nuevo registro.

## ALTERNATIVAS

No existen datos para la fecha especificada:

Se visualiza un mensaje que le avisa al usuario la inexistencia de datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la fecha.

Los datos son incoherentes o incorrectos:

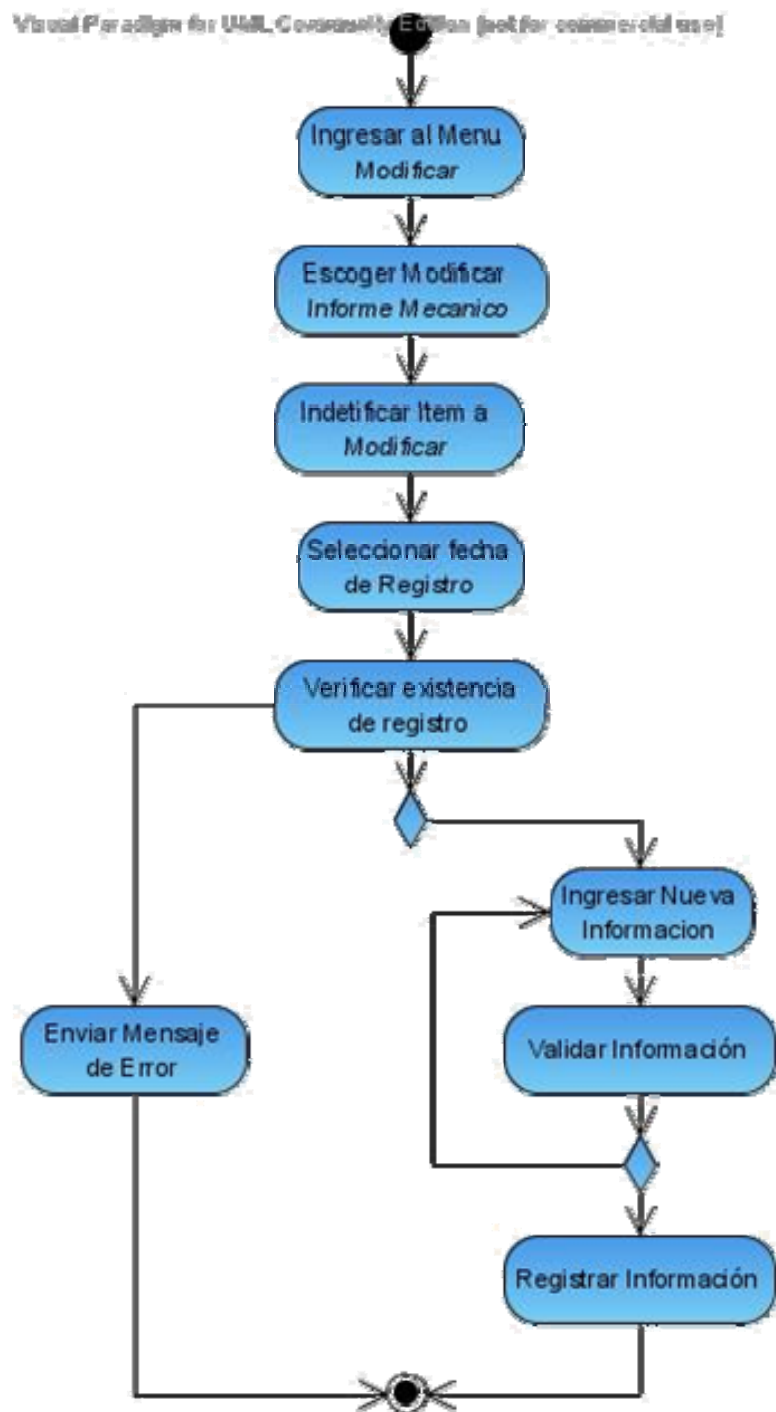
Se emite un mensaje de la incoherencia o error de los datos.

Se le da la oportunidad al usuario de revisar y rectificar la información.

Cancelar:

El usuario puede salir de la aplicación en cualquier momento

Figura 22. Diagrama de actividades modificar informe de mecánico.



## **6. DESARROLLO DEL SISTEMA**

La etapa de desarrollo consiste principalmente en la construcción del sistema, el cual tiene como referencia los parámetros establecidos en el proceso de diseño, como ya se conoce para este tipo de programas se debe en primera instancia construir una base de datos soporte, para una posterior sistematización en el lenguaje de programación que sirva como motor para la misma.

Para cada uno de estos casos se determinó que la base de datos fuese construida en Microsoft Access y vinculada al lenguaje de Microsoft Visual Basic como entorno de ejecución, seleccionados principalmente porque las licencias de estos dos recursos están disponibles en la SMA dentro de los marcos legales y por ser dos de las herramientas más comunes para este tipo de aplicaciones, lo cual facilita en gran medida su construcción al encontrarse una buena cantidad de información disponible con respecto a su aprendizaje y aplicaciones.

### **6.1 BASE DE DATOS**

Dentro de esta etapa del proceso de desarrollo, también está involucrado el de codificación de los diferentes equipos críticos a incluir en el sistema, acorde a los parámetros sobre jerarquización en el contexto de la norma ISO 14224; para una correcta documentación de la base de datos en el proceso de entrada, procesamiento y salida de datos.

A partir de la implementación de una forma para identificar cada uno de los componentes que hacen parte del registro de los datos mediante la codificación, se pueden constituir los diferentes grupos y las relaciones existentes entre cada uno de estos para que así sean reconocidos por el entorno de programación de una manera más sistemática y eficiente.

### 6.1.1 Codificación

Para empezar el proceso de codificación se realizó el análisis y estudio en general de los equipos críticos a cargo del Departamento de Mantenimiento de Mares, estableciendo según las necesidades del sistema y la categorización manejada por la empresa, una nueva y mejor forma de agrupación y descripción específica para cada uno en las plantas de Lisama, Llanito, el Centro y Planta de inyección de agua N° 5.

Estas se tomaron como piloto, debido a que abarcan las características más generalizadas en cuanto a semejanza y configuración de los componentes de los equipos que se manejan y son pertenecientes a la SMA. Los sistemas y marcas que pertenecen a cada planta están resumidos en la tabla 3.

**Tabla 3. Descripción de sistemas por planta**

<b>Planta</b>	<b>Descripción</b>
Compresora el Centro	Esta conformada por 2 motocompresores de gas marca Worthington
Compresora Lisama	Esta conformada por 6 motocompresores de gas marca Worthington
Compresora Llanito	Esta conformada por 2 motocompresores de gas marca Ajax
Inyección de agua N° 5	Esta conformada por 6 Turbobombas, marcas Solar para turbinas y Byron Jackson para las bombas

Como anteriormente fue mencionado, la base para la codificación interna del programa fue la norma ISO 14224, la cual debió ser complementada con la correspondiente identificación de las plantas, sistemas y las diferentes actividades de mantenimiento preventivo que ya tiene estipuladas el Departamento de Mantenimiento dentro de su estándar, y que la norma estipula deben ser propias de cada empresa.

El resultado buscado fue un método de codificación alfanumérico que permitiera identificar desde las plantas hasta los mismos ítems mantenibles y los elementos correspondientes para el AMEF.

En primer lugar se tomó el código establecido de las plantas por la SMA, el cual corresponde a la identificación a nivel de la empresa, algunos ejemplos referentes a este se pueden ver en la tabla 4.

**Tabla 4. Ejemplos de identificación de la plantas.**

<b>Código Planta</b>	<b>Nombre Planta</b>
ECENCR	Planta compresora ELC
ELCIIYP5	Planta 5 de inyección de agua
ELISCR	Planta compresora Lisama
ELLACRG	Planta compresora Llanito

De la misma forma que se adoptó el código de las plantas, se asignó a la codificación interna del programa a los sistemas, que están estipulados como un alfanumérico y que corresponden al consecutivo en el ordenamiento de jerarquización según la norma. Ver tabla 5.

**Tabla 5. Ejemplos de identificación de sistemas**

<b>Código Sistema</b>	<b>Nombre Sistema</b>
ECENCRUG1	Motocompresor 1 de gas ELC
ECENCRUG2	Motocompresor 2 de gas ELC
ELCIYYP5TB1	Turbobomba 1 Planta de inyección 5
ELCIYYP5TB2	Turbobomba 2 Planta de inyección 5
ELISCRUCG2	Motocompresor 2 de gas Lisama
ELISCRUCG3	Motocompresor 3 de gas Lisama
ELLACRUG1	Motocompresor 1 de gas Llanito
ELLACRUG2	Motocompresor 2 de gas Llanito

En una menor jerarquía se encuentran los equipos, cuya codificación fue tomada de la norma, su identificación consiste en dos letras, las iniciales de su nombre en el inglés como se puede apreciar en la tabla 6.

**Tabla 6. Ejemplos identificación de los equipos**

<b>Código Equipo</b>	<b>Nombre Equipo</b>
CE	Motor de combustión interna
CO	Compresor
EG	Generador eléctrico
EM	Motor eléctrico
GT	Turbina de gas
PU	Bomba

Como en el caso de los equipos, (los cuales están constituidos por los subunidades y estos últimos por los ítems mantenibles, como quedaron definidos en el capítulo 3) el código para cada uno de estos fue extraído de sus iniciales o de las letras más representativas para el caso de que el ítem o subunidad estuviese compuesto por una sola palabra, estos casos se pueden ver en las tablas 7 y 8.

**Tabla 7. Ejemplos identificación subunidades**

<b>Código subunidad</b>	<b>Nombre subunidad</b>
CAM	Control y monitoreo
CEU	Unidad motor de combustión
CMS	Sistema de combustión
COS	Sistema de enfriamiento
ELG	Generador eléctrico
ELM	Motor eléctrico
LUS	Sistema de lubricación
PTU	Turbina de potencia
PUU	Unidad bomba

**Tabla 8. Ejemplos identificación ítems mantenibles.**

<b>Código ítem</b>	<b>Nombre ítem</b>
ABLS	Sistema auxiliar de sangrado
AICO	Aire de enfriamiento
AICV	Válvula de anticongelante
BPST	Pistón de balance
BRNG	Rodamientos
CHKV	Válvulas cheque
CLDR	Cilindro

Para identificar los elementos necesarios para la base de datos, asociados al AMEF, se tomaron las recomendaciones sobre notaciones de falla y mantenimiento, expuestas en el anexo B de la norma.

La primera notación que se incluyó fue la causa de falla, la cual hace referencia al evento inicial que ocurre cuando se presenta la falla de un ítem. La identificación en este caso se realiza mediante numeración para 5 categorías.

**Tabla 9. Identificación para causa de falla**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
1	Causas relacionadas con el diseño
2	Causas relacionadas con fabricación/instalación
3	Falla relacionada con operación/mantenimiento
4	Falla relacionada con la dirección
5	Misceláneo

Seguido se documentó el método de detección que corresponde a la actividad mediante la cual la falla es descubierta, esta notación está dada para nueve parámetros que se pueden observar en la tabla 10 con su respectivo código para uso en la base de datos.

Dentro de las actividades de mantenimiento que se ejecutan cuando se presentan las diferentes fallas en los ítems, la norma especifica doce categorías donde se incluyen los tipos de mantenimiento correctivo y preventivo, identificados también por numeración arábiga. Ver tabla 11.

**Tabla 10. Identificación para método de detección**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
1	Mantenimiento periódico
2	Prueba funcional
3	Inspección
4	Monitoreo periódico de condición
5	Monitoreo continuo de condición
6	Interferencia de producción
7	Mantenimiento correctivo
8	En demanda
9	Otra

**Tabla 11. Identificación para actividad de mantenimiento**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
1	Reemplazo
2	Reparación
3	Modificación
4	Ajuste/Calibración
5	Reparación menor
6	Revisión
7	Servicio periódico
8	Prueba funcional
9	Inspección periódica
10	Overhaul
11	Combinación de varias actividades
12	Otro

Los modos de falla se presentan dependiendo de tipo de equipo, en este caso para equipo rotativo (compresores, bombas, turbinas, etc.) son recomendados y fueron adoptados los siguientes modos de falla:

**Tabla 12. Identificación de los modos de falla**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
AIR	Lectura anormal de instrumentos
BRD	Breakdown
ELF	Fuga externa de combustible
ELP	Fuga externa de fluido de proceso
ELU	Fuga externa de fluido de operación
ERO	Salida errática
FTS	Falla de arranque sobre demanda
HIO	Salida alta
INL	Fuga interna de fluido de proceso/operación
LOO	Salida baja
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
OTH	Otros
PDE	Desviación de parámetros
PLU	Taponamiento/Bloqueado
SER	Problemas menores de servicio
STD	Deficiencia estructural
STP	Falla de parada sobre demanda
UNK	Desconocido
UST	Parada esporádica
VIB	Vibración

El mecanismo de falla representa a nivel de ítem mantenible a los modos de falla y permite establecer en primeros términos de la causa de falla, para este caso se tomaron los más generales para aplicación en el programa, aunque existen subdivisiones para cada uno de ellos que permiten un desglosamiento mayor de esta notación. Para las necesidades del sistema y del grupo IMC, con la generalización de las seis categorías que se muestran en la tabla 13 es suficiente.

**Tabla 13. Identificación de mecanismo de falla**

Código	Descripción
1	Falla mecánica
2	Falla de material
3	Falla de instrumentos
4	Falla eléctrica
5	Influencia externa
6	Miscelánea

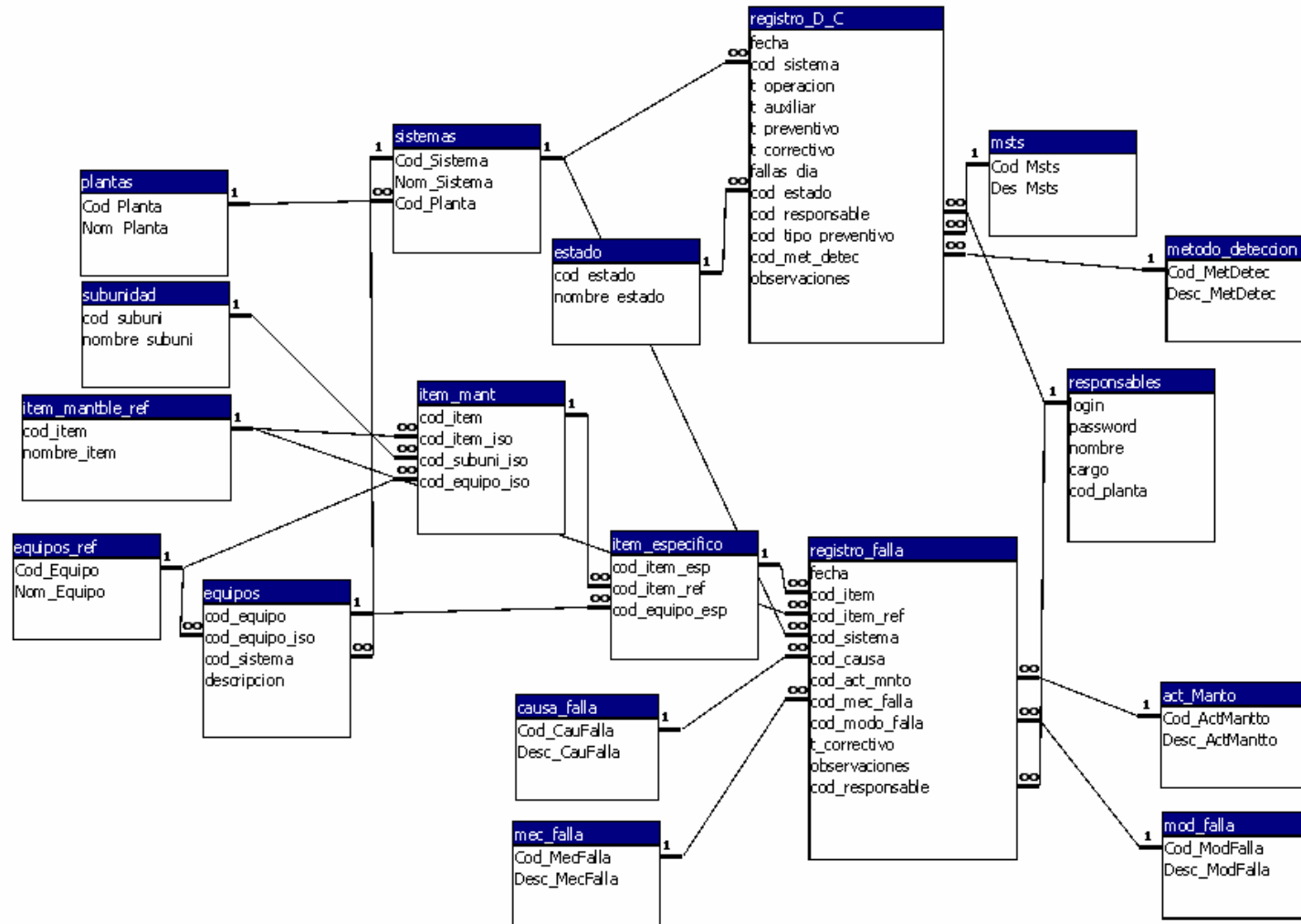
### 6.1.2 Elaboración

Una vez estipulada la respectiva codificación de todos los datos necesarios para el desarrollo del sistema, se procedió a la elaboración de la base de datos soporte para el programa.

Se diseñaron y construyeron dieciocho tablas de almacenamiento en Access, donde se especificaron las características de cada una como por ejemplo el tipo de datos a manejar, el tamaño, tipo de los datos, etc.

Se manejaron dos tipos de tablas las maestras y secundarias o de soporte las cuales están relacionadas entre si mediante las claves principales para consolidar todo el entorno del sistema.

Figura 23. Relaciones de las diferentes tablas del sistema.



Las tablas correspondientes a maestras son aquellas que reúnen la información necesaria para el procesamiento de los datos, es decir son aquellas en las cuales se soporta el entorno de ejecución para la obtención de los resultados. Las tablas designadas para tal función aparecen denominadas como:

- ✓ Registro\_D\_C
- ✓ Registro\_falla

La primera en mención es la que soporta la información sobre estado operacional de los equipos, información necesaria para el cálculo de los indicadores de gestión, en términos más específicos es la que corresponde al cargue de datos por parte del operador.

Por otro lado el almacenamiento de los datos que ingresan al sistema por parte del perfil de mecánico, corresponden a la segunda tabla maestra, de donde son tomados los datos para el seguimiento a los malos actores y el consolidado necesario para realizar el AMEF.

Las demás tablas que se encuentran en la base de datos son aquellas que permiten dar al sistema la referencia de los códigos para los diferentes parámetros que se manejan en el programa y que fueron descritos anteriormente.

## **6.2 DISEÑO DE LA INTERFASE**

Durante esta etapa del proceso de construcción se establecieron los mecanismos necesarios para interacción de los usuarios con el sistema, buscando la mayor facilidad y proporcionando entorno más agradable para su manejo.

El diseño de interfase se realiza mediante la especificación de la forma de entrada y salida de los datos, configuración de los diferentes menús y características de presentación de los reportes impresos.

### **6.2.1 Estándares de la interfase**

Para este diseño se tuvo en cuenta que los elementos más importantes, otorgados para cada perfil del sistema estén al acceso inmediato de los usuarios, los cuales están en la parte superior en cada uno de los menús, esta posición es predominante de la mayoría de los sistemas del mercado. Los botones de funciones como cancelar, guardar, etc. se situaron al final de cada formulario, ya que los usuarios los utilizan cuando terminan de trabajar con este.

Los diferentes elementos y controles se agruparon de forma tal que permita que los procesos de cargue se realicen de una manera secuencial y lógica de acuerdo con las actividades estipuladas a cumplir para cada perfil un ejemplo de la secuencia de las actividades a realizar se puede apreciar en la figura 16.

### **6.2.2 Menús**

Los menús son los elementos más importantes dentro de cada formulario ya que de estos permiten acceder a las actividades que se pueden realizar dentro del sistema, de acuerdo a los estándares de la interfase estos se encuentran en la parte superior de cada visualización y cada submenú que lo compone se despliega hacia la derecha y cada vez así, en medida que este contenga otros submenús. A través de los diagramas de actividades del capítulo 5 se pueden establecer los diferentes menús y submenús que maneja cada usuario.

### **6.2.3 Reportes**

Se establecieron unos parámetros para todos los reportes generados por el sistema, los cuales deben contener:

- ✓ Un encabezado que contenga: el logo del programa a la izquierda, en la parte central el estándar de identificación del departamento de mantenimiento así como el nombre del reporte y a la derecha el logo de la SMA.
- ✓ En la parte superior deben visualizarse: nombre de planta o sistema reportado, nombre de quien genera el reporte, fecha de reporte y periodo del reporte realizado.
- ✓ El comportamiento de los indicadores mediante gráficas de barras identificado por colores y valores.
- ✓ Un consolidado del comportamiento de los indicadores en cifras en forma de tablas, en seguida de las gráficas.
- ✓ Para reportes de malos actores, se debe consolidar la información en tablas de datos

### **6.3 PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE CÓDIGO.**

Como quedó establecido con anterioridad, el programa compilador de la base de datos fue Visual Basic que como su nombre lo indica permite crear la interfaz del usuario directamente en lugar de escribir numerosas líneas de código para describir la apariencia y la ubicación de los elementos de la interfaz, simplemente se pueden agregar los elementos prefabricados en su lugar dentro de cada formulario, permitiendo al programador construir la interfaz de usuario visualmente en un entorno Windows.

El lenguaje de programación BASIC<sup>8</sup> es el más difundido y usado por los programadores que ningún otro lenguaje en la historia, ya que permite escribir el código relacionándolo al mismo tiempo con el conjunto de la interfaz gráfica.

De acuerdo al flujo de actividades mostrado en cada uno de los diagramas diseñados en la fase de análisis y conforme al diseño de interfaz establecido, se

---

<sup>8</sup> De su nombre en ingles “Beginer All-Purpose Symbolic Instruction Code”

construyeron los diferentes formularios y se realizó la respectiva escritura del código, así como su compilación y depuración por parte del programa, todo en un proceso paso a paso donde además se comprobó la conexión a la base de datos, la cual se realiza mediante el uso de sentencias SQL<sup>9</sup> el cual es un lenguaje bastante sencillo, principalmente orientado a bases de datos y, sobre todo, al manejo de consultas. El objetivo principal del uso de SQL es la realización de consultas y cálculos con los datos de una o varias tablas, así que a medida que se hacía una conexión a una tabla o un cálculo con los datos que cada una contiene, se comprobaba la correspondencia con diferentes datos creados, para evitar errores de almacenamiento y generación de los resultados inesperados.

#### **6.4 PRUEBAS DEL SOFTWARE**

El objetivo de realizar pruebas es la detección de defectos en el sistema, se trata de una actividad que se realiza como culminación del desarrollo de cualquier programa y permite la rectificación en el mismo. Las pruebas deben centrarse en dos objetivos:

- ✓ Probar si el software hace lo que debe
- ✓ Probar si el software hace lo que no debe, es decir si provoca efectos secundarios adversos.

Hacer pruebas de manera exhaustiva sobre el software es impracticable, no se pueden probar todas las posibilidades de su funcionamiento, inclusive en programas pequeños. Este factor obliga a estudiar cual es la mejor metodología a seguir en esta actividad.

Una vez validado el código del programa se realizaron las pruebas de funcionalidad o caja negra, de unidad y de integración, ya que con estas, se

---

<sup>9</sup> De su nombre en ingles "Structured Query Language"

podría validar de forma general el cumplimiento de los parámetros establecidos de funcionamiento del sistema.

#### **6.4.1 Pruebas de funcionalidad**

Las pruebas de funcionalidad o de caja negra se centran en el estudio de la especificación del software, del análisis de las funciones que se debe realizar, de las entradas y de las salidas.

Para llevar a cabo esta prueba se examinaron todos los requisitos establecidos en la fase de análisis de acuerdo a los diagramas de actividades y lo expuesto por los diagramas de caso y uso, que señalan lo que el sistema debe hacer y como lo debe hacer.

Como resultado de estas pruebas, por ejemplo, se encontró que se debería agregar un menú que permitiera a los diferentes usuarios salir del sistema en cualquier momento cuando se este ejecutando cada aplicación. También se modificó al programa de manera que pudiesen generarse los reportes con solo el ingreso de la fecha inicial del análisis que corresponde a un año y no con el periodo de tiempo a analizar.

#### **6.4.2 Pruebas de unidad**

Estas pruebas se realizan con el objetivo de comprobar que los diferentes módulos funcionen correctamente para llevar a cabo las funciones específicas por cada perfil de usuario del sistema.

Se pudo comprobar diferentes aspectos en cada módulo, por ejemplo que la información visible que se presenta para los diferentes perfiles de operador y mecánico correspondiera a la que cada uno puede manejar, es decir que únicamente pudiese realizar el cargue de la información de los sistemas de los cuales esta encargado.

### **6.4.3 Pruebas de integración**

Las pruebas de integración están totalmente ligadas a la forma prevista de integrar los distintos módulos y componentes del software hasta encontrar el producto global que debe entregarse. Su objetivo fundamental es la prueba de las interfaces entre componentes y módulos.

Se encontró que todos los formularios están correctamente ligados al menú principal de cada usuario, el cual al realizar el llamado de cada uno de ellos mediante los respectivos submenús se regresa al cerrarlos, hasta volver al menú principal nuevamente.

## **6.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

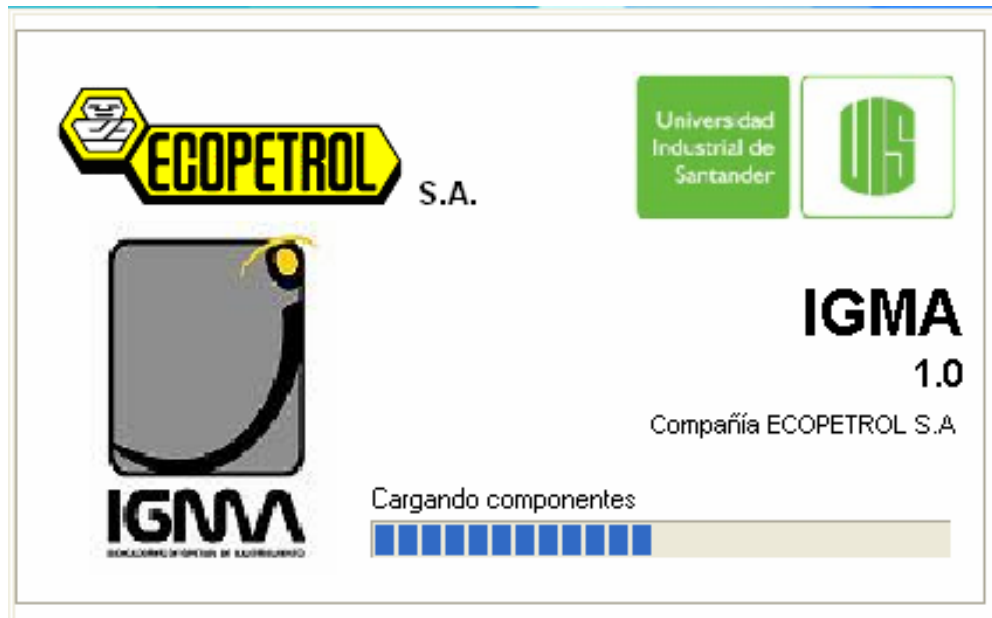
IGMA es el programa creado para la documentación y el manejo de indicadores de gestión de mantenimiento, de acuerdo a las recomendaciones estipuladas en la norma ISO 14224, para los equipos críticos de la Superintendencia de Mares de ECOPETROL S.A. Esta constituido por dos pantallas principales, los cuales son: presentación e inicio de sesión, esta última proporciona el acceso a cada uno de los perfiles de manejo del programa los cuales son Operador, Mecánico y Administrador. A continuación se describirá el sistema, la interacción entre sus módulos y los parámetros involucrados para su funcionamiento.

### **6.5.1 Inicio de programa**

Para iniciar el programa, se debe buscar el icono de acceso directo del sistema que se encuentra en el escritorio. Al iniciar el programa se despliega una pantalla de presentación de la figura 24, en la cual esta el nombre del programa, la versión, así como los diferentes logos del programa, empresa y universidad. Esta pantalla tiene una ejecución de 10 segundos mientras se completa la carga de los

componentes y se desactiva por sí sola para dar paso a la pantalla de inicio de sesión que se muestra en la figura 25.

**Figura 24. Pantalla de presentación**



### 6.5.2 Acceso al sistema.

Para tener acceso al sistema se debe seleccionar el nombre de usuario ya predeterminado y digitar su correspondiente contraseña en la pantalla de inicio de sesión (Ver figura 25). De acuerdo al nombre y contraseña digitada, el sistema selecciona el grado de acceso a la información en dos niveles distintos: nivel de operación y nivel de gestión; esto a través de tres perfiles del programa: operador, mecánico y administrador.

Los niveles de acceso definen los límites hasta donde cada uno esté autorizado a entrar; los diferentes niveles con su respectiva descripción son:

- ✓ Nivel operativo: A los usuarios se les permite ingresar y consultar los diferentes datos registrados en el sistema, impidiéndole la posibilidad de modificar.
- ✓ Nivel administrativo: Además de consultar, este tipo de usuario tiene la posibilidad de incluir y modificar los datos que se almacenan en la base de datos del programa.

**Figura 25. Inicio de sesión**



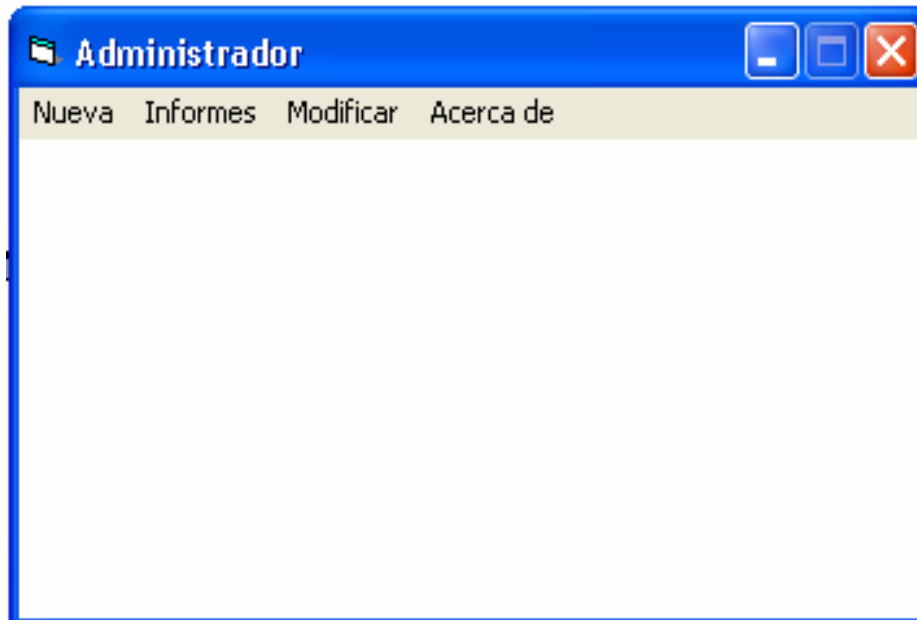
Cada uno de los perfiles permite el ingreso a un módulo diferente en los cuales los referenciados como operador y mecánico corresponden al nivel operativo principalmente a la documentación y el de administrador al que corresponde a su nombre para un manejo general de las funciones y mantenimiento del sistema.

### **6.5.3 Módulo administrador**

Cuando el acceso a este modulo ha sido permitido se carga el formulario (Fig. 26) que describe las actividades que el perfil administrador puede realizar, éstas se

presentan como menús en la parte superior de tal manera que el usuario tiene un fácil y ágil acceso al componente que desea trabajar , estos menús son: Nueva, Informes, Modificar y Acerca de.

**Figura 26. Pantalla Módulo administrador**

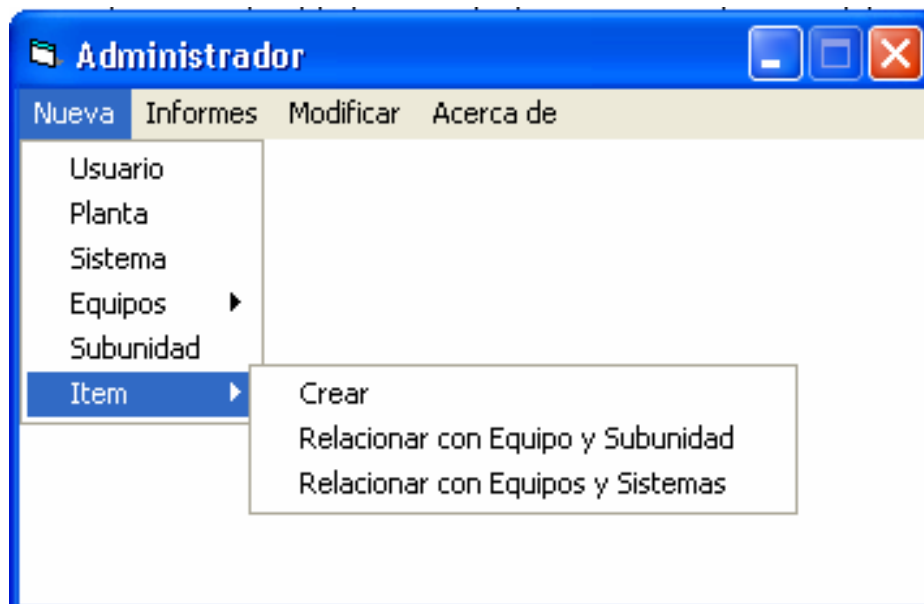


✓ **Menú Nueva**

Permite al administrador ingresar y consignar los datos referentes de nuevos elementos y usuarios del sistema, a través de cada uno de los submenús que lo conforman, los cuales son: usuario, planta, sistema, equipos, subunidad e ítem.

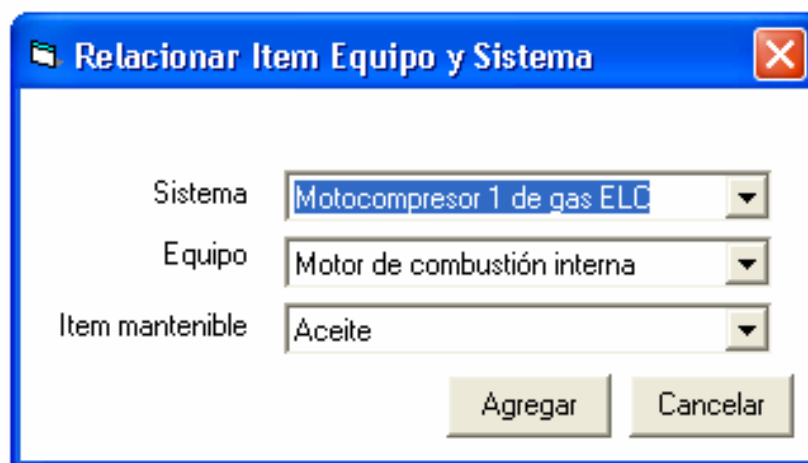
Los submenús presentes en el submenú equipo son: crear y relacionar equipo con sistemas. En el submenú ítem, también se tienen las divisiones en los submenús de crear, relacionar con equipos y subunidades, y relacionar con equipos y sistemas, necesarios para establecer coherencia dentro de la jerarquía de localización y estructura de las máquinas.

**Figura 27. Pantalla Nueva Ítem.**



Al seleccionar cualquiera de las acciones que se acabaron de mencionar y que se pueden visualizar en la figura 27, aparece un respectivo formulario que permite la documentar la descripción general y la relaciones entre componentes, mediante la codificación descrita en el capítulo 5 y de acuerdo al submenú seleccionado.

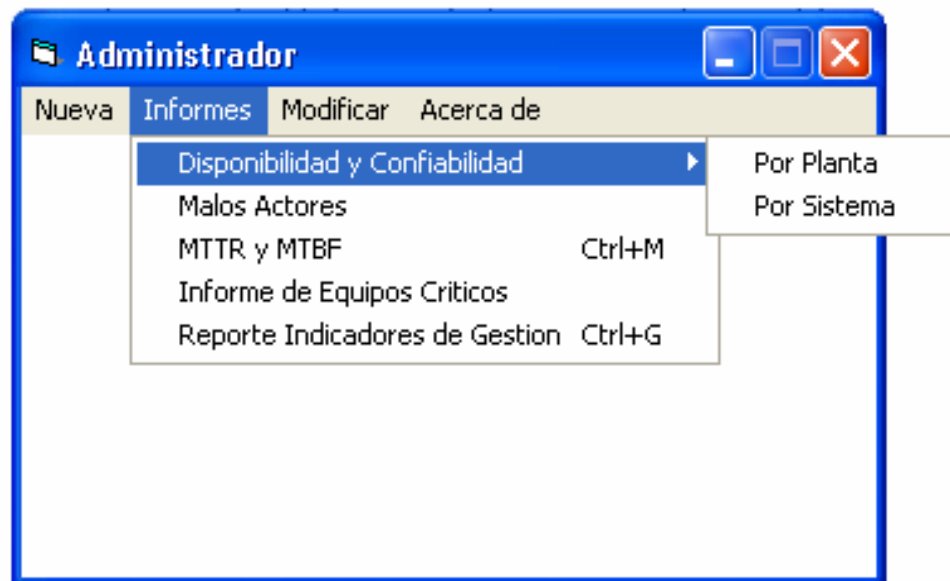
**Figura 28. Formulario relacionar ítem equipo y sistema**

The image shows a screenshot of a dialog box titled "Relacionar Item Equipo y Sistema". The dialog box has a blue title bar with a close button (X) on the right. The main area of the dialog contains three dropdown menus. The first dropdown is labeled "Sistema" and has the text "Motocompresor 1 de gas ELC" selected. The second dropdown is labeled "Equipo" and has the text "Motor de combustión interna" selected. The third dropdown is labeled "Item mantenible" and has the text "Aceite" selected. At the bottom right of the dialog, there are two buttons: "Agregar" and "Cancelar".

### ✓ Menú informes

Permite generar los diferentes informes concernientes a los cálculos estadísticos de los indicadores de gestión de mantenimiento, establecidos en el desarrollo del sistema y que se pueden ver en la tabla 2. A continuación se mencionaran los diferentes informes que se pueden generar en el sistema.

**Figura 29. Pantalla informes**

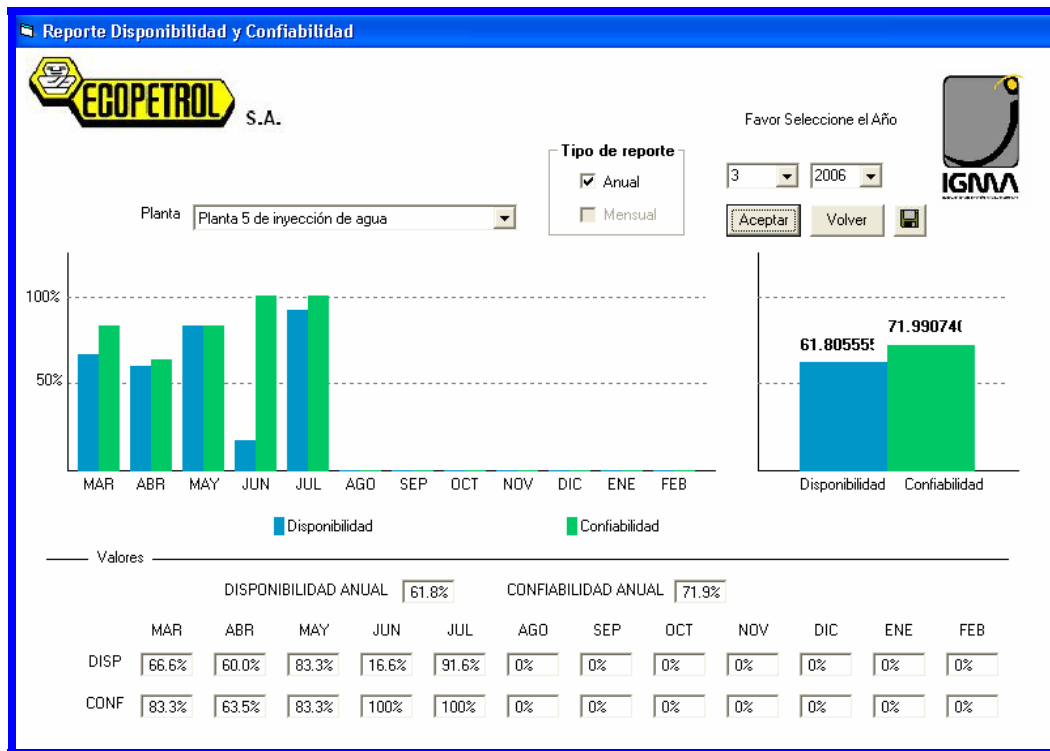


- **Disponibilidad y Confiabilidad:** Este submenú permite la generación de los informes en dos jerarquías: por plantas y por sistemas; una vez es seleccionado el informe que se quiere realizar, aparece el respectivo formulario donde se selecciona la planta o sistema, el tipo de reporte y el periodo de tiempo, además permite realizar el respectivo informe y guardar una copia de seguridad.

Los reportes de disponibilidad y confiabilidad tienen la presentación mostrada en la figura 30, donde se puede hacer una previsualización de la información que presentan los informes, que en el caso del tipo mensual, presenta el

comportamiento de los indicadores mes a mes, un acumulado y un consolidado en números.

**Figura 30. Formulario reporte Disponibilidad y Confiabilidad**




- **Malos actores:** Permite el estudio y búsqueda exhaustiva de los diferentes componentes en la jerarquía que presentan mayor número de fallas y tiempo de parada, en el formulario principal de generación de reporte, se especifican la planta, tipo de ordenamiento por fallas o tiempo y periodo de tiempo donde se debe realizar el reporte.(Ver figura 31)

Una vez se especifica y ejecuta la primera búsqueda el sistema muestra el listado de la discriminación hecha en los ítems mantenibles, para luego hacer el seguimiento por los sistemas, equipos y subunidades, en todos con el mismo ordenamiento (Figura32). Mediante estos formularios se puede obtener una previsualización del reporte que se genera.

Figura 31. Formulario primera búsqueda Malos Actores

**Malos Actores**

 S.A.

Favor Seleccione el Año: 2006

Selecciones valores: Planta: **Planta 5 de inyección de agua**

Tipo de reporte:  Anual  Mensual

Ordenar por:  Fallos  Horas


Discriminación de los Items

Nombre	codigo	tiempo	fallas
▶ Válvulas	VLVS	19	5
Acople conductor	CTDR	9	3
Aire de enfriamiento	AICD	9	3
Control	CNTR	26	2
Anticongelante	ANIC	2	1
Filtros	FLTR	3	1
Ducto de Entrada	INDU	4	1
Álabes de admisión	INVA	4	1
Cojinete axial	THBE	2	1
Impulsor	IMPL	9	1
Sellos	SEAL	16	1
Acople conducido	CTDU	1	1
Antisurge system inclusi	ASRV	2	1
Bomba	BUMP	3	1

Buscar Sistemas en que falla: Seleccione Código de Item: **VLVS**

Figura 32. Formulario búsquedas subsiguientes Malos Actores

**Análisis de los items de mayor falla.**

 S.A.

Análisis del Item **Válvulas** de la Planta **Planta 5 de inyección de agua**

Sistemas de mayor fallo del item Válvulas

Sistema	Codigo	Tiempo	Fallas
▶ Turbobomba 1 Planta d	ELCIYP5TB1	11	3
Turbobomba 2 Planta d	ELCIYP5TB2	8	2

Buscar Equipos de mas Fallo: Seleccione código del Sistema: **ELCIYP5TB1**

Equipos de mayor fallo del Sistema Turbobomba 1 Planta de inyección 5 en el item Válvulas

Nombre	Codigo	Tiempo	Fallas
▶ Turbina de gas	GT	11	3

Buscar SubUnidad de mas Fallo: Seleccione código del Equipo: **GT**

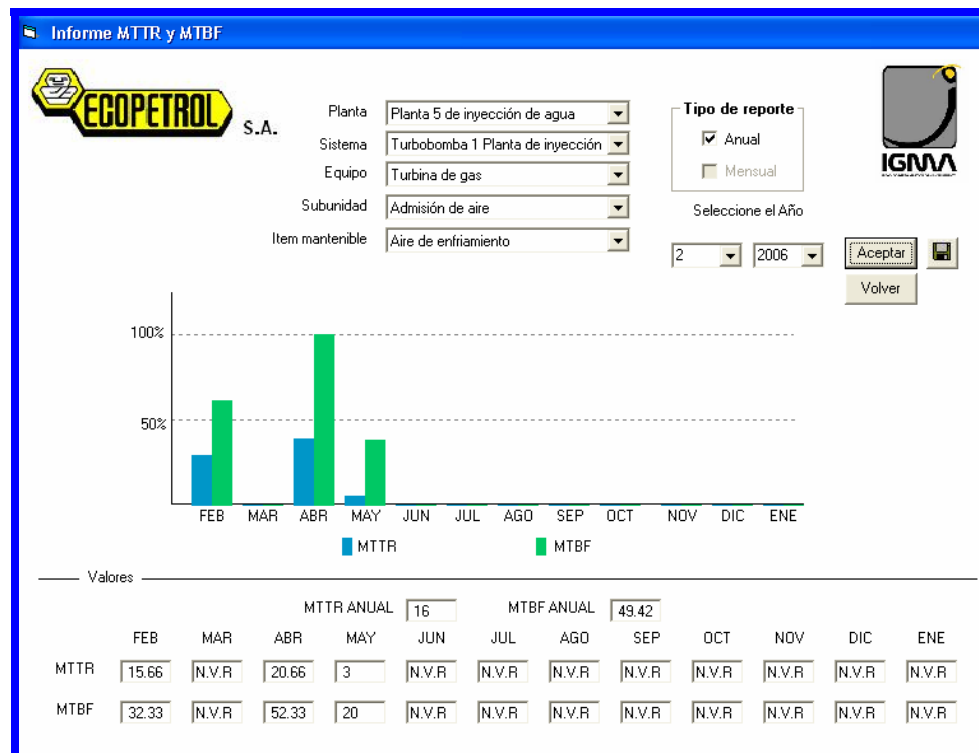
Subunidades de mayor fallo del Equipo Turbina de gas en el item Válvulas

Nombre	Codigo	Tiempo	Fallas
▶ Control y monitoreo	CAM	4	1
Sistema de combustión	CMS	4	1
Sistema de lubricación	LUS	3	1

- **MTTR y MTBF:** Los valores que representan estos dos indicadores se pueden obtener para cada una de las jerarquías de división de las máquinas; al seleccionar este submenú se carga el primer formulario de selección jerarquía, para luego especificar con los valores específicos de identificación, tipo de reporte y periodo de tiempo.

La presentación de los reportes es similar al que se genera en los indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad como se muestra en la figura 33.

**Figura 33. Formulario reporte MTTR y MTBF**



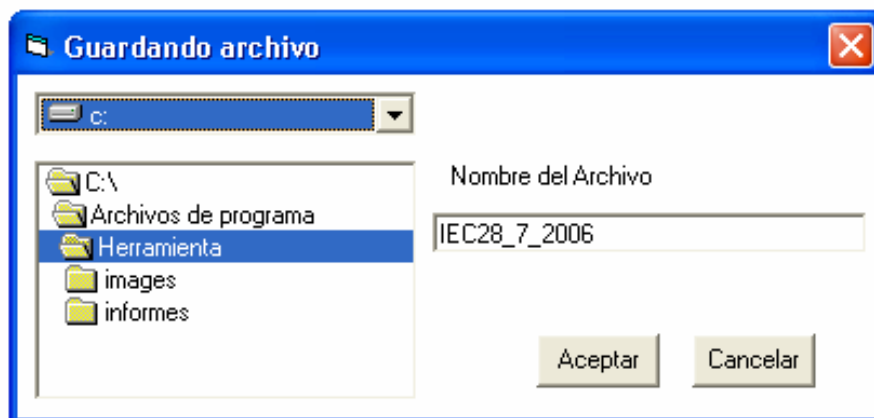
- **Informe de equipos críticos:** Este submenú permite la generación de un informe estándar de la SMA donde se puede apreciar el comportamiento operacional diario de los equipos críticos, en el formulario correspondiente, se selecciona la fecha de realización del reporte que por lo general es del

día anterior y se guarda una copia en un archivo que contiene los reportes del sistema mediante la aparición de otro formulario (Fig. 34 y 35)

**Figura 34. Selección fecha informe de Equipos Críticos**

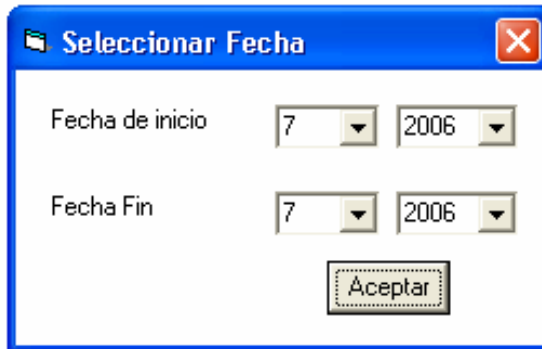


**Figura 35. Formulario Guardar archivo**



- **Reporte Indicadores de Gestión:** Consiste también en la generación de otro informe estándar de la empresa, donde se reúnen los consolidados del estado operacional y los indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad para cada una de las plantas y sistemas críticos de la SMA, para un periodo de tiempo abierto. El formulario respectivo para seleccionar el periodo de tiempo por meses aparece en la figura 36 y la forma de guardarlo es idéntica a la mostrada en la figura 35.

**Figura 36. Selección periodo Reporte Indicadores de Gestión**



Seleccionar Fecha

Fecha de inicio 7 2006

Fecha Fin 7 2006

Aceptar

✓ **Menú Modificar**

En caso que alguno de los encargados de ingresar los valores del sistema proporcione datos incorrectos, este menú permite al administrador corregir dichos datos, ya que desde los otros perfiles no es posible realizarlos. Tiene la posibilidad de acceder a la base de datos, a través de dos submenús que permiten aparecer los formularios donde fue registrada la información, una vez allí solamente se ingresa la información de identificación de jerarquía y las fechas para las cuales se debe cambiar los datos, se validan y se guardan de nuevo. Los formularios que describen las anteriores actividades se presentan en las figuras 37,38 y 39.

**Figura 37. Pantalla Menú Modificar**

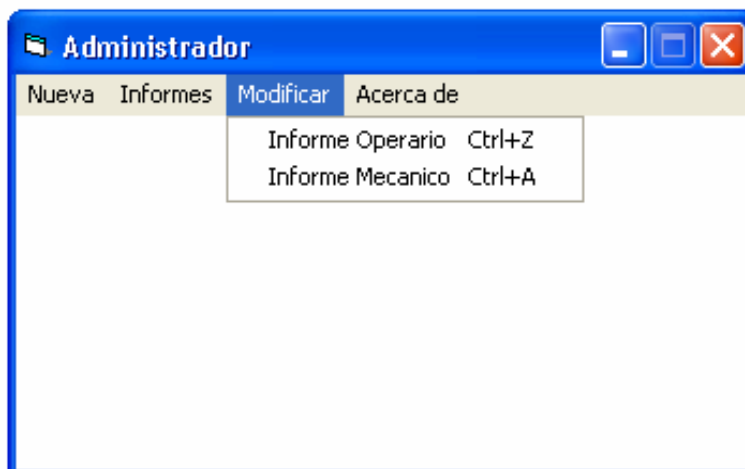


Figura 38. Formulario Modificar Registro Operario

Modificar Registro Operario

Planta:

Fecha de Registro:

Sistema:

Buscar

Horas

Operación:

Auxiliar:

Mantenimiento Preventivo:

Mantenimiento Correctivo:

Estado Actual:

Descripción Preventivo:

Metodo de Deteccion:

Modificar

Cancelar

IGMA

Figura 39. Formulario Modificar Registro Mecánico

Modificar Reporte Mecanico

Seleccione valores

Planta:

Sistema:

Equipo:

Subunidad:

Item mantenible:

Fecha de Correctivo:

Aceptar

Cancelar

Especificación del Correctivo

Horas de Correctivo:

Causa de falla:

Accion Correctiva:

Modo de falla:

Mecanismo de falla:

Observaciones

Modificar

✓ **Menú Acerca de**

Permite obtener la información relacionada con el software como lo son versión, la empresa, autor, directores del proyecto, etc.

**Figura 40. Formulario Acerca de.**



### 6.1.1 Módulo Operador

Este módulo esta diseñado y fue construido para proporcionar la información sobre el estado operacional de los equipos, como su nombre lo indica debe ser manejado por los operadores en las plantas, los cuales son los que están al tanto de estos datos.

Está constituido por un menú principal en la parte superior del formulario que contienen los submenús: Informes, Acerca de y Salir. Esto con el fin de permitir al usuario acceder a los datos de salida e informativos del sistema.

Cada uno de estos menús tiene la misma configuración. La cual fue argumentada en el modulo de administrador, es decir poseen las mismas características de uso y acceso.

El ingreso de la información se hace de una manera estructurada de acuerdo a la secuencia que proporciona el formulario, donde primero se selecciona la jerarquía de la planta a cargo para luego escoger el sistema a documentar y la fecha, a partir de este paso se especifica la distribución en horas del comportamiento del sistema en sus cuatro posibilidades, ya sea en operación, como auxiliar o en caso que se haya realizado un mantenimiento correctivo o preventivo; una vez definida toda la información necesaria, el sistema procede a validarla y guardarla en caso que esta sea correcta y coherente.

**Figura 41. Pantalla Módulo operador**

**Cargue de información diario**

Informes Acerca de Salir

**Elija planta** Planta compresora ELC

**Elija Sistema** Motocompresor 1 de gas ELC

**Introduzca fecha** 28 7 2006

**Comportamiento del Sistema**

Horas	
Operación	0
Auxiliar	0
<input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento Preventivo	0
<input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento Correctivo	0

Fallas del día 0

Estado Actual Disponible

Descripción Preventivo Rutina 60 días Equipo Estac

Metodo de Deteccion Mantenimiento periódico

Observaciones

Guardar

#### **6.5.4 Módulo Mecánico**

Al igual que el de operador, este módulo está restringido por el nivel de operario. La actividad principal que se cumple en este perfil es la de complementar la información una vez haya sido ingresada al programa por los operadores cuando se ejecuten mantenimientos correctivos sobre los sistemas.

La información que aporta cada uno de los usuarios de este módulo es la concerniente a la identificación de las fallas que ocurren en los equipos, de acuerdo a las recomendaciones descritas en la norma ISO 14224. El proceso de cargue de información se realiza en dos etapas:

La primera parte del ingreso de la información, se realiza una vez el programa haya validado la identificación del sistema y la fecha de realización; consiste en terminar de llenar los datos de la jerarquía de máquinas, hasta identificar al ítem donde se realizó el mantenimiento.

La segunda parte corresponde a los datos de especificación del correctivo, donde se seleccionan: causa de falla, acción correctiva, modo de falla y mecanismo de falla, de la misma manera se proporciona un espacio donde se especifican las correspondientes observaciones encontradas en la actividad de reparación, como lo son: hora de entrada en funcionamiento de los sistemas, pérdidas de funciones, efecto de las fallas, etc. El módulo de mecánico se puede apreciar en la figura 42.

Figura 42. Pantalla Modulo Mecánico

**Cargue de información diario**

Informes   Acerca de   Salir

Seleccione valores

Planta: Planta 5 de inyección de agua

Sistema: Turbobomba 1 Planta de inyección

Equipo: Turbina de gas

Subunidad: Admisión de aire

Item mantenible: Aire de enfriamiento

Fecha de Correctivo: 2 / 2 / 2006   **Aceptar**

Especificación del Correctivo

Horas de Correctivo Registradas: 14   Horas correctivo del Item:

Causa de falla: Causas relacionadas con el diseño

Acción correctiva: Ajuste/Calibración

Modo de falla: Breakdown

Mecanismo de falla: Falla de instrumentos

Observaciones:

**Registrar**

## 7. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo del sistema de información IGMA se ha establecido una metodología a seguir para la automatización del cálculo de los indicadores de gestión propuesta. Con ello se logra tener acceso a la información, de la forma orientada y puntualizada que se necesita para emprender las diferentes tareas que enmarcan el proceso de seguimiento a los indicadores de gestión de mantenimiento en el Departamento de Mantenimiento de Mares de la SMA.

El uso de estándares internacionales como es el caso de la norma ISO 14224:2004 en el desarrollo del programa, permite obtener solidez evitando ambigüedades, ya que la implementación de una jerarquía y codificación como las recomendadas por esta norma para los equipos que hacen parte de la industria del petróleo, es de gran facilidad y hace que la carga de datos sea realizable por cualquier nivel de la organización del mantenimiento.

A través del estudio realizado en el proceso de seguimiento a los indicadores de gestión de mantenimiento en la SMA, se lograron establecer las diferentes acciones de mejora para otorgar confiabilidad de los datos de entrada como por ejemplo la integración de los diferentes actores que intervienen en el funcionamiento de los equipos, lo cual se ve reflejado en la obtención de resultados óptimos y más acertados.

Conformar una base de datos estructurada como la de IGMA, es el principio de la evolución continua hacia nuevos conceptos y desarrollos en las metodologías de detección temprana, mitigación y eliminación de fallas potenciales, a través de análisis realizados sobre un mismo tipo de equipos en sus mecanismos de falla compuestos y causas de falla posibles (como para el caso del AMEF), información

que normalmente se encuentra dispersa o simplemente no se tiene registro alguno en las organizaciones de mantenimiento.

La implementación del nuevo software en las labores del Departamento de Mantenimiento de Mares, contribuye al cumplimiento de los objetivos propuestos en el Plan Estratégico de Mantenimiento para los campos: Medidas de Desempeño, Análisis de Confiabilidad e Información sobre infraestructura e Instalaciones, involucrados en la Matriz de Excelencia de Mantenimiento en la cual en la medida en que se aumente la valoración sobre esta, la organización, gestión y planificación del mantenimiento, por consiguiente, estarán a la altura de nuevos compromisos productivos.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se debe realizar una capacitación para todo el personal involucrado en las áreas de operación y mantenimiento de los equipos; así como también para el personal directivo de la empresa, sobre el manejo del programa y su interacción con la norma ISO 14224:2004, para establecer los diferentes roles, funciones y alcance que tiene y debe cumplir cada uno como participante directo en el manejo de la información ya que de este proceso solo hicieron parte los involucrados en los equipos críticos.

Establecer un estándar de recolección de información sobre el estado operacional de los equipos en las plantas que permita a cada operador de turno al comienzo del día tener la referencia de estos datos en los turnos anteriores, ya sea a través de las minutas que se manejan internamente o por otro medio, ya que el sistema se diseñó para que la información mencionada sea cargada al comienzo de cada día.

Formalizar un seguimiento ya sea diario o mensual del correcto ingreso de los datos necesarios para la operación adecuada del sistema, con el fin de evitar la pérdida de información y así garantizar confiabilidad de las cifras en los indicadores.

El ingreso de nuevas plantas, sistemas, equipos, subunidades e ítems mantenibles debe hacerse por personal lo suficientemente calificado para esta labor, ya que esta función requiere de un estricto conocimiento de la norma ISO 14224:2004 y un buen conocimiento de la infraestructura, organización y forma de agrupación de los componentes que cumplen las funciones en las diferentes plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

ECOPETROL, Empresa Colombiana de Petróleos. [On line]. Colombia, [citado en Noviembre de 2005]. Disponible en Internet: <<http://ecored.bog>>

ECOPETROL S.A. Plan Estratégico de Mantenimiento de la SMA 2005. Departamento de Mantenimiento de Mares. El Centro, Santander, 2004. 23 p.

GONZALES B, Carlos Ramón. Conferencias Ingeniería de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2001.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de Trabajos de Grado, Santa fe de Bogotá D.C., Quinta Actualización, INCONTEC, 1996.

ISO 14224: 2004. Petroleum and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO/TC 67/WG 4. 2004. 223 p.

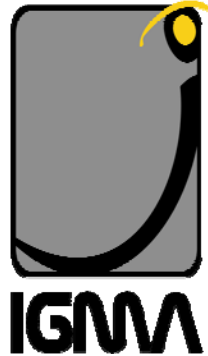
LOPEZ S. Vivian Isaura. Sistema de Información para el Mantenimiento de la empresa Carlixplast LTDA. Bucaramanga. 2005. tesis de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 175 p.

Memorias curso Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM. Departamento de Mantenimiento de Mares. El Centro, Santander, 2005. p. 50-58.

PIATTINI, Mario; CALVO-MANZANO, José; CERVERA, Joaquín; FERNÁNDEZ Luís. Análisis y Diseño de Aplicaciones Informáticas de Gestión. Editorial Alfa Omega, México, D.F, 1ra Edición, 2004. 710 p.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA**



### **INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO**

## **MANUAL DEL USUARIO**

El software IGMA, al igual que este manual forman parte del proyecto de grado: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMATICA PARA DOCUMENTACION Y MANEJO DE INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS A CARGO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES DE ECOPETROL S.A.

Con el cual el autor VICTOR HUGO BONZA TORRES optó al título de Ingeniero Mecánico

El contenido de este manual puede ser cambiado sin previo aviso. Es de uso exclusivo del personal de ECOPETROL S.A. su reproducción parcial o total no autorizada esta prohibida.

## CONTENIDO

<b>1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....</b>	<b>120</b>
<b>2. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE.....</b>	<b>120</b>
2.1 INGRESO AL PROGRAMA.....	120
2.1.2 Inicio de sesión.....	121
<b>3. ¿COMO USAR EL MÓDULO DE ADMINISTRADOR? .....</b>	<b>122</b>
3.1 Menú Nueva .....	123
3.1.1 Ingreso de nuevo usuario.....	124
3.1.2 Ingreso Nueva Planta.....	125
3.1.3 Ingreso Nuevo Sistema.....	125
3.1.4 Ingreso Nuevo Equipo.....	126
3.1.5 Ingreso Nueva Subunidad.....	128
3.1.6 Ingreso Nuevo Ítem Mantenible .....	129
3.2 Menú Informes .....	130
3.2.1 Informe Disponibilidad y Confiabilidad .....	131
3.2.2 Informe Malos Actores .....	132
3.2.3 Informe MTTR y MTBF.....	134
3.2.4 Reporte Equipos Críticos .....	136
3.2.5 Reporte Indicadores de Gestión .....	136
3.2.6 Copias de los reportes para impresión .....	137
3.3 Menú Modificar .....	139
3.4 Menú Acerca de .....	140
<b>4. ¿COMO USAR EL MÓDULO DE OPERADOR? .....</b>	<b>141</b>
<b>5. ¿COMO USAR EL MÓDULO DE MECÁNICO? .....</b>	<b>142</b>
<b>6. RESTRICCIONES DEL SISTEMA Y AVISOS DE ERROR.....</b>	<b>144</b>

## 1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

IGMA es un programa creado para la documentación y el manejo de indicadores de gestión de mantenimiento, de acuerdo a las recomendaciones estipuladas en la norma ISO 14224, para los equipos de la Superintendencia de Mares de ECOPETROL S.A. Esta constituido por dos pantallas principales, los cuales son: presentación e inicio de sesión, esta última proporciona el acceso a cada uno de los perfiles de manejo del programa los cuales son Operador, Mantenedor y Administrador. A continuación se describe de manera más precisa su funcionamiento.

## 2. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

### 2.1 INGRESO AL PROGRAMA.

Una vez realizada la instalación del programa se puede tener acceso al mismo a través de dos formas:

- ✓ Dirigiéndose al menú Inicio e ingresar al programa IGMA, como se muestra en la figura 1.

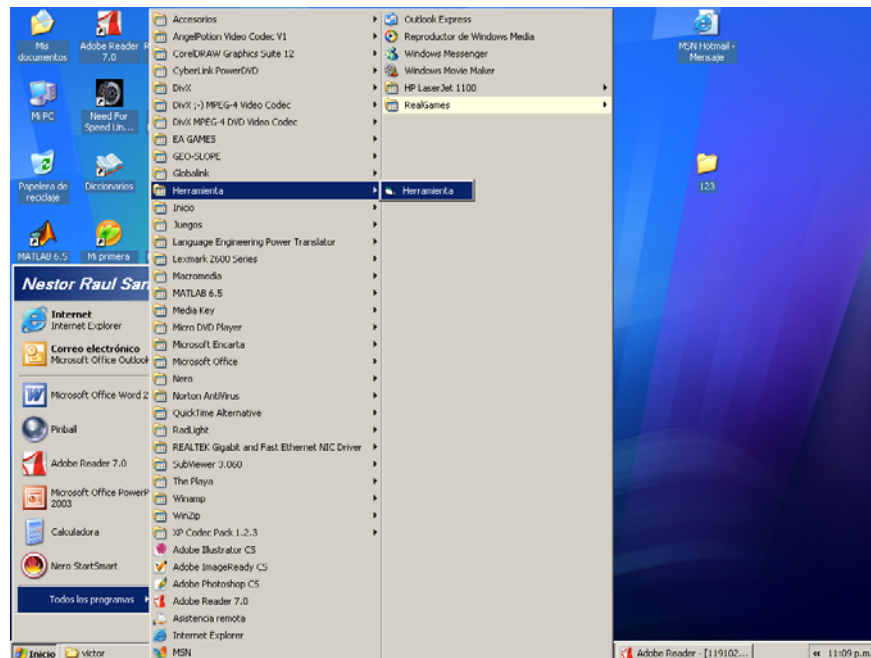


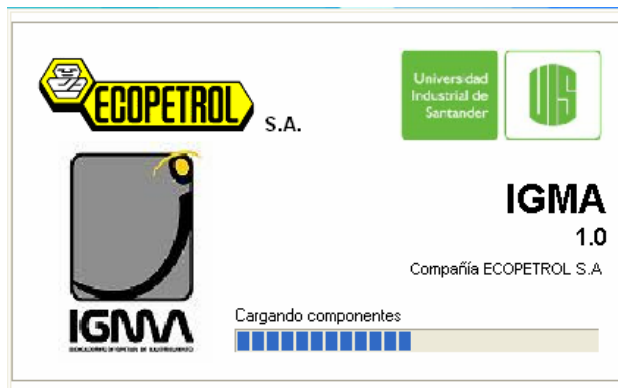
Figura 1. Ingreso al software

- ✓ Ingresando por el acceso directo ubicado en el escritorio, ver figura 2.



**Figura 2. Acceso directo al software**

Una vez se haya ingresado al programa de acuerdo a los procedimientos anteriormente explicados, aparece la pantalla de presentación como se muestra en la figura 3 en la cual esta el nombre de la aplicación, versión, el año y las entidades que intervinieron en su desarrollo. Su duración es de unos segundos mientras carga completamente el programa, dando luego automáticamente el acceso a la pantalla de inicio de sesión.



**Figura 3. Pantalla de presentación**

### **2.1.2 Inicio de sesión.**

Para tener acceso al sistema se debe seleccionar el nombre de usuario ya predeterminado y digitar su correspondiente contraseña en la pantalla de inicio de sesión (Ver figura 4), las cuales son proporcionadas por el administrador del sistema. De acuerdo al nombre y contraseña digitada, el sistema selecciona el grado de acceso a la información en dos niveles distintos: nivel de operación y nivel de gestión; esto a través de tres perfiles del programa: operador, mecánico y administrador.

Los niveles de acceso definen los límites hasta donde cada uno esté autorizado a entrar; los diferentes niveles con su respectiva descripción son:

- ✓ Nivel operativo: A los usuarios se les permite ingresar y consultar los diferentes datos registrados en el sistema, impidiéndole la posibilidad de modificar.
- ✓ Nivel administrativo: Además de consultar, este tipo de usuario tiene la posibilidad de incluir y modificar los datos que se almacenan en la base de datos del programa.

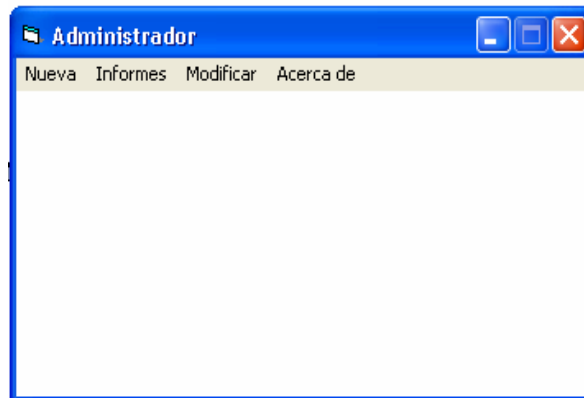


**Figura 4. Inicio de sesión**

Cada uno de los perfiles permite el ingreso a un módulo diferente en los cuales los referenciados como operador y mecánico corresponden al nivel operativo principalmente a la documentación y el de administrador al que corresponde a su nombre para un manejo general de las funciones y mantenimiento del sistema.

### **3. ¿COMO USAR EL MÓDULO DE ADMINISTRADOR?**

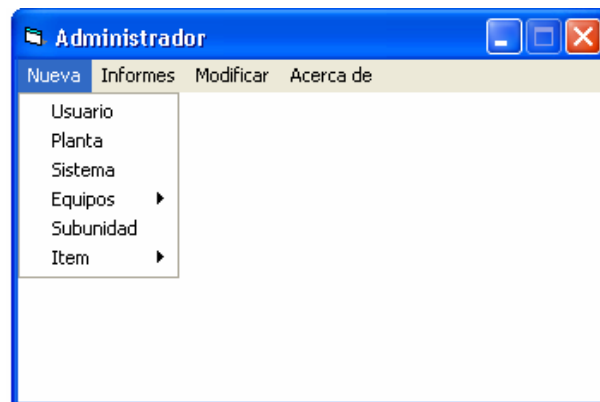
Cuando el acceso a este modulo ha sido permitido se carga el formulario (Fig. 5) que describe las actividades que el perfil administrador puede realizar, estas se presentan como menús en la parte superior de tal manera que el usuario tiene un fácil y ágil acceso al componente que desea trabajar , estos menús son: Nueva, Informes, Modificar y Acerca de.



**Figura 5. Pantalla módulo administrador**

### **3.1 Menú Nueva**

Permite al administrador ingresar y consignar los datos referentes de nuevos elementos y usuarios del sistema, a través de cada uno de los submenús que lo conforman, los cuales son: usuario, planta, sistema, equipos, subunidad e ítem.



**Figura 6. Menú Nueva**

Los submenús presentes en el submenú equipo son: crear y relacionar equipo con sistemas. En el submenú ítem, también se tienen las divisiones en los submenús de crear, relacionar con equipos y subunidades, y relacionar con equipos y sistemas, necesarios para establecer coherencia dentro de la jerarquía de localización y estructura de las máquinas

### 3.1.1 Ingreso de nuevo usuario

Cuando un nuevo usuario va a hacer parte del programa, es necesario registrarlo en el modulo de acuerdo a las siguientes instrucciones:

1. Seleccionar del menú Nueva-Usuario, en seguida aparece el respectivo formulario.
2. Llenar cada uno de los datos que aparecen en el formulario como se describe a continuación:
  - ✓ Login Usuario: Es la identificación del usuario en la empresa, generalmente es el registro.
  - ✓ Password Usuario: Es la clave de ingreso que identifica al usuario, ya sea por asignación del administrador o por escogencia propia.
  - ✓ Nombre del Usuario: Requiere de un nombre y un apellido del usuario.
  - ✓ Cargo: es el perfil que maneja el nuevo usuario
  - ✓ Plantas relacionadas: como su nombre lo indica son las plantas que tiene bajo responsabilidad el usuario, ya sea como mecánico, operador o administrador, pueden tener varias al mismo tiempo, en medida que se vayan asignando, estas van apareciendo en el recuadro siguiente.
3. Una vez ya registrados todos los datos necesarios se guarda la información en el sistema mediante el botón que aparece en la parte de abajo como agregar.

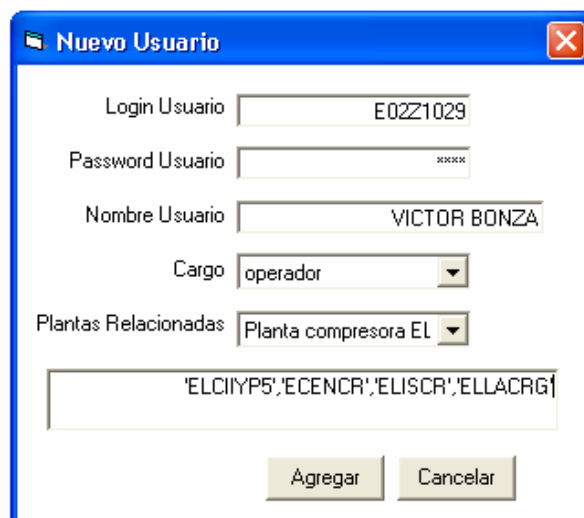


Figura 7. Formulario Nuevo Usuario

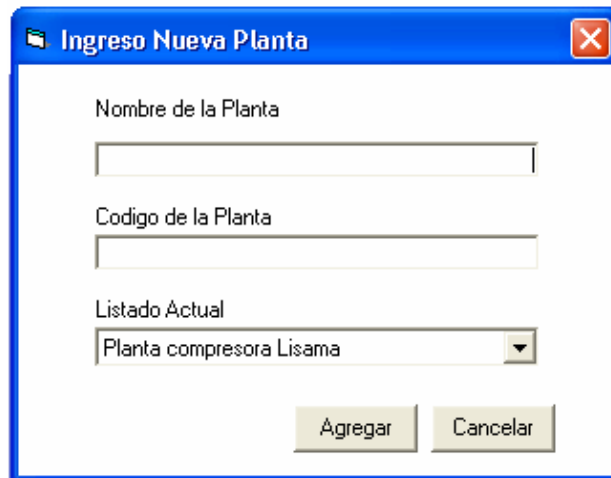
### 3.1.2 Ingreso Nueva Planta

Esta función permite ingresar al sistema nuevas plantas a analizar por el sistema, solamente basta con activar el submenú con el mismo nombre y llenar la información que aparece en el formulario (Fig.8).

La información mínima que se debe relacionar es:

- ✓ Nombre de la Planta
- ✓ Código de la Planta dentro del contexto de la empresa

Una vez completa estos datos, se debe guardar con el botón agregar que aparece al final del formulario. Permite también ver un listado de las plantas existentes en el sistema, con el fin de asegurarse que los datos están guardados.



**Figura 8. Formulario Nueva Planta**

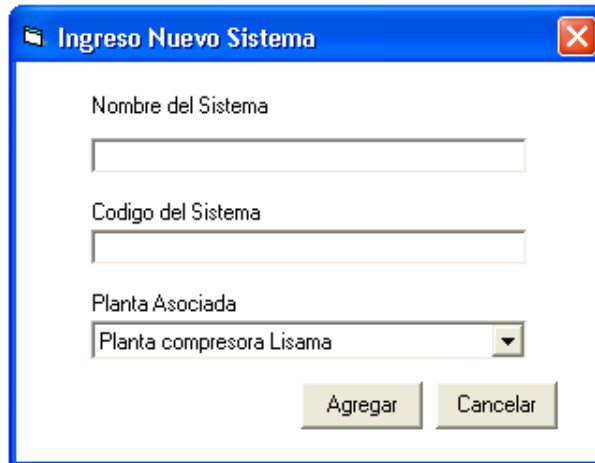
### 3.1.3 Ingreso Nuevo Sistema

Para ingresar un nuevo sistema al programa, se accede al formulario, llamándolo desde el submenú que lleva la misma denominación, una vez realizada esta acción se llenan los datos referentes a nombre y código del sistema, según la codificación que se maneja al interior de la empresa, ejemplo:

Código Sistema	Nombre Sistema
ECENCRUG1	Motocompresor 1 de gas ELC
ELCIYP5TB1	Turbobomba 1 Planta de inyección 5

Al completar la información solicitada, cada sistema debe asociarse con la respectiva planta existente, para realizar esto, se escoge la planta del listado desplegable que aparece en el campo de Planta Asociada.

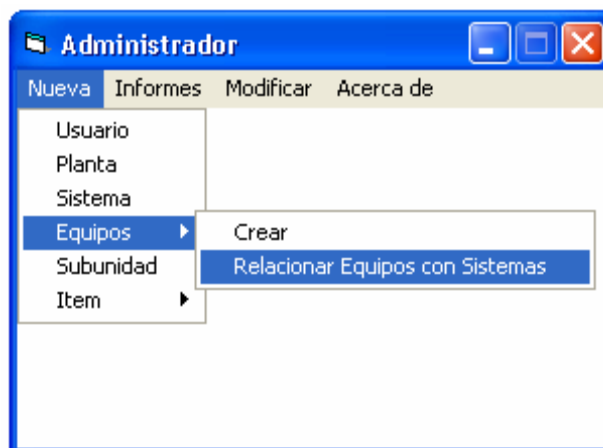
Para que la información quede guardada en el programa, se hace clic en el botón agregar.



**Figura 9. Formulario Ingreso Nuevo Sistema**

### 3.1.4 Ingreso Nuevo Equipo

El acceso a esta función se realiza por acceso directo a las divisiones que se despliegan en el submenú Equipos las cuales son Crear y Relacionar Equipos con Sistemas como se puede ver el al figura 10.



**Figura 10. Acceso submenú Equipos**

Los sistemas están según la norma ISO 14224 constituidos por equipos, en el momento que se ingrese un nuevo sistema, se le deben especificar los diferentes equipos que lo conforman, esto se realiza mediante el formulario de ingreso del nuevo equipo, donde se especifican el nombre y el código, especificados en la norma para cada clase de equipo como se ve en los ejemplos a continuación:

Código Equipo	Nombre Equipo
CE	Motor de combustión interna
CO	Compresor

**Figura 11. Formulario Ingreso Nuevo Equipo**

Cada nuevo equipo que se ingresa al programa, se debe relacionar con su correspondiente sistema, con el formulario que se abre con el submenú de Relacionar Equipos con Sistema.

**Figura 12. Formulario Relacionar Equipo con Sistema**

Se debe colocar como observaciones la jerarquía desde la planta correspondiente, hasta llegar al equipo que se va a relacionar, para una identificación total en el sistema. Una vez hecha la relación de forma correcta, el sistema la guarda haciendo clic en botón agregar.

### 3.1.5 Ingreso Nueva Subunidad

Las subunidades son aquellos grupos de elementos unidos que trabajan conjuntamente, hacen parte de los equipos y de manera directa posibilitan que el sistema realice su función operativa, se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo equipo calificado como subunidad que falle, afecta directamente al sistema.

Por ejemplo, el control, monitoreo e instrumentación y lubricación pueden considerarse cada uno como subunidad.

Los datos correspondientes al nombre y código se encuentran estipulados en el anexo A de la norma ISO 14224 para cada uno de las clases de equipos. El código para cada uno de estos fue extraído de sus iniciales o de las letras más representativas para el caso de que el ítem o subunidad estuviese compuesto por una sola palabra.

<b>Código subunidad</b>	<b>Nombre subunidad</b>
CAM	Control y monitoreo
CEU	Unidad motor de combustión
CMS	Sistema de combustión
COS	Sistema de enfriamiento
ELG	Generador eléctrico
ELM	Motor eléctrico
LUS	Sistema de lubricación
PTU	Turbina de potencia
PUU	Unidad bomba

Para ingresar una subunidad solo basta con ingresar la información anteriormente expuesta en el formulario correspondiente, como se muestra en la figura 13.

**Figura 13. Formulario Ingreso Nueva Subunidad**

### 3.1.6 Ingreso Nuevo Ítem Mantenible

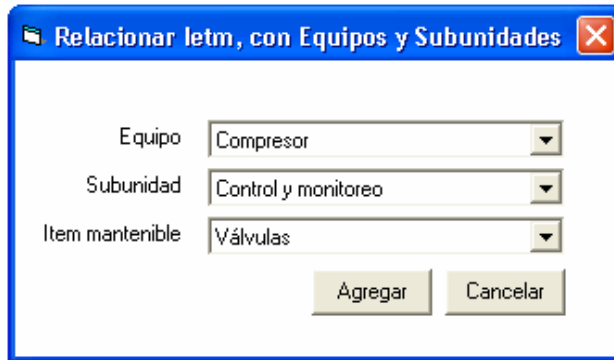
La unidad final de la división es el ítem mantenible, entendiéndose como tal a las partes de los equipos sobre las cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento con el objeto de alcanzar la confiabilidad deseada.

El primer paso que se debe realizar para ingresar un ítem completamente es registrar su nombre y respectiva codificación (también tomados del Anexo A de la norma), en el formulario Ingreso Nuevo Ítem como se muestra:

Código ítem	Nombre ítem
ABLS	Sistema auxiliar de sangrado
AICO	Aire de enfriamiento
AICV	Válvula de anticongelante
BPST	Pistón de balance
BRNG	Rodamientos
CHKV	Válvulas cheque

**Figura 14. Formulario Ingreso Nuevo Ítem**

Luego es necesario relacionarlo a la subunidad y equipo a la cual este pertenece, esto se hace mediante el formulario que aparece en el submenú Nuevo-Ítem-Relacionar con Equipos y Subunidades mediante la selección de parámetros (Fig.15). No hay necesidad de digitar ningún dato.



Relacionar ítem, con Equipos y Subunidades

Equipo: Compresor

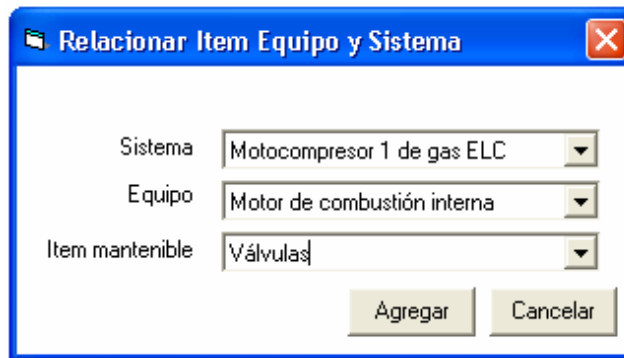
Subunidad: Control y monitoreo

Item mantenible: Válvulas

Agregar Cancelar

**Figura 15. Formulario Relacionar Ítem con Equipos y Subunidades**

El último paso para que quede correctamente relacionado y registrado el ítem en toda jerarquía consiste en relacionarlo con el sistema del equipo en que pertenece, mediante el formulario propuesto para este fin.



Relacionar Item Equipo y Sistema

Sistema: Motocompresor 1 de gas ELC

Equipo: Motor de combustión interna

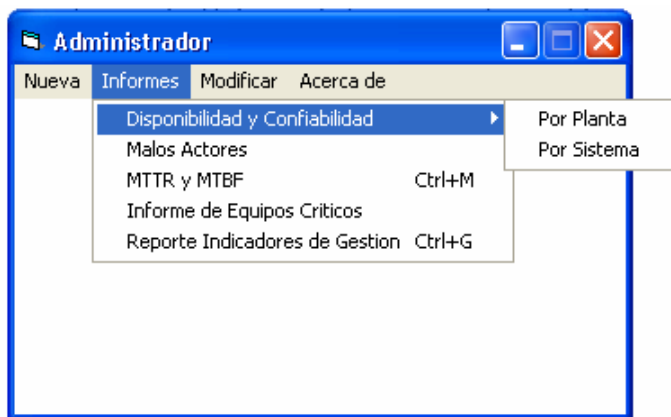
Item mantenible: Válvulas

Agregar Cancelar

**Figura 16. Formulario Relacionar Ítem, Equipo y Sistema**

### 3.2 Menú Informes

Permite generar los diferentes informes concernientes a los cálculos estadísticos de los indicadores de gestión de mantenimiento, establecidos en el desarrollo del sistema y que se pueden ver en la figura 17. A continuación se mencionaran los diferentes informes que se pueden generar en el sistema.



**Figura 17. Menú Informes**

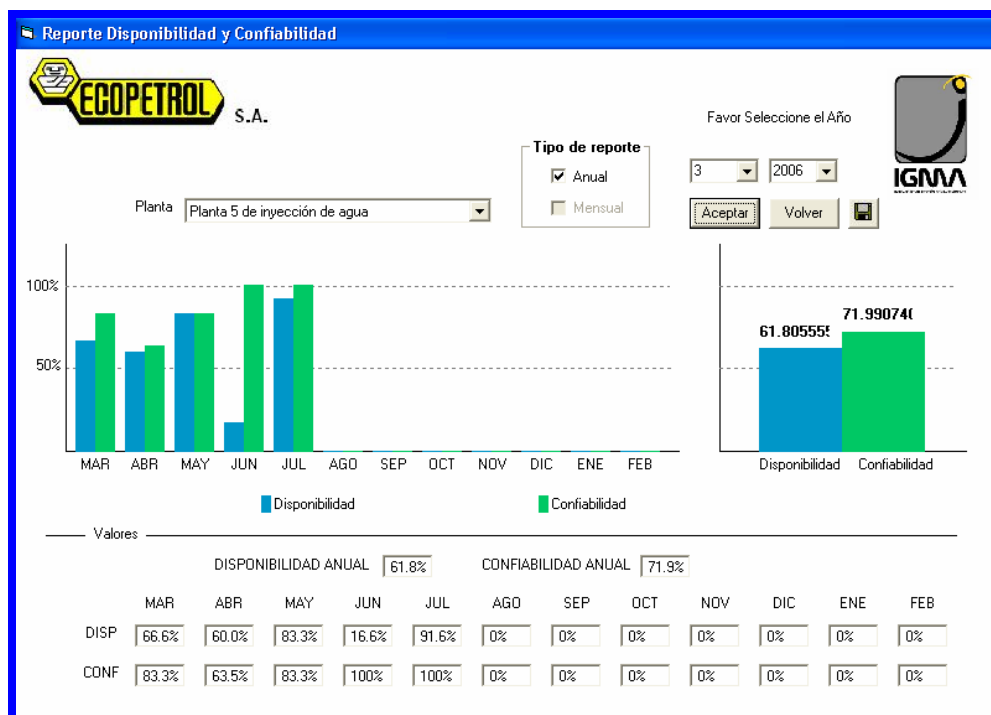
### **3.2.1 Informe Disponibilidad y Confiabilidad**

Este submenú permite la generación de los informes en dos jerarquías: por plantas y por sistemas, una vez es seleccionado el informe que se quiere realizar, aparece el respectivo formulario donde se escogen la planta o sistema, el tipo de reporte ya sea anual o mensual y el periodo de tiempo.

Los reportes de disponibilidad y confiabilidad tienen la presentación mostrada en la figura 18, donde se puede hacer una previsualización de la información que presentan los informes, que en el caso del tipo mensual, presenta el comportamiento de los indicadores mes a mes, un acumulado y un consolidado en números.

Para realizar un informe se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Acceder al formulario desde el menú informes Disponibilidad y Confiabilidad.
2. Seleccionar la planta o el sistema que se desea analizar.
3. Seleccionar el tipo de reporte, ya sea anual o mensual, haciendo clic en el cuadro al lado derecho de cada uno.
4. Seleccionar la fecha de evaluación del informe de acuerdo al tipo de reporte.
5. Hacer clic en el botón Aceptar.
6. En caso de que el usuario quiera salir de esa aplicación, puede hacerlo mediante el botón Volver o cerrando la ventana de la aplicación.



**Figura 18. Formulario reporte Disponibilidad y Confiabilidad**

### 3.2.2 Informe Malos Actores

Permite el estudio y búsqueda exhaustiva de los diferentes componentes en la jerarquía que presentan mayor número de fallas y tiempo de parada en cada una de las plantas, sistemas, equipos y subunidades. Los pasos que se deben realizar para adquirir la información descrita anteriormente son:

1. Acceder al formulario desde el menú Informes Malos Actores.
2. Seleccionar la planta o que se desea analizar.
3. Seleccionar el tipo de reporte, ya sea anual o mensual, haciendo clic en el cuadro al lado derecho de cada uno.
4. Seleccionar la fecha de evaluación del informe de acuerdo al tipo de reporte.
5. Hacer clic en el botón Aceptar.
6. Seleccionar el tipo de ordenamiento ya sea por fallas o por tiempo de parada.
7. En caso de que el usuario quiera salir de esa aplicación, puede hacerlo mediante el botón Volver o cerrando la ventana de la aplicación.

Una vez se especifica y ejecuta la primera búsqueda el sistema muestra el listado de la discriminación hecha en los ítems mantenibles (ver figura 19), para luego hacer el seguimiento por los sistemas, equipos y subunidades, en todos con el mismo ordenamiento.

Malos Actores

EGOPETROL S.A.

Favor Seleccione el Año: 2006

Selecciones valores: Planta: Planta 5 de inyección de agua

Tipo de reporte:  Anual  Mensual

Ordenar por:  Fallos  Horas

Discriminación de los Items

Nombre	codigo	tiempo	fallas
▶ Válvulas	VLVS	19	5
Acople conductor	CTDR	9	3
Aire de enfriamiento	AICD	9	3
Control	CNTR	26	2
Anticongelante	ANIC	2	1
Filtros	FLTR	3	1
Ducto de Entrada	INDU	4	1
Álabes de admisión	INVA	4	1
Cojinete axial	THBE	2	1
Impulsor	IMPL	9	1
Sellos	SEAL	16	1
Acople conducido	CTDU	1	1
Antisurge system incluído	ASRV	2	1
Bomba	BUMP	3	1

Buscar Sistemas en que falla: Selecciones Código de Item: VLVS [Buscar]

**Figura 19. Formulario primera búsqueda Malos Actores**

Para acceder a la siguiente búsqueda que corresponde a la distribución por sistemas de los ítems ya relacionados en primera instancia, entonces nos dirigimos a la parte inferior del formulario, donde se selecciona el ítem que se desea analizar en una lista desplegable y se le ordena al programa que inicie la acción mediante el botón Buscar, ubicado al lado derecho de la misma lista. Aparece entonces un segundo formulario con la distribución solicitada como lo muestra la figura 20.

Las acciones subsecuentes para realizar la búsqueda hasta llegar a las subunidades son:

1. Chequear la lista que aparece de la distribución en fallas y tiempo de parada en horas de los sistemas y escoger una para evaluación.
2. Seleccionar el código que identifica al sistema a evaluar en la lista desplegable que aparece en el lado derecho y presionar el botón Buscar. En seguida aparece la distribución correspondiente para los equipos que conforman el sistema.
3. Observar la distribución en los equipos correspondientes y escoger uno para su evaluación.
4. Seleccionar el código del equipo a evaluar en la lista desplegable que aparece en el lado derecho y presionar el botón Buscar. En seguida aparece la distribución correspondiente para las subunidades que integran el equipo.

**ECOPETROL S.A.**

Análisis del Item Válvulas de la Planta Planta 5 de inyección de agua

Sistemas de mayor fallo del item Válvulas

Sistema	Código	Tiempo	Fallas
▶ Turbobomba 1 Planta de	ELCIYP5TB1	11	3
Turbobomba 2 Planta de	ELCIYP5TB2	8	2

Buscar Equipos de mas Falla  
 Seleccione código del Sistema: ELCIYP5TB1  
 Buscar

Equipos de mayor fallo del Sistema Turbobomba 1 Planta de inyección 5 en el item Válvulas

Nombre	Código	Tiempo	Fallas
▶ Turbina de gas	GT	11	3

Buscar SubUnidad de mas Falla  
 Seleccione código del Equipo: GT  
 Buscar

Subunidades de mayor fallo del Equipo Turbina de gas en el item Válvulas

Nombre	Código	Tiempo	Fallas
▶ Control y monitoreo	CAM	4	1
Sistema de combustión	CMS	4	1
Sistema de lubricación	LUS	3	1

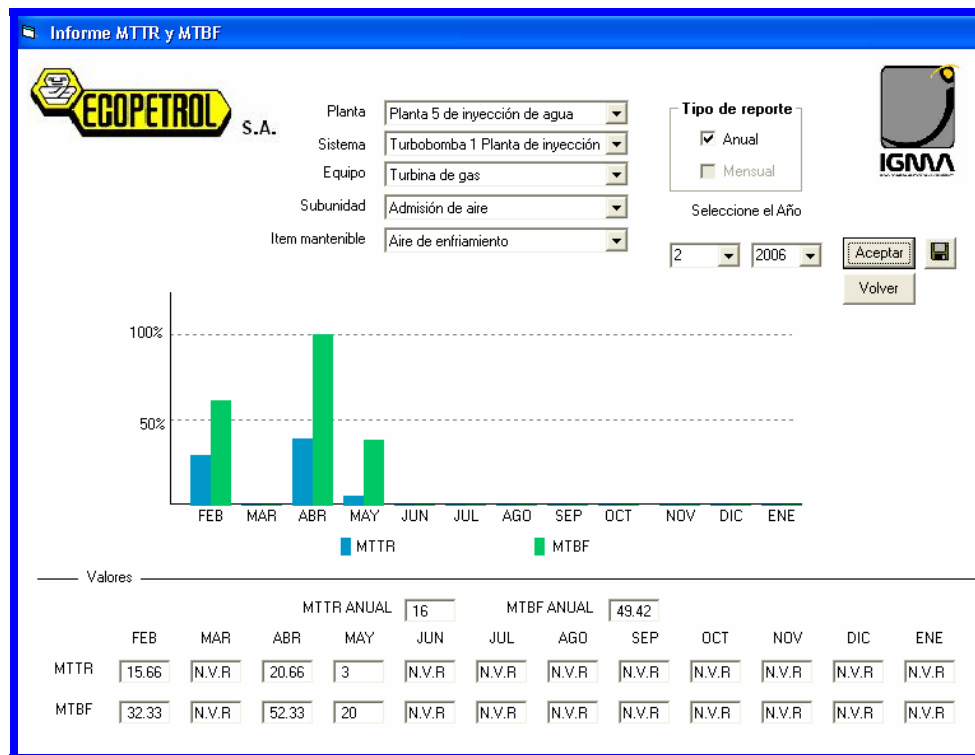
**Figura 32. Formulario búsquedas subsecuentes Malos Actores**

### 3.2.3 Informe MTTR y MTBF

Los valores que representan estos dos indicadores se pueden obtener para cada una de las jerarquías de división de las máquinas, al seleccionar este submenú se carga el primer formulario de selección jerarquía correspondiente a la figura 21.

**Figura 21. Formulario para selección de jerarquía.**

Una vez seleccionada la jerarquía a analizar, aparece un formulario similar al que se genera para los informes de Disponibilidad y Confiabilidad como se muestra en la figura 22.



**Figura 22. Formulario Informe MTTR y MTBF**

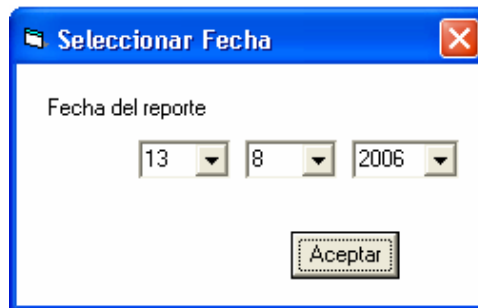
Los pasos subsiguientes para la generación del informe, se describen a continuación:

1. Especificar la jerarquía que se desea analizar.

2. Seleccionar el tipo de reporte, ya sea anual o mensual, haciendo clic en el cuadro al lado derecho de cada uno.
3. Seleccionar la fecha de evaluación del informe de acuerdo al tipo de reporte.
4. Hacer clic en el botón Aceptar.
5. En caso de que el usuario quiera salir de esa aplicación, puede hacerlo mediante el botón Volver o cerrando la ventana de la aplicación.

### 3.2.4 Reporte Equipos Críticos

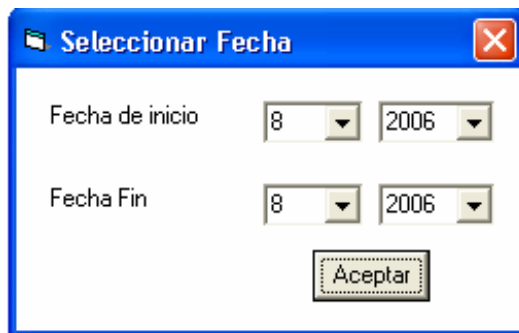
Esta función permite obtener la información sobre el comportamiento operacional diario de los equipos críticos de la SMA, es un resumen que muestra uno a uno los sistemas de cada planta. Al ingresar en este menú, aparece un formulario donde se digita la fecha en que se desea obtener el reporte como se puede apreciar en la figura 23.



**Figura 23. Ingreso de fecha para reporte de equipos críticos**

### 3.2.5 Reporte Indicadores de Gestión

Consiste también en la generación de otro informe estándar de la empresa, donde se reúnen los consolidados del estado operacional y los indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad para cada una de las plantas y sistemas críticos de la SMA, para un periodo de tiempo abierto, solo basta con seleccionar o digitar las fechas de inicio y fin del reporte en mes y año respectivamente. El formulario perteneciente para seleccionar el periodo de tiempo por meses aparece en la figura 24.



**Figura 24. Selección de periodo de tiempo reporte Indicadores de Gestión**

### **3.2.6 Copias de los reportes para impresión**

Para todos los informes que el sistema genera, es posible obtenerlos de manera impresa en cada uno de los formularios diseñados. En el caso de reportes tales como Disponibilidad y Confiabilidad, MTTR y MTBF y Malos actores, se accede a estos a través del botón guardar que aparece a la derecha de cada formulario y que se muestra en la figura 25.



**Figura 25. Botón Guardar**

Para el caso de los reportes estándar como Indicadores de Gestión y de Equipos críticos, para guardar el archivo, se hace clic en el botón Aceptar una vez digitadas las fechas correspondientes.

A partir de esta primera selección en cada formulario, el programa abre una pantalla donde se puede guardar el reporte generado en un archivo interno cuya ubicación se le especifica el usuario mediante la selección de carpetas y la elección de un nombre para identificarlo. Se recomienda que la carpeta destino de estos archivos sea la de ubicación: C:\Archivosdeprograma\Herramienta\informes para facilitar el acceso a esta como se muestra a continuación:



Figura 26. Formulario para guardar reportes

Una vez guardado el respectivo archivo, para tener la visualización y respectiva impresión, nos dirigimos a la carpeta destino y abrimos el archivo, el resultado es un página HTML con la información solicitada. Un ejemplo de estos reportes, se puede ver en la figura 27.

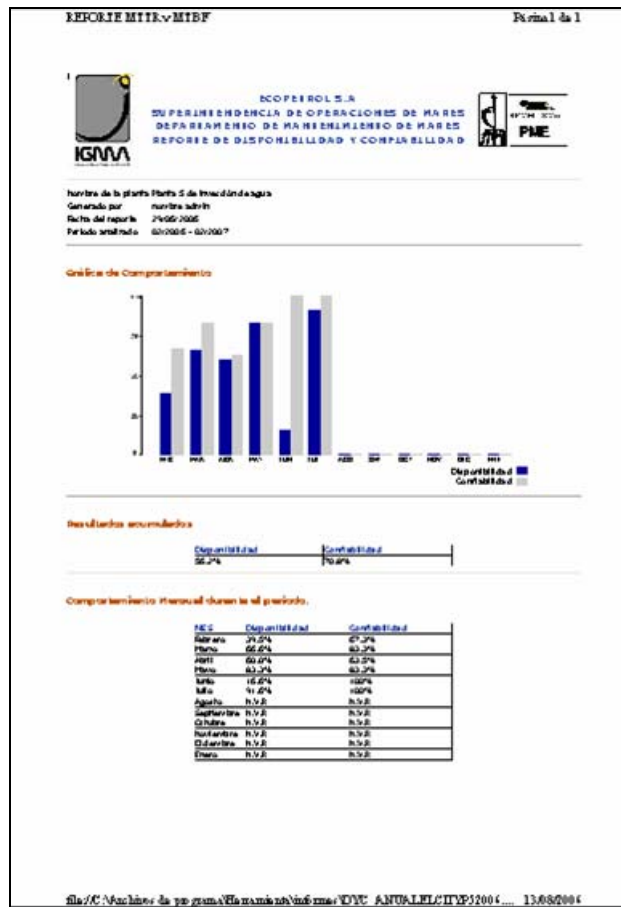


Figura 27. Reporte Disponibilidad y Confiabilidad anual.

### 3.3 Menú Modificar

En caso que alguno de los encargados de ingresar los valores del sistema proporcione datos incorrectos, este menú permite al administrador corregir dichos datos, ya que desde los otros perfiles no es posible realizarlos. Tiene la posibilidad de acceder a la base de datos, a través de dos submenús que permiten aparecer los formularios donde fue registrada la información, una vez allí solamente se ingresa la identificación de jerarquía y las fechas para las cuales se debe cambiar los datos y validan y se guardan de nuevo. Los formularios que describen las anteriores actividades se presentan en las figuras 28,29 y 30.

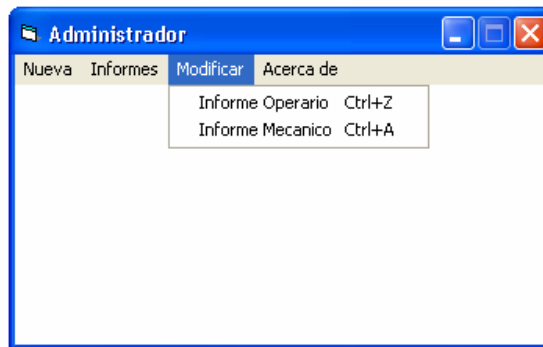


Figura 28. Pantalla Menú Modificar

The image shows a screenshot of a form titled 'Modificar Registro Operario'. The form is designed for editing operator records. It includes several input fields and dropdown menus. At the top, there are fields for 'Planta' (Plant) and 'Fecha de Registro' (Registration Date). The 'Planta' field is a dropdown menu with the selected value 'Planta 5 de inyección de agua'. The 'Fecha de Registro' field consists of three dropdown menus for month (12), day (3), and year (2006). Below these is a 'Sistema' (System) dropdown menu with the selected value 'Turbobomba 1 Planta de inyección 5' and a 'Buscar' (Search) button. In the center, there are 'Horas' (Hours) input fields for 'Operación' (0), 'Auxiliar' (24), 'Mantenimiento Preventivo' (0), and 'Mantenimiento Correctivo' (0). To the right of these are 'Estado Actual' (Current State) and 'Metodo de Detección' (Detection Method) dropdown menus, both currently set to 'En Operación'. At the bottom right, there are 'Modificar' (Modify) and 'Cancelar' (Cancel) buttons. The IGMA logo is visible in the top right corner of the form area.

Figura 29. Formulario Modificar Registro Operario

**Figura 30. Formulario Modificar Registro Mecánico**

### 3.4 Menú Acerca de

Permite obtener la información relacionada con el software como lo son versión, la empresa, autor, directores del proyecto, etc.

**Figura 31. Formulario Acerca de.**

#### 4. ¿COMO USAR EL MÓDULO DE OPERADOR?

Este módulo esta diseñado y fue construido para proporcionar la información sobre el estado operacional de los equipos, como su nombre lo indica debe ser manejado por los operadores en las plantas, los cuales son los que están al tanto de estos datos.

Está constituido por un menú principal en la parte superior del formulario que contienen los submenús: Informes, Acerca de y Salir. Esto con el fin de permitir al usuario acceder a los datos de salida e informativos del sistema.

Cada uno de estos menús tiene la misma configuración que fue argumentada en el modulo de administrador, es decir poseen las mismas características de uso y acceso.

El ingreso de la información se hace de una manera estructurada de acuerdo a la secuencia que proporciona el formulario como se explica a continuación:

1. Primero se selecciona la jerarquía de la planta a cargo, aunque el sistema hace al filtro a través de la contraseña.
2. Luego se debe escoger el sistema a documentar.
3. Ingresar la fecha del registro
4. Especificar la distribución en horas del comportamiento del sistema en sus cuatro posibilidades, ya sea en operación, como auxiliar o en caso que se haya realizado un mantenimiento correctivo o preventivo. El sistema solo permite un registro máximo por día, así que en total debe sumar 24 horas.
5. A la distribución de preventivo y correctivo, se accede haciendo clic en el botón de chequeo a la izquierda de cada uno, una vez realizada esta acción, se despliegan las listas de descripción de preventivo y método de detección de la falla respectivamente.
6. En el espacio denominado como Observaciones se debe relacionar la información adicional que el operador quiera agregar como: hora de entrada de los equipos, descripción mas detallada de las fallas, si el equipo esta a cargo de una cuadrilla de mantenimiento, etc.

- Una vez definida toda la información necesaria se hace clic en el botón Guardar, el sistema procede a validarla y guardarla en caso que esta sea correcta y coherente.

Horas	
Operación	0
Auxiliar	0
<input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento Preventivo	0
<input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento Correctivo	0
Fallos del día	0
Estado Actual	Disponible
Descripción Preventivo	Rutina 60 días Equipo Estac
Metodo de Deteccion	Mantenimiento periódico

**Figura 32. Pantalla Módulo operador**

## 5. ¿COMO USAR EL MÓDULO DE MECÁNICO?

Al igual que el de operador, este módulo está restringido por el nivel de operario. La actividad principal que se cumple en este perfil es la de complementar la información una vez haya sido ingresada al programa por los operadores cuando se ejecuten mantenimientos correctivos sobre los sistemas.

La información que aporta cada uno de los usuarios de este módulo es la concerniente a la identificación de las fallas que ocurren en los equipos, de acuerdo a las recomendaciones descritas en la norma ISO 14224. el proceso de cargue de información se realiza en dos etapas:

La primera parte del ingreso de la información se realiza una vez el programa haya validado la identificación del sistema y la fecha de realización, consiste en terminar de

llenar los datos de la jerarquía de máquinas, hasta identificar al ítem donde se realizó en mantenimiento. Los pasos a seguir para llenar datos y validar la información son:

1. Seleccionar la planta, sistema, equipo, subunidad e ítem mantenible donde se realizó el mantenimiento correctivo.
2. Indicar la fecha de realización del mantenimiento.
3. hacer clic en el botón Aceptar, por medio de esta acción el sistema verifica la existencia de los datos y de ser así despliega una nueva ventana para pasar a la segunda etapa del registro.

**Cargue de información diario**

Informes Acerca de Salir

Seleccione valores

Planta: Planta 5 de inyección de agua

Sistema: Turbobomba 1 Planta de inyección

Equipo: Turbina de gas

Subunidad: Admisión de aire

Item mantenible: Aire de enfriamiento

Fecha de Correctivo: 2 / 2 / 2006

Aceptar

Especificación del Correctivo

Horas de Correctivo Registradas: 14

Horas correctivo del Item:

Causa de falla: Causas relacionadas con el diseño

Acción correctiva: Ajuste/Calibración

Modo de falla: Breakdown

Mecanismo de falla: Falla de instrumentos

Observaciones

Registrar

**Figura 33. Pantalla Módulo Mecánico**

La segunda parte corresponde a los datos de especificación del correctivo, donde se seleccionan:

1. Causa de falla, acción correctiva, modo de falla y mecanismo de falla de acuerdo a las especificadas por la norma ISO 14224.
2. Se proporciona un espacio donde se especifican las correspondientes observaciones encontradas en la actividad de reparación, como lo son hora de entrada en funcionamiento de los sistemas, pérdidas de funciones, efecto de las fallas, etc. El módulo de mecánico se puede apreciar en la figura 33.

Al igual que en el modulo de operador, en este perfil se encuentran los menús que permiten la generación de los diferentes informes del sistema, obtener la información del software y salir de la aplicación en cualquier momento. Estos son: Informes, Acerca de y Salir respectivamente y que fueron explicados en el parágrafo 2.2 de este manual.

## **6. RESTRICCIONES DEL SISTEMA Y AVISOS DE ERROR**

IGMA posee diferentes ventanas o avisos que informan al usuario sobre los errores e incoherencias de la información que se ingresa con el objetivo de permitir que cada uno de los usuarios del programa haga un buen uso de este. Cada una de las ventanas que aparecen para estas funciones, permiten identificar la mala acción que se esta cometiendo a través de un mensaje claro que expone la situación como por ejemplo en la documentación de la distribución en horas del estado operacional de los equipos por parte del operador o por la no existencia de reporte de mantenimiento correctivo de los datos en el cargue del mecánico Ver figuras 34 y 35 respectivamente.

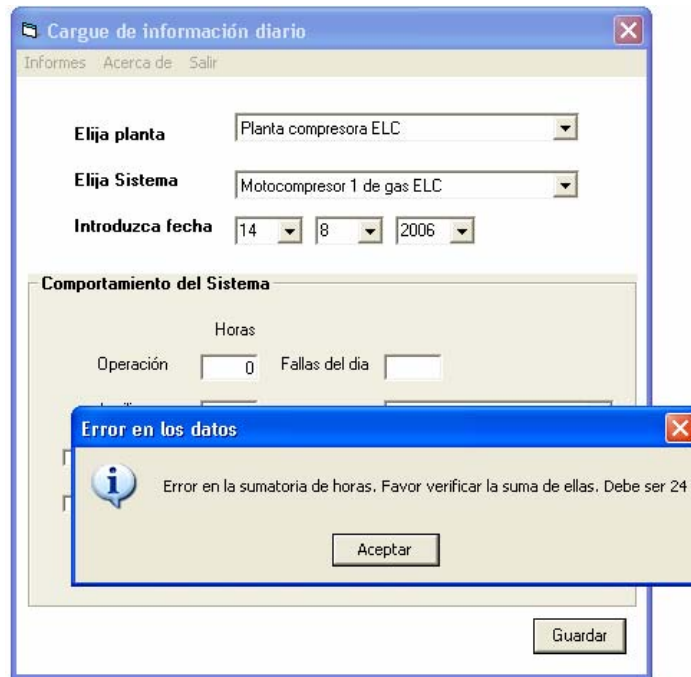


Figura 34. Ventana para verificación de error

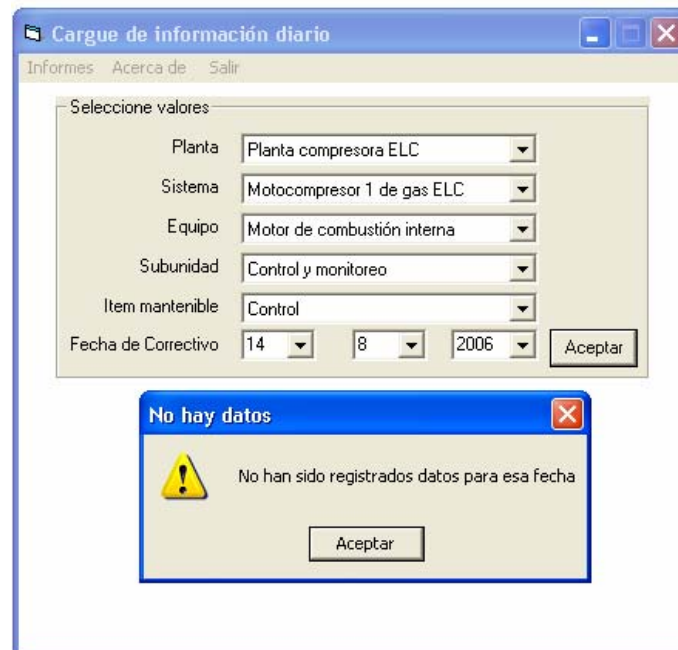
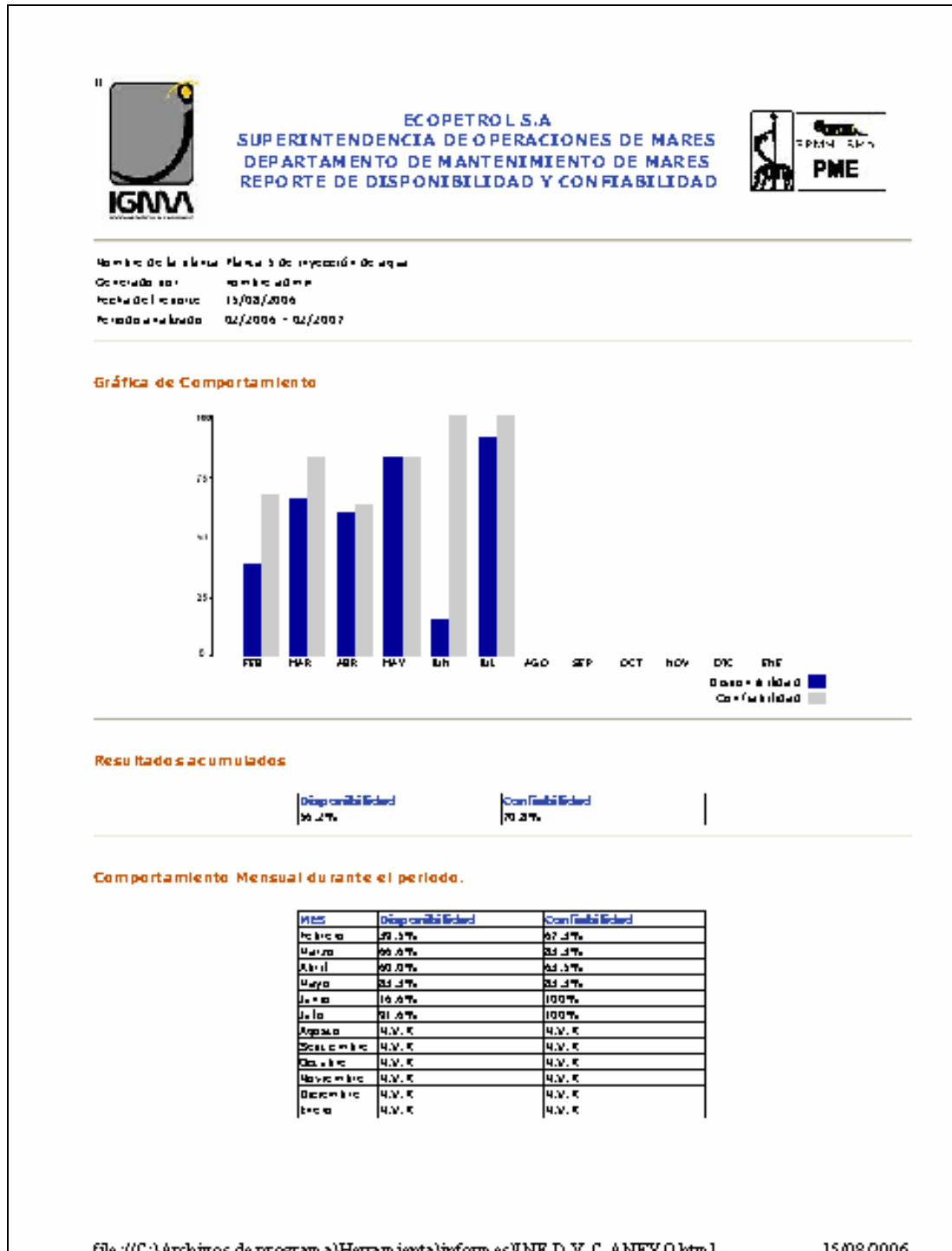


Figura 35. Ventana incoherencia de datos.

## ANEXO B. REPORTES DEL PROGRAMA





ECOPETROL S.A  
SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MARES  
REPORTE DE MALOS ACTORES



Nombre de la planta: Planta S de Inyección de agua  
Nombre del Item analizado: Válvulas  
Generado por: nombre admin  
Fecha del reporte: 25/05/2006  
Periodo analizado: 2005-2007

Compartimiento del Item en la Planta

Nombre Item	Código Item	Horas Correctiva	No. fallas
Válvulas	M.VS	19	5

Sistemas en los que se presentan fallas para el Item

Nombre Sistema	Código Sistema	Horas Correctiva	No. fallas
Turbobomba 1 Planta de Inyección S	ELC1WPSTB1	11	3
Turbobomba 2 Planta de Inyección S	ELC1WPSTB2	8	2

Compartimiento del Item en el sistema Turbobomba 1 Planta de Inyección S

Nombre Equipo	Código Equipo	Horas Correctiva	No. fallas
Turbina de gas	GT	11	3

Compartimiento del Item en el equipo Turbina de gas del sistema Turbobomba 1 Planta de Inyección S

Nombre Subunidad	Código Subunidad	Horas Correctiva	No. fallas
Control y monitoreo	CAH	1	1
Sistema de combustión	CHS	1	1
Sistema de lubricación	LUS	3	1

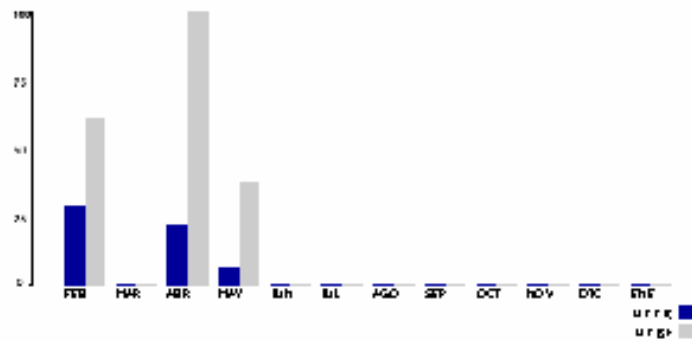


**ECOPETROL S.A**  
**SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES**  
**DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MARES**  
**REPORTE DE MTTR Y MTBF**



nombre de la planta: Planta 5 de Inyección de agua  
 nombre del elevador: Turbobomba 1 Planta de Inyección 5  
 Generado por: nombre admin  
 Fecha del reporte: 15/08/2006  
 Periodo analizado: 02/2006 - 02/2007

**Gráfica de Comportamiento**



**Resultado acumulado**

MTTR	MTBF
12.28	49.42

**Comportamiento Mensual durante el periodo.**

MES	MTTR	MTBF
Febrero	15.66	32.33
Marzo	n.v.r.	n.v.r.
Abril	11.66	52.33
Mayo	*	20
Junio	n.v.r.	n.v.r.
Julio	n.v.r.	n.v.r.
Agosto	n.v.r.	n.v.r.
Septiembre	n.v.r.	n.v.r.
Octubre	n.v.r.	n.v.r.
Noviembre	n.v.r.	n.v.r.
Diciembre	n.v.r.	n.v.r.
Enero	n.v.r.	n.v.r.