

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

RICARDO EDWIN GARZÓN ROJAS

DIRECTOR: ING. ÁLVARO AGUINAGA Ph.D. M.Sc.

QUITO, SEPTIEMBRE 2007

DECLARACIÓN

Yo Ricardo Edwin Garzón Rojas, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ricardo Edwin Garzón Rojas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ricardo Edwin Garzón Rojas, bajo mi supervisión.

Ing. Álvaro Aguinaga Ph.D. M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, CARLOS y GLORIA, por todo su amor, apoyo, comprensión; quienes son lo más importante en mi vida y el mejor ejemplo a seguir.

A mis hermanos, RUTH, XIMENA y CARLOS, por todo su amor, confianza y apoyo incondicional.

Al Dr. Álvaro Aguinaga, por su acertada dirección en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres, por que los amo y por que son un verdadero ejemplo en mi vida.

A mis hermanos, sobrinos y amigos por estar ahí cuando los he necesitado.

A aquella personita especial que me apoyo incondicionalmente desde el día mismo en que la conocí. Te quiero mucho C.P.

RESUMEN

El presente trabajo resume un procedimiento de RCM para Pequeñas y Medianas Empresas, utilizando ACCESS de Microsoft.

CAPITULO I

Este capítulo describe las generalidades, evolución y estrategias de mantenimiento.

Aborda la Confiabilidad e Infiabilidad y algunos de sus índices, denota la Confiabilidad Operacional y sus parámetros.

CAPITULO II

Aquí se realiza un enfoque al RCM (Reliability Centered Maintenance) o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se describe cuales son sus requerimientos para ser aplicado y se describe el procedimiento de aplicación.

También se hace un ligero reconocimiento de algunos modos de falla comunes.

CAPITULO III

El AMFE (Análisis Modal de Falla - Efecto) es desarrollado en este capítulo, se describe sus definiciones así como su metodología para ser aplicado. Existen cuadros de los índices de confiabilidad para el AMFE.

CAPITULO IV

Este capítulo lleva por titulo: Desarrollo y Automatización del Procedimiento de RCM para Pequeñas y Medianas Empresas; aquí se definen las entidades necesarias para crear la base de datos en ACCESS de Microsoft, se establece la

información necesaria que debe ser ingresada y a su vez la información que se necesita en los informes.

Se realiza el diseño conceptual, lógico y físico de la base de datos.

Luego se detalla el funcionamiento de esta base de datos, para lo cual se hace una descripción de cómo ingresar datos y cómo obtener los informes.

CAPITULO V

Aquí se realiza un pequeño y simple ejemplo, se enlistan tres equipos y se desarrolla ligeramente la aplicación del procedimiento de RCM para PYMES.

PRESENTACIÓN

Actualmente el Mantenimiento es uno de los tres pilares de la industria productiva (procesos productivos, mantenimiento y calidad); sin embargo no es tomado en consideración por muchas empresas o es tomado en cuenta muy a la ligera.

El presente trabajo busca obtener una base de datos para la aplicación del RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

La automatización del procedimiento de RCM por medio de ACCESS de Microsoft mostrará de una manera menos tediosa las labores de planeación de mantenimiento, reducirá el papeleo y ayudará a una mejor presentación de resultados.

CONTENIDO

CAPITULO I	1
MATENIMIENTO Y CONFIABILIDAD	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 MANTENIMIENTO	2
1.2.1 DEFINICIÓN.....	2
1.2.2 DEGASTE Y FALLA.....	3
1.2.2.1 DESGASTE	3
1.2.2.2 FALLA.....	3
1.3 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	3
1.3.1 LA PRIMERA GENERACIÓN.....	4
1.3.2 LA SEGUNDA GENERACIÓN	4
1.3.3 LA TERCERA GENERACIÓN.....	4
1.3.4 LA CUARTA GENERACIÓN	5
1.4 ESTRATÉGIAS DE MANTENIMIENTO	5
1.4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	5
1.4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	5
1.4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	6
1.4.4 MANTENIMIENTO PROACTIVO	6
1.4.5 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	7
1.4.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	8
1.5 VARIABLES DEL MANTENIMIENTO.....	8
1.5.1 CONFIABILIDAD E INFIABILIDAD ^{4,5}	9
1.5.1.1 TASA DE FALLOS.....	9
1.5.1.1.1 FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE FALLOS..	10
1.5.1.1.2 RELACIÓN ENTRE F(T), Λ (T) Y R(T).....	10
1.5.1.1.3 LA CURVA DE LA BAÑERA	10
1.5.1.1.4 LA DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL.....	11
1.5.1.1.5 TIEMPO MEDIO HASTA UN FALLO (MTTF).....	12
1.5.1.1.6 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS (MTBF)	12

1.5.1.1.7 VIDA ÚTIL	14
1.5.2 MANTENIBILIDAD	14
1.5.3 DISPONIBILIDAD.....	15
1.5.4 CALIDAD.....	15
1.5.5 SEGURIDAD.....	15
1.6 CONFIABILIDAD OPERACIONAL	16
1.6.1 CONFIABILIDAD HUMANA	16
1.6.2 CONFIABILIDAD DE LOS PROCESOS	17
1.6.3 MANTENIBILIDAD DE EQUIPOS	17
1.6.4 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS.....	17
CAPITULO II	18
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	18
2.1 INTRODUCCIÓN.....	18
2.2 DEFINICIÓN.....	19
2.3 PROCESO RCM	20
2.3.1 SIETE PREGUNTAS BÁSICAS	20
2.3.1.1 FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO	20
2.3.1.2 FALLAS FUNCIONALES.....	21
2.3.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS FALLOS ⁸	21
2.3.1.3.1 SEGÚN SE MANIFIESTA EL FALLO.....	21
2.3.1.3.2 SEGÚN SU MAGNITUD.....	21
2.3.1.3.3 SEGÚN SU MANIFESTACIÓN Y MAGNITUD.....	21
2.3.1.3.4 SEGÚN EL MOMENTO DE APARICIÓN.....	21
2.3.1.3.5 SEGÚN SUS EFECTOS	22
2.3.1.3.6 SEGÚN SUS CAUSAS.....	22
2.3.1.4 MODOS DE FALLA.....	22
2.3.1.4.1 SOBRECARGAS.....	22
2.3.1.4.2 FRICCIÓN	23
2.3.1.4.3 ABRASIÓN.....	23
2.3.1.4.4 FATIGA	24
2.3.1.4.5 SOBRETENSIONES	24
2.3.1.4.6 CORROSIÓN	24

2.3.1.4.7	CAVITACIÓN	26
2.3.1.4.8	GOLPE DE ARIETE	26
2.3.1.4.9	INCRUSTACIONES Y CONTAMINANTES (SUCIEDAD) ..	27
2.3.1.4.10	ARCO ELÉCTRICO.....	27
2.3.1.5	EFFECTOS DE LOS FALLAS	27
2.3.1.5.1	CONSECUENCIAS NO EVIDENTES.....	28
2.3.1.5.2	CONSECUENCIAS EN SEGURIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE	28
2.3.1.5.3	CONSECUENCIAS OPERACIONALES.....	28
2.3.1.5.4	CONSECUENCIAS QUE NO SON OPERACIONALES.....	28
2.3.1.5.5	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO SEGÚN EL TIPO DE CONSECUENCIA ⁹	29
2.3.2	CAUSAS DE FALLA.....	29
2.3.3	SELECCIÓN DE ÍTEMS CRÍTICOS.....	30
2.3.4	TRATAMIENTO DE LOS ÍTEMS NO CRÍTICOS	31
2.3.4.1	TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	32
2.3.4.1.1	TAREAS “A CONDICIÓN”.....	33
2.3.4.1.2	TAREAS A TIEMPO FIJO	33
2.3.4.2	EL PERSONAL IMPLICADO	34
2.3.4.2.1	FACILITADOR.....	34
2.3.4.2.2	LOS AUDITORES	35
2.3.5	LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR RCM ⁷	35
2.3.5.1	MAYOR SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DEL ENTORNO, DEBIDO A:.....	36
2.3.5.2	MEJORES RENDIMIENTOS OPERATIVOS, DEBIDO A:	36
2.3.5.3	MAYOR CONTROL DE LOS COSTOS DEL MANTENIMIENTO, DEBIDO A:.....	37
2.3.5.4	MÁS LARGA VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS, DEBIDO AL AUMENTO DEL USO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO “ A CONDICIÓN”.....	37
2.3.5.5	UNA AMPLIA BASE DE DATOS DE MANTENIMIENTO, QUE:	37
2.3.5.6	MAYOR MOTIVACIÓN DE LAS PERSONAS	38

2.3.5.7	MEJOR TRABAJO DE GRUPO	38
CAPITULO III	39
ANALISIS MODAL DE FALLA Y EFECTO (AMFE)	39
3.1	INTRODUCCIÓN.....	39
3.1.1	DEFINICIÓN.....	39
3.1.2	TIPOS DE AMFE ¹¹	40
3.1.2.1	AMFE DE DISEÑO.....	40
3.1.2.2	AMFE DE PROCESO	40
3.2	DETALLE DE AMFE.....	40
3.3	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO AMFE	41
3.3.1	DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE E IDENTIFICACIÓN	41
3.3.2	PARTE DEL COMPONENTE. OPERACIÓN O FUNCIÓN	42
3.3.3	MODO DE FALLA	42
3.3.4	EFECTO/S DEL FALLA	42
3.3.5	CAUSAS DEL MODO DE FALLA.....	43
3.3.6	ÍNDICES DE CONFIABILIDAD PARA AMFE ¹²	43
3.3.6.1	GRAVEDAD.....	43
3.3.6.2	FRECUENCIA	45
3.3.6.3	DETECTABILIDAD.....	46
3.3.6.4	ÍNDICE DE PRIORIDAD DE RIESGO (IPR).....	47
3.3.7	ACCIÓN CORRECTORA.....	47
3.3.7.1	SI LA ACCIÓN CORRECTORA NO FUESE SUFICIENTE ⁹	48
3.3.8	RESPONSABLE Y PLAZO ¹²	48
3.3.9	ACCIONES IMPLANTADAS	48
CAPITULO IV	50
DESARROLLO Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE RCM PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS	50
4.1	DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE RCM PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS (PYMES).....	50
4.1.1	DEFINICIÓN DE: PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS EN ECUADOR (PYMES) ¹⁴	50

4.1.1.1	MONTO DE ACTIVOS FIJOS	51
4.1.1.2	NÚMERO DE EMPLEADOS.....	51
4.1.2	ENFOQUE DE PROCEDIMIENTO RCM QUE SE VA A DESARROLLAR.....	51
4.1.3	PROCEDIMIENTO DE RCM	52
4.1.4	INFORMACIÓN QUE SE QUIERE OBTENER COMO RESULTADO DEL RCM	53
4.1.5	DATOS NECESARIOS PARA OBTENER INFORMACIÓN REQUERIDA.....	53
4.1.5.1	DATOS DEL EQUIPO.....	54
4.1.5.1.1	CONTEXTO OPERACIONAL ⁹	54
4.1.5.2	DATOS DEL COMPONENTE.....	54
4.1.5.3	FALLA FUNCIONAL.....	54
4.1.5.4	ACCIONES CORRECTORAS.....	55
4.1.5.5	TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	55
4.2	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE RCM	55
4.2.1	DISEÑO DE LA BASE DE DATOS	56
4.2.1.1	DISEÑO CONCEPTUAL ¹⁵	56
4.2.1.1.1	ENTIDAD.....	56
4.2.1.1.2	ATRIBUTOS.....	56
4.2.1.1.3	RELACIONES	57
4.2.1.1.4	DIAGRAMA ENTIDAD – RELACIÓN	57
4.2.1.1.5	TIPOS DE RELACIONES ¹⁶	57
4.2.1.1.6	DIAGRAMA ENTIDAD – RELACIÓN (INICIAL) DEL PROCEDIMIENTO RCM.....	59
4.2.1.2	DISEÑO LÓGICO.....	61
4.2.1.2.1	ESTUDIO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	61
4.2.1.2.2	ACTIVIDADES DEL SISTEMA.....	61
4.2.1.2.3	DETERMINAR LAS ENTIDADES O NOMBRES DE LAS TABLAS.....	62
4.2.1.2.4	DETERMINAR LOS ATRIBUTOS O PROPIEDADES DE LAS ENTIDADES	63
4.2.1.2.5	DETERMINAR O CREAR LA CLAVE PRINCIPAL	64

4.2.1.2.6 DETERMINAR CLAVES SECUNDARIAS.....	64
4.2.1.2.7 ESTABLECER DIAGRAMA ENTIDAD – RELACIÓN DEFINITIVO	64
4.2.1.3 DISEÑO FÍSICO	66
4.2.1.3.1 CREACIÓN DE TABLAS.....	66
4.2.1.3.2 RELACIÓN DE TABLAS	67
4.2.1.3.3 CREACIÓN DE FORMULARIOS	68
4.2.1.3.4 CREACIÓN DE INFORMES.....	70
4.2.2 CÓMO ADMINISTRAR LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS DEL PROCEDIMIENTO DE RCM PARA PYMES.....	70
4.2.2.1 INGRESO DE DATOS	72
4.2.2.1.1 INGRESO DE DATOS DE EQUIPOS Y COMPONENTES	73
4.2.2.1.2 INGRESO DE DATOS NECESARIOS PARA LLENAR CUADRO AMFE	74
4.2.2.1.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO	78
4.2.2.2 INFORMES	79
4.2.2.2.1 AMFE	79
4.2.2.2.2 COMPONENTES CON IPR CORREGIDO ALTO	79
4.2.2.2.3 DIAGRAMA FUNCIONAL.....	80
4.2.2.2.4 CONTEXTO OPERACIONAL.....	80
4.2.2.2.5 TAREAS DE MANTENIMIENTO	81
CAPÍTULO V	82
PRUEBA DEL PROCEDIMIENTO RCM AUTOMATIZADO CON UN EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	82
5.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN	82
5.2 EQUIPOS UTILIZADOS	82
5.3 INGRESO DE DATOS.....	82
5.3.1 ELABORACIÓN DE CUADROS AMFE.....	83
5.3.2 DETERMINACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	83
5.4 OBTENCIÓN DE INFORMES	83
CAPÍTULO VI.....	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119

6.1	CONCLUSIONES.....	119
6.2	RECOMENDACIONES	120
	BIBLIOGRAFÍA	122
	ANEXOS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1	Representación Gráfica general de los parámetros de fiabilidad	10
Fig. 1.2	Curva típica de evolución de la tasa de fallos	11
Fig. 1.3	Curva de Supervivencia	13
Fig.1.4	Mantenibilidad	14
Fig.1.5	Parámetros involucrados en Confiabilidad Operacional.	16
Fig.2.1	Grupo de Trabajo RCM	34
Fig.4.1	Ejemplo de Relación Uno a Varios	57
Fig.4.2	Ejemplo de Relación Varios a Varios	58
Fig.4.3	Ejemplo de Relación Uno a Uno	59
Fig.4.4	Diagrama entidad-relación (inicial) para procedimiento RCM para PYMES	60
Fig.4.5	Diagrama entidad-relación DEFINITIVO para procedimiento RCM para PYMES	64
Fig.4.6	Creación de la tabla Equipos, con todos sus campos	66
Fig.4.7	Todas las tablas existentes en la base de datos	67
Fig.4.8	Relaciones entre tablas	67
Fig.4.9	Formulario de ingreso de datos COMPONENTES	68
Fig.4.10	Formulario de ingreso de datos DETALLE DE CUADRO AMFE	69
Fig.4.11	Formulario OPCIONES DE INGRESO DE DATOS	69
Fig.4.12	Informe AMFE CORREGIDO	70
Fig.4.13	Icono de ingreso da la base de datos	70
Fig.4.14	Ventana de inicio de la base de datos	71
Fig.4.15	Ventana INGRESO	71
Fig.4.16	Ventana INGRESO DE DATOS	72
Fig.4.17	Ventana INFORMES	72
Fig.4.18	Formulario de ingreso de datos EQUIPOS	73
Fig.4.19	Formulario de ingreso de datos COMPONENTES	74
Fig.4.20	Formulario de ingreso de datos MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CAUSAS DE FALLA	74
Fig.4.21.	Formulario de ingreso de datos INGRESO DE DATOS AMFE	75
Fig.4.22	Formulario de ingreso de datos DETALLES DEL AMFE	76

Fig.4.23	Formulario de ingreso de datos ACCIONES CORRECTORAS	77
Fig.4.24	Formulario de ingreso de datos TAREAS DE MANTENIMIENTO	78
Fig.4.25	Opciones de Informes AMFE	79
Fig.4.26	Opción de Informes COMPONENTES CON IPR CORREGIDO ALTO	79
Fig.4.27	Opción de Informes DIAGRAMA FUNCIONAL	80
Fig.4.28	Opción de Informes CONTEXTO OPERACIONAL	80
Fig.4.29	Opción de Informes TAREAS DE MANTENIMIENTO	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1	Tasas de Fallos	13
Cuadro 3.1	Clasificación de la gravedad del modo de fallo según La repercusión en el cliente/usuario	44
Cuadro 3.2	Clasificación de la frecuencia/probabilidad ocurrencia Del modo de falla	45
Cuadro 3.3	Clasificación de la facilidad de detección del modo de Falla	46
Cuadro 4.1	Clasificación de la empresa ecuatoriana por el número de empleados	51

CAPITULO I

MATENIMIENTO Y CONFIABILIDAD

1.1 INTRODUCCIÓN

La actividad industrial, actualmente, adopta formas y tamaños diversos dependiendo de factores tales como: la demanda de productos, la satisfacción de clientes, la disponibilidad de recursos financieros y las posibilidades de obtención de materias primas y recursos productivos (materiales, energía, recurso humano). Por ello nos encontraremos frente a pequeñas, medianas y grandes empresas, que desarrollan su actividad industrial de acuerdo a la disponibilidad de sus condiciones; Más aún empresas globalizadas con mayor visión de su actividad productiva.

Dentro de una empresa las estrategias y políticas organizacionales son planeadas y administradas dependiendo de todos y cada uno de los factores que regulan su actividad industrial, entre ellas constan, las que regulan la actividad de Mantenimiento de los equipos, instalaciones y procesos productivos.

Estas actividades de mantenimiento son tratadas por la Ingeniería del Mantenimiento; modernamente comprende una serie de funciones: de aplicación de procesos creativos científico - técnicos, de planificación y gestión empresarial, que permiten alcanzar el mayor grado de confiabilidad en sus sistemas, máquinas, equipos, instalaciones, procesos e infraestructura.

En términos industriales la Ingeniería del Mantenimiento conjuntamente con la de Producción permiten obtener productos altamente competitivos por su calidad, cantidad y bajo costo.

En un proceso industrial, el mantenimiento es un pilar fundamental para la optimización del mismo, conjuntamente con la producción y la calidad.

En la actualidad es poco razonable esperar que se produzca una falla en un sistema para luego corregirla; más bien la idea se centra en prever el comportamiento del sistema para poder programar un correcto y eficiente mantenimiento; gracias al avance de la tecnología, es posible tener sistemas automatizados que relacionan variables obtenidas en tiempo real con herramientas estadísticas, obteniéndose como resultado la detección de posibles fallas antes de que sucedan.

“El objetivo del mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible.”¹

1.2 MANTENIMIENTO

1.2.1 DEFINICIÓN

Se presentan algunas definiciones de mantenimiento, más, la idea es una sola, preservar o mantener las condiciones requeridas para el correcto y óptimo funcionamiento de un sistema, máquina o proceso.

“Es el conjunto de acciones emprendidas en una Organización a efectos de preservar adecuadamente sus equipos e instalaciones, sosteniendo su desempeño en condiciones de Fiabilidad y respetando la Seguridad, Salud y Cuidado del Medio Ambiente, asumidas a partir de su propio compromiso de Negocios y Desempeño, con la Optimización de Costos como Objetivo asociado.”²

¹ Mgter. Leandro Daniel Torres

² Ing. Julio S. Morales

Actualmente se puede definir el mantenimiento como el conjunto de acciones emprendidas en una Organización a efectos de preservar adecuadamente sus equipos e instalaciones, sosteniendo su desempeño en condiciones de Fiabilidad y respetando la Seguridad, Salud y Cuidado del Medio Ambiente, asumidas a partir de su propio compromiso de Negocios y Desempeño, con la Optimización de Costos como Objetivo asociado.

1.2.2 DEGASTE Y FALLA

1.2.2.1 Desgaste

Se define como el cambio acumulativo e indeseable en el tamaño, forma o propiedades de una estructura, sistema, máquina, equipo o dispositivo que conduce a una falla.

1.2.2.2 Falla

Cualquier cambio en el tamaño, la forma o las propiedades de una estructura, sistema, máquina, equipo o dispositivo, que lo haga incapaz de realizar la función para la que fue diseñada.

1.3 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Como todo proceso en evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica.

1.3.1 LA PRIMERA GENERACIÓN

La primera generación cubre el período hasta la II guerra mundial. La maquinaria era sencilla por lo que la reparación en caso de avería era fácil y confiable. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados ni personal altamente calificado. Esta etapa se caracterizó por el mantenimiento reactivo o correctivo en que se reparaba en caso de avería.

1.3.2 LA SEGUNDA GENERACIÓN

Esta etapa cubre el período desde la segunda guerra mundial hasta los años 1970. Durante la segunda guerra mundial las cosas cambiaron drásticamente. Hacia el año 1950 se hacía evidente el tiempo improductivo de una máquina y cada vez se notaba más la dependencia de las fabricas industriales hacia los procesos mecanizados por lo cual se habían construido equipos con mayor complejidad. Entonces nació el concepto de mantenimiento programado que tuvo como principio que: las fallas se podían y debían de prevenir, llevando a cabo una revisión completa en intervalos fijos. El costo del mantenimiento se torno representativo y para su efecto se comenzó con sistemas de control y planeación del mantenimiento. Esta etapa se caracterizó entonces por el uso extensivo de la estrategia de mantenimiento preventivo.

1.3.3 LA TERCERA GENERACIÓN

Aparecen nuevas expectativas: condición de máquina vs. calidad del producto; se incorporan los conceptos de seguridad, salud y cuidado del medio ambiente. La competitividad obliga a enfocarse en los costos. Se desarrollan nuevas estrategias de mantenimiento como son: el Mantenimiento Predictivo y Proactivo. A la vez se desarrollan métodos estadísticos como: el monitoreo a condición, gestión de riesgo, modos de fallo, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikahua, análisis de causa raíz, AMFE; Y en esta

generación aparecen: el Mantenimiento Productivo Total TPM, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM

1.3.4 LA CUARTA GENERACIÓN

En la actualidad se esta profundizando y consiguiendo nuevos métodos y herramientas de: recopilación de información, diagnóstico, definición de estrategia, planificación, programación, control y optimización del mantenimiento en una empresa, complementando la sistematización y automatización computarizada de los procesos de la ingeniería de mantenimiento, para que se generalice su accesibilidad e implementación en las industrias y empresas productivas y de servicios.

1.4 ESTRATÉGIAS DE MANTENIMIENTO

Modernamente se pueden reconocer los siguientes tipos de mantenimiento:

1.4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Se conoce también como Mantenimiento Reactivo o Mantenimiento a la Rotura, consiste en esperar que se produzca una falla, a fin de corregirla, es decir, operar hasta que se produzca la falla y luego reparar o reemplazar; Representa el más alto costo para la industria.

1.4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Consiste en programar periódicamente revisiones en los equipos, con el objeto principal de inspeccionar, reparar y/o reemplazar componentes. Las intervenciones se realizan aún cuando la máquina esté operando

satisfactoriamente. Se basa en programar el mantenimiento basado en estimaciones de vida útil o tiempo entre fallas esperadas(MTTF). Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial)

Se sabe con anticipación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos e información técnica necesaria para realizarla correctamente; Tiene costos escalonados con saltos de poca envergadura debido a intervenciones periódicas planificadas y con algún escalón más importante en los mantenimientos mayores derivados fundamentalmente del reemplazo de partes de elevado costo.

1.4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El Mantenimiento Predictivo modernamente permite monitorear y detectar parámetros operativos de los sistemas, máquinas y equipos y realizar un seguimiento del desgaste de los mismos para determinar o “predecir” el punto exacto de cambio o reparación. Busca determinar el punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, o sea, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle, asume valores indeseables.

El monitoreo tiene un costo relativamente bajo, pospone o aún suprime algunas intervenciones preventivas y elimina la mayoría de las reparaciones de elevado costo. La presencia de intervenciones sugeridas por el monitoreo produce costos más reducidos, practicados en oportunidad y optimizando las actividades de mantenimiento.

1.4.4 MANTENIMIENTO PROACTIVO

“El Mantenimiento Proactivo, es una estrategia de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el

desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones. Límites aceptables, significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio”²

Sus costos son similares y complementarios a los del Mantenimiento Predictivo. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño se verán reducidos.

1.4.5 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

“Mantenimiento productivo total (TPM) es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas, que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia, debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de productos y servicios finales”¹

En la aplicación del TPM lo primordial es la participación amplia de todas las personas de la organización.

JIPM (Japan Institute of Plan Maintenance) define el TPM como un sistema orientado a lograr: Cero Accidentes, Cero Defectos y Cero Pérdidas.

En otras palabras, TPM es la:

“CONSERVACIÓN DE LOS MEDIOS DE PRODUCCIÓN POR TODOS”³

¹ Mgter. Leandro Daniel Torres

² Ing. Julio S. Morales

³ Lourival Tavares

1.4.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad tiene por objeto conservar la funcionalidad y eficiencia de operación de los sistemas, equipos o máquinas con la que fueron diseñados. Es evidente que para que esto sea posible los equipos deben ser capaces de cumplir las funciones para las cuales fueron seleccionados y que la selección haya tenido en cuenta la condición operacional real.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se caracteriza por:

- Considerar la fiabilidad inherente o propia del equipo / instalación.
- Asegurar la continuidad del desempeño de su función.
- Mantener la calidad y capacidad productiva.
- Si deseamos aumentar la capacidad, mejorar el rendimiento, incrementar la fiabilidad, mejorar la calidad de la producción, necesitaremos un rediseño. También en el caso que nos propongamos bajar el comportamiento esperado.
- Tener en cuenta la condición operacional: dónde y cómo se está usando.

Esta es una estrategia basada en la idea del Mantenimiento Proactivo.

1.5 VARIABLES DEL MANTENIMIENTO

Para poder interpretar la forma en la que actúa el mantenimiento se definen a continuación las más importantes variables del mantenimiento

1.5.1 CONFIABILIDAD E INFIABILIDAD ^{4,5}

La probabilidad de que el elemento proporcione unos resultados satisfactorios en el momento t se puede definir como **confiabilidad** $R(t)$ y si el tiempo de fallo es T entonces:

$$R(t) = \text{Probabilidad de que } (T > t) \quad (1)$$

Si se designa:

$$N_s(t) = \text{N}^\circ \text{ de elementos en funcionamiento en el instante } t$$

$$N(0) = \text{N}^\circ \text{ de elementos en funcionamiento al principio}$$

$$N_f(t) = \text{N}^\circ \text{ de elementos averiados hasta el momento } t$$

Se cumplirá:

$$N(0) = N_f(t) + N_s(t)$$

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N(0)} = 1 - \frac{N_f(t)}{N(0)} \quad (2)$$

La **infiabilidad** $Q(t)$ es la probabilidad de que ocurra un fallo antes del instante t . Por lo tanto:

$$Q(t) = \frac{N_f(t)}{N(0)} \quad (3)$$

$$\text{Cumpliéndose que: } Q(t) = 1 - R(t) \quad (4)$$

Dentro de la confiabilidad hay algunos parámetros a considerar:

1.5.1.1 Tasa de fallos

La probabilidad condicional, de que se produzca una avería entre el momento t y el $t + dt$ puede escribirse como $\lambda(t) dt$; la función $\lambda(t)$ es por definición tasa de fallos o averías y se expresa en $(\text{tiempo})^{-1}$. Con relación a la confiabilidad se tiene:

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (5)$$

⁴ Osaki S.

⁵ Luna A.

1.5.1.1.1 Función densidad de probabilidad de fallos

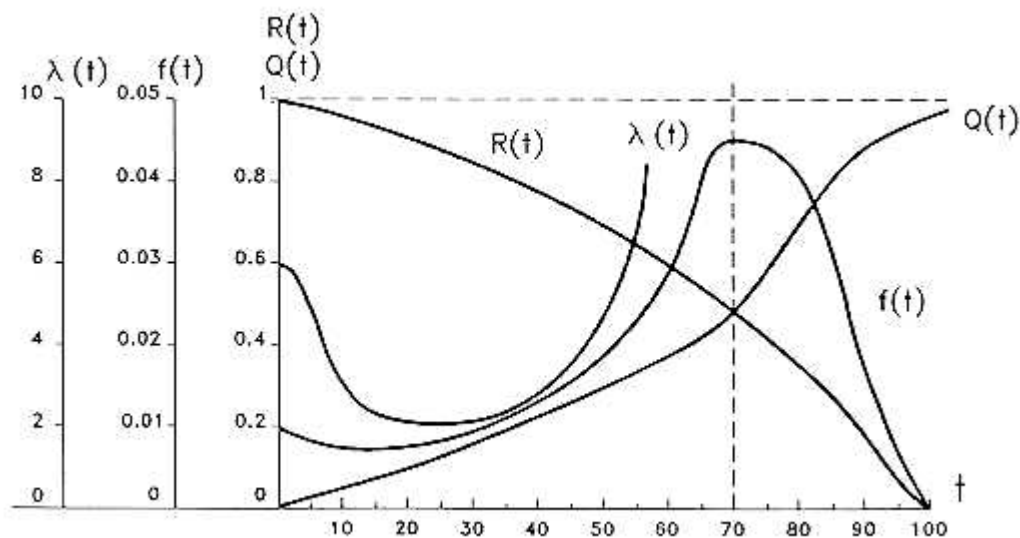
Es la probabilidad de que un dispositivo cualquiera tenga un fallo entre los instantes t y $t + dt$. Se la denomina $f(t)$ y matemáticamente tiene la expresión:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (6)$$

1.5.1.1.2 Relación entre $f(t)$, $\lambda(t)$ y $r(t)$

En la Fig. 1.1 se puede ver la representación gráfica de los parámetros expuestos para un caso general.

Fig. 1.1: Representación gráfica general de los parámetros de fiabilidad⁵



1.5.1.1.3 La Curva de la Bañera

La curva de la bañera es un gráfico que refleja el comportamiento de sistema, equipos o máquinas, relacionado su tasa de fallos respecto a su tiempo de trabajo.

Sobre la curva de la bañera se denota claramente tres zonas, debido al manejo y desempeño del equipo o sistema, estas son:

Fallos iniciales o infantiles (Tasa de fallos decrece)

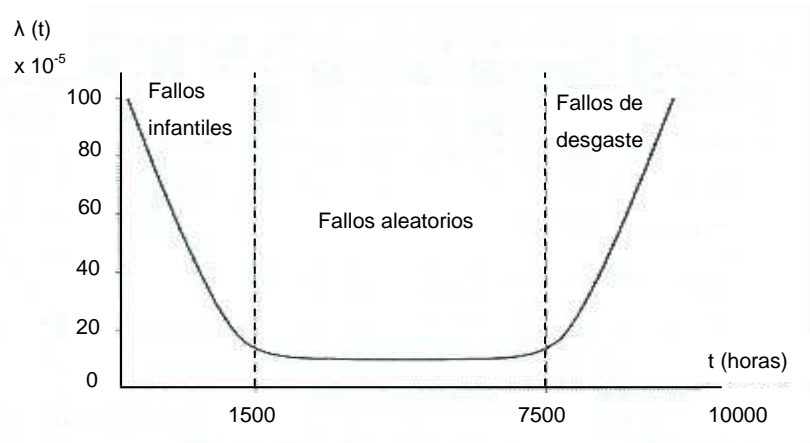
Fallos normales o vida útil (Tasa de fallos constante)

⁵ Luna A.

Fallos de desgaste (Tasa aumenta)

En la Fig. 1.2 se puede ver la representación de la curva típica de la evolución de la tasa de fallos.

Fig. 1.2: Curva típica de evolución de la tasa de fallos



1.5.1.1.4 La Distribución Exponencial

Para el caso de que $\lambda(t)$ sea constante nos encontramos ante una distribución de fallos de tipo exponencial y la confiabilidad tendrá la expresión siguiente obtenida a partir de (6) para $\lambda = \text{cte}$:

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \text{ para } t \geq 0 \quad (7)$$

La expresión de la infiabilidad será para éste caso:

$$Q(t) = \int_0^t \lambda \exp(-\lambda \phi) d\phi = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (8)$$

para $t \geq 0$

Matemáticamente podremos escribir la función exponencial de densidad de probabilidad de fallo:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \text{ cuando } t \geq 0 \quad (9)$$

$$f(t) = 0 \text{ cuando } t < 0$$

Esta fórmula de fiabilidad se aplica correctamente a todos los dispositivos que han sufrido un rodaje apropiado que permita excluir los fallos infantiles, y que no estén afectados aún por el desgaste.

1.5.1.1.5 *Tiempo medio hasta un fallo (MTTF)*

Es el tiempo que se espera que cierto elemento funcione de manera satisfactoria.

Entonces se tiene:

$$\begin{aligned}
 E(T) = \text{MTTF} &= \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} \lambda t \exp(-\lambda t) dt = \\
 &= -t \exp(-\lambda t) \Big|_{t=0}^{\infty} + \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) dt = 0 + \frac{1}{\lambda} \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) \\
 &= \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda t) \Big|_{t=0}^{\infty} \quad \text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (10)
 \end{aligned}$$

1.5.1.1.6 *Tiempo medio entre fallos (MTBF)*

Cuando un elemento es reparado continuamente, se define como el tiempo entre reparación y reparación

Se demuestra que para la distribución exponencial el MTBF es igual a la inversa de la tasa de fallos y por lo tanto igual al MTTF o sea:

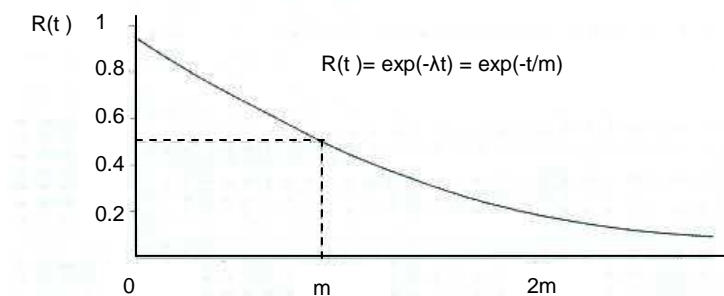
$$\text{MTBF} = m = 1 / \lambda = \text{MTTF} \quad (11)$$

Al igual que λ , el parámetro m describe completamente la fiabilidad de un dispositivo sujeto a fallos de tipo aleatorio, esto es, la fiabilidad exponencial. La función de fiabilidad, llamada también "probabilidad de supervivencia" es:

$$R(t) = \exp(-t/m) \quad (12)$$

Si llevamos a un gráfico esta función, con los valores de $R(t)$ en ordenadas y los valores correspondientes de t en abscisas, se obtiene la "curva de supervivencia", representada en la Fig. 1.3.

Fig. 1.3: Curva de supervivencia



De la fórmula (12) se puede obtener la probabilidad de supervivencia de un dispositivo para cualquier intervalo de tiempo desde el momento 0 al momento t . Se supone que el dispositivo se halla dentro de la zona de fallos aleatorios. En forma general se puede establecer los parámetros definidos con anterioridad para diferentes distribuciones o tasa de fallos, así:

Cuadro 1.1. Tasas de Fallos

Tipo	Exponencial	Normal	Welbull
Campo de definición de la variable aleatoria y parámetros	Variable tiempo $t \geq 0$ Parámetro del exponencial $\lambda > 0$	Variable tiempo $-\infty < t < \infty$ Parámetros de la norma σ desviación estándar m media	Variable tiempo $t \geq 0$ Parámetros de la ley $\beta > 0$ $\eta > 0$
Tasa de Fallos (t)	λ	$\frac{t - m}{\sigma}$	$\left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta - 1}$ Si $\beta = 1$ $\lambda(t) = 1/\eta$ Si $\beta > 1$ $\lambda(t)$ decrece
Fiabilidad R(t)	$e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{t-m}{\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$	$e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$
Infiabilidad f(t) = 1 - R(t)	$1 - e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{t-m}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$	$1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$

Función densidad de fallos f(t)	$\lambda e^{-\lambda t}$	$\frac{e^{-\frac{(t-\sigma)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma} \int_{\frac{t-m}{\sigma}}^{\infty} e^{-\left(\frac{x^2}{2}\right)} dx$	$\left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$
MTTF	$\frac{1}{\lambda}$	m	$\eta\beta\Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)^*$
Observaciones	Refleja la fase normal de operación. La zona central de la curva de la bañera	Describe el comportamiento durante el periodo de desgaste del componente. La tasa de Fallos es creciente	Permite representar las distintas zonas de la curva de la bañera según el valor de β

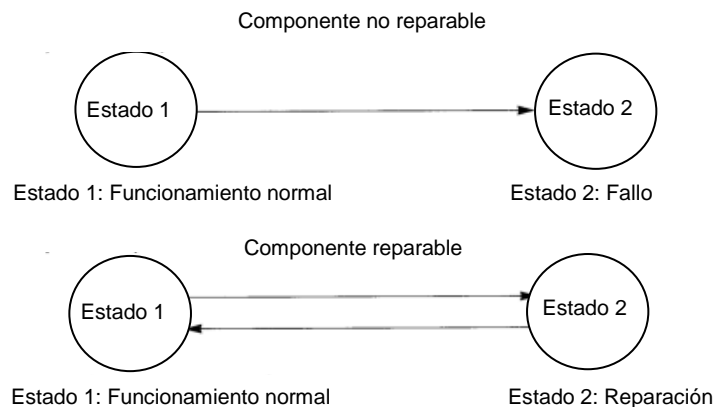
1.5.1.1.7 Vida Útil

Se llama "vida útil" el periodo de vida de un dispositivo durante el cual su tasa de fallos es constante.

1.5.2 MANTENIBILIDAD

Mantenibilidad $M(t)$ es la probabilidad de que un componente se repare en un período de tiempo comprendido entre 0 y t . Se puede dar a $M(t)$ un tratamiento similar al comentado para la fiabilidad $R(t)$, definiéndose una tasa parecida a la $\lambda(t)$, la tasa de reparación o $\mu(t)$.

Fig. 1.4: Mantenibilidad



Se define el tiempo medio de reparación *MTTR* como :

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1-M(t)] dt$$

1.5.3 DISPONIBILIDAD

Es la probabilidad $A(t)$ de que el componente esté operativo en un instante t . Su expresión matemática es la siguiente: (Adoptando una distribución exponencial).

$$A(t) = \frac{1}{\lambda + \mu} (\mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)t})$$

Se asume que el componente se reincorpora al sistema “como nuevo”.

1.5.4 CALIDAD

“La Calidad Total tiene por objeto fundamental, buscar la satisfacción de las necesidades de los clientes de la empresa, por medio del aprovechamiento máximo de la confiabilidad de los productos y servicios, cumplir con todos los requisitos propuestos, recompensa al usuario por su inversión (gasto) e inexistencia del deterioro de la relación comercial ocasionada por reclamos respecto a disconformidades del producto.”³

1.5.5 SEGURIDAD

“Está referida al personal, instalaciones, equipos, sistemas, y máquinas, no puede ni debe dejársela a un costado, con miras a dar cumplimiento a demandas pactadas.”¹

¹ Mgter. Leandro Daniel Torres

³ Lourival Tavares

1.6 CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.

Es importante, puntualizar que en un sistema de Confiabilidad Operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: Confiabilidad Humana, Confiabilidad de los Procesos, Mantenibilidad y Confiabilidad de los equipos; sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo. Estos cuatro elementos, se muestran en la Fig.1.5

Fig. 1.5: Parámetros involucrados en la confiabilidad Operacional ⁶



1.6.1 CONFIABILIDAD HUMANA

Se requiere de un alto Compromiso de la Gerencia para liderar los procesos de capacitación, motivación e incentivo de los equipos de trabajo, generación de nuevas actitudes, seguridad, desarrollo y reconocimiento, para lograr un alto involucramiento de los talentos humanos.

⁶ Amendola L.

1.6.2 CONFIABILIDAD DE LOS PROCESOS

Implica la operación de equipos dentro de los rangos de funcionamiento establecidos, o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin generar sobrecarga a los equipos.

Además, implica el correcto entendimiento de los procesos y procedimientos.

1.6.3 MANTENIBILIDAD DE EQUIPOS

Es decir la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un período de tiempo determinado. Depende de la fase de diseño de los equipos (Confiabilidad inherente de diseño), de la confiabilidad de los equipos de trabajo. Se puede medir a través del indicador TMPR: Tiempo Medio Para Reparar.

1.6.4 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS

Determinada por las estrategias de mantenimiento, consiste en la probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones operables, durante un período de tiempo. La efectividad del Mantenimiento, se puede medir a través del indicador TMBF: Tiempo Medio Entre Fallas.

Un proceso de desarrollo de la Confiabilidad Operacional implica cambios en la cultura de la empresa, creando un organismo diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión clara de los fines del negocio. La confiabilidad como cultura busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se efectúen bien desde la primera vez y por siempre; no se acepta que se hagan las cosas precariamente o a medias.

CAPITULO II

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

2.1 INTRODUCCIÓN

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante los 70's con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la aviación comercial en Estados Unidos.

“El RCM fué originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “ Reliability Centered Maintenance” / “ Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el libro que dió nombre al proceso.

Este libro fué la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los USA, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado: Guía MSG 1, evaluación del mantenimiento y desarrollo del programa, y el documento presentado en 1970 para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los USA).

En 1980, la ATA produjo el MSG – 3, Documento para la planeación de programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fué influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG – 3 ha sido revisado

dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial.”⁷

En la actualidad se debe cumplir con una norma, para que el proceso sea considerado como RCM; esta norma es la SAE JA1011 (Evaluation Criteria for Reliability – Centered Maintenance RCM Processes)

En aquel tiempo se denotaron varios modelos de modos de fallos, los más representativos fueron: aquellos representados por la curva de la bañera (1.5.1.1.3) y el representado por la distribución exponencial (1.5.1.1.4), este último es el que más se adapta a los modelos de equipos y sistemas complejos existentes en la actualidad.

2.2 DEFINICIÓN

RCM (Sus siglas en inglés, que significan: Reliability Centered Maintenance) Mantenimiento centrado en Confiabilidad es un proceso que se usa para determinar lo que se debe hacer para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente, involucrando la mayor participación del personal dentro de una empresa.

Dicho de otra forma; RCM es un proceso estructurado que permite definir las estrategias de mantenimiento que deben hacerse, para que los activos continúen cumpliendo con sus funciones dentro de su respectivo contexto operacional.

⁷ John Moubray

2.3 PROCESO RCM

2.3.1 SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

“El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de revisión del RCM. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro de equipos completo, en el caso d que no existiera uno.

Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como sigue:

- Cuáles son las funciones?
- De qué forma puede fallar?
- Qué causa que falle?
- Qué sucede cuando falla?
- Qué ocurre si falla?
- Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- Que sucede si no puede prevenirse la falla? ”⁷

La contestación detallada a cada una de estas preguntas es el paso primordial para llevar a cabo un buen RCM. Para lo cual se necesita conocer:

2.3.1.1 Funciones y estándares de funcionamiento

Consiste en determinar las funciones explícitas de cada elemento físico, así como establecer los estándares de funcionamiento; Estos estándares se extienden a la operación, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

⁷ John Moubray

2.3.1.2 Fallas Funcionales

Falla Funcional, es la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Este paso consiste en identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones.

2.3.1.3 Clasificación de los fallos⁸

2.3.1.3.1 *Según se manifiesta el fallo*

- Evidente
- Progresivo
- Súbito
- Oculto

2.3.1.3.2 *Según su magnitud*

- Parcial
- Total

2.3.1.3.3 *Según su manifestación y magnitud*

- Cataléptico: súbito y total;
- Por degradación: progresivo y parcial

2.3.1.3.4 *Según el momento de aparición*

- Infantil o precoz
- Aleatorio o de tasa de fallos constante
- De desgaste o envejecimiento

⁸ ISO 14224

2.3.1.3.5 *Según sus efectos*

- Menor
- Significativo
- Crítico
- Catastrófico

2.3.1.3.6 *Según sus causas*

- Primario: la causa directa está en el propio sistema
- Secundario: la causa directa está en otro sistema
- Múltiple: fallo de un sistema tras el fallo de su dispositivo de protección

2.3.1.4 **Modos de falla**

Consiste en identificar los modos de falla que tienen mayor posibilidad de causar la pérdida de una función, es decir de conllevar a la falla.

A continuación, algunos modos de falla:

2.3.1.4.1 *Sobrecargas*

Cuando se producen esfuerzos mecánicos que causan deformaciones elásticas o plásticas sobre el material, evitando que este cumpla con su función adecuadamente.

- *Falla por deformación elástica.*- Ocurre siempre que la deformación elástica (que desaparece) de un elemento de máquina, causada por las cargas o temperaturas de operación impuestas, es lo suficientemente grande para interferir en la capacidad de funcionamiento de la máquina.
- *Falla por fluencia.*- Tiene lugar cuando se presenta deformación plástica permanente, causada porque los esfuerzos de operación

superan el límite de fluencia del material, lo que ocasiona el incorrecto funcionamiento del material.

- *Falla por fractura dúctil.*- Ocurre cuando los esfuerzos de operación para un elemento de comportamiento dúctil sobrepasan el límite de rotura, dejando una superficie de fractura con elevada reducción de área, de aspecto opaco y en forma de crestas y valles.
- *Falla por fractura frágil.*- Ocurre cuando la deformación elástica de un elemento mecánico de comportamiento frágil es llevado a tal extremo que los principales enlaces atómicos se rompen y se produce la fractura a gran velocidad, sin presentar reducción de área en la superficie de fractura.
- *Falla por escurrimiento o flujo plástico.*- Se produce siempre que en un elemento mecánico se acumula la deformación plástica, tal que en un lapso de tiempo se produce la falla funcional.
- *Falla por impacto.*- se produce cuando por acción de una fuerza de impacto, se generan esfuerzos y deformaciones tales que deshabilitan funcionalmente elemento mecánico.

2.3.1.4.2 *Fricción*

Se produce desgaste por el movimiento relativo entre 2 elementos sólidos en contacto.

- *Falla por retrate.*- Ocurre cuando los cambios en las dimensiones de las partes en contacto, en virtud de la acción de frotamiento, se hacen lo suficientemente grandes para ocasionar la falla.

2.3.1.4.3 *Abrasión*

Se produce por la rayadura o arranque de material por partículas abrasivas, lo que produce un cambio en las dimensiones del elemento produciendo mayor desgaste, normalmente vibraciones.

2.3.1.4.4 *Fatiga*

Se da cuando existen cargas fluctuantes actuando sobre el elemento por un intervalo de tiempo, se produce sin síntomas previos.

Ocurre con el inicio y propagación de una grieta hasta que esta se hace inestable y se propaga súbitamente, causando la falla. Cuando las cargas son de tal magnitud que se necesitan más de 10000 ciclos aproximadamente para producir la falla, el fenómeno suele llamarse *fatiga de ciclo alto*. Cuando las cargas son de tal intensidad que se requieren menos de 10000 ciclos para producir la falla, el fenómeno suele llamarse *fatiga de ciclo bajo*. Se puede deber a un mal diseño o a un cambio de frecuencia o amplitud de las cargas fluctuantes.

2.3.1.4.5 *Sobretemperaturas*

Estas se producen por: mala lubricación, fricción sólida, fallos en los sistemas de enfriamiento, esfuerzos térmicos ;causando dilatación o choques térmicos en los materiales, lo que conlleva al desgaste y falla de los materiales.

- *Falla por choque térmico.-* Ocurre cuando la variación de temperatura en un elemento mecánico es violenta, generando un cambio de las propiedades del elemento, y provocando la falla.

2.3.1.4.6 *Corrosión*

Consiste en la degradación de un material que busca retornar al mineral que inicialmente fue.

- *Falla por corrosión generalizada.-* Se la conoce como falla por oxidación, ocurre cuando el oxígeno del aire actúa sobre el material metálico generando óxido metálico y desgastando el material.

- *Falla por corrosión galvánica.*- ocurre cuando en un conjunto mecánico existe materiales con distintos potenciales (serie electroquímica), y se presentan condiciones adecuadas para la formación de una celda galvánica; en donde el ánodo(material con menor potencial) se desgasta por el flujo de electrones hacia el cátodo(material con mayor potencial), causando la falla.
- *Falla por corrosión por picadura.*- ocurre sobre la superficie de un material metálico que está en contacto con agua, por un lapso de tiempo, especialmente al estar en contacto con soluciones salinas (agua + sales, agua de mar). Se presentan agujeros grandes y pequeños, a distancias regulares, da la impresión de una superficie porosa.
- *Falla por corrosión solapada.*- ocurre cuando el proceso de corrosión se presenta por la humedad en zonas cerradas, como grietas, juntas, malas capas de pintura, etc., la corrosión solapada es acelerada y muy difícil de detectar.
- *Falla por corrosión bajo tensión.*- se produce cuando esfuerzos de tensión aplicados a una pieza mecánica en un ambiente corrosivo generan un campo de grietas superficiales localizadas, usualmente a lo largo de una serie de fronteras granulares, que provocan incapacidad de la pieza para realizar su función. Se puede presentar cuando existen tensiones residuales.
- *Falla por corrosión selectiva.*- Se produce cuando en una aleación sólida, uno de sus elementos es separado, por la elevada diferencia de potencial entre los elementos de la aleación, puede derivar en picadura; generalmente se da con el latón (CuZn) utilizado en intercambiadores de calor, donde se gasta el Zn; también se presenta con frecuencia en el hierro gris.
- *Falla por corrosión intergranular.*- Ocurre en las fronteras granulares de ciertas aleaciones de cobre, níquel, aluminio, magnesio y cinc, así como en aceros inoxidable y resistentes a altas temperaturas, cuando se han sometido a procesos de tratamientos térmicos o soldadura incorrectos. La formación de

celdas galvánicas locales que precipitan los productos de la corrosión en las fronteras granulares degrada seriamente la resistencia del material, presentando tamaños de grano increíblemente grandes lo que hace el material se fracture con facilidad.

- *Falla por corrosión erosión.*- Se produce por un ataque físico químico acelerado cuando el material abrasivo o viscoso fluye sobre una superficie a la que despoja de cantidades pequeñas de material, quedando este desprotegido contra la acción del medio corrosivo.
- *Falla por corrosión biológica.*- Se produce cuando microorganismos vivos realizan procesos de ingestión de alimentos (por ejemplo: se comen los sulfuros de hierro, por lo general en tuberías de petróleo) y eliminación de desechos (por ejemplo: ácidos o hidróxidos corrosivos), provocando a largo plazo la falla.

2.3.1.4.7 *Cavitación*

Se produce en máquinas en las que existen presiones de vacío y líquidos. A baja presión los líquidos se vaporizan a temperatura ambiente y al pasar en fracciones de segundo a presiones altas, el vapor se condensa en forma violenta causando implosiones que arrancan material de la superficie del elemento mecánico, y con el tiempo produce la falla superficial y estructural de los mismos. Las huellas dejadas por la cavitación tienen forma de agujeros redondeados y alargados. Generalmente se presenta en la superficie interior de las carcasas de las bombas.

2.3.1.4.8 *Golpe de ariete*

Se divide dependiendo de la instalación:

- *Golpe de ariete en instalaciones hidráulicas.*- Se produce por desaceleración forzada del flujo en válvulas y accesorios, lo que genera una onda de presión y sonora de alta intensidad que produce la falla o fatiga de los materiales.
- *Golpe de ariete en instalaciones de gas o vapor.*- Por una mala evacuación del condensado se producen porciones de líquido que son llevadas casi a la velocidad del gas, lo cual al impactar en accesorios o válvulas, producen golpes y esfuerzos fluctuantes que conllevan a la falla o fatiga de los materiales.

2.3.1.4.9 Incrustaciones y contaminantes (suciedad)

Dependiendo del sistema y en procesos tales como el de combustión, vaporización, etc., se forma en las paredes capas de suciedad o incrustaciones, lo que con el tiempo se acumula y produce la falla de la máquina.

2.3.1.4.10 Arco eléctrico

En circuitos de potencia, entre elementos móviles se producen pequeños y grandes arcos eléctricos que desgastan y pueden destruir los elementos.

2.3.1.5 Efectos de los fallas

Estos consisten en la exteriorización de los modos de falla, en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera la falla. Este paso permite decidir la importancia de cada falla y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

Entonces RCM se encarga de priorizar el “cómo y cuánto importa cada falla”. La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla denotan si se necesita tratar de prevenirlos. RCM clasifica las consecuencias de las fallas:

2.3.1.5.1 Consecuencias no evidentes

Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas.

2.3.1.5.2 Consecuencias en seguridad y el medio ambiente

Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente.

2.3.1.5.3 Consecuencias operacionales

Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación).

2.3.1.5.4 Consecuencias que no son operacionales

Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

2.3.1.5.5 *Estrategias de mantenimiento según el tipo de consecuencia*⁹

CONSECUENCIAS NO EVIDENTES

- ❖ Mantenimiento Preventivo
 - A condición (inspecciones).
 - A tiempo fijo.
- ❖ Mantenimiento Predictivo

CONSECUENCIAS EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

- ❖ Mantenimiento Preventivo
 - A condición (inspecciones).
 - A tiempo fijo.
- ❖ Mantenimiento Predictivo

CONSECUENCIAS OPERACIONALES

- ❖ Mantenimiento Preventivo
 - A condición (inspecciones).
 - A tiempo fijo.
- ❖ Mantenimiento Predictivo

CONSECUENCIAS NO OPERACIONALES

- ❖ Mantenimiento Correctivo

Se puede implementar tareas proactivas, dependiendo las necesidades particulares del objeto de análisis (equipo, componente o sistema).

2.3.2 CAUSAS DE FALLA

Consiste en todo aquello que produce el inicio de la falla operacional; Constituyen ya sea una debilidad en el diseño, material o proceso.

⁹ Aguinaga Álvaro

2.3.3 SELECCIÓN DE ÍTEMS CRÍTICOS

El objetivo fundamental de esta tarea es la identificación de los componentes que se consideran críticos para el adecuado funcionamiento del sistema en cuestión. La catalogación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo que permita impedir sus posibles causas de fallo.

Para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo deben considerarse dos aspectos: su probabilidad de aparición y su severidad. La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad que el impacto de ese fallo puede provocar sobre la instalación.

Si no se dispone de una base de datos fiable y eficiente para el cálculo de las probabilidades mencionadas, se puede considerar como criterio único para catalogar la criticidad de los fallos de los equipos su impacto sobre la función o funciones definidas para el sistema objeto de análisis, si bien conviene establecer las medidas adecuadas para que, en un futuro, se pudiera disponer de la información relativa al término de probabilidad. En algunos casos, puede resultar conveniente subdividir el sistema objeto de evaluación en varios subsistemas claramente delimitados para facilitar su análisis. Estos subsistemas que se analizan como si se tratase de sistemas principales, se caracterizan por desarrollar una función específica en el sistema considerado y están constituidos por determinados componentes o equipos.

Las interfaces del sistema en cuestión constituirán sus fronteras con otros sistemas de la planta y en su interior están, normalmente, todos los componentes cuya criticidad se va a analizar. En los procedimientos técnicos del proyecto RCM, normalmente se establece una lista de tipos de componentes que, con criterio general, se excluyen del análisis (por ejemplo: válvulas manuales menores de dos pulgadas, soportes rígidos, termopares, etc.).

El análisis de criticidad es, en esencia, un análisis de fiabilidad del sistema considerado y suele consumir un importante nivel de recursos. El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema consiste en la determinación, en primer lugar, de las funciones que debe realizar el sistema considerado dentro del conjunto de la instalación, así como de sus fallos funcionales asociados. Para cada uno de estos fallos funcionales, se identifican aquellos componentes cuyo fallo da lugar al fallo funcional en estudio, provocando efectos negativos en la instalación. A estos componentes se les denomina “componentes críticos”. Esta evaluación se realiza normalmente mediante la conocida técnica de fiabilidad denominada “Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos” (AMFE).

Para determinados sistemas, se suele plantear la optimización de los recursos dedicados al análisis de la criticidad de sus componentes, reduciendo el nivel sistemático del proceso de análisis que supone el desarrollo de un AMFE y el notable volumen de documentación que se genera. En tales casos, se suele usar un método simplificado de análisis, siendo la “Lista de Criticidad” uno de los más utilizados.

Este método de la Lista de Criticidad, basado en la identificación de las consecuencias negativas que pueden producir los fallos potenciales de los diferentes componentes sobre el sistema bajo estudio, consiste en la aplicación de una lista o batería de preguntas a cada componente del sistema considerado, en función de sus respuestas, catalogarlo como crítico o no crítico. Dichas preguntas tienen que ver, entre otros aspectos, con la pérdida de producción, de seguridad, de las condiciones adecuadas de operación o el incremento de contaminación ambiental.

2.3.4 TRATAMIENTO DE LOS ÍTEMS NO CRÍTICOS

En el paso anterior los ítems críticos se seleccionan para el análisis extenso del RCM. Sin embargo, ocurre que en el sistema existen ítems que no son

analizados (por ser no críticos), en este caso las plantas tienen un programa de mantenimiento para estos ítems no críticos, o a su vez el mantenimiento se debe realizar según las especificaciones técnicas del proveedor.

Aunque la teoría del RCM admite que a los componentes considerados como no críticos se les deje operar hasta su fallo sin aplicarles ningún tipo de mantenimiento preventivo, se recomienda efectuar una evaluación de estos componentes no críticos antes de tomar esta decisión.

En los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad, pudiéndose utilizar métodos de análisis de fácil manejo y gran utilidad para obtener resultados a las preguntas anteriores; el método con mayor representatividad es el **Análisis Modal de Falla – Efecto (AMFE)**, este ayuda a contestar las cuatro primeras preguntas que plantea el RCM, el mismo que puede utilizar varias herramientas de calidad, como diagramas de causa-efecto (Ishikawa), diagramas de Pareto, análisis de Causa Raíz (RCA), entre otras.

2.3.4.1 Tareas de mantenimiento

El RCM persigue como objetivo optimizar las tareas de mantenimiento para prevenir fallas, por lo cual pone especial énfasis en la información obtenida por respuesta a las 7 preguntas de RCM, para encontrar los elementos críticos del equipo o sistema.

RCM programa tareas de mantenimiento, totalmente justificadas, de acuerdo a la necesidad individual de cada elemento crítico dentro de un equipo o sistema, esto puede ser tareas a condición, tareas cíclicas preventivas, tareas proactivas.

2.3.4.1.1 *Tareas “A condición”*⁷

La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las tareas de mantenimiento tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de falla. La mayoría de estas técnicas nuevas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están por ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallas potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son usadas para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que pueda hacerse algo antes de que se conviertan en verdaderas fallas funcionales. Estas técnicas se conocen como tareas a condición, porque los elementos sigan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

2.3.4.1.2 *Tareas a tiempo fijo*

También llamadas “Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica: Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.”⁷

“Una gran ventaja del RCM es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quien debe de hacerlo. Estos criterios forman la mayor parte de los programas de entrenamiento del RCM. El RCM también ordena las tareas en un orden descendiente de prioridad. Si las tareas no son técnicamente factibles, entonces se debe tomar una acción apropiada.”⁷

⁷ John Moubray

2.3.4.2 El personal implicado

Es necesaria la conformación de grupos reducidos de trabajo, los mismos que deben incluir por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción. Ambos con un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM.

“Los *Grupos de Trabajo RCM* están integrados por quienes mejor conocen los equipos: gente de operaciones y de mantenimiento. Ellos definen el contexto operacional, las funciones requeridas de los equipos, sus fallas funcionales, las causas raíz de falla, sus efectos, sus niveles de criticidad y finalmente, la estrategia más adecuada para cada caso.

Fig. 2.1: Grupo Típico de Trabajo RCM



Son conducidos por un Facilitador.”¹⁰

2.3.4.2.1 Facilitador

Es un especialista en RCM, controla el proceso y su correcto desarrollo, quién sirve de enlace entre los grupos de trabajo y los de la gerencia.

¹⁰ www.maconultora.com

“El Facilitador RCM es alguien muy bien entrenado en el uso de la técnica.”¹⁰

“Los grupos de revisión del RCM trabajan bajo la asesoría de un especialista bien entrenado en el RCM, que se conoce como un facilitador. Los facilitadores son el personal más importante en el proceso de revisión del RCM. Su papel es asegurar que:

- ✓ Se aplique el RCM correctamente (que se hagan las preguntas correctamente y en el orden previsto, y que todos los miembros del grupo las comprendan.)
- ✓ Que el personal del grupo (especialmente el de producción y mantenimiento) consiga un grado razonable de consenso general acerca de cuales son las respuestas a las preguntas formuladas.
- ✓ Que no se ignore cualquier componente o equipo
- ✓ Que las reuniones progresen de forma razonable
- ✓ Que todos los documentos del RCM se llenen debidamente.”⁷

2.3.4.2.2 *Los auditores*

Son personas capacitadas que comprueban que el proceso ha sido culminado correctamente, son delegados del facilitador.

2.3.5 LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR RCM⁷

¿Qué puede lograr el RCM?

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. Cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes:

⁷ John Moubay
¹⁰ www.maconultora.com

2.3.5.1 Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:

- ✓ Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- ✓ La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
- ✓ La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
- ✓ Menos fallas causados por un mantenimiento innecesario.

2.3.5.2 Mejores rendimientos operativos, debido a:

- ✓ Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- ✓ Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- ✓ Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
- ✓ Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- ✓ Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas
- ✓ Menos problemas de “desgaste de inicio” después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.
- ✓ La eliminación de elementos superfluos y como consecuencia los fallas inherentes a ellos.
- ✓ La eliminación de componentes que presentan una baja, casi nula fiabilidad..
- ✓ Un conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.

2.3.5.3 Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a:

- ✓ Menor mantenimiento rutinario innecesario
- ✓ Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas)
- ✓ La prevención o eliminación de las fallas costos.
- ✓ Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva
- ✓ Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de las plantas
- ✓ Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición (“condition monitoring”)
- ✓ Además de la mayoría de la lista de puntos que se dan más arriba bajo el título de “Mejores rendimientos operativos”.

2.3.5.4 Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.

2.3.5.5 Una amplia base de datos de mantenimiento, que:

- ✓ Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- ✓ Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
- ✓ Provee una base valiosa para la introducción de los sistemas expertos
- ✓ Conduce a la realización de planos y manuales más exactos
- ✓ Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.

2.3.5.6 Mayor motivación de las personas

Especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un “compartir” más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

2.3.5.7 Mejor trabajo de grupo

Motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones.

Esto mejora la comunicación y la cooperación entre:

- ✓ Las áreas: Producción u operación así como los de la función del mantenimiento.
- ✓ Personal de diferentes niveles: los gerentes, los jefes de departamentos, técnicos y operarios.
- ✓ Especialistas internos y externos: los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y para hacer participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

CAPITULO III

ANALISIS MODAL DE FALLA Y EFECTO (AMFE)

3.1 INTRODUCCIÓN

El AMFE se desarrolló en la industria militar de USA en nov-49 recibió una especificación en la Norma MIL-P-16291 "Procedimientos para la realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad"

En 1988 los requerimientos de calidad ISO9000 forzaron a la industria automotriz Chrysler, Ford y General Motors a estandarizar un sistema de suministro de calidad y utilizaron el AMFE para diseño y proceso dentro de su APQP (Advance Product Quality Planning)

En 1993 AIAG (Automotive Industry Action Group) y ASQC (American Society for Quality Control) incluyeron el AMFEA dentro de sus estándares técnicos (SAE J-1739). En la actualidad es un método básico de análisis en el sector del automóvil que se ha extrapolado satisfactoriamente a otros sectores.

3.1.1 DEFINICIÓN

El análisis modal de falla y efecto AMFE (Failure Mode and Effect Analysis. FMEA, en inglés), es una herramienta de análisis para la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un producto, servicio o proceso, con la finalidad de obtener la mayor satisfacción del cliente.

Esta es una herramienta fundamental en la aplicación de RCM.

3.1.2 TIPOS DE AMFE ¹¹

Se pueden distinguir dos tipos de AMFE según en el marco de la gestión del proceso donde se inscriba:

3.1.2.1 AMFE de diseño

Tiene que ver con el diseño de nuevos productos

Ejemplo: (en el sector del automóvil)

El AMFE de diseño va dirigido al producto, es decir, al diseño del automóvil y sus componentes.

3.1.2.2 AMFE de proceso

Tiene que ver con el diseño del proceso de fabricación.

Ejemplo: (en el sector del automóvil)

El AMFE de proceso está dirigido al proceso de fabricación, es decir, a los medios de producción que se utilizan.

3.2 Detalle de AMFE

Este método emplea criterios de clasificación que también son propios de la Seguridad en el Trabajo, como: la posibilidad de acontecimiento de los fallos o hechos indeseados y la severidad o gravedad de sus consecuencias. Ahora bien, el AMFE introduce un factor de especial interés, que es la capacidad de

¹¹ HOR DAGO

detección del fallo producido por el destinatario o usuario del equipo o proceso analizado.

USUARIO O CLIENTE

Se trata de un trabajador o equipo de personas que reciben en un momento determinado un producto o parte del mismo en un proceso productivo, para intervenir en el, o bien quien ha de utilizarlo en su lugar de aplicación como cliente final.

PRODUCTO

El producto puede ser una pieza, un conjunto de piezas, el producto final obtenido de un proceso o incluso el mismo proceso. Lo importante es poner el límite a lo que se pretende analizar y definir la función esencial a realizar, lo que se denomina identificación del elemento y determinar de que subconjuntos / subproductos está compuesto el producto

3.3 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO AMFE

A continuación se indican de manera ordenada y esquemática los pasos necesarios para obtener la información requerida por el método AMFE, para su análisis y aplicación de forma genérica.

3.3.1 DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE E IDENTIFICACIÓN

Debe identificarse el PRODUCTO o parte del PROCESO incluyendo todos los subconjuntos y los componentes que forman parte del producto/proceso que se vaya a analizar, bien sea desde el punto de vista de diseño del producto/proyecto o del proceso propiamente dicho. Es útil complementar tal identificación con códigos numéricos que eviten posibles confusiones al definir los componentes.

3.3.2 PARTE DEL COMPONENTE. OPERACIÓN O FUNCIÓN

Se completa con distinta información dependiendo de si se está realizando un AMFE de diseño o de proceso. Para el AMFE de diseño se incluyen las partes del componente en que puede subdividirse y las funciones que realiza cada una de ellas, teniendo en cuenta las interconexiones existentes. Para el AMFE de proceso se describirán todas las operaciones que se realizan a lo largo del proceso o parte del proceso productivo considerado, incluyendo las operaciones de aprovisionamiento, de producción, de embalaje, de almacenado y de transporte. Se habla de un Contexto Operacional.

3.3.3 MODO DE FALLA

El "Modo de Fallo Potencial" se define como la forma en la que una pieza o conjunto pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente. Los modos de fallo potencial se deben describir en términos "físicos" o técnicos, no como síntoma detectable por el cliente. El error humano de acción u omisión en principio no es un modo de fallo del componente analizado. Es recomendable numerarlos correlativamente. Un fallo puede no ser detectable inmediatamente, esto es importante a considerar y por tanto no debería nunca pasarse por alto.

3.3.4 EFECTO/S DEL FALLA

Normalmente es el síntoma detectado por el cliente/ usuario del modo de fallo, es decir si ocurre el fallo potencial como lo percibe el cliente, pero también como repercute en el sistema. Se trata de describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre deberían indicarse en términos de rendimiento o eficacia del

producto/proceso. Es decir, hay que describir los síntomas tal como lo haría el propio usuario.

Cuando se analiza solo una parte se tendrá en cuenta la repercusión negativa en el conjunto del sistema, para así poder ofrecer una descripción más clara del efecto.

Si un modo de fallo potencial tiene muchos efectos, a la hora de evaluar, se elegirán los más graves.

3.3.5 CAUSAS DEL MODO DE FALLA

La causa o causas potenciales del modo de fallo están en el origen del mismo y constituyen el indicio de una debilidad del diseño cuya consecuencia es el propio modo de fallo.

Es necesario relacionar con la mayor amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que pueda asignarse a cada modo de fallo. Las causas deberán relacionarse de la forma más concisa y completa posible para que los esfuerzos de corrección puedan dirigirse adecuadamente. Normalmente un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas.

3.3.6 ÍNDICES DE CONFIABILIDAD PARA AMFE ¹²

Se trata de una cuantificación del análisis previsto

3.3.6.1 Gravedad

Este índice está íntimamente relacionado con los efectos del modo de fallo. Valora el nivel de consecuencias sentidas por el cliente, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el costo de reparación.

¹² Bestratén M.

- Este índice sólo es posible mejorarlo mediante acciones en el diseño, y no deberían afectarlo los controles derivados de la propia aplicación del AMFE o de revisiones periódicas de calidad.
- El cuadro de clasificación de tal índice debería diseñarlo cada empresa en función del producto, servicio, proceso en concreto.
- Generalmente el rango es con números enteros, en la tabla adjunta la puntuación va del 1 al 10, aunque a veces se usan rangos menores (de 1 a 5), desde una pequeña insatisfacción, pasando por una degradación funcional en el uso, hasta el caso más grave de no adaptación al uso, problemas de seguridad o infracción reglamentaria importante. Una clasificación tipo podría ser la representada en la Cuadro 3.1.

CUADRO 3.1. Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario ¹²

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2 - 3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4 - 6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7 - 8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias.	9 - 10

¹² Bestratén M.

3.3.6.2 Frecuencia

Mide la repetitividad potencial u ocurrencia de un determinado fallo, en términos de fiabilidad se llama la probabilidad de aparición del fallo.

Se trata de una evaluación subjetiva, se recomienda, utilizar datos históricos o estadísticos si se dispone de información. No obstante, la experiencia es esencial. La frecuencia de los modos de fallo de un producto final con funciones clave de seguridad, adquirido a un proveedor, debería ser suministrada al usuario, como punto de partida, por dicho proveedor. Una posible clasificación se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo¹²

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR	PROBABILIDAD
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1	1/10000
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 - 3	1/5000 – 1/2000
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 - 5	1/1000 – 1/200
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6 - 8	1/100 – 1/50
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 - 10	1/20 – 1/10

¹² Bestratén M.

3.3.6.3 Detectabilidad

Tal como se definió anteriormente este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los "controles actuales" existentes a tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue al cliente final. Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad y mayor el consiguiente índice de Riesgo, determinante para priorizar la intervención. Una posible clasificación se muestra en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo ¹²

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR	PROBABILIDAD
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1	1/10000
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2 - 3	1/5000 – 1/2000
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4 - 6	1/1000 – 1/200
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento	7 - 8	1/100 – 1/50
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9 - 10	1/20 – 1/10

¹² Bestratén M.

3.3.6.4 Índice de prioridad de riesgo (IPR)

El Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) es el producto de la gravedad, la frecuencia y la detectabilidad; y debe ser calculado para todas las causas de fallo. El IPR es usado con el fin de priorizar la causa potencial del fallo para posibles acciones correctoras. El IPR también es denominada NPR (número de prioridad de riesgo).

No se establece un criterio de clasificación de tal índice. No obstante un IPR inferior a 100 no requeriría intervención salvo que la mejora fuera fácil de introducir y contribuyera a mejorar aspectos de calidad del producto, proceso o trabajo.

3.3.7 ACCIÓN CORRECTORA

La acción correctora tiene lugar cuando el IPR para cierto elemento en estudio, es mayor al límite diseñado (el valor típico es 100), o cuando alguno de las índices de confiabilidad del AMFE es mayor a un límite dispuesto por el equipo de trabajo.

En este paso se incluye una descripción breve de la acción correctora recomendada. Para las acciones correctoras es conveniente seguir un cierto orden de prioridad en su elección. El orden de preferencia en general será el siguiente:

- Cambio en el diseño del producto, servicio o proceso general.
- Cambio en el proceso de fabricación.
- Incremento del control o la inspección.

Siempre hay que mirar por la eficiencia del proceso y la minimización de costos de todo tipo, generalmente es más económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo que dedicar recursos a la detección de fallos. No

obstante, la gravedad de las consecuencias del modo de fallo debería ser el factor determinante del índice de prioridad del riesgo. O sea, si se llegara al caso de dos situaciones que tuvieran el mismo índice, la gravedad sería el factor diferencial que marcaría la prioridad.

3.3.7.1 Si la Acción Correctora no fuese suficiente ⁹

Si a pesar de haber implementado las acciones correctoras indicadas, los índices de confiabilidad del AMFE se mantienen en niveles altos, corresponde tomar medidas emergentes tales como:

- Implementar procesos, sistemas o equipos redundantes que puedan realizar (a veces, inclusive en tiempos cortos) las mismas funciones (al menos las primarias) durante el tiempo de reparación o reemplazo del equipo o máquina con falla.
- Disponer en la bodega, de repuesto de elementos y componentes en los que se puede provocar los fallos analizados y todos los materiales herramientas e instrumentos que pueden posibilitar la reparación de una manera organizada y por sobre todo rápida.

3.3.8 RESPONSABLE Y PLAZO ¹²

Como en cualquier planificación de acciones correctoras se deberá indicar quien es el responsable de cada acción y las fechas previstas de implantación.

3.3.9 ACCIONES IMPLANTADAS

Este apartado es opcional, no siempre lo contienen los métodos AMFE, pero puede ser de gran utilidad recogerlo para facilitar el seguimiento y control de las soluciones adoptadas. Se deben reflejar las acciones realmente

⁹ Aguinaga A.
¹² Bestratén M.

implantadas que a veces puede ser que no coincidan exactamente con las propuestas inicialmente. En tales situaciones habría que recalcular el nuevo IPR para comprobar que está por debajo del nivel de actuación exigido.

Antes de implementar las acciones correctoras se tiene un cuadro AMFE inicial, mas, luego de implementarlas, se obtiene un cuadro AMFE “corregido” o definitivo.

CAPITULO IV

DESARROLLO Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE RCM PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS

4.1 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE RCM PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS (PYMES)

La producción, el mantenimiento y al calidad son pilares fundamentales en las actividades productivas de toda empresa.

“Las PYMES en el Ecuador, al igual que en todos los países del mundo, son el aparato productivo del país, lo cual ha llevado a nivel internacional ha promover el aumento de la competitividad empresarial... “¹³

4.1.1 DEFINICIÓN DE: PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS EN ECUADOR (PYMES)¹⁴

Existen algunas definiciones de lo que es la pequeña y mediana industria en Ecuador, la mayoría desarrolladas por instituciones que trabajan conjuntamente y con el fin de fijar criterios de elegibilidad. Las Naciones Unidas en 1998 definen como: pequeña industria a la empresa que cuenta entre 10 a 49 empleados y mediana entre 50 y 100.

Sin embargo existen otros parámetros para definir a las PYMES, los dos más importantes son:

- Montos de activos fijos

¹³ Cámara de la Pequeña Industria del Guayas

¹⁴ Ayala E. ; Galeas M.

- Número de empleados

Cabe recalcar que el termino PYME hace referencia tanto a la pequeña como a la mediana industria en general.

4.1.1.1 Monto de activos fijos

Al referirnos a la base legal de nuestro país, existe la ley de Fomento de la Pequeña Industria la que en resumen establece como Pequeña Industria a aquella que cuyos activos físicos determinados legalmente no sobrepasan los USD 16.800, excluyendo terrenos y edificios.

4.1.1.2 Número de empleados

Con respecto al número de empleados, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) tiene un registro de las empresas sobre la base del número de empleados, existiendo siete grupos que se distribuyen de la siguiente manera:

Cuadro 4.1. Clasificación de la Empresa ecuatoriana según el número de empleados ¹⁴

GRUPO	PERSONAL OCUPADO	CALSIFICACIÓN
1	De 1 a 9	Micro Empresa
2	De 10 a 19	Pequeña Empresa
3	De 20 a 49	
4	De 50 a 99	Mediana Empresa
5	De 100 a 199	Gran Empresa
6	De 200 a 499	
7	De 500 o más	

4.1.2 ENFOQUE DE PROCEDIMIENTO RCM QUE SE VA A DESARROLLAR

El procedimiento de RCM a desarrollarse en este capítulo se enfoca principalmente hacia PYMES que involucren equipos mecánicos, maquinaria industrial y máquinas en general, dentro de sus procesos productivos.

¹⁴ Ayala E. ; Galeas M.

Se trabaja cada equipo y sus componentes detalladamente, dentro del procedimiento de RCM.

4.1.3 PROCEDIMIENTO DE RCM

En el Capítulo II se habla del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM; Esta filosofía plantea siete preguntas fundamentales, las mismas que al ser respondidas bajo un serio y elocuente proceso de análisis, por un equipo de trabajo bien conformado, determinan un procedimiento que cumple el objetivo principal del RCM, que es asegurar el desempeño normal del elemento físico en estudio, dentro de los parámetros de funcionamiento requeridos.

Para contestar las cuatro primeras y la séptima pregunta de RCM, se va a aplicar el AMFE (Análisis Modal de Falla y Efecto) detallado en el Capítulo III; esto es:

RCM		AMFE
Cuáles son las funciones?	—————▶	Funciones (dentro del Contexto Operacional)
De qué forma puede fallar?	—————▶	Modos de falla
Qué causa que falle?	—————▶	Causas de Falla
Qué sucede cuando falla?	—————▶	Efectos de Falla
Que sucede si no puede prevenirse la falla?		Cuando la acción correctora no es suficiente.

Mientras que la quinta y sexta pregunta corresponden, más bien, a la filosofía del RCM.

Qué ocurre si falla?	—————▶	Tipo de Consecuencia
Qué se puede hacer para prevenir las fallas?		Tareas de Mantenimiento

4.1.4 INFORMACIÓN QUE SE QUIERE OBTENER COMO RESULTADO DEL RCM

Partimos de la información que se necesita obtener como resultado de este procedimiento de RCM; entonces se requiere conocer:

- Un cuadro AMFE inicial, por cada equipo; en el que conste el equipo con su función principal, el componente con su función principal, los modos, efectos y causas de falla para cada componente con sus respectivos índices de confiabilidad, además de IPR.
- Un cuadro AMFE corregido, por cada equipo; que además de contener al cuadro anterior, debe aumentar las acciones correctoras y los nuevos índices de confiabilidad, así como el nuevo IPR.
- El Diagrama Funcional de cada equipo; el mismo que consta de las funciones principales y secundarias de un equipo, así como todos los componentes de este equipo con sus funciones principales y secundarias.
- Información a cerca del contexto operacional de cada equipo.
- Información de los componentes, que a pesar de las acciones correctoras, mantienen un IPR alto.
- Las tareas de mantenimiento destinadas al equipo y sus componentes.

4.1.5 DATOS NECESARIOS PARA OBTENER INFORMACIÓN REQUERIDA

Se requiere algunos datos a ser registrados para cumplir con la contestación de las siete preguntas de RCM y la consecuente obtención de la información requerida, que se expone el literal anterior.

A continuación se detalla los datos requeridos, planteados para este procedimiento de RCM:

4.1.5.1 Datos del Equipo

- Nombre
- Función Primaria
- Funciones Secundarias
- Descripción del Equipo
- Componentes

4.1.5.1.1 Contexto operacional ⁹

- Si el activo físico es parte de un proceso continuo o discontinuo.
- La redundancia o no de máquinas, sistemas o procesos.
- Parámetros técnicos requeridos y rangos de operación permitidos.
- Ambientes y alrededores del proceso.
- Riesgos a la seguridad humana y de infraestructura.
- Turnos de trabajo de operadores.
- Repuestos y materiales asociados.
- Otros particulares.

4.1.5.2 Datos del Componente

- Nombre
- Función Primaria
- Funciones Secundarias
- Descripción del componente
- Repuestos y materiales necesarios

4.1.5.3 Falla funcional

- Modos de Falla.

⁹ Aguinaga A.

- Efectos de Falla.
- Tipo de Consecuencia.
- Causas de Falla.

4.1.5.4 Acciones correctoras

- Índices de confiabilidad del AMFE.
- Acciones correctoras.
- Responsables.

4.1.5.5 Tareas de mantenimiento

- Cuadro AMFE.
- Nombre de la tarea de mantenimiento.
- Descripción de las tareas de mantenimiento.

4.2 AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE RCM

La automatización del procedimiento de RCM para PYMES por medio de Microsoft ACCESS mostrará de una manera menos tediosa las labores de planeación de mantenimiento, reducirá el papeleo y ayudará a una mejor presentación de resultados.

Una base de datos realizada en Microsoft ACCESS es un sistema que se utiliza para administrar información por medio de un computador, en el cual es posible realizar las siguientes operaciones:

- Agregar archivos.
- Ingresar Información.
- Generar nuevos datos a partir de los existentes.

- Borrar Información.
- Realizar búsquedas, consultas.
- Presentar información de manera personalizada, informes.
- Eliminar archivos; entre las más significativas.

4.2.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

El diseño de una base de datos consta de tres partes fundamentales:

- Diseño Conceptual.
- Diseño Lógico.
- Diseño Físico.

4.2.1.1 Diseño Conceptual¹⁵

Consiste en determinar un diagrama de Entidad – Relación, para el procedimiento a desarrollarse.

4.2.1.1.1 Entidad

Representa el objeto del mundo real, este es el elemento principal dentro del análisis en un diagrama entidad – relación. Una entidad representa una TABLA.

Su representación gráfica es un Rectángulo.

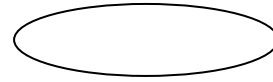


4.2.1.1.2 Atributos

Son característica particulares de una entidad o propiedades de una TABLA.

¹⁵ www.itlp.edu.mx

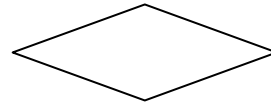
Su representación gráfica es una elipse.



4.2.1.1.3 Relaciones

Son los enlaces que rigen la unión de las entidades o TABLAS.

Su representación gráfica es un Rombo.



4.2.1.1.4 Diagrama entidad – relación

Es un modelo que representa la realidad a través de un esquema gráfico, denota como se relacionan las entidades dentro del sistema

4.2.1.1.5 Tipos de Relaciones¹⁶

Relación uno a varios 1 ∞

La relación uno a varios es el tipo de relación más común. En este tipo de relación, un registro de la Tabla A puede tener muchos registros coincidentes en la Tabla B, pero un registro de la Tabla B sólo tiene un registro coincidente en la Tabla A.

Fig. 4.1: Ejemplo de relación uno a varios

Proveedores: Tabla		
Id. de proveedor	Nombre producto	Nombre del contacto
1	Exotic Liquids	Charlotte Cooper
2	New Orleans Cajun Delights	Shelly Burke
3	Grandma Kelly's Homestead	Regina Murphy
4	Tokyo Traders	Yoshi Nagase

Un proveedor...

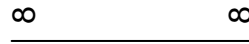
Productos: Tabla			
Id. de producto	Nombre producto	Unidades en existencia	Id. de proveedor
1	Chai	39	1
2	Chang	17	1
3	Aniseed Syrup	13	1
4	Chef Anton's Cajun Seaso	53	2
5	Chef Anton's Gumbo Mix	0	2

... puede suministrar más de un producto

Pero cada producto tiene un único proveedor

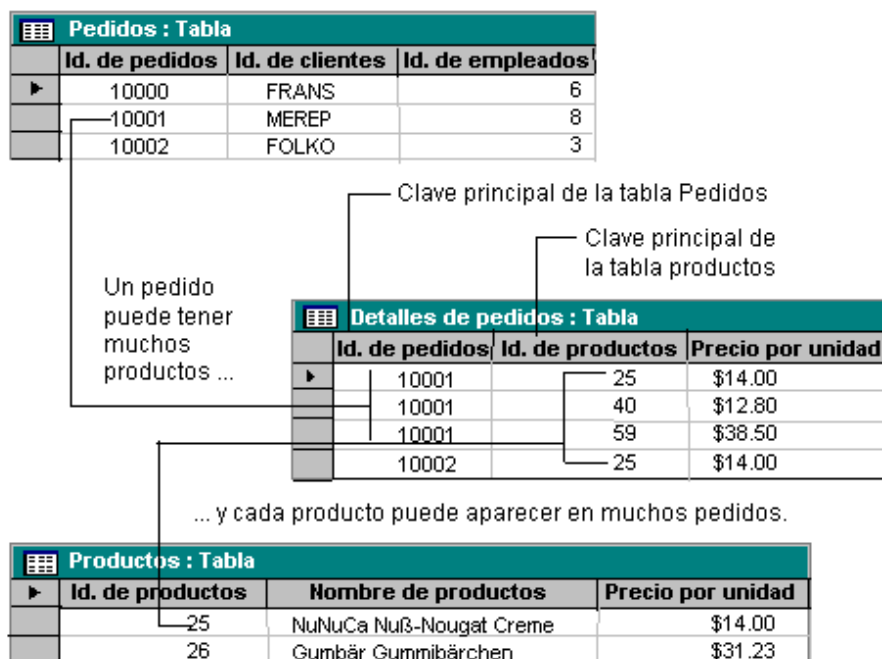
¹⁶Microsoft Access

Relación varios a varios



En una relación varios a varios, un registro de la Tabla A puede tener muchos registros coincidentes en la Tabla B y viceversa. Este tipo de relación sólo es posible si se define una tercera tabla (denominada tabla de unión) cuya clave principal consta de al menos dos campos: las claves externas de las Tablas A y B. Por ejemplo, las tablas Pedidos y Productos tienen una relación varios a varios definida mediante la creación de dos relaciones uno a varios con la tabla Detalles de pedidos.

Fig. 4.2: Ejemplo de relación varios a varios



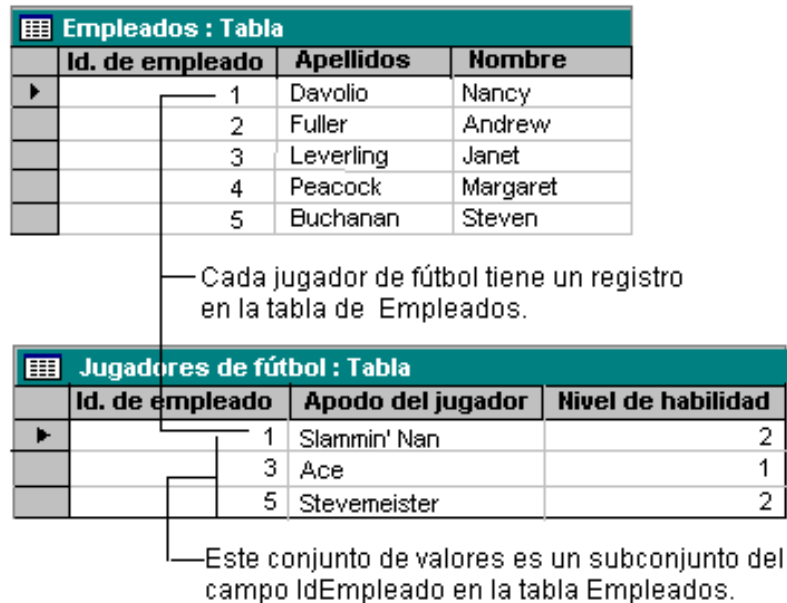
Relación uno a uno



En una relación uno a uno, cada registro de la Tabla A sólo puede tener un registro coincidente en la Tabla B y viceversa. Este tipo de relación no es habitual, debido a que la mayoría de la información relacionada de esta forma estaría en una sola tabla. Puede utilizar la relación uno a uno para dividir una tabla con muchos campos, para aislar parte de una tabla por razones de seguridad o para almacenar información que sólo se aplica a un subconjunto

de la tabla principal. Por ejemplo, puede crear una tabla que registre los empleados participantes en un partido de fútbol benéfico.

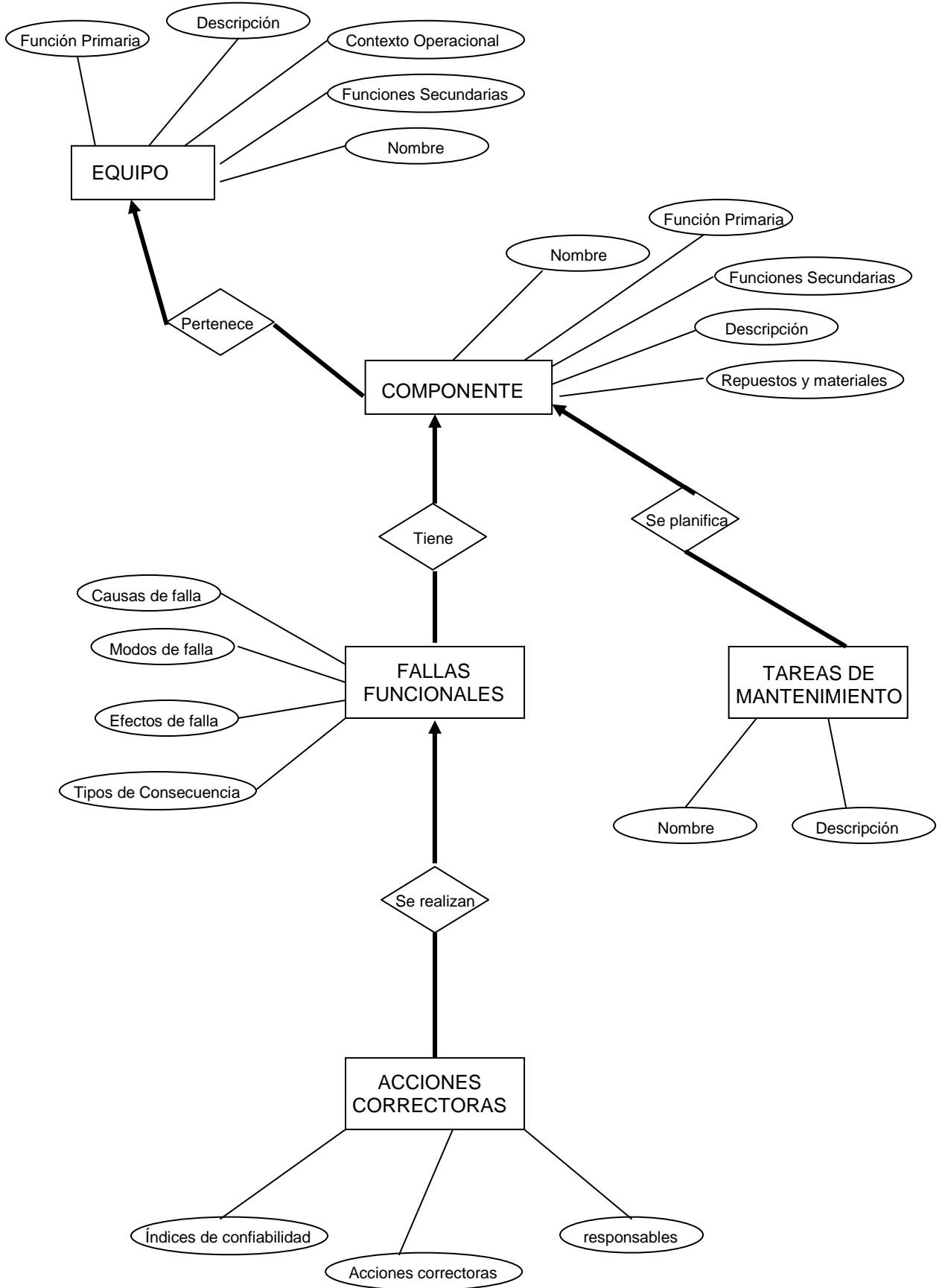
Fig. 4.3: Ejemplo de relación uno a uno



4.2.1.1.6 Diagrama entidad – relación (inicial) del procedimiento RCM

A continuación, con base a todo lo expuesto en los literales **4.1.5** Datos necesarios para obtener la información requerida y **4.2.1.1** Diseño Conceptual; se procede a trazar el diagrama entidad – relación inicial para el procedimiento de RCM para PYMES

Fig. 4.4: Diagrama entidad – relación (inicial) para el procedimiento de RCM para PYMES



4.2.1.2 Diseño lógico

El diseño lógico tiene por objeto desarrollar las tablas que van a contener los registros y datos de la base de datos; para esto se siguen los siguientes pasos:

- Estudio y descripción del sistema.
- Actividades del sistema.
- Determinar entidades.
- Determinar las propiedades de las entidades.
- Determinar o crear las claves principales.
- Determinar las claves secundarias.
- Establecer el diagrama entidad relación definitivo.

4.2.1.2.1 *Estudio y descripción del sistema*

El estudio y descripción del sistema, en este caso se ha venido desarrollando a lo largo de este trabajo escrito. Se refiere al procedimiento de RCM para PYMES.

4.2.1.2.2 *Actividades del sistema*

Las actividades del sistema se refiere a todas las actividades que la base de datos va a realizar con el fin de entregar la información requerida por el usuario. En este caso la las actividades requeridas están establecidas en el literal **4.1.4**, y son:

- Un cuadro AMFE inicial, por cada equipo; en el que conste el equipo con su función principal, el componente con su función principal, los modos, efectos y causas de falla para cada componente con sus respectivos índices de confiabilidad, además de IPR.

- Un cuadro AMFE corregido, por cada equipo; que además de contener al cuadro anterior, debe aumentar las acciones correctoras y los nuevos índices de confiabilidad, así como el nuevo IPR.
- El Diagrama Funcional de cada equipo; el mismo que consta de las funciones principales y secundarias de un equipo, así como todos los componentes de este equipo con sus funciones principales y secundarias.
- Información a cerca del contexto operacional de cada equipo.
- Información de los componentes, que a pesar de las acciones correctoras, mantienen un IPR alto.
- Las tareas de mantenimiento destinadas al equipo y sus componentes.

4.2.1.2.3 *Determinar las entidades o nombres de las TABLAS*

Para un mejor desarrollo de la base de datos se presentan las siguientes entidades:

- Equipos.
- Componentes.
- Modos de Falla.
- MF para AMFE. (Tabla de unión)
- Efectos de Falla.
- EF para AMFE. (Tabla de unión)
- Causas de Falla.
- CF para AMFE. (Tabla de unión)
- AMFE.
- Tareas de Mantenimiento.
- Detectabilidad. (Tablas de apoyo, que no se relaciona)
- Frecuencia. (Tablas de apoyo, que no se relaciona)
- Gravedad. (Tablas de apoyo, que no se relaciona)

4.2.1.2.4 *Determinar los atributos o propiedades de las entidades*

- EQUIPOS (Código Equipos, Nombre Foto, Marca, Clasificación, Documento de Referencia, Ubicación, Proceso Función primaria, Funciones Secundarias, Descripción, Proceso Continuo S/N, Parámetros Técnicos, Ambiente de Trabajo, Condiciones Inseguras; Duración de jornadas de trabajo, Número de jornadas de trabajo, Estado, Otras)
- COMPONENTES (Código Componentes, Nombre, Marca, Sistema al que pertenece, Función Primaria, Funciones Secundarias, Repuestos y materiales necesarios, Descripción)
- MODOS DE FALLA (Código MF, Nombre)
- MF PARA AMFE (Código MF para AMFE, Índice de Gravedad, Índice de detectabilidad)
- EFECTOS DE FALLA (Código EF, Nombre)
- EF PARA AMFE (Código EF para AMFE, Índice de Detectabilidad, Tipo de Consecuencia)
- CAUSAS DE FALLA (Código CF, Nombre)
- CF PARA AMFE (Código CF para AMFE, Índice de Frecuencia, Índice de Detectabilidad, Medidas de Control, Acción correctora descripción, Acción correctora, Responsable Acción correctora, Índice de Gravedad Corregido, Índice de Frecuencia Corregido, Índice de detectabilidad Corregido)
- AMFE (Código AMFE, Fecha de Realización, Fecha de Edición Responsable)
- TAREAS DE MANTENIMIENTO (Código, Nombre, estrategia, Descripción, Período Días, Período Horas, Personal, Herramientas/Instrumentos, Insumos, Tiempos de Ejecución, Costos Estimados, Tareas Específicas)
- Detectabilidad (Valor, Detectabilidad, Criterio, Probabilidad)
- Frecuencia (Valor, Frecuencia, Criterio, Probabilidad)
- Gravedad. (Valor, Gravedad, Criterio)

4.2.1.2.5 *Determinar o crear la clave principal*

- EQUIPOS (Código Equipos)
- COMPONENTES (Código Componentes)
- MODOS DE FALLA (Código MF)
- MF PARA AMFE (Código MF para AMFE,)
- EFECTOS DE FALLA (Código EF)
- EF PARA AMFE (Código EF para AMFE)
- CAUSAS DE FALLA (Código CF)
- CF PARA AMFE (Código CF para AMFE)
- AMFE (Código AMFE)
- TAREAS DE MANTENIMIENTO (Código)

4.2.1.2.6 *Determinar claves secundarias*

- COMPONENTES (Código Equipos)
- MF PARA AMFE (Código MF, Código Componentes, Código AMFE)
- EF PARA AMFE (Código EF, Código MF para AMFE)
- CF PARA AMFE (Código CF, Código EF para AMFE,)
- TAREAS DE MANTENIMIENTO (Código CF para AMFE).

4.2.1.2.7 *Establecer Diagrama Entidad – Relación DEFINITIVO*

El diagrama entidad – relación DEFINITIVO, se lo obtiene al compilar la información desarrollada en el diseño lógico.

El diagrama a continuación expuesto, es obtenido desde Microsoft ACCESS, por lo que el formato varía de presentación varia del diagrama de entidad – relación inicial.

Fig. 4.5: Diagrama entidad – relación DEFINITIVO para el procedimiento de RCM para PYMES

4.2.1.3 Diseño Físico

Se refiere a la implementación del diseño lógico de la base de datos, de forma física, es decir crear la base de datos en Microsoft ACCESS.

4.2.1.3.1 Creación de tablas

Se traslada la información del diseño lógico; se empieza por la creación de las tablas con sus atributos o propiedades, que en este caso toman el nombre de CAMPOS.

Fig. 4.6. Creación de la tabla Equipos, con todos sus campos

The image shows the Microsoft Access interface for creating a table named 'Equipos'. The design grid lists the following fields and their data types:

Nombre del campo	Tipo de datos
Código Equipos	Texto
Nombre	Texto
Foto	Objeto OLE
Marca	Texto
Clasificación	Texto
Documento de Referencia	Texto
Ubicación	Texto
Proceso	Texto
Función Primaria	Memo
Funciones secundarias	Memo
Descripción	Memo
Proceso Continuo S/N	Texto
Redundancia S/N	Texto
Parámetros Técnicos	Memo
Ambiente de Trabajo	Memo
Condiciones Inseguras	Memo
Duración de jornada de trabajo	Numérico
Número de jornadas de trabajo	Numérico
Otros	Memo
Estado	Memo

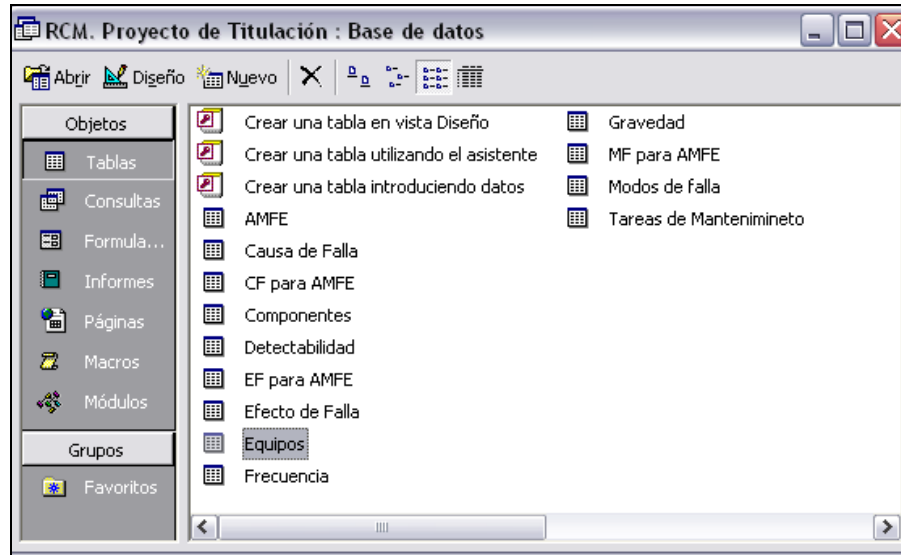
Below the design grid, the 'General' tab of the field properties sheet is visible, showing the following settings for the 'Código Equipos' field:

Tamaño del campo	50
Formato	
Máscara de entrada	"Eq-">LL\{-000;;
Título	Código
Valor predeterminado	
Regla de validación	
Texto de validación	
Requerido	Sí
Permitir longitud cero	No
Indexado	Sí (Sin duplicados)
Compresión Unicode	No

Al llenar cada campo se puede escoger el tipo de dato al que corresponde dicho campo, así como darle un formato apropiado.

Una vez creadas las tablas diseñadas, se procede a relacionarlas.

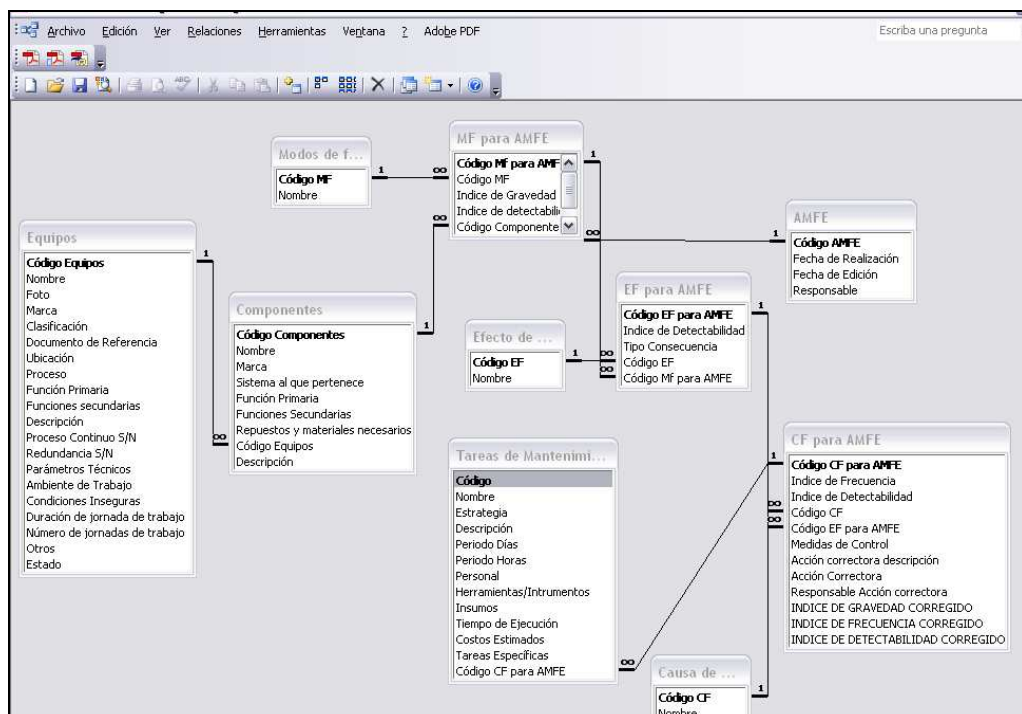
Fig. 4.7. Todas las tablas existentes en la base de datos



4.2.1.3.2 Relación de tablas

Con las tablas creadas, se procede a la relación de tablas, de acuerdo a lo diseñado

Fig. 4.8. Relaciones entre tablas



4.2.1.3.3 Creación de formularios

Para ingresar datos o registros en las tablas, se hace necesario crear formularios, para facilitar esta tarea, por cada tabla hay un formulario.

Fig. 4.9. Formulario de ingreso de datos COMPONENTES

The screenshot shows a web-based form titled 'Componentes' with the subtitle 'Ingreso de Datos'. The form contains several input fields and buttons. On the left, there is a dropdown menu for 'Equipo' set to 'Torno', and text input fields for 'Código' (containing 'Comp-OR-001'), 'Nombre' (containing 'Mandril'), and 'Marca' (containing 'Koyo'). On the right, there is a dropdown for 'Sistema al que pertenece' set to 'Sistema de Sujeción de piezas' and a larger text area for 'Descripción'. Below these, there is a section titled 'FUNCIONES' with two text areas: 'Función Primaria' (containing 'Sujetar las piezas a torneear') and 'Funciones Secundarias' (containing 'Sirve de soporte del pero de arrastre'). To the right of this section is another text area for 'Repuestos y materiales necesarios'. At the bottom right, there are three buttons: 'Nuevo Componente', 'Guardar Registro', and 'Eliminar Registro'. At the bottom left, there is a red button labeled 'ATRÁS'.

Algunos campos de los formularios se les puede dar formatos especiales, para que el ingreso de datos sea uniforme respecto a la forma; por ejemplo para los códigos, se crea máscaras de entrada o para las fechas se varia el formato de fecha según la conveniencia.

Dentro de los formularios se puede realizar pequeñas consultas para obtener cuadros combinados que buscan valores determinados. En la Fig.4.9. se utiliza un cuadro combinado para elegir el equipo al cual pertenece el componente, del cual se está llenado la información, este proviene de la tabla de Equipos.

Los formularios se utilizan también para llenar datos de algunas tablas que se encuentra relacionadas entre si; dentro de un formulario se puede utilizar

consultas y relacionarlas con cuadros combinados. En la Fig 4.10 se muestra el formulario llamado Detalle de cuadro AMFE, en donde se realiza una consulta para que aparezcan los componentes pertenecientes al equipo seleccionado, luego se ingresa los datos correspondientes a modos de fallo, efectos de fallo y causa de falla, con sus respectivos índices de confiabilidad.

Fig. 4.10. Formulario de ingreso de datos DETALLE DE CUADRO AMFE

Valor	GRAVEDAD	Criterio
2	Muy leve	Se presenta un efecto despreciable, casi imperceptible.
3	Leve	El tipo de fallo ocasionaría un ligero inconveniente al cliente.
4	Baja	El fallo probablemente ocasionaría un pequeño deterioro de rendimiento en el sistema.
5	Moderada	El fallo provoca leve insatisfacción en el cliente, rendimiento del sistema decreciendo.
6	Moderadamente Alta	El fallo provoca un sistema operable y seguro pero con bajo rendimiento.
7	Alta	El fallo puede ser crítico, inutilizan una parte del sistema, alta insatisfacción del cliente.
8	Muy Alta	El fallo es crítico, inutiliza el sistema, produce alta insatisfacción del cliente.
9	Extremadamente Alta	Fallo muy crítico que afecta al funcionamiento y seguridad del producto.
10	Máxima Gravedad	Fallo catastrófico implica serio incumplimiento de normas.


Los formularios se utilizan también para crear botones que ayudan a personalizar la base de datos, es decir, soportan botones programados con macros, que hacen interactivo el manejo de la base de datos.

Fig. 4.11. Formulario OPCIONES DE INGRESO DE DATOS

4.2.1.3.4 Creación de informes

Una vez ingresados los datos, se pueden realizar consultas y por medio de estas, se pueden realizar operaciones, para luego obtener informes con los datos relevantes y de importancia para el usuario.

Fig. 4.12. Informe AMFE Corregido



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO
Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

EQUIPO: Fresadora
Código: E4GG-114

AMFE N° 2

Fecha de Realización: 15/01/1993
Fecha de Edición: 15/04/1993

Función Primaria: Desmenu

Responsable: Escala

Componente: Mandril porta herr
Función Primaria: Alje

Código: CompJE-003

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla perforación	Cales Escorrido	No Evaluar	malas especificaciones equipo	Humana		+	5	3	40						
Falla perforación	Cales Escorrido	No Evaluar	Mala instalación	Humana		+	3	+	110	Mejorar el mantenimiento	Escuela	+	+	+	44

AMFE

Página 1 de 3

4.2.2 CÓMO ADMINISTRAR LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS DEL PROCEDIMIENTO DE RCM PARA PYMES?

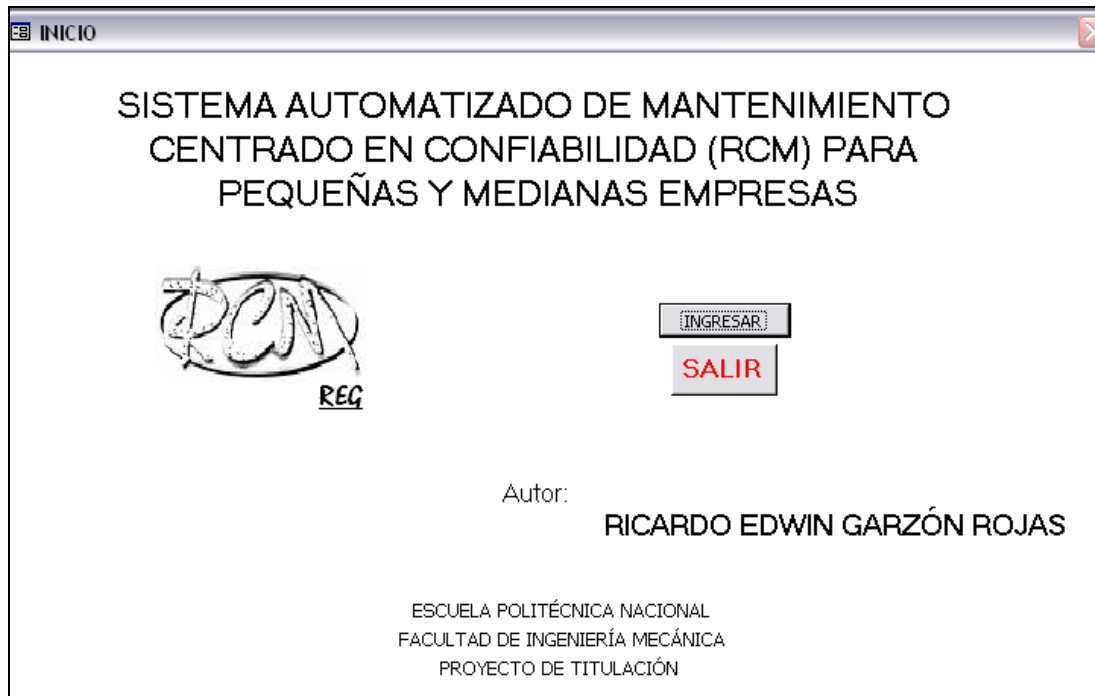
Esta es una base de datos de manejo sencillo, que ayuda a la administración de información de una manera ordenada y eficiente. El icono de ingreso al programa es el mostrado en la Fig. 4.13.

Fig. 4.13. Icono de ingreso a la base de datos



En la Fig. 4.14 se muestra la ventana de inicio de la base de datos.

Fig. 4.14. Ventana de Inicio de la Base de Datos



Al dar un clic en el botón INGRESAR, se abre otra ventana que nos permite escoger entre dos opciones, INGRESAR DATOS o INFORMES (Fig. 4.15), la primera despliega una ventana con múltiples opciones de ingreso de datos, mientras que la segunda abre una ventana en la cual podemos seleccionar el informe que se necesite, ya sea ver o imprimir. (Fig.4.16 y 4.17 respectivamente)

Fig. 4.15. Ventana de INGRESO



Fig. 4.16. Ventana de INGRESO DE DATOS

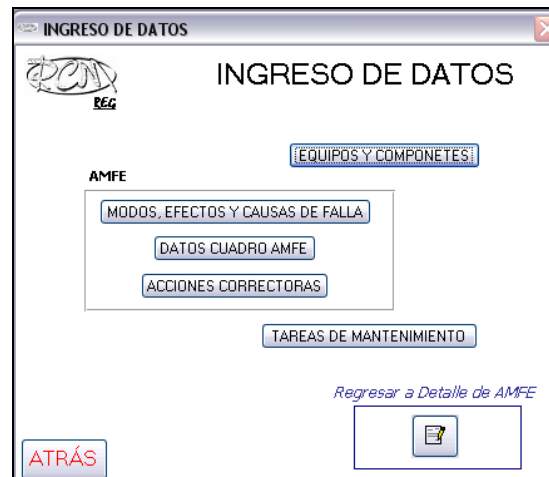
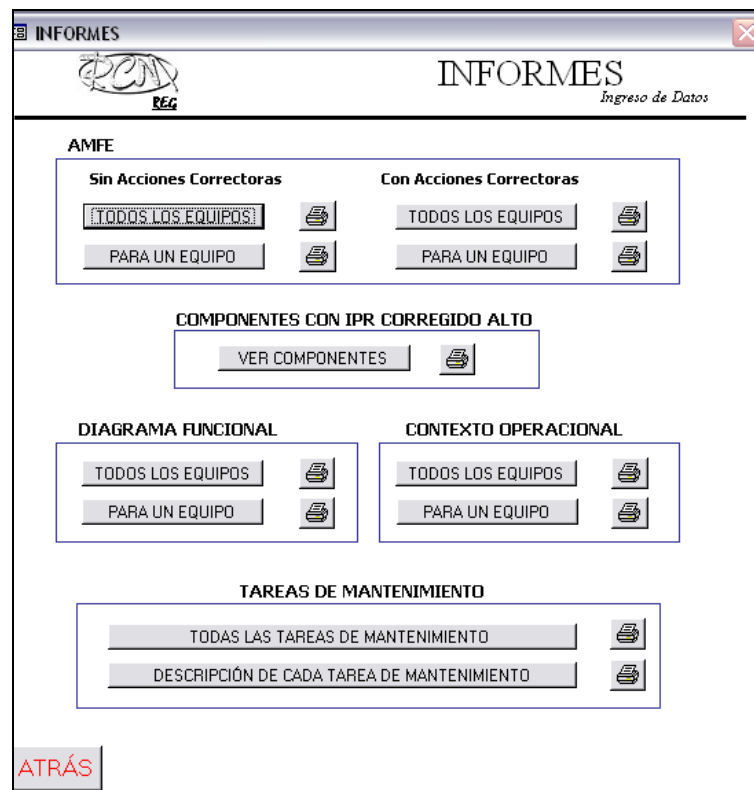


Fig. 4.17. Ventana de INFORMES



4.2.2.1 Ingreso de Datos

En la Fig. 4.16 se ve la ventana principal de ingreso de datos, allí se tiene el enlace hacia cinco formularios, separados en tres grupos, el primero destinado al ingreso de datos de equipos y componentes, el segundo destinado al

ingreso de datos necesarios para el cuadro AMFE y el tercero para llenar las tareas de mantenimiento.

4.2.2.1.1 Ingreso de datos de equipos y componentes

La Fig. 4.18. muestra el formulario que aparece para llenar datos del equipo.

Fig. 4.18. Formulario Ingreso de datos EQUIPOS

EQUIPOS
Ingreso de Datos

Código: Foto:

Nombre:

Marca:

Clasificación:

Proceso:

Estado:

Documento de Referencia:

Ubicación:

FUNCIONES

Función Primaria: Funciones secundarias:

Descripción:

CONTEXTO OPERACIONAL

Proceso Continuo: Duración de jornada de trabajo: [horas]

Redundancia S/N: Número de jornadas de trabajo:

Parámetros Técnicos: Otros:

Condiciones Inseguras:

Ambiente de Trabajo:

[ATRÁS](#) [COMPONENTES](#) [Nuevo Equipo](#) [Guardar Registro](#) [Eliminar Registro](#)

Aquí se procede a llenar la información requerida acerca de equipo, en donde consta entre otras, las funciones, el contexto operacional. Desde aquí hay un enlace para llenar los componentes, para esto se debe escoger el equipo al cual pertenecen los componentes. (Fig. 4. 19)

Fig. 4.19. Formulario Ingreso de datos COMPONENTES

The screenshot shows a web-based form titled 'Componentes' with the subtitle 'COMPONENTES Ingreso de Datos'. The form contains the following fields and sections:

- Equipo:** A dropdown menu with 'Torno' selected.
- Código:** A text input field containing 'Comp-QR-001'.
- Nombre:** A text input field containing 'Mandril'.
- Marca:** A text input field containing 'Koyo'.
- Sistema al que pertenece:** A text input field containing 'Sistema de Sujeción de piezas'.
- Descripción:** A large empty text area.
- FUNCIONES:** A section with two sub-fields:
 - Función Primaria:** A text area containing 'Sujetar las piezas a torneear'.
 - Funciones Secundarias:** A text area containing 'Sirve de soporte del pero de arrastre'.
- Repuestos y materiales necesarios:** A large empty text area.
- Navigation and Action Buttons:**
 - 'ATRÁS' (Back) button in red.
 - 'Nuevo Componente' button.
 - 'Guardar Registro' button.
 - 'Eliminar Registro' button.
 - Left and right arrow navigation buttons.

Se puede Editar la información llenada en estos formularios, en el momento que se requiera.

4.2.2.1.2

Ingreso de datos necesarios para llenar cuadro AMFE

La información a cerca de modos de falla, efectos de falla, causas de falla son llenados y codificados en formularios individuales, en cada formulario se puede chequear todos los datos ingresados hasta el momento(Fig. 4.20)

Fig. 4.20. Formularios de Ingreso de datos MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CAUSAS DE FALLA

The screenshot shows a web-based form titled 'Modos de falla' with the subtitle 'MODOS DE FALLA Ingreso de Datos'. The form contains the following fields and sections:

- Código MF:** A text input field containing 'MF-0-001'.
- Nombre:** A text input field containing 'Falla por deformación plástica'.
- Ver lista de Modos de Fallo:** A blue button.
- Navigation and Action Buttons:**
 - 'ATRÁS' (Back) button in red.
 - 'Nuevo Modo de Fallo' button.
 - 'Guardar Registro' button.
 - 'Eliminar Registro' button.
 - Left and right arrow navigation buttons.

The image shows two screenshots of web forms. The top one is titled 'Efecto de Falla' and 'EFECTOS DE FALLA Ingreso de Datos'. It contains input fields for 'Código EF' (with value 'EFC-001') and 'Nombre' (with value 'Calor Excesivo'). There are buttons for 'Ver lista de Efectos de Fallo', 'Nuevo Efecto de Falla', 'Guardar registro', 'Eliminar registro', and 'ATRÁS'. The bottom screenshot is titled 'Causa de Falla' and 'CAUSAS DE FALLA Ingreso de Datos'. It contains input fields for 'Código CF' (with value 'MF-2-322') and 'Nombre' (with value 'Mala inducción'). It has buttons for 'Ver lista de Causas de Fallo', 'Nueva Causa de Falla', 'Guardar registro', 'Eliminar registro', and 'ATRÁS'.

Para llenar el cuadro AMFE, es necesario crear un registro de cuadro AMFE, en donde constan las fechas de realización y edición, si la hubiere, así como el número signado de cuadro AMFE y el responsable de la elaboración. (Fig. 4.21)

Fig. 4.21. Formulario de Ingreso de datos INGRESO DE DATOS AMFE

The screenshot shows the 'Ingreso de datos AMFE' form. It features a logo on the left and the text 'AMFE Ingreso de Datos' on the right. The form includes input fields for 'Código AMFE' (with value '1'), 'Fecha de Realización' (with value '15/12/2007'), 'Fecha de Edición' (with value '15/09/2007'), and 'Responsable' (with value 'Humberto'). There are buttons for 'DETALLES DE CUADRO AMFE', 'Nuevo', 'Guardar Registro', 'Eliminar Registro', and 'ATRÁS'.

Para llenar el cuadro AMFE en sí, El que es producto de la información de varias tablas relacionadas, se debe dar clic en el botón DETALLES DE CUADRO AMFE; aparecerá el siguiente formulario mostrado en la Fig. 4.22.

Fig. 4.22. Formulario de Ingreso de datos DETALLES DEL AMFE

The screenshot shows a web application window titled "Detalles del AMFE" with a sub-header "CUADRO AMFE Ingreso de Datos". The form is organized into several sections:

- Equipos:** A dropdown menu to select the equipment.
- SELECCIONA EL COMPONENTE:** A table with columns "Código Componentes" and "Nombre". Below it is a "Componente" dropdown menu.
- AMFE N°:** A dropdown menu to select the AMFE number.
- SELECCIONA EL MODO DE FALLO:** A "Modo de Falla" dropdown menu, followed by "Gravedad" and "Detectabilidad" dropdown menus.
- SELECCIONA EL EFECTO DE FALLO:** An "Efecto de Falla" dropdown menu, followed by "Tipo de Consecuencia" and "Detectabilidad" dropdown menus.
- SELECCIONA LA CAUSA DE FALLO:** A "Causa de Falla" dropdown menu, followed by "Medidas de Control" and "Frecuencia" and "Detectabilidad" dropdown menus.

Navigation and action buttons include "Examinar Cuadro AMFE", "Ir a Ingreso de Datos", "Agregar Modo de Falla", "Agregar Efecto de Falla", "Agregar Causa de Falla", and "ATRÁS".

En este formulario, se procede a escoger el Equipo sobre el cual se va a trabajar, luego aparecerá todos lo componentes de ese equipo, se debe escoger el Componente sobre el cual se va a trabajar; se determina el número de AMFE previamente creado, se especifica el Modo de Falla y se determina los índices de confiabilidad para ese modo de falla; Para ese modo de falla se puede escoger el Efecto de Falla y determinar los índices de confiabilidad; así mismo para este efecto de falla se puede escoger la Causa de Falla y determinar sus índices de confiabilidad. Cabe anotar que los datos llenados aquí se almacenan relacionados, es decir un modo de fallo puede tener algunos efectos de fallo y este a su vez puede tener varias causas de falla.

Si al momento de llenar el detalle del cuadro AMFE se necesita aumentar algún tipo de dato nuevo dentro de los campos existentes, existe un botón "Ir a Ingreso de Datos", que nos permite volver a la ventana de ingreso de datos,

aumentar la información deseada, guardar los cambios y luego regresar al formulario que está siendo llenado.

Una vez llenada la Información, se puede chequear el Cuadro AMFE realizado.

Con el cuadro AMFE lleno, se analiza y se procede a llenar las acciones correctoras para aquellos registros en los que el IPR haya sobrepasado a 100. En el formulario que se presenta en la Fig. 4.23

Fig. 4.23. Formulario de Ingreso de datos de ACCIONES CORRECTORAS

Para llenar este formulario, se escoge el Equipo sobre el cual se va a trabajar, hacia la derecha aparecen los componentes del equipo cuyo IPR sobrepasa 100, se debe escoger el componente sobre el cual se va a trabajar, en la parte media aparece la información del modo, efecto y causa de falla que provocaron tal IPR, y en la parte inferior se procede a llenar las acciones correctoras, luego de ponerlas en práctica, se puede incluir sus nuevos índices de confiabilidad.

4.2.2.1.3 Tareas de Mantenimiento

Para llenar las tareas de mantenimiento se tiene el siguiente formulario, mostrado en la Fig. 4.24

Fig. 4.24. Formulario de Ingreso de datos de TAREAS DE MANTENIMIENTO

The form is titled "TAREAS DE MANTENIMIENTO Ingreso de Datos". It includes a logo for "REG". The main section is titled "TAREAS DE MANTENIMIENTO" and contains the following fields and controls:

- Equipo:** A dropdown menu.
- Componente Data Table:** A table with columns: Componente, G, F, D, IPR, Medidas de Control, Acción Correctora, Responsable AC, G, F, D, Nuevo IPR.
- Failure Mode Table:** A table with columns: AMFE, Modos de falla, Efecto de Falla, Tipo Consecuencia, Causa de Falla.
- Task Details Section:**
 - Nombre de Tarea de Mantenimiento:** Text input field.
 - Estrategia:** Dropdown menu.
 - Descripción:** Text input field.
 - Tareas Específicas:** Text input field.
 - Periodo:** Input for days (0) and hours (0).
 - Tiempo de Ejecución:** Input for hours (0).
 - Personal:** Text input field.
 - Herramientas/Instrumentos:** Text input field.
 - Insumos:** Text input field.
 - Costos Estimados:** Input field showing \$ 0,00.
- Navigation Buttons:** "Nueva", "Guardar", "Eliminar", and "ATRÁS".

Se debe escoger el Equipo sobre el cual se va a trabajar, en la parte izquierda aparece la información del componente, sus índices de confiabilidad iniciales, si tiene o no acciones correctoras, y sus índices de confiabilidad corregidos, con sus respectivo IPR; en la parte media se encuentra la información del modo, efecto, causa y tipo de consecuencia que afectan al componente con esos valores de IPR. En la parte inferior se llena las tareas de mantenimiento, en donde se especifica el nombre de la tarea, la estrategia a usar, la descripción, tareas específicas, períodos, encargados, materiales e instrumentos y costos aproximados.

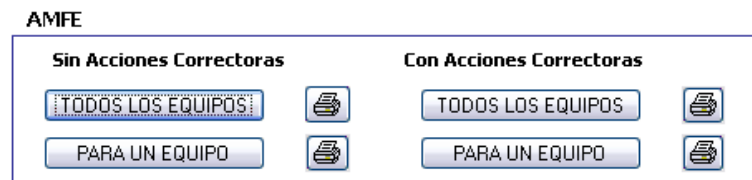
4.2.2.2 Informes

La ventana de Informes presenta cinco grupos de opciones:

4.2.2.2.1 AMFE

La opción AMFE permite obtener los Cuadros AMFE Inicial (sin acciones correctoras) y Definitivo (con acciones correctoras). (Fig. 4.25)

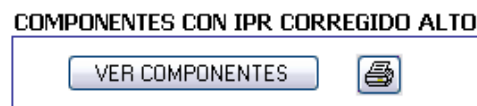
Fig. 4.25. Opciones de Informes AMFE



Los informes de Cuadro AMFE pueden ser: generales, en los que constan todos los cuadros AMFE existentes; O para un equipo, en donde es necesario introducir el nombre del mismo sobre el cual se quiere consultar el cuadro AMFE. Un ejemplo de Cuadro AMFE se encuentra en el ANEXO 1.

4.2.2.2.2 Componentes con IPR corregido Alto

Fig. 4.26. Opción de informes COMPONENTES CON IPR CORREGIDO ALTO



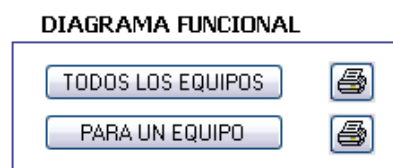
Esta opción permite obtener un listado de componentes que mantienen un IPR alto, aún después de haber recibido acciones correctoras, con la finalidad de tenerlos en cuenta para mantener ese tipo de componentes en bodega, para solventar fallos totalmente inesperados. Un ejemplo de este informe se encuentra en el ANEXO 1.

4.2.2.2.3 *Diagrama Funcional*

Aquí se puede obtener un Informe del diagrama funcional de un Equipo, esto es el equipo, sus componentes y las funciones principales y secundarias de los mismos.

En la Fig. 4.27. se observa las opciones de Diagrama Funcional a Obtener.

Fig. 4.27. Opción de informes DIAGRAMA FUNCIONAL



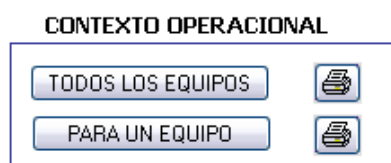
Un ejemplo de este informe se encuentra en el ANEXO 1.

4.2.2.2.4 *Contexto Operacional*

Este Informe presenta los datos del Equipo y su contexto Operacional, es decir, las características del funcionamiento del Equipo en Operación.

Al igual que las anteriores opciones de Informe, se puede obtener un informe general en el que constan todos los equipos existentes en la base de datos, o un informe de un equipo en específico (para lo cual se debe ingresar el nombre del equipo). En la Fig. 4.28 se muestran las opciones de este informe y un ejemplo de este informe se encuentra en el ANEXO 1.

Fig. 4.28. Opción de informes CONTEXTO OPERACIONAL



4.2.2.2.5 *Tareas de mantenimiento*

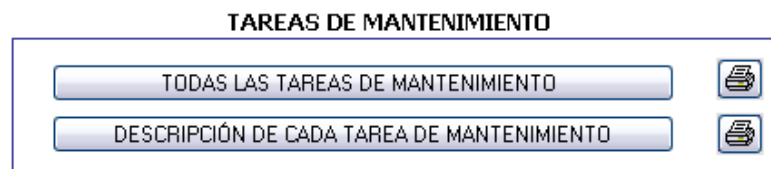
Esta es la última opción de esta ventana, se pueden obtener dos informes distintos:

El primero, es un informe que contiene un listado de todas las tareas de mantenimiento previstas, por equipo y componente, con parámetros importantes como períodos de mantenimiento, tiempo de ejecución y costos estimados.

El segundo, es un informe que contiene todo el detalle de la tarea de mantenimiento; para obtener este informe se debe ingresar el código de la misma (este se lo puede ver en el informe anterior). Este informe contiene información específica de cada tarea de mantenimiento.

En la Fig. 4.29. se muestra las opciones de informe de tareas de mantenimiento; un ejemplo de este informe se encuentra en el ANEXO 1.

Fig. 4.29. Opción de informes TAREAS DE MANTENIMIENTO



CAPÍTULO V

PRUEBA DEL PROCEDIMIENTO RCM AUTOMATIZADO CON UN EJEMPLO DE APLICACIÓN

5.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Como ejemplo de aplicación, se ha decidido escoger Máquinas Herramientas utilizadas comúnmente, extraer los datos de sus catálogos o la información proveniente de los fabricantes y realizar el análisis RCM para estos Equipos.

5.2 Equipos Utilizados

Se escogió tres Máquinas Herramientas:

- Fresadora Universal MRF Modelo FU-145.
- Torno Paralelo CACELARICH Modelo CM-36.
- Taladro-Punteadora OERLICON Modelo UB-2.

En el ANEXO 3 se muestran los datos informativos provenientes de los fabricantes, de las máquinas escogidas.

5.3 Ingreso de datos

De la forma indicada en el literal 4.2.2 de este trabajo, se procedió a ingresar los datos necesarios en la base de datos.

5.3.1 ELABORACIÓN DE CUADROS AMFE

La elaboración de los cuadros AMFE estuvo a cargo de Ricardo Garzón (autor de este trabajo); empleando criterios de RCM, AMFE y mantenimiento en general.

5.3.2 DETERMINACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

La determinación de las tareas de mantenimiento estuvo a cargo de Ricardo Garzón (autor de este trabajo); empleando criterios de RCM, AMFE y mantenimiento en general.

5.4 Obtención de informes

Los informes Obtenidos son:

- Contexto Operacional (de cada Equipo).
- Diagrama Funcional (de cada Equipo).
- Cuadro AMFE (para cada Equipo)
- Tareas de Mantenimiento

A continuación se muestran todos los informes obtenidos para el ejemplo detallado en este capítulo:



CONTEXTO OPERACIONAL

Ministerio de Educación y Formación Profesional. Instituto Tecnológico de Aragón

Fecha: 16 de octubre de 2007

FRESADORA UNIVERSAL

Código de Equipos: E0711001



Marcas:

M.S.P.

Documentos de Referencia:

Ubicación:

Clasificación:

Máquina herramienta

Tipo de Recurso:

Trabajo

Descripción: Se trata de una fresadora universal Modelo FUS 140, a motor eléctrico, utilizada principalmente para dar formas específicas a los perfiles de las piezas obtenidas por mecanizado.

Excepciones: La máquina se encuentra en perfectas condiciones de funcionamiento.

CONTEXTO OPERACIONAL

Proceso Constituyente	Desbastado
Referencia de SN	Maquinado (por una herramienta convencional)
Parámetros Técnicos	Características: Velocidad máxima - 375 r.p.m. Velocidad mínima - 1.000 r.p.m. Inquietud (del eje tornillo) - 14.00 a 500 mm. Cero de la punta - en los dos sentidos 90°. Potencia-Motor Principal - 2.5 HP
Análisis de Trabajo	Operación Automática, verticalización de la punta de la herramienta y herramienta con convenientemente ordenada.
Condiciones de trabajo	El tiempo de trabajo de un día de la operación
Duración de jornada de trabajo	8 [Horas] Número de jornadas de trabajo 1
Coste	Por hora aproximado = 2850 Bq

Elaborado por:



CONTEXTO OPERACIONAL

Identificación del Equipo, características e información adicional operativa

Forma: Tabla con 2 columnas

TALADRO-PUNTEADORA

Código de Equipo: 8477007



Marcas	GERBER (SA)
Documento de Referencia	
Ubicación	
Clasificación	Máquina herramienta
Tipos de uso	Elaboración de Apuntes

Descripción: Se trata de un Taladro-Punteadora de banco, modelo M32, fabricado en acero, tiene un motor para accionarlo en la parte inferior de su estructura.

Existe: Presente

CONTEXTO OPERACIONAL

Proceso Continuo?	Descontinuo		
Referencia de SN	No (no está asignado número)		
Parámetros Técnicos	Potencia de Motor: 1.2 CV (1200 g.p.m.) 1.5 CV (1500 g.p.m.) Tipo Principal: Carrera = 100 mm Velocidad máxima = 0 g.p.m. Velocidad mínima = 2500 g.p.m.		
Aplicación de Trabajo	Hacer aceros Aleados, aceros al carbono del grupo 1 y 2 de los metales pesados y herramientas correspondientes (cuchillos)		
Condiciones de uso	Se está realizando mantenimiento al peso		
Duración de periodo de trabajo	3 (Horas)	Número de jornadas de trabajo	1
Clase	Pesa más que el estándar = 600 Kg		

Elaborado por:



CONTEXTO OPERACIONAL

Definición del Equipo, condiciones y procedimientos de adquisición

Equipos, 10 de octubre de 2017

TORNO PARALELO

Código de Equipo: EQ10401



Marcas:

CANCELARUCH

Documento de Referencia:

Ubicación:

Clasificación:

Máquina-Herramienta

Tipo de Recurso:

Tornos

Descripción: Se trata de un torno paralelo estándar (750W), sobre mesa y objetivo.

Excepciones: Se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento.

CONTEXTO OPERACIONAL

Proceso Constructivo T	Significado:		
Material de la WN	Si (cantidad 2 unidades)		
Parámetros Técnicos	Distancia entre puntos = 1000 mm Diámetro de volantes = 305 mm Velocidad máxima = 470 rpm Velocidad mínima = 1000 rpm Motor de 2 velocidades = 1,5 CV 4 KW		
Análisis de Trabajo	Herramientas: Adaptadas, se trata de un torno del tipo paralelo. Accesorios y herramientas con el mismo estándar.		
Condiciones de Seguridad			
Duración de jornada de trabajo	9 (Horas)	Número de jornadas de trabajo	1
Costos	Dimensiones = 1920 x 780 x 1198 mm. Peso = 740 kg.		

Elaborado por:



DIAGRAMA FUNCIONAL

Equipos y componentes con sus funciones

maius, 16 de octubre 2007

FRESADORA UNIVERSAL

Función Primaria Constituir formas complejas en piezas de metal u otros materiales, esto se consigue por el arranque de material producido por la herramienta de corte (fresa) que incide sobre la pieza mecanizada.

Funciones Secundarias Tallar ruedas dentadas, perforar, ranurar, etc.

Componente

Sistema de carros de desplazamiento

Mesa

Tornillo Elevador

Shaft

Brazo superior

Motor Eléctrico

Moto-bomba de refrigeración

Barridos

Función Primaria

Permitir el desplazamiento longitudinal y vertical, de la mesa con exactitud.

Soportar los accesorios de la fresa, los mismos que sujetan a la pieza a ser maquinada.

Permitir el movimiento vertical de la Mesa.

Transmitir el movimiento y velocidad rotatoria y la fuerza de corte a la herramienta cortante.

Soportar accesorios de la fresa (fresas, cabezal universal, etc.) sobre los cuales se acopla la herramienta de corte.

Proveer la potencia necesaria (7.5 HP) para el funcionamiento del Equipo.

Proveer la suficiente potencia (0.12 HP) para dejar fluir el fluido de refrigeración por el equipo.

Soportar todos los elementos que conforman la fresadora.

Funciones Secundarias

Soporta la mesa, el sistema de carros, la caja de tramos.

Ajugar en su interior conexiones eléctricas, circuitos de refrigeración y de lubricación.



DIAGRAMA FUNCIONAL

Equipos y componentes con sus funciones

martes, 16 de octubre de 2007

TALADRO-PUNTEADORA

Función Primaria Constituir agujeros en piezas mecánicas o elementos mecánicos, por medio de una herramienta de corte (broca) que gira y avanza hacia el material, produciendo el arranque de viruta y la formación del agujero.

Funciones Secundarias Construcción de rosca interior en agujeros (machueado), Avellanado, etc,

Componente

Columna

Cabezal del Husillo

Motor Eléctrico

Mesa

Función Primaria

Sostener la estructura del taladro, sujetar y permitir el movimiento rotatorio al cabezal del husillo

Soportar el husillo para herramientas

Proveer la potencia necesaria para el funcionamiento del Equipo

Soportar la estructura que sujeta la pieza a ser taladrada y los accesorios para el taladro

Funciones Secundarias

Sirve de eje de rotación para el cabezal del husillo

Contener centros de gravedad y vibraciones



DIAGRAMA FUNCIONAL

Equipos y componentes con sus funciones

Madrid, 16 de octubre de 2007

TORNO PARALELO

Función Primaria Construir contornos cilíndricos interiores o exteriores, sobre una pieza de revolución; esto se consigue mediante el movimiento de la herramienta de corte (cuchilla) hacia la pieza mientras esta se encuentra girando alrededor del eje del husillo.

Funciones Secundarias Roscar, perforar, ranurar, frezar, moletear, etc.

Componentes

Sistema de carros de desplazamiento

Mandril Porta Herramientas

Roscach

Husillo para Roscar

Sistema de Engrenajes

Cabezal Móvil

Cabezal principal porta husillo

Función Primaria

Permitir el desplazamiento longitudinal y transversal, del carro superior porta herramientas
Sujar la pieza mecánica a ser torneada

Servir como estructura del equipo y sostener al sistema de carros y a varios accesorios.

Sirve para realizar la operación de roscar

Transmitir la potencia producida por el motor al husillo principal

Sirve de apoyo, para centrar y soportar las piezas torneadas, entre otras, mandril - punto.

Sujeta el husillo principal con su el mandril porta herramientas

Funciones Secundarias

Soporta los mandos de control de los avances automáticos

servir de soporte para accesorios, como el plato de armario, etc.

Cambio de sentido de giro del husillo principal

Sirve para soportar herramientas como brocas, escariadores.

Soportar las palancas de mando, y botones de control.



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluarlo solo IPR

FRESADORA UNIVERSAL

Código: Eq-FU-001

AMFE N° 0001

Función Primaria: Constituir un conjunto completo en piezas de metal no ferrosas para ser usado en el corte de metales, se hace con el apoyo de un taladro por la herramienta de corte (fresa) que realiza el trabajo en la pieza a ser cortada. **Fecha de Redacción:** 02.08.2007 **Responsable:** Excmo. Caxón **Fecha de Edición:**

Componente: Mesa

Código: Comp-FU-003

Función Primaria: Soportar los accesorios de la fresadora, los mismos que sujetan a la pieza a ser maquinada

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por corrosión por parte del eje	No Operacional	No Operacional	Mal funcionamiento del equipo	Ninguna	5	4	4	4	50
Falla por la flexión del eje	No Operacional	No Operacional	Mal funcionamiento del equipo	Ninguna	3	3	4	4	34

Componente: Moto-bomba de refrigeración

Código: Comp-FU-003

Función Primaria: Permitir la circulación de agua (0.12 HP) para dejar frío el fluido de refrigeración por el equipo

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por frotamiento (caja de la bomba)	No Funciona	Operacional	Exceso de temperatura del eje de la bomba	Ninguna	5	3	3	3	75
Falla por inyección de agua y/o contaminantes	Caja Excesiva	No Funcional	Mal funcionamiento de la bomba	Ninguna	4	3	4	4	72



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla por a cada componente; evaluado JIS

Componente: Motor Eléctrico

Código: Comp-FU-001

Función Primaria Proveer la potencia mecánica (7.5 HP) para el funcionamiento de la Equipo

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por rotura el eje del motor	Retraso Dinámico	Operacional	Operacional	Falta mal ajuste de	Ninguna	7	3	4	94
Falla por rotura del motor	Fuente	No Operacional	No Operacional	Exceso del eje del motor	Antesala del Operario	8	4	3	94
Desbalanceo	Vibraciones	Operacional	Operacional	Mala colocación de los cables	Ninguna	7	5	4	140
Falla por Desgaste	Retraso Dinámico	No Evaluado	No Evaluado	Desgaste de los cables	Ninguna	4	5	4	150
Falla por rotura del motor	Retraso Dinámico	Operacional	Operacional	Exceso del eje del motor	Ninguna	8	4	4	135

Componente: Sistema de carros de desplazamiento

Código: Comp-FU-002

Función Primaria Permitir el desplazamiento longitudinal y vertical de la masa con exactitud

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por corrosión de la pelda	Desgaste	No Operacional	No Operacional	Ambiente de trabajo con humedad	Ninguna	5	4	5	100
Falla por fatiga de la pelda	No se conectan correctamente	Operacional	Operacional	Mala operación de equipo	Ninguna	3	2	3	15
Falla por corrosión de la pelda	Desgaste	No Operacional	No Operacional	Industria insalubre	Ninguna	5	5	4	150



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cambio AMFE, modos, efectos y causas de falla por a cada componente; evaluando IPR

TALADRO-PUNTEADORA

AMFE N° 0003

Código: Eq-IP-001

Función Primaria: Construye agujeros en piezas mecánicas o laminas; usándose, por medio de una herramienta de corte (broca) que gira y avanza hacia el material perforando el arranque de viruta y la formación de la gubia.

Fecha de Restricción: 02.05.2007 **Responsable:** Ricardo Gaxón
Fecha de Edición:

Componente: Columna

Código: Comp-IP-003

Función Primaria: Soportar la estructura del taladro, especialmente soportar y guiar al cabezal del levante

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por resonancia sobrepada	Presencia de material de corrosión	No Operacional	Mal funcionamiento de pintura		Visual	4	3	3	40

Componente: Motor Eléctrico

Código: Comp-IP-001

Función Primaria: Proveer la potencia necesaria para el funcionamiento del Equipo

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Desbalance	Vibraciones	Operacional	Defecto de acoplamiento		Visual	3	3	4	100
Falla por pérdida de los carbones	Emitido	No Operacional	Falta de mantenimiento		Visual	4	3	4	45
Falla por pérdida de los carbones	Potencia Desnormal	Operacional	Falta de mantenimiento		Visual	4	3	4	45



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE: modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando JFS

Falla por defecto de los carbones	Potencia Dinámica	Operacional	Defectos de acoplamiento	Diagrama	+	3	+	+	48
Desbalanceo	Vibraciones	Operacional	Malas relaciones Rodamientos	Diagrama	5	3	+	+	40



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando JFS

TORNO PARALELO

Código: Eq-IC-001

AMFE N° 0002

Función Primaria: Construir contrapes cilíndricos interiores o exteriores, de los mas pesa de revolución, esto se consigue mediante el uso adecuado de la herramienta de corte (cuchilla) hacia la pieza mientras esta se encuentra girando gracias al efecto del husillo.

Fecha de Redacción: 01.05.2007 **Responsable:** Ezequiel Garzon
Fecha de Edición:

Componente: Bancada

Código: Comp-IC-004

Función Primaria: Sirve como estructura del equipo y soporta al sistema de cambio y a varios accesorios.

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por Desgaste	Desgaste	No Operacional		Fallos en funcionamiento	Ninguna	2	3	4	24
Falla por Corrosión generalizada	Desgaste	No Operacional		Ambiente de trabajo con demasiado humedad	Ninguna	4	3	5	40

Componente: Husillo para Roscar

Código: Comp-IC-005

Función Primaria: Sirve para abisurar la operación de rosado

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por Rotura	Rotura	Operacional		Mala operación de equipo		4	4	5	120
Falla por deformación plástica	Cambio de Forma	Operacional		Error en muestras	Ninguna	4	3	5	50



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

Componente: Mandril Porta Herramientas

Código: Comp-IO-003

Función Primaria: Sujetar la pieza mecánica a ser tornada

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por impacto	Cambio de Forma	En el grúnel y Molds Ánodos		Malá operación de equipos	Ninguna	5	4	3	40
Falla por fricción	Las partes no se mueven con facilidad	Operacional		Lubricación inadecuada	Ninguna	4	4	3	45
Falla por fricción	Las partes no se mueven con facilidad	Operacional		Malá utilización de tornillos	Ninguna	4	4	4	44

Componente: Sistema de carros de desplazamiento

Código: Comp-IO-003

Función Primaria: Permitir el desplazamiento longitudinal y torsional del carro superior por los mandriles

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por ajuste inadecuado	Vibraciones	Operacional		Defecto de acoplamiento	Ninguna	3	4	4	45
Falla por ajuste inadecuado	No se moven correctamente	Operacional		Malá operación de equipos	Ninguna	3	5	3	45
Falla por fricción	Desgaste	No Operacional		Malá operación de equipos	Ninguna	3	3	3	27

AMFE

Página 6 de 7



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

Código: Comp-10-00

Componente: Sistema de Engranajes

Función Primaria: Transmisión la potencia procedente por el motor al Inalbe principal

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR
Falla por fricción	Frenado	En el grúnel y Mielis Anillos		Malá operación de equipos	Ninguna	4	3	5	40
Falla por fricción	Deflexión del Material	No Frenado		Lubricación insuficiente	Ninguna	4	5	4	120



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cambio AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente, evaluando IPR

FRESADORA UNIVERSAL

AMFE N° 0001

Código: Eq-FU-001

Función Primaria: Construcción de paños en paños de metal no ferrosos, así como el corte (finca) que permite la pasada de los paños.

Fecha de Redacción: 01.05.2007 **Responsable:** Ricardo Garza
Fecha de Edición:

Componente: Mesa

Código: Comp-FU-003

Función Primaria: Soporta los accesorios de la fresadora, los mismos que permiten la pasada a la máquina.

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla por corrosión por picadura	Desgaste	No Operacional	Mala operación de equipo	Ninguna	5	4	4	50				0	0	0	0
Falla por abarrotamiento	Desgaste	No Operacional	Mala utilización de recursos	Ninguna	2	3	4	24				0	0	0	0

Componente: Moto-bomba de refrigeración

Código: Comp-FU-003

Función Primaria: Proveer la refrigeración por agua (L) HP para dejar finca el fluido de refrigeración por el equipo

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla por frotamiento (ciclo bajo)	No Funciona	Operacional	Exceso de agua	Exceso de agua del motor	5	3	5	75				0	0	0	0
Falla por calor excesivo	No Funciona	No Funciona	Mala selección de materiales	Ninguna	4	3	4	72				0	0	0	0



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente, evaluando IPR

Componente: Motor Eléctrico

Código: Comp-FU-001

Función Primaria: Permitir la potencia necesaria (7.5 HP) para el funcionamiento del Equipo

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla por rotura del eje del motor	Rotura Denominada	Operacional	Operacional	Rozamiento excesivo	Ninguna	7	3	4	54			0	0	0	0
Falla por Estructura	Entorpecimiento	No Operacional	No Operacional	Exceso de carga del motor	Ajuste de la carga	5	4	3	54			0	0	0	0
Desbalanceo	Vibraciones	Operacional	Operacional	Mala selección de los componentes	Ninguna	7	3	4	140	Revisión de los componentes	Mantenimiento	2	7	3	4
Falla por Desgaste	Rotura Denominada	No Operacional	No Operacional	Desgaste de los componentes	Ninguna	4	3	4	130	Cambio de los componentes	Mantenimiento	1	4	3	4
Falla por Estructura	Rotura Denominada	Operacional	Operacional	Exceso de carga del motor	Ninguna	5	4	3	135	Optimización de la distribución de carga	Mantenimiento	2	5	2	4

Componente: Sistema de carros de desplazamiento

Código: Comp-FU-002

Función Primaria: Permitir el desplazamiento longitudinal y vertical de la masa con exactitud.

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla por corrosión	Desgaste	No Operacional	No Operacional	Exposición al ambiente con humedad	Ninguna	5	4	3	100			0	0	0	0
Falla por fricción	No se mueve correctamente	Operacional	Operacional	Mala operación de los equipos	Ninguna	3	2	3	15			0	0	0	0
Falla por corrosión	Desgaste	No Operacional	No Operacional	Exposición al ambiente con humedad	Ninguna	5	3	4	150	Lubricación adecuada	Mantenimiento	1	5	3	4



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

TALADRO-PUNTEADORA

Código: E₀-IP-001

AMFE N° 0003

Función Primaria: Construir o pjaros en piezas mecanicas o laminas necesarias, por medio de una lamina de corte (boca) que gira y avanza hacia el material, perforando el arranque de viruta y la formación de la guiso.

Fecha de Redacción: 01.08.2007 **Responsable:** Ricardo Giron

Fecha de Edición:

Componente: Columna

Código: Comp-IP003

Función Primaria: Posicionar la estructura del taladro, sobre cabalotes reportar y pilotando el cabezal del broche.

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla por conexión colgada	Falta de material de conexión	No Operacional	Mal funcionamiento de pinna	Ninguna	+ 3 5 40							0	0	0	0

Componente: Motor Eléctrico

Código: Comp-IP001

Función Primaria: Proveer la potencia necesaria para el funcionamiento del Equipo

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falta por desbalance de bobinas	Valores operacionales	Operacional	Falta de sincronización	Ninguna	5 5 + 100					Como gr desbalance	Mantenimiento	1	5	2	+ 40

Falla por desbalance de bobinas	Falta de sincronización	No Operacional	Falta de sincronización de fuente alimentada	Ninguna	+ 3 + 40							0	0	0	0
---------------------------------	-------------------------	----------------	--	---------	----------	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---

Falla por desbalance de bobinas	Falta de sincronización	Operacional	Falta de sincronización de fuente alimentada	Ninguna	+ 3 + 40							0	0	0	0
---------------------------------	-------------------------	-------------	--	---------	----------	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente, evaluando IPQ

Falla por desgarro de los cables	Potencia Dimensional	Operacional	Déficit de mantenimiento	Impactos								
De balance	Valencianas	Operacional	Mala selección de Elementos:	Impactos	5	3	+	60	0	0	0	0



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente, evaluando IPR

TORNO PARALELO

Código: Eq-IC-001

AMFE N° 0002

Función Primaria: Consume como un cilindro: moliendo o estirando, como una pieza de revolución, se le coloca para molerlos a una velocidad de la herramienta de corte (cuchillo) hacia la pieza mientras se va avanzando gradualmente alrededor del eje del husillo.

Fecha de Redacción: 02.05.2007 **Responsable:** Ezequiel Cazon

Fecha de Edición:

Componente: Bancada

Código: Comp-IC-004

Función Primaria: Sirve como soporte para el equipo y se tiene al sistema de camos ya varios accesorios.

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla **Efecto de Falla** **Tipo** **Consecuencia** **Causa de Falla** **Medidas de Control** **G** **F** **D** **IPR** **Acción Correctora** **Responsable** **G** **F** **D** **IPR**

Falla por Desgaste Desgaste No Operacional No Operacional Fricción en función normal Ninguna 2 3 4 24 0 0 0 0 0

Falla por corrosión generalizada Desgaste No Operacional Ambos de trabajo con demora en la limpieza Ninguna 4 3 3 40 0 0 0 0 0

Componente: Husillo para Roscar

Código: Comp-IC-003

Función Primaria: Sirve para abarcar la operación de roscado

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla **Efecto de Falla** **Tipo** **Consecuencia** **Causa de Falla** **Medidas de Control** **G** **F** **D** **IPR** **Acción Correctora** **Responsable** **G** **F** **D** **IPR**

Falla por Exceso de fuerza Exceso de fuerza Operacional Mala operación de equipo 4 4 3 120 Instrucciones de Manejo Manuales de 1 4 2 3 40

Falla por deformación plástica Cambio de forma Operacional Exceso de fuerza Ninguna 4 3 3 90 0 0 0 0 0



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente, evaluando IPR

Componente: Mandril Porta Herramientas

Código: Comp-IC-002

Función Primaria: Sujetar la pieza mecánica a ser tornada

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora Responsable	G	F	D	IPR
Falla por impacto	Cambio de forma	En la giratoria y modo funcionamiento	Mala operación de equipo	Ninguna	3	4	3	40		0	0	0	0
Falla por fricción	Las mordas no se mueven con facilidad	Operacional	Limitación mecánica	Ninguna	4	4	3	45		0	0	0	0
Falla por fricción	Las mordas no se mueven con facilidad	Operacional	Mala utilización de mordas	Ninguna	4	4	4	44		0	0	0	0

Componente: Sistema de carros de desplazamiento

Código: Comp-IC-003

Función Primaria: Permitir el desplazamiento longitudinal del carro respecto a los mandriles

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora Responsable	G	F	D	IPR
Falla por ajuste inadecuados	Maldiciones	Operacional	Defecto de ensamblaje	Ninguna	3	4	4	45		0	0	0	0
Falla por ajuste inadecuados	No se mueven correctamente	Operacional	Mala operación de equipo	Ninguna	3	3	3	45		0	0	0	0
Falla por fricción	Desgaste	No Operacional	Mala operación de equipo	Ninguna	3	3	3	27		0	0	0	0



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

Componente: Sistema de Engranajes

Código: Comp-IO-004

Función Primaria: Transmitir la potencia desde el motor al eje principal

APLICANDO ACCIÓN CORRECTORA

Modos de Falla		Efecto de Falla	Tipo	Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR
Falla por fricción	Exceso	Falta de engranaje	En engranaje	Medio	Mala operación de equipo	Ninguna	4	3	5	40			0	0	0	0
Falla por fricción	Deficiencia	Falta de engranaje	No engranaje	Medio	Labricación incorrecta	Ninguna	4	5	4	120	Control de Labricación	Mantenimiento	2	4	3	5



TAREAS DE MANTENIMIENTO

Nota: Una de la norma del mantenimiento, equipo y componentes que se le va a realizar

marzo, 15 de octubre de 2007

EQUIPO FREESADORA UNIVERSAL

Competencia	Código	Tareas de Mantenimiento	Periodo de Mant.		T. de Ejecución		Costo Estimado
			[Días]	[Hrs.]	[Hrs.]	[Hrs.]	
Motor Eléctrico	TM-FU-0006	Cambio del ajuste del rotor	0	0	2		\$ 40,000
Moto-bomba de refrigeración	TM-FU-0005		0	0	2		\$ 40,000
Moto-bomba de refrigeración	TM-FU-0004	revisión moto-bomba de refrigeración	0	100	1		\$ 10,000
Motor Eléctrico	TM-FU-0003	Revisión del motor eléctrico	0	100	3		\$ 30,000
Sistema de control de desplazamiento	TM-FU-0002	Lubricación	0	0	0		\$ 15,000
Sistema de control de desplazamiento	TM-FU-0001	Reparación superior e inferior	0	0	3		\$ 100,000
Motor Eléctrico	TM-FU-0007	Cambio de escobillas	0	0	2		\$ 60,000

EQUIPO TALADRO-PUNTEADORA

Competencia	Código	Tareas de Mantenimiento	Periodo de Mant.		T. de Ejecución		Costo Estimado
			[Días]	[Hrs.]	[Hrs.]	[Hrs.]	
Motor Eléctrico	TM-TU-0001	Revisión completa	0	200	2		\$ 20,000
Motor Eléctrico	TM-TU-0003	Cambio de Carbón	0	0	2		\$ 50,000
Columna	TM-TU-0002	Corregir corrosión en el apalco	0	0	3		\$ 100,000

EQUIPO TORNO PARALELO

Competencia	Código	Tareas de Mantenimiento	Periodo de Mant.		T. de Ejecución		Costo Estimado
			[Días]	[Hrs.]	[Hrs.]	[Hrs.]	
Marchal Para Herramientas	TM-TP0004	Limpieza y ajuste de la rosca del marchal	0	0	1		\$ 5,000
Huillo para Roca	TM-TP0005	Cambiar huillo para roca	0	0	3		\$ 300,000
Sistema de engrajes	TM-TP0002	Revisar tipo de lubricación	0	0	1		\$ 0,000
Sistema de engrajes	TM-TP0001	Revisar sistema de engrajes	0	300	1		\$ 0,000



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación contra de la zona de conservación

Tarea de Mantenimiento *Reparación superficie afectada*

Código: TM-FU-001

matas, 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Correctivo
Descripción	Limpieza superficie que presenta corrosión, retirar alambres, limpiar la superficie, pintarla nuevamente
Tareas Específicas	Corregir superficie afectada con corrosión al agua
Recurso	Mantenimiento I
Herramientas/Instrumentos	Caja de herramientas, pinturas, instrumentos de pintar.
Intervalo:	
Tiempo de Ejecución	3 [Horas]
Periodo	0 [Días] 4 0 [Horas]

Costos Estimados : 100,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación Centro de la zona de economías

Tarea de Mantenimiento *Lubricación*

Código: TM-FU-002

revis, 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Preventivo / A Condición
Descripción	Revisar y lubricar superficies conjugadas, como: guías, sistemas de transmisión (torres o conos) El intervalo al período recomendado por el fabricante.
Tareas Específicas	Revisar el estado de las superficies conjugadas. Lubricar las superficies que requieran ser lubricadas.
Recurso	Mantenimiento 2
Herramientas/Instrumentos	Bombas de lubricación, aceites, engrasadores
Indicador	
Tiempo de Ejecución	0 [Horas]
Período	0 [Días] a 0 [Horas]

Costo Estimado \$ 15,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación acerca de la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento *Revisión del motor eléctrico*

Código: TM-FU-0003

revisión, 16 de octubre de 2007

Etiquetas	M. Preventiva/A Condición
Descripción	Diagnóstico al funcionamiento del componente, revisar el estado físico del componente
Tareas Específicas	Revisar el estado interno del motor eléctrico Revisar el aislamiento. Revisar el estado de los rodamientos. Revisar el sistema de lubricación o nivel de lubricación. Cambiar elementos en mal estado
Personal	Mantenimiento I
Herramientas/Instrumentos	Caja multifarramientas, si brocas, multi metro
Insumos	
Tiempo de Ejecución	3 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 100 [Horas]

Costos Estimados \$ 30,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asesoraría técnica de la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento *revisión moto-bomba de refrigeración*

Código: TM-PL-0004

Fecha: 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Preventivo
Descripción	Cuando se presenten efectos del mal funcionamiento del sistema de refrigeración, se necesita chequear la moto-bomba de refrigeración. Se debe revisar las conexiones eléctricas, pasar al sistema mecánico y luego al sistema de distribución.
Tareas Específicas	Revisar parámetros de funcionamiento Revisar motor eléctrico Revisar bomba de refrigeración
Recurso	Mantenimiento 2
Herramientas/Insumos	
Insumos	
Tiempo de Ejecución	1 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 100 [Horas]
Costos Estimados	\$ 10,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación colombiana de la zona de occidente

Tarea de Mantenimiento

Código: TM-FU-0015

Fecha: 16 de octubre de 2007

Elaborado por:

M. Corstivo

Descripción

Consultar en el manual de la moto-bomba las especificaciones del eje del rotor que se muestra roto, desarmar el componente con mucho cuidado, siguiendo recomendación del fabricante; cambiar el eje, asegurar el correcto acoplamiento del elemento, armar nuevamente el componente.

Tareas Específicas

Cambiar el eje roto del rotor

Requisitos

Mantenimiento 3

Herramientas/Insumos:

Caja de herramientas, red planas de fábrica (ra, desarmador

Indicador:

Tiempo de Ejecución

2 [Horas]

Periodo

0 [Días] 0 [Horas]

Costos Estimados \$40,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asesoraría técnica de la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento *Cambio del eje roto del rotor*

Código: TNA-PTU-0006

Fecha: 16 de octubre de 2007

Etiquetas	M. Correctivo
Descripción	Consultar en el manual del motor las especificaciones del eje del rotor que se encuentran en el componente con mucho cuidado, seguir las recomendaciones del fabricante, cambiar el eje, asegurar el correcto acoplamiento con el elemento, arrancar nuevamente el componente. No olvidar el aceite e lubricar las partes necesarias.
Tareas Específicas	Cambiar el eje roto del rotor
Recurso	Mantenimiento 3
Herramientas/Insumos	caja de herramientas
Insumos	
Tiempo de Ejecución	2 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 0 [Horas]
	Costos Estimados 540,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación contra de la zona de conservación

Tarea de Mantenimiento *Cambio de escobillas*

Código: TM-FU-007

Fecha: 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Correctivo
Descripción	Desarmar a especificaciones del fabricante, adosar escobillas, y cambiar por las deterioradas.
Tareas Específicas	Cambiar escobillas deterioradas
Recurso	Mantenimiento 3
Herramientas/Instrumentos	Caja de herramientas
Insumos	
Tiempo de Ejecución	2 [Horas]
Periodo	0 [Días] 4 0 [Horas]

Costos Estimados \$60,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asignación dentro de la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento *Revisión completa*

Código: TMA-EL-0001

revisión, 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Preventiva/A. Correctiva
Descripción	Elaboración del funcionamiento del componente, revisar el estado físico del componente.
Tareas Específicas	Revisar el estado interno del motor eléctrico. Revisar el aislamiento. Revisar el estado de rodamientos. Revisar el estado de bobinado o diál inyectores. Cambiar elementos en mal estado.
Personal	Mantenimiento 2
Herramientas/Instrumentos	Caja de herramientas, multímetro, oscilosc.
Imagen:	
Tiempo de Ejecución	2 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 300 [Horas]
	Costos Estimados \$ 20,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación de Amigos del Jardín Botánico de la Universidad de Chile

Tarea de Mantenimiento *Corregir corrosión salpicada*

Código: TMA-TU-0002

Fecha: 16 de octubre de 2007

Etiquetas	M. Cognitivo
Descripción	Limpieza superficial que presenta corrosión, tal el caso de los cuadros, limpiar la superficie y pintarla nuevamente.
Tareas Específicas	Eliminar el proceso de corrosión en la superficie que se presenta. Reparar superficie afectada con corrosión salpicada.
Requisitos	Mantenimiento 3
Herramientas e Instrumentos	
Instancias	
Tiempo de Ejecución	3 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 0 [Horas]

Costos Estimados : 100,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asesoría de campo de la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento *Cambio de Carbones*

Código: IM-MA-0005

Fecha: 16 de octubre de 2007

Descripción	M. Correctivo
Descripción	El usuario a especificaciones dadas por el fabricante, deberá comprar nuevos carbones y cambiar carbones deteriorados.
Tareas Especificación	Cambio de carbones deteriorados
Requisitos	
Herramientas/Instrumentos	caja de herramientas
Insumos	
Tiempo de Ejecución	2 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 0 [Horas]
Costos Estimados	550,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación de usuarios de la zona de conservación

Tarea de Mantenimiento *Revisar sistema de engranajes*

Código: TM-TP-0001

Fecha: 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Preventiva / A. Condición
Descripción	Revisar la caja de engranajes, verificar la presencia de lubricante, verificar ruidos en los ajustes mecánicos.
Tareas Específicas	Revisar sistema de engranajes
Recurso	Mantenimiento 3
Herramientas/Instrumentos	
Insumos	
Tiempo de Ejecución	1 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 300 [Horas]
	Costos Estimados 50,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación Civil de la zona de occidente

Tarea de Mantenimiento *Revisar tipo de lubricación*

Código: TM-17-0002

revisar, 16 de octubre de 2007

Estrategia

M. Preventivo

Descripción

El acuerdo con el fabricante del equipo y a las condiciones del área operativa del equipo, seleccionar el tipo de lubricante a ser utilizado.
El determinar el procedimiento de lubricación del componente.

Requisitos

Revisar tipo del lubricante utilizado para evitar fallas en el sistema de engranajes.

Recurso

Mantenimiento 2

Herramientas/Instrumentos

Insumos:

Tiempo de Ejecución

1 [Horas]

Periodo

0 [Días]

o

0 [Horas]

Costos Estimados

\$ 0,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asesoría técnica sobre la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento *Cambiar husillo para roscar*

Código: TM-TP-0003

revisión, 16 de octubre de 2007

Estrategia	M. Correctivo
Descripción	De acuerdo a las especificaciones del componente, cambiar el husillo por uno nuevo. Siguiendo el procedimiento del manual de equipo llevar a cabo la operación de recambio del componente.
Tareas Específicas	Cambiar husillo para roscar roto.
Referencia	Mantenimiento 1,2.
Herramientas e Insumos	
Insumos:	
Tiempo de Ejecución	5 [Horas]
Periodo	0 [Días] 0 [Horas]
	Costos Estimados 1.500,00



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asociación técnica de la zona de maracaibo

Tarea de Mantenimiento *Limpieza y registro de las ruedas del machil*

Código: TM-EP-0004

Fecha: 16 de octubre de 2007

Frecuencia	M. Preventiva / A. Condición
Descripción	Revisar funcionamiento del machil, desarmar el componente, limpiar las superficies conjugadas del machil y sus ruedas ajustadas, lubricar las superficies conjugadas, montar el componente.
Detalle Especificaciones	Limpieza y ajuste del conjunto machil portapicoa.
Personal	Mantenimiento 2
Herramientas e Insumos	Hacha de machil, caja de herramientas, aceite
Insumos	
Tiempo de Ejecución	1 [Horas]
Periodo	0 [Días] a 0 [Horas]

Costos Estimados 55,00

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se ha desarrollado y automatizado un procedimiento de RCM utilizable en pequeñas y medianas empresas; en el desarrollo del método se ha utilizado el Análisis Modal de Falla y Efecto (AMFE); obteniéndose como resultado un sistema de gran ayuda en la determinación de las tareas de mantenimiento óptimas, en base a la filosofía RCM, para cada componente de equipo analizado.
- Cumpliendo con los objetivos específicos de esta tesis, se ha desarrollado una base de datos con el procedimiento RCM para PYMES utilizando el Paquete ACCESS de Microsoft. Esta base de datos desarrollada mantiene una interfaz simple para facilitar al usuario (persona que entienda y maneje RCM y AMFE) el ingreso de datos y la obtención e informes.
- El impacto deseado con procedimiento de RCM automatizado en ACCESS de Microsoft, es optimizar en forma económica la utilización y disponibilidad de los equipos e instalaciones de un determinado sistema; asegurando con su confiabilidad un proceso continuo sin paras imprevistas.
- La base de datos desarrollada en este trabajo, posee un lenguaje sencillo para su fácil utilización. El ingreso de datos se lo puede realizar rápida y confiablemente a través de sus formularios de entrada; la obtención de información requerida es efectiva mediante los informes, los mismos que son de fácil comprensión. De esta manera la base de datos desarrollada

simplifica el procedimiento de almacenamiento y manejo de información en un proceso RCM .

- Es importante tener la información organizada, para poder encontrar datos necesarios en momentos precisos; En el ejemplo de aplicación se nota la prolijidad del manejo de información.

6.2 RECOMENDACIONES

- La base de datos desarrollada en esta tesis debe ser llenada por una persona que tenga un conocimiento básico en RCM y AMFE, además la información ingresada debe ser obtenida y discutida por un equipo de trabajo.
- Para realizar un análisis específico dentro de un equipo, se debe tener una visión holística del sistema del cual forma parte; además se deben determinar las funciones primarias de acuerdo al contexto operacional dentro del sistema que esta siendo analizado
- .El mantenimiento representa un arma importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. Por consiguiente el mantener las áreas y ambientes de trabajo con adecuado orden, limpieza, iluminación, (ergonómicamente), es parte importante de un programa de mantenimiento dentro de cualquier organización.
- El mantenimiento no solo debe ser realizado por el departamento encargado de esto. El trabajador debe ser concientizado a mantener en buenas condiciones los equipos, herramienta, maquinarias, esto

permitirá mayor responsabilidad del trabajador y prevención de accidentes.

- La planeación del mantenimiento no debe ser rígida, sino al contrario se la debe considerar flexible, esto es, combinar varias de las filosofías de mantenimiento al momento de desarrollar un plan o procedimiento de mantenimiento. En este trabajo consta el desarrollo de RCM en conjunción con AMFE para definir las estrategias y tareas de mantenimiento.
- En la actualidad el manejo de información necesita ser exacto, para lo cual es inevitable la utilización de un ordenador (computador) en este proceso. El ingeniero debe utilizar la mayor parte de herramientas que se le proporcionen para optimizar su trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mgter. Leandro Daniel Torres; MANTENIMIENTO SU IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN; Argentina; 2005
2. Ing. Julio S. Morales; MANTENIMIENTO INDUSTRIAL I; 2005
3. Lourival Tavares; ADMINISTRACIÓN MODERNA DEL MANTENIMIENTO.
4. Osakis; STOCHASTIC MODELS IN RELIABILITY AND MAINTENANCE; Springer; 2002.
5. Luna, A; TEORÍA DE CONFIABILIDAD; Universidad de Buenos Aires; Argentina; 2005.
6. Améndola, L.; MODELOS MIXTOS DE CONFIABILIDAD; Edit. Datastream; España; 2002.
7. Moubray, J.;MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA COMFIABILIDAD (RCM); www.soporteycia.com.co.
8. ISO 14224; PETROLEUM AND GAS INDUSTRIES; Estados Unidos; 1998.
9. Aguinaga A.; INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO; Escuela Politécnica Nacional; 2005.
10. www.maconsultora.com
11. Librería HORDAGO; ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS.
12. Bestratén, M.; NTP 679 ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS AMFE; Centro Nacional de Condiciones de Trabajo; España; 2001.

13. Cámara de la Pequeña Industria del Guayas.

14. Galeas, M., Ayala, E.; Tesis: ESTUDIO DE EFECTO DE LA DOLARIZACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS (PYMES) EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA; 2002.

15. www.itlp.edu.mx

OTROS:

Navarrete, Treto, Rodríguez, Anreus, Lorenzo; GESTIÓN Y CALIDAD DEL MANTENIMIENTO.

Prando Raúl; MANUAL GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A LA MEDIDA; Guatemala; 1996.

Society Of Automotive Engineers; JA 1011; EVALUATION CRITERIA FOR RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (MCC) PROCESSES; Pennsylvania; USA; SAE Publications; 1999.

ANEXOS

ANEXO 1
(FORMATOS DE PRESENTACIÓN DE INFORMES)



CONTEXTO OPERACIONAL

Información del Equipo, condiciones y características de su operación

martes, 16 de octubre de 2007

Código de Equipo

Marca

Documento de Referencia

Ubicación

Clasificación

Tipo de Receta

Descripción

Estado

CONTEXTO OPERACIONAL

Proceso Continuo 7		
Redundancia 5N		
Parámetros Técnicos		
Ambiente de Trabajo		
Condiciones Inseguras		
Duración de jornadas de trabajo	[Horas]	Número de jornadas de trabajo
Otros		

Elaborado por



DIAGRAMA FUNCIONAL

Aplicar y comprender con sus funciones

martes, 16 de octubre de 2017

Función Primaria

Funciones Secundarias

Componente

Función Primaria

Funciones Secundarias



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

Función Primaria:	Código:	AMFE N°	Responsable					
Componente:	Fecha de Realización:							
Función Primaria	Fecha de Edición:							
	Código:							
Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR



ANÁLISIS MODAL DE FALLA - EFECTO

Cuadro AMFE, modos, efectos y causas de falla para cada componente; evaluando IPR

Función Primaria:	Código:	AMFE N°												
Componente:	Fecha de Realización	Responsable												
Función Primaria	Fecha de Edición													
	Código:													
Modos de Falla	Efecto de Falla	Tipo Consecuencia	Causa de Falla	Medidas de Control	G	F	D	IPR	Acción Correctora	Responsable	G	F	D	IPR

APLICANDO ACCIÓN CORRECTOR



COMPONENTES CON IPR ALTO

Algunas características de estos componentes que encuentran un IPR alto solo después de haberse producido comercialmente

Madrid, 16 de octubre de 2007

Equipo

Competencia	Función Primaria	Espacios y marcas los necesarios
--------------------	-------------------------	---



TAREAS DE MANTENIMIENTO

*Manejo de la norma de mantenimiento, equipos y componentes que se va a realizar
manten. 16 de octubre de 2007*

EQUIPO

Competencia	Código	Tareas de Mantenimiento	Periodo de Mant.		T. de Ejecución		Ciclo de vida
			[Días]	[H+ras]	[H+ras]	[H+ras]	



DESCRIPCIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO

Asignación acerca de la zona de mantenimiento

Tarea de Mantenimiento

Código

revisa, 16 de octubre de 2007

Energía

Descripción

Tareas Específicas

Personal

Herramientas/Instrumentos

Insumos

Tiempo de Ejecución

[Horas]

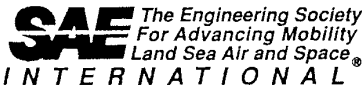
Periodo

[Días] a

[Horas]

Costos Estimados

ANEXO 2
**(SAE JA 1011; EVALUATION CRITERIA FOR RELIABILITY-
CENTERED MAINTENCE (RCM) PROCESSES)**

 <p>SAE The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space® INTERNATIONAL</p> <p>400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001</p>	<p>SURFACE VEHICLE/ AEROSPACE STANDARD</p>	<p>SAE JA1011</p>	<p>ISSUED AUG 1999</p>
		<p>Issued 1999-08</p>	
<p>Submitted for recognition as an American National Standard</p>			
<p>Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes</p>			
<p><i>Foreword</i>—Reliability-Centered Maintenance (RCM) was initially developed by the commercial aviation industry to improve the safety and reliability of their equipment. It was first documented in a report written by F.S. Nowlan and H.F. Heap and published by the U.S. Department of Defense in 1978. Since then, RCM has been used to help formulate physical asset management strategies in almost every area of organized human endeavor, and in almost every industrialized country in the world. The process defined by Nowlan and Heap served as the basis of various application documents in which the RCM process has been developed and refined over the ensuing years. Most of these documents retain the key elements of the original process. However the widespread use of the term "RCM" has led to the emergence of a number of processes that differ significantly from the original, but that their proponents also call "RCM." Many of these other processes fail to achieve the goals of Nowlan and Heap, and some are actively counterproductive.</p> <p>As a result, there has been a growing international demand for a standard that sets out the criteria that any process must comply with in order to be called "RCM." This document meets that need.</p> <p>The criteria in this SAE Standard are based upon the RCM processes and concepts in three RCM documents: (1) Nowlan and Heap's 1978 book, "Reliability-Centered Maintenance," (2) US naval aviation's MIL-STD-2173(AS) (Reliability-Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment) and its successor, U.S. Naval Air Systems Command Management Manual 00-25-403 (Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process), and (3) "Reliability-Centered Maintenance (RCM 2)," by John Moubray. These documents are judged to be the most widely-accepted and widely-used RCM documents available.</p> <p>This document describes the minimum criteria that any process must comply with to be called "RCM." It does not attempt to define a specific RCM process.</p> <p>This document is intended for anyone who wishes to ascertain whether any process that purports to be RCM is in fact RCM. It is especially useful to people who wish to purchase RCM services (training, analysis, facilitation, consulting, or any combination thereof).</p>			

SAE Technical Standards Board Rules provide that: "This report is published by SAE to advance the state of technical and engineering sciences. The use of this report is entirely voluntary, and its applicability and suitability for any particular use, including any patent infringement arising therefrom, is the sole responsibility of the user."

SAE reviews each technical report at least every five years at which time it may be reaffirmed, revised, or cancelled. SAE invites your written comments and suggestions.

QUESTIONS REGARDING THIS DOCUMENT: (724) 772-8512 FAX: (724) 776-0243
TO PLACE A DOCUMENT ORDER: (724) 776-4970 FAX: (724) 776-0790
SAE WEB ADDRESS <http://www.sae.org>

SAE JA1011 Issued AUG1999

TABLE OF CONTENTS

1.	Scope.....	2
1.1	Purpose	2
2.	References	2
2.1	Related Publications	2
2.1.1	SAE Publications	2
2.1.2	U.S. Department of Commerce Publications	3
2.1.3	U.S. Department of Defense Publications	3
2.1.4	Industrial Press Publication.	3
2.1.5	U.K. Ministry of Defence	3
2.1.6	Other Publications	3
3.	Definitions	4
4.	Acronyms	6
5.	Reliability-Centered Maintenance (RCM)	6
5.1	Functions	6
5.2	Functional Failures	6
5.3	Failure Modes	6
5.4	Failure Effects	7
5.5	Failure Consequence Categories	7
5.6	Failure Management Policy Selection	7
5.7	Failure Management Policies—Scheduled Tasks	7
5.8	Failure Management Policies—One-Time Changes and Run-to-Failure.....	9
5.9	A Living Program	9
5.10	Mathematical and Statistical Formulae	10
6.	Notes	10
6.1	Keywords	10

1. **Scope**—This SAE Standard for Reliability Centered Maintenance (RCM) is intended for use by any organization that has or makes use of physical assets or systems that it wishes to manage responsibly.

1.1 **Purpose**—RCM is a specific process used to identify the policies which must be implemented to manage the failure modes which could cause the functional failure of any physical asset in a given operating context. This document is intended to be used to evaluate any process that purports to be an RCM process, in order to determine whether it is a true RCM process. This document supports such an evaluation by specifying the minimum criteria that a process must have in order to be an RCM process.

2. References

2.1 **Related Publications**—The following publications are provided for information purposes only and are not a required part of this document.

2.1.1 SAE PUBLICATIONS—Available from SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

SAE JA1012—A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM)

SAE JA1011 Issued AUG1999

- 2.1.2 U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE PUBLICATIONS—Available from NTIS, Port Royal Road, Springfield, VA 22161

Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, "Reliability-Centered Maintenance," Department of Defense, Washington, D.C. 1978. Report Number AD-A066579.

- 2.1.3 U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE PUBLICATIONS—Available from DODSSP, Subscription Services Desk, Building 4/Section D, 700 Robbins Avenue, Philadelphia, PA 19111-5098

MIL-STD 2173(AS)—"Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment" (U.S. Naval Air Systems Command)

NAVAIR 00-25-403—"Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process" (U.S. Naval Air System Command)

MIL-P-24534—"Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation" (U.S. Naval Sea Systems Command)

S9081-AB-GIB-010/MAINT—"Reliability-Centered Maintenance Handbook" (U.S. Naval Sea Systems Command)

- 2.1.4 INDUSTRIAL PRESS PUBLICATION—Available from Industrial Press, Inc., 200 Madison Avenue, New York City, New York, 10016 (also available from Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, Great Britain OX2 8DP).

Moubray, John, "Reliability-Centered Maintenance," 1997

- 2.1.5 U.K. MINISTRY OF DEFENCE PUBLICATION—Available from Reliability-centred Maintenance Implementation Team, Ships Support Agency, Ministry of Defence (Navy), Room 22, Block K, Foxhill, Bath, BA1 5AB United Kingdom.

NES 45—Naval Engineering Standard 45, "Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels" (Restricted-Commercial)

- 2.2 **Other Publications**—The following publications were consulted in the course of developing this SAE Technical Report and are not a required part of this document.

Anderson, Ronald T. and Neri, Lewis, "Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods," Elsevier Applied Science, London and New York, 1990

Blanchard, B.S., Verma, D., and Peterson, E.L., "Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management," John Wiley and Sons, New York, 1995

"Dependability Management—Part 3-11: Application Guide—Reliability Centred Maintenance," International Electrotechnical Commission, Geneva, Document No. 56/651/FDIS.

Jones, Richard B., "Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach," Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1995

MSG-3, "Maintenance Program Development Document," Air transport Association, Washington DC, Revision 2 1993

"Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis," Department of Defense, Washington, DC, Military Standard MIL-DTD. 1629A, Notice 2, 1984

"Reliability Centered Maintenance for Aircraft, Engines, and Equipment," United States Air Force, MIL-STD-1843 (NOTE: Cancelled without Replacement, August 1995)

Smith, Anthony M., "Reliability Centered Maintenance," McGraw-Hill, New York, 1993

Zwinglestein, G., "Reliability Centered Maintenance, A Practical Guide for Implementation," Hermés, Paris, 1996

SAE JA1011 Issued AUG1999

3. Definitions

- 3.1 Age**—A measure of exposure to stress computed from the moment an item or component enters service when new or re-enters service after a task designed to restore its initial capability, and can be measured in terms of calendar time, running time, distance traveled, duty cycles, or units of output or throughput.
- 3.2 Appropriate Task**—A task that is both technically feasible and worth doing (applicable and effective).
- 3.3 Conditional Probability of Failure**—The probability that a failure will occur in a specific period provided that the item concerned has survived to the beginning of that period.
- 3.4 Desired Performance**—The level of performance desired by the owner or user of a physical asset or system.
- 3.5 Environmental Consequences**—A failure mode or multiple failure has environmental consequences if it could breach any corporate, municipal, regional, national, or international environmental standard or regulation which applies to the physical asset or system under consideration.
- 3.6 Evident Failure**—A failure mode whose effects become apparent to the operating crew under normal circumstances if the failure mode occurs on its own.
- 3.7 Evident Function**—A function whose failure on its own becomes apparent to the operating crew under normal circumstances.
- 3.8 Failure Consequences**—The way(s) in which the effects of a failure mode or a multiple failure matter (evidence of failure, impact on safety, the environment, operational capability, direct, and indirect repair costs).
- 3.9 Failure Effect**—What happens when a failure mode occurs.
- 3.10 Failure-Finding Task**—A scheduled task used to determine whether a specific hidden failure has occurred.
- 3.11 Failure Management Policy**—A generic term that encompasses on-condition tasks, scheduled restoration, scheduled discard, failure-finding, run-to-failure, and one-time changes.
- 3.12 Failure Mode**—A single event, which causes a functional failure.
- 3.13 Function**—What the owner or user of a physical asset or system wants it to do.
- 3.14 Functional Failure**—A state in which a physical asset or system is unable to perform a specific function to a desired level of performance.
- 3.15 Hidden Failure**—A failure mode whose effects do not become apparent to the operating crew under normal circumstances if the failure mode occurs on its own.
- 3.16 Hidden Function**—A function whose failure on its own does not become apparent to the operating crew under normal circumstances.
- 3.17 Initial Capability**—The level of performance that a physical asset or system is capable of achieving at the moment it enters service.
- 3.18 Multiple Failure**—An event that occurs if a protected function fails while its protective device or protective system is in a failed state.

SAE JA1011 Issued AUG1999

- 3.19 Non-Operational Consequences**—A category of failure consequences that do not adversely affect safety, the environment, or operations, but only require repair or replacement of any item(s) that may be affected by the failure.
- 3.20 On-Condition Task**—A scheduled task used to detect a potential failure.
- 3.21 One-Time Change**—Any action taken to change the physical configuration of an asset or system (redesign or modification), to change the method used by an operator or maintainer to perform a specific task, to change the operating context of the system, or to change the capability of an operator or maintainer (training)
- 3.22 Operating Context**—The circumstances in which a physical asset or system is expected to operate.
- 3.23 Operational Consequences**—A category of failure consequences that adversely affect the operational capability of a physical asset or system (output, product quality, customer service, military capability, or operating costs in addition to the cost of repair).
- 3.24 Owner**—A person or organization that may either suffer or be held accountable for the consequences of a failure mode by virtue of ownership of the asset or system.
- 3.25 P-F Interval**—The interval between the point at which a potential failure becomes detectable and the point at which it degrades into a functional failure (also known as "failure development period" and "lead time to failure")
- 3.26 Potential Failure**—An identifiable condition that indicates that a functional failure is either about to occur or is in the process of occurring.
- 3.27 Protective Device or Protective System**—A device or system which is intended to avoid, eliminate, or minimize the consequences of failure of some other system.
- 3.28 Primary Function(s)**—The function(s) which constitute the main reason(s) why a physical asset or system is acquired by its owner or user.
- 3.29 Run-to-Failure**—A failure management policy that permits a specific failure mode to occur without any attempt to anticipate or prevent it.
- 3.30 Safety Consequences**—A failure mode or multiple failure has safety consequences if it could injure or kill a human being.
- 3.31 Scheduled**—Performed at fixed, predetermined intervals, including "continuous monitoring" (where the interval is effectively zero).
- 3.32 Scheduled Discard**—A scheduled task that entails discarding an item at or before a specified age limit regardless of its condition at the time.
- 3.33 Scheduled Restoration**—A scheduled task that restores the capability of an item at or before a specified interval (age limit), regardless of its condition at the time, to a level that provides a tolerable probability of survival to the end of another specified interval.
- 3.34 Secondary Functions**—Functions which a physical asset or system has to fulfill apart from its primary function(s), such as those needed to fulfill regulatory requirements and those which concern issues such as protection, control, containment, comfort, appearance, energy efficiency, and structural integrity.
- 3.35 User**—A person or organization that operates an asset or system and may either suffer or be held accountable for the consequences of a failure mode of that system.

SAE JA1011 Issued AUG1999

4. Acronyms**4.1 RCM—Reliability-Centered Maintenance****5. Reliability-Centered Maintenance (RCM)—Any RCM process shall ensure that all of the following seven questions are answered satisfactorily and are answered in the sequence shown as follows:**

- a. What are the functions and associated desired standards of performance of the asset in its present operating context (functions)?
- b. In what ways can it fail to fulfil its functions (functional failures)?
- c. What causes each functional failure (failure modes)?
- d. What happens when each failure occurs (failure effects)?
- e. In what way does each failure matter (failure consequences)?
- f. What should be done to predict or prevent each failure (proactive tasks and task intervals)?
- g. What should be done if a suitable proactive task cannot be found (default actions)?

To answer each of the previous questions "satisfactorily," the following information shall be gathered, and the following decisions shall be made. All information and decisions shall be documented in a way which makes the information and the decisions fully available to and acceptable to the owner or user of the asset.

5.1 Functions

- 5.1.1 The operating context of the asset shall be defined.
- 5.1.2 All the functions of the asset/system shall be identified (all primary and secondary functions, including the functions of all protective devices).
- 5.1.3 All function statements shall contain a verb, an object, and a performance standard (quantified in every case where this can be done).
- 5.1.4 Performance standards incorporated in function statements shall be the level of performance desired by the owner or user of the asset/system in its operating context.

5.2 Functional failures—All the failed states associated with each function shall be identified.**5.3 Failure modes**

- 5.3.1 All failure modes reasonably likely to cause each functional failure shall be identified.
- 5.3.2 The method used to decide what constitutes a "reasonably likely" failure mode shall be acceptable to the owner or user of the asset.
- 5.3.3 Failure modes shall be identified at a level of causation that makes it possible to identify an appropriate failure management policy.
- 5.3.4 Lists of failure modes shall include failure modes that have happened before, failure modes that are currently being prevented by existing maintenance programs and failure modes that have not yet happened but that are thought to be reasonably likely (credible) in the operating context.
- 5.3.5 Lists of failure modes should include any event or process that is likely to cause a functional failure, including deterioration, design defects, and human error whether caused by operators or maintainers (unless human error is being actively addressed by analytical processes apart from RCM).

SAE JA1011 Issued AUG1999

5.4 Failure Effects

- 5.4.1 Failure effects shall describe what would happen if no specific task is done to anticipate, prevent, or detect the failure.
- 5.4.2 Failure effects shall include all the information needed to support the evaluation of the consequences of the failure, such as:
- a. What evidence (if any) that the failure has occurred (in the case of hidden functions, what would happen if a multiple failure occurred)
 - b. What it does (if anything) to kill or injure someone, or to have an adverse effect on the environment
 - c. What it does (if anything) to have an adverse effect on production or operations
 - d. What physical damage (if any) is caused by the failure
 - e. What (if anything) must be done to restore the function of the system after the failure

5.5 Failure Consequence Categories

- 5.5.1 The consequences of every failure mode shall be formally categorized as follows:
- 5.5.1.1 The consequence categorization process shall separate hidden failure modes from evident failure modes.
- 5.5.1.2 The consequence categorization process shall clearly distinguish events (failure modes and multiple failures) that have safety and/or environmental consequences from those that only have economic consequences (operational and non-operational consequences).
- 5.5.2 The assessment of failure consequences shall be carried out as if no specific task is currently being done to anticipate, prevent, or detect the failure.

5.6 Failure Management Policy Selection

- 5.6.1 The failure management selection process shall take account of the fact that the conditional probability of some failure modes will increase with age (or exposure to stress), that the conditional probability of others will not change with age, and the conditional probability of yet others will decrease with age.
- 5.6.2 All scheduled tasks shall be technically feasible and worth doing (applicable and effective), and the means by which this requirement will be satisfied are set out in 5.7.
- 5.6.3 If two or more proposed failure management policies are technically feasible and worth doing (applicable and effective), the policy that is most cost-effective shall be selected.
- 5.6.4 The selection of failure management policies shall be carried out as if no specific task is currently being done to anticipate, prevent or detect the failure.

5.7 Failure Management Policies—Scheduled Tasks

- 5.7.1 All scheduled tasks shall comply with the following criteria:
- 5.7.1.1 In the case of an evident failure mode that has safety or environmental consequences, the task shall reduce the probability of the failure mode to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

SAE JA1011 Issued AUG1999

- 5.7.1.2 In the case of a hidden failure mode where the associated multiple failure has safety or environmental consequences, the task shall reduce the probability of the hidden failure mode to an extent which reduces the probability of the associated multiple failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.1.3 In the case of an evident failure mode that does not have safety or environmental consequences, the direct and indirect costs of doing the task shall be less than the direct and indirect costs of the failure mode when measured over comparable periods of time.
- 5.7.1.4 In the case of a hidden failure mode where the associated multiple failure does not have safety or environmental consequences, the direct and indirect costs of doing the task shall be less than the direct and indirect costs of the multiple failure plus the cost of repairing the hidden failure mode when measured over comparable periods of time.
- 5.7.2 ON-CONDITION TASKS—Any on-condition task (or predictive or condition-based or condition monitoring task) that is selected shall satisfy the following additional criteria:
- 5.7.2.1 There shall exist a clearly defined potential failure.
- 5.7.2.2 There shall exist an identifiable P-F interval (or failure development period).
- 5.7.2.3 The task interval shall be less than the shortest likely P-F interval.
- 5.7.2.4 It shall be physically possible to do the task at intervals less than the P-F interval.
- 5.7.2.5 The shortest time between the discovery of a potential failure and the occurrence of the functional failure (the P-F interval minus the task interval) shall be long enough for predetermined action to be taken to avoid, eliminate, or minimize the consequences of the failure mode.
- 5.7.3 SCHEDULED DISCARD TASKS—Any scheduled discard task that is selected shall satisfy the following additional criteria:
- 5.7.3.1 There shall be a clearly defined (preferably a demonstrable) age at which there is an increase in the conditional probability of the failure mode under consideration.
- 5.7.3.2 A sufficiently large proportion of the occurrences of this failure mode shall occur after this age to reduce the probability of premature failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.4 SCHEDULED RESTORATION TASKS—Any scheduled restoration task that is selected shall satisfy the following additional criteria:
- 5.7.4.1 There shall be a clearly defined (preferably a demonstrable) age at which there is an increase in the conditional probability of the failure mode under consideration.
- 5.7.4.2 A sufficiently large proportion of the occurrences of this failure mode shall occur after this age to reduce the probability of premature failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.4.3 The task shall restore the resistance to failure (condition) of the component to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

SAE JA1011 Issued AUG1999

5.7.5 FAILURE-FINDING TASKS—Any failure-finding task that is selected shall satisfy the following additional criteria (failure-finding does not apply to evident failure modes):

5.7.5.1 The basis upon which the task interval is selected shall take into account the need to reduce the probability of the multiple failure of the associated protected system to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

5.7.5.2 The task shall confirm that all components covered by the failure mode description are functional.

5.7.5.3 The failure-finding task and associated interval selection process should take into account any probability that the task itself might leave the hidden function in a failed state.

5.7.5.4 It shall be physically possible to do the task at the specified intervals.

5.8 Failure Management Policies—One-Time Changes and Run-to-Failure

5.8.1 ONE-TIME CHANGES

5.8.1.1 The RCM process shall endeavor to extract the desired performance of the system as it is currently configured and operated by applying appropriate scheduled tasks.

5.8.1.2 In cases where such tasks cannot be found, one-time changes to the asset or system may be necessary, subject to the following criteria.

5.8.1.2.1 In cases where the failure is hidden, and the associated multiple failure has safety or environmental consequences, a one-time change that reduces the probability of the multiple failure to a level tolerable to the owner or user of the asset is compulsory.

5.8.1.2.2 In cases where the failure mode is evident and has safety or environmental consequences, a one-time change that reduces the probability of the failure mode to a level tolerable to the owner or user of the asset is compulsory.

5.8.1.2.3 In cases where the failure mode is hidden, and the associated multiple failure does not have safety or environmental consequences, any one-time change must be cost-effective in the opinion of the owner or user of the asset.

5.8.1.2.4 In cases where the failure mode is evident and does not have safety or environmental consequences, any one-time change must be cost-effective in the opinion of the owner or user of the asset.

5.8.2 RUN-TO-FAILURE—Any run-to-failure policy that is selected shall satisfy the appropriate criterion as follows:

5.8.2.1 In cases where the failure is hidden and there is no appropriate scheduled task, the associated multiple failure shall not have safety or environmental consequences.

5.8.2.2 In cases where the failure is evident and there is no appropriate scheduled task, the associated failure mode shall not have safety or environmental consequences.

5.9 A Living Program

5.9.1 This document recognizes that (a) much of the data used in the initial analysis are inherently imprecise, and that more precise data will become available in time, (b) the way in which the asset is used, together with associated performance expectations, will also change with time, and (c) maintenance technology continues to evolve. Thus a periodic review is necessary if the RCM-derived asset management program is to ensure that the assets continue to fulfill the current functional expectations of their owners and users.

SAE JA1011 Issued AUG1999

5.9.2 Therefore any RCM process shall provide for a periodic review of both the information used to support the decisions and the decisions themselves. The process used to conduct such a review shall ensure that all seven questions in Section 5 continue to be answered satisfactorily and in a manner consistent with the criteria set out in 5.1 through 5.8.

5.10 Mathematical and Statistical Formulae

5.10.1 Any mathematical and statistical formulae that are used in the application of the process (especially those used to compute the intervals of any tasks) shall be logically robust, and shall be available to and approved by the owner or user of the asset.

6. Notes

6.1 **Key words**—Condition-based maintenance, predictive maintenance, preventive maintenance, proactive maintenance, RCM, reliability centered maintenance, scheduled maintenance

PREPARED BY THE SAE G-11 RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) SUBCOMMITTEE
OF THE SAE G-11 SUPPORTABILITY COMMITTEE

SAE JA1011 Issued AUG1999

Rationale—Not applicable.

Relationship of SAE Standard to ISO Standard—Not applicable.

Application—This SAE Standard for Reliability Centered Maintenance (RCM) is intended for use by any organization that has or makes use of physical assets or systems that it wishes to manage responsibly.

Reference Section

- SAE JA1012—A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM)
- Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, "Reliability-Centered Maintenance," Department of Defense, Washington, D.C. 1978. Report Number AD-A066579.
- MIL-STD 2173(AS)—"Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment" (U.S. Naval Air Systems Command)
- NAVAIR 00-25-403—"Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process" (U.S. Naval Air Systems Command)
- MIL-P-24534—"Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation" (U.S. Naval Sea Systems Command)
- S9081-AB-GIB-010/MAINT—"Reliability-Centered Maintenance Handbook" (U.S. Naval Sea Systems Command)
- Moubray, John, "Reliability-Centered Maintenance," 1997
- NES 45—Naval Engineering Standard 45, "Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels" (Restricted-Commercial)
- Anderson, Ronald T. and Neri, Lewis, "Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods," Elsevier Applied Science, London and New York, 1990
- Blanchard, B.S., Verma, D., and Peterson, E.L., "Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management," John Wiley and Sons, New York, 1995
- "Dependability Management—Part 3-11: Application Guide—Reliability Centred Maintenance," International Electrotechnical Commission, Geneva, Document No. 56/651/FDIS.
- Jones, Richard B., "Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach," Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1995
- MSG-3, "Maintenance Program Development Document," Air transport Association, Washington DC, Revision 2 1993
- "Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis," Department of Defense, Washington, DC, Military Standard MIL-DTD. 1629A, Notice 2, 1984
- "Reliability Centered Maintenance for Aircraft, Engines, and Equipment, United States Air Force," MIL-STD-1843 (NOTE: Cancelled without Replacement, August 1995)

ANEXO 3
(DOCUMENTOS DE REFERENCIA DEL EJEMPLO DE
APLICACIÓN)



Fresadora Universal M.R.F. Modelo FU-145

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	VALOR
MESES		
Superficie del	mm (pulg)	850 x 50 (33" x 12 1/2")
Distancia entre vertidos	grad	45°
COORDENAS		
Longitudinal automática	mm (pulg)	1100 (43.40")
Transversal automática	mm (pulg)	300 (11.8")
Vertical automática	mm (pulg)	300 (11.8")
Distancia entre vertidos entre vertidos de la máquina base	mm (pulg)	300 (11.8")
MARCHAS		
Grupos de eje principal		50-40 50-40
Número de velocidades Velocidades máximas y mínimas	r.p.m.	8 - 2000
AVANÇOS		
Número de avances		8
MOTORES		
Motor principal	KW (HP)	6.8 (9.2)
Motor de avance	KW (HP)	1.8 (2.4)
Motor auxiliar de rotación en	KW (HP)	0.09 (0.12)
PRECIO		
Peso (estructura completa)	kg (libras)	3600 (7900)
ACCESORIOS		
Lectura digital FAGOR a. 3 ejes		A opcional
PRECIO		14.425 € + Iva



Polígono de Malpica, C/E, nave 117 - 50016 Zaragoza (SPAIN)
Teléfono: +34.976.57.45.00 - Fax: +34.976.57.46.78
Email: info@maguineriaverde.com

[Volver a la página principal](#)



Taladro-Punteadora OERLIKON Modelo UB-2

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	VALOR
EEI PRINCIPAL		
Velocidad	rpm	9 (15, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150)
Avance	mm/min	3-10 mm
Carrete Alargado lateral	mm	0-12, 0-20, 0-30
REGULADO		
Distancia del motor	CV	1,1 (1000 rpm) 1,5 (1000 rpm)
Capacidad garantida de taladrado, en Acero con sistema de 0,25 mm/min	mm Ø	25
Perforado lateral Ø 7	mm Ø	máx. 16, 15
PESO		
Revolucionario	kg	100

ACCESORIOS

Reglaje profundidad; capacidad de perforación para el
material del eje; punteador de metal;
bomba de engrase; trazo de centros; material con
cambio interior de 14 mm; mesa...

	3.335
PRECIO	€ +
	IVA



Rolspan de Maquinaria Verde, S.L. - nave 117 - 90016 Zamora (SPAIN)

Teléfono: +34 976 374500 - Fax: +34 976 374670

Email: info@maquinariaverde.com

CARACTERÍSTICAS

Página 1 de 2

TORNO PARALELO CM-36

 TORNO PARALELO CM-36


CARACTERÍSTICAS

DIÁMETRO SOBRE BANCALIA	φ300mm	Accesorios Standard: Plato de 3 montajes Plato de 4 montajes Plato Fluyo Lente fija Lente móvil Equipo ajuste de recambio Punto fija Baja Radicación Cabezal Viruta Equipo Refrigerante Equipo Suministro
DIÁMETRO SOBRE EJE DE	φ200mm	
ANCHO BANCALIA	200mm	
DISTANCIA ENTRE PUNTAS	300mm	
CONO HUSILLO	M.T.N.O.3	
PASQUE DE HUSILLO	φ30mm	
NÚMERO VELOCIDADES	16	
RANGO DE VELOCIDADES	45-1800 rpm	
HUSILLO	DT-4	
ROSCAS MÉTRICAS	0.45-7.622 (sends) mm	
WISH-WORTH THREADS	4-112 (44 sends) TPI	
RANGO DE AVANCES LONG.	0.0013-0.0254 mm/v	
RANGO DE AVANCES TRANSV.	0.0013-0.01 mm/v	
DIÁMETRO TORNILLO PATRON	φ22mm	
PASO TORNILLO PATRON	6 TPI	
RECUBRIDO CONTRA PUNTA	120Ww	
CONO CONTRA PUNTA	M.T.N.O.3	
MOTOR DE 2 VELOC.	1.5/2.4 Kw	
DIÁMETRO EJE	32/2 + 40/2 + 110/4mm	

PESO

750KG

- . ENGRANAJES TEMPLADOS Y RECTIFICADOS**
- . BANCADA TEMPLADA**
- . CAJA ROTORON CERRADA EN BAÑO DE ACEITE**
- . FREIO**

[Principal](#) [Contactanos](#) [Máquinas Nuevas](#) [Máquinas Usadas](#) [Ofertas](#) [Consultas](#)

CANCELARICH MAQUINARIAS

Zona Sur: Av.H. Yrigoyen 5899 R. de Escalada (1626) Bs.As. Argentina
Tel. Fax. (54.11) 4 249-8888 / 4 241-7475
zonasur@cancelarich.com.ar

Zona Oeste: Av. J.M. de Rosas 3048 San Justo (1754) Bs.As. Argentina
Tel. Fax (54.11) 4 484-6889 / 4 631-6684
zonaoeste@cancelarich.com.ar