

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFIA RCM
PARA LA FORMADORA MCKAY EN TENARIS TUBOCARIBE**

**LIZZETTE JOHANNA DE LA TORRE ALTAMAR
NILSA GISSELLA QUINTERO PORTOCARRERO**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2007

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFIA RCM
PARA LA FORMADORA MCKAY EN TENARIS TUBOCARIBE**

**LIZZETTE JOHANNA DE LA TORRE ALTAMAR
NILSA GISSELLA QUINTERO PORTOCARRERO**

Tesis para optar por el titulo de Ingeniero Industrial

Asesor:

Ingeniero en producción

Néstor Rodríguez Sánchez

Superintendente de mantenimiento de la empresa Tenaris Tubocaribe

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2007

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias, 07 de julio de 2007

Cartagena de Indias D.T. y C., julio 07 de 2007

AUTORIZACIÓN

Yo, LIZZETTE JOHANNA DE LA TORRE ALTAMAR identificado con cédula de ciudadanía 32'938.652 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR para hacer uso del trabajo de grado titulado "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFIA RCM PARA LA FORMADORA MCKAY EN TENARIS TUBOCARIBE" y publicarlo en el catalogo On Line de la Biblioteca.

**LIZZETTE JOHANNA DE LA TORRE ALTAMAR
CC. 32938.652 de Cartagena.**

Cartagena de Indias D.T. y C., julio 07 de 2007

AUTORIZACIÓN

Yo, NILSA GISSELLA QUINTERO PORTOCARRERO identificado con cédula de ciudadanía 42'560.598 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR para hacer uso del trabajo de grado titulado **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFIA RCM PARA LA FORMADORA MCKAY EN TENARIS TUBOCARIBE”** y publicarlo en el catalogo On Line de la Biblioteca.

NILSA GISSELLA QUINTERO PORTOCARRERO

CC. 45'560.598 de Cartagena

Cartagena de Indias D.T. y C., Julio 07 de 2007

Señores:

**COMITÉ EVALUADOR TRABAJOS DE GRADO
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**
La ciudad.

Presentamos a consideración la tesis titulada “**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFIA RCM PARA LA FORMADORA MCKAY EN TENARIS TUBOCARIBE**” como requisito para optar por el título de ingeniero Industrial.

Cordialmente,

LIZZETTE DE LA TORRE A.

NILSA QUINTERO P.

Cartagena, 3 de abril de 2007

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atn: Ing. Jaime Acevedo Chedid

Director de Programa de Ingeniería Industrial

Cordial Saludo,

A través de la presente me permito manifestar mi participación como director en el desarrollo del trabajo de grado que lleva por nombre “**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFÍA RCM PARA LA FORMADORA MCKAY EN TENARIS TUBOCARIBE**” y la valido con pleno conocimiento del trabajo elaborado por las estudiantes **LIZZETTE JOHANNA DE LA TORRE ALTAMAR (200201959) Y NILSA GISSELLA QUINTERO PORTOCARRERO (200501352)**.

Cordialmente,

Ing. Néstor Rodríguez Sánchez

Superintendente de mantenimiento

Tenaris Tubocaribe

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer antes que a nadie y de manera muy especial a Dios por proporcionarnos los conocimientos, los medios y el tiempo necesarios y a través de los cuales se hizo posible la realización del presente trabajo.

Agradecer a nuestro asesor e ingeniero Néstor Rodríguez Sánchez, quien significó una luz en el camino cuando no encontrábamos quien nos asesorara para la realización de este trabajo, por su especial colaboración y tiempo dedicado.

Agradecer también el constante apoyo, ayuda y buenos deseos del actual decano de ciencias básicas Jorge Luís Muñiz Olite. No solo por lo anteriormente mencionado, sino también, por ser una excelente e integral persona y profesional, Agradecemos a Dios por cruzarlo en nuestro camino.

Agradecer a nuestros padres por su constante apoyo y preocupación por el alcance de nuestros logros, además de su incondicional amor y comprensión. Y por último en orden, mas no en importancia, Agradecer a nuestros amigos, que siempre nos acompañaron en las buenas y en las malas en el transcurso de nuestra carrera y a todos aquellos profesores que invirtieron parte de su conocimiento para nuestra formación como ingenieras.

AGRADECIMIENTOS

Personal y especialmente quiero agradecer al profesor, amigo e ingeniero **Fabián Gazabón Arrieta**, por todo el conocimiento, tiempo y oportunidades brindadas durante casi cinco años, además del amor a la carrera que siempre profesó y el apoyo y ayuda incondicionales, gracias por ser mi ejemplo profesional y personalmente hablando.

Agradecer a **mi madre** y cada uno de **mis hermanos** por su paciencia y amor, no solo en el transcurso de la carrera y el desarrollo de esta tesis, sino durante toda mi vida. Por ser mi fuerza y mi razón para salir a delante.

Agradecer a mis amigas incondicionales **Giselle y Mónica** que siempre estuvieron a mi lado y me apoyaron, las quiero mucho, y al grupo de fantásticas niñas que conocí en mi reingreso a la universidad: **Carolina, Elizabeth, Lorena, Mayra, Olga y Rosario**, quiero decirles, que mas que amigas fueron y son un apoyo y un ejemplo de fortaleza, amistad y unión, por acogerme de la manera tan cálida como lo hicieron, Muchísimas Gracias a todas.

También agradecer y de la manera más especial posible a mi compañera de tesis **Lizzette**, quien ha sido muy inteligente y dedicada, la mejor de todas. Agradecerle por escogerme como su compañera de aventura en este largo y muy productivo viaje que fue hacer esta tesis. Gracias nena por absolutamente todo y que Dios te Bendiga hoy, mañana y siempre.

Finalmente, agradecer a mi padre, que no esta conmigo, a quien le debo lo que soy, mis valores, virtudes y desengaños, le agradezco el enseñarme que siempre que podamos ayudar a alguien sin remordimiento alguno y sin pensarlo dos veces hacerlo. Te quiero mucho donde sea que te encuentres.

Nilsa Gissella Quintero Portocarrero

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a **mi papa y mi mama**, por su Amor, apoyo y preocupación permanentes durante toda mi vida, son lo mas valioso e importante que me ha dado Dios. A **mis hermanas Tania y Michelle** por ser dos ángeles que me acompañan siempre. A mi **abuelito valencia**, por ser tan especial y buen consejero. A **toda mi familia**, muchas gracias por todo

Quiero agradecer especialmente a **Jorge**, mi novio, por su amor incondicional, por estar a mi lado en este momento y convertirse en mi familia, por tu apoyo y consejo.

Quiero agradecer a mis amigas **Alicia, Jennifer, verena, clara**, por la forma tan especial y desinteresada en que me brindaron su amistad, como siempre han estado a mi lado, en los momentos en los que más he necesitado de una amiga, ustedes siempre estuvieron ahí, gracias.

A mis profesores, a Jorge **Muñiz**, a **Misael Cruz**, a **Benjamín Arango**, **Juvenal Moreno**, Muchas gracias por todo. Al ingeniero Néstor por sacar un tiempo de su día para colaborarnos de corazón.

Por ultimo pero no en importancia, a mi compañera de formula, **Nilsa**, Gracias por trabajar conmigo a la par, a pesar de los horarios de trabajo y los percances. Te agradezco mucho amiga.

Gracias a todos los que colaboraron directa e indirectamente.

Lizzette Johanna De la Torre Altamar

CONTENIDO

	Pág.
	2
INTRODUCCION	5
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL ACERCA DE LAS BASES EN LAS QUE SE FUNDAMENTA LA CONFIABILIDAD, EL RCM Y LA TECNICA DEL ANÁLISIS CAUSA RAIZ	10
2.1 MARCO TEÓRICO	13
2.2 MARCO REFERENCIAL	13
CAPITULO 3. HISTORIA Y EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO, CONCEPTOS BASICOS, SU GESTION Y APOORTE A LA COMPETITIVIDAD	14
3.1 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	20
3.2 MANTENIMIENTO EN LA HISTORIA	22
3.2.1 Evolución del mantenimiento.	23
	28

	33
3.3 DEFINICION DE MANTENIMIENTO	
	35
3.4 CLASES DE MANTENIMIENTO	
	36
	36
3.5 Análisis de falla o Análisis causa raíz: ACR.	38
	38
3.5.1 Que es el ACR - análisis causa raíz.	43
	43
3.5.2 Pasos del análisis causa raíz – ACR.	44
	46
3.6 Mantenimiento preventivo.	
3.7 MANTENIMIENTO Y LA COMPETITIVIDAD	48
	49
CAPITULO 4. INTRODUCCIÓN A LA FILOSOFIA RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)	55
	56
4.1 EL CAMINO HACIA EL RCM - MANTENIMIENTO ENTRADO EN CONFIABILIDAD	56
	56
	57
4.1.1 Antecedentes.	58
	58
4.1.2 Estado del Arte: El nacimiento del “RCM”: 1960 hasta la actualidad.	60
	60
4.1.3 La Necesidad de un Estándar: 1990.	62

4.1.4 El Enfoque de la Norma SAE.	63
4.1.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.	64
	65
4.2 DEFINICION DE RCM	65
	66
4.3 SIETE PREGUNTAS BÁSICAS	66
	67
4.4 FUNCIONES Y SUS ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO	67
	67
	67
4.4.1 Fallas Funcionales.	
	73
4.4.2 Modos de Falla (Causas de Falla).	
	75
4.4.3 Efectos de las Fallas.	
	76
4.4.4 Consecuencias de las Fallas.	
	79
4.4.5 Tareas de Mantenimiento.	
	81
4.5 ACCIONES A “FALTA DE”	
	81
4.6 EL PERSONAL IMPLICADO	
	81
4.6.1 Los Facilitadores.	
	83

4.6.2 Los Auditores.	84
4.7 LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR RCM	92
4.7.1 Mayor seguridad y protección del entorno.	99
4.7.2 Mejores rendimientos operativos.	101
4.7.3 Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a.	107
4.7.4 Más larga vida útil de los equipos.	111
4.7.5 Una amplia base de datos de mantenimiento.	113
4.7.6 Mayor motivación de las personas.	120
4.7.7 Mejor trabajo de grupo.	125
4.8 BUSCANDO LA EFECTIVIDAD DE LA TÉCNICA	127
4.8.1 Limitaciones de implementación del RCM clásico.	128
4.8.2 ¿Como superar dichos límites?	130
4.9 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL RCM ANTE LAS DEMÁS FILOSOFÍAS	136 138 125

CAPITULO 5: PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFIA RCM PARA LA FORMADORA MC KAY EN TENARIS TUBOCARIBE.

5.1 INTRODUCCION Y CONOCIMIENTO DEL ENTORNO PARA EL ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DE TENARIS TUBOCARIBE

5.1.1 Descripción del proceso productivo de Tenaris Tubocaribe.

5.1.2 Descripción de los productos fabricados por Tenaris Tubocaribe.

5.2 DIAGNOSTICO BASADO EN UN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA SITUACIÓN DE MANTENIMIENTO CON RESPECTO AL TIEMPO MUERTO

5.3 APLICACIÓN DE TAREAS PRINCIPALES DEL ANÁLISIS RCM A LINEA DE FORMADORA MCKAY.

5.3.1 Análisis Modal De Fallos Y Efectos: AMFE.

5.3.2 Aplicación de la Herramienta Del AMFE al Proceso de la Formadora Línea 1 Mckay.

5.3.3 Selección de Ítems Críticos.

5.3.4 Tratamiento de los ítems no críticos.

5.3.5 Selección de las Tareas de Mantenimiento para los ítems Críticos.

5.3.6 Determinación de los Intervalos de Mantenimiento.

5.3.7 Implantación de Recomendaciones.

5.3.8 Seguimiento de Resultados.

5.4. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CON BASE EN LA FILOSOFÍA RCM

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

GLOSARIO

ACR (ANÁLISIS CAUSA RAÍZ): Es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas y humanas, latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejora la seguridad y la confiabilidad del negocio.

AMFE (ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS): Es una herramienta de análisis para la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un producto / servicio y en un proceso.

CONFIABILIDAD: Grado en que los activos físicos cumplen con lo esperado por los usuarios. Es el quinto factor clave de la competitividad y a la vez es lo que me permite asegurar los cuatro primeros factores claves (Calidad, Productividad, Seguridad y Medio Ambiente) a lo largo del tiempo y por lo tanto asegurar la competitividad. Obtener Confiabilidad solo es posible con el correcto Mantenimiento.

COMPETITIVIDAD: capacidad para lograr de una manera eficaz y confiable la máxima producción de los activos a través de estrategias internas que permitan mantener un alto estándar de productividad.

CONTEXTO OPERACIONAL: Ambiente, en el que se encuentran disponibles todos los elementos necesarios para llevar a cabo una operación o actividad productiva. Es decir, el lugar y la forma como usan los equipos y herramientas que a su vez ayudan a determinar su funcionalidad.

DISPONIBILIDAD: Capacidad para utilizar un activo al 100% en el momento y lugar en que se necesita.

EFFECTO DE FALLO: consecuencia que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla.

FALLA FUNCIONAL: Incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

GESTIÓN: Actividad que consiste en la realización de actividades como, planear, organizar, dirigir y controlar los procesos que se dan en un sistema.

Guía MSG - 1, Manual: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa. Publicado en 1968. Patrocinado por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los EEUU).

Guía MSG - 2, Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. Publicado en 1970. patrocinado por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los EEUU).

Guía MSG - 3, Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. Publicado en 1980. fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), el MSG – 3 ha sido revisado tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en 2001.

INDICE DE DETECCION (D): Tercer índice de evaluación para los modos de fallo, evalúa para cada causa la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente en una escala de 1 a 10 con base en el anexo C. para que este sea determinado se debe suponer que la causa de fallo ya ocurrió y se evaluara la capacidad de los controles actuales para detectar la misma o el modo de fallo resultante.

INDICE DE GRAVEDAD (G): Primer índice de evaluación para los modos de fallo, evalúa la gravedad del efecto o consecuencia de que se produzca un modo de fallo para el cliente. Se califica con una escala de 1 a 10, con base en

el anexo A, y es función de la menor o mayor insatisfacción del cliente por la degradación de la función o las prestaciones.

INDICE DE OCURRENCIA (O): Segundo índice de evaluación para los modos de fallo, evalúa la probabilidad de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales en una escala de 1 a 10 con base en el anexo B. para su evaluación se tendrán en cuenta todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa potencial de fallo.

MANTENIBILIDAD: Es la capacidad de lograr que la disponibilidad sea sostenible en el tiempo.

MANTENIMIENTO: Asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas. Se clasifica en mantenimiento planeado o también denominado programado, concibe las actividades a realizar de manera previa y mantenimiento no planeado o también denominado correctivo, actúa siempre cuando la falla ya ha ocurrido.

MEJORAMIENTO CONTINUO: Actividades progresivas de desarrollo encaminadas hacia la búsqueda constante del mejor y máximo desempeño de las cosas, de los procesos, etc.

MODOS DE FALLA: Momo o forma en la que puede fallar el producto / servicio o el proceso.

PRODUCTIVIDAD: De la manera mas simple posible no es mas que “hacer mas con menos”; lograr la máxima producción de los activos.

RCM (Reliability Centred Maintenance) o MCC (mantenimiento centrado en confiabilidad): Es un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente. Filosofía enfocada en

la reducción de los costos del mantenimiento a través la identificación de los principales factores que afectan de manera directa el desempeño del proceso en cuestión

RCM EN REVERSA O REVERSE RCM: Herramienta más sencilla y simple que el RCM, utilizada en su gran mayoría en sistemas de baja criticidad.

SISTEMA FUNCIONAL: Agrupación de elementos cuyas actividades y funciones se encuentran íntimamente ligados en pro del logro de unos resultados óptimos en beneficio del mismo sistema como un todo.

TIEMPO MUERTO: Espacios de tiempo también denominados improductivos en los que por cualquier motivo, en este caso por mantenimiento, el proceso productivo se detiene, imposibilitando el flujo normal de las actividades y operaciones y por ende la productividad de la empresa.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Acciones del programa de mantenimiento preventivo.	
Tabla 2: Descripción de la Formadora Línea 1 MCKAY.	32
Tabla 3: Descripción del equipo de entrada formadora línea 1.	92
Tabla 4: Descripción de formadora línea 1.	
Tabla 5: Descripción de soldador formadora Línea 1.	93
Tabla 6: Descripción de normalizador Formadora Línea 1.	93
Tabla 7: Descripción de cortadora Formadora Línea 1.	
Tabla 8: Descripción de enderezador Formadora Línea 1.	94
Tabla 9: Descripción de Tronzadora Formadora Línea 1.	94
Tabla 10: Descripción de la Formadora Línea 1 MCKAY.	
Tabla 11: Análisis modal de fallos y efectos para el proceso de formadora línea 1 Mckay.	95
Tabla 12: Continuación del Análisis modal de fallos y efectos para el proceso de formadora línea 1 Mckay.	95
Tabla 13: Continuación del Análisis modal de fallos y efectos para el proceso de formadora línea 1 Mckay.	96
Tabla 14: Evaluación de la Criticidad según Índices de Gravedad y Ocurrencia.	96
Tabla 15: Evaluación de la Criticidad según el número de prioridad de riesgos (NPR).	104
Tabla 16 : Acciones Recomendadas para los Ítems No Críticos.	105

Tabla 17: Acciones Recomendadas para los Ítems No Críticos.	106
Tabla 18: Daños eléctricos y mecánicos por submaquina junio 2006.	
Tabla 19: tiempo medio para la reparación de los elementos de la formadora línea 1 mckay.	108
Tabla 20: Plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM o MCC en Tenaris Tubocaribe para los Ítems Críticos de la formadora línea 1 Mckay.	110
Tabla 21: Análisis Costo Beneficio	
	112
	115
	121
	124
	125
	129

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Evolución de los conceptos de mantenimiento	19
Figura 2: Patrones de Falla (Industria Aeronáutica)	
Figura 3: Clasificación del Mantenimiento	22
Figura 4: Mantenimiento Planeado	23
Figura 5: Mantenimiento No Planeado	
Figura 6: Categorías del Mantenimiento preventivo.	23
Figura 7: Procedimiento para la disminución de la estadía del equipamiento dentro del árbol de decisión del RCM o MCC.	26
Figura 8: Flujo de proceso formado línea 1(Mckay).	49
Figura 9: Diagrama de operaciones del proceso de formado en la formadora MCKAY.	93
Figura 10: Diagrama de flujo para el proceso de realización del AMFE.	
Figura 11: Formato propuesto para diseño de procedimiento	
Figura 12: sección observaciones formato procedimientos	94

Figura 13: Medidas de Mantenimiento para el tiempo medio para la reparación.	98
Figura 14: Mantenimiento efectivo en costos	112
	116
	119
	123
	128

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1: Resultados típicos de los análisis de criticidad.	74
Grafico 2: Visualización del impacto total (riesgo /costo) en la empresa.	75
Grafico 3: Tiempo muerto por maquina en Tenaris Tubocaribe 2005.	85
Grafico 4: Tiempo muerto Vrs tiempo muerto por mantenimiento 2005.	86
Grafico 5: Tiempo muerto por mantenimiento por maquina 2005.	87
Grafico 6: Balance de interrupciones operativas y no operativas en formadora Mckay 2006.	91
Grafico 7: Priorización de los Ítem Críticos.	109
Grafico 8: análisis daños eléctricos y daños mecánicos.	122

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Índice de Gravedad (G) para Modos de Fallo.	138
Anexo B: Índice de Ocurrencia (O) para Modos de Fallo.	139
Anexo C: Índice de Detección (D) para Modos de Fallo.	140
Anexo D: Formato general para AMFE en Tenaris Tubocaribe.	141
Anexo E: Formato para la descripción de Equipos/Herramientas en Tenaris Tubocaribe.	142
Anexo F: Formato para el análisis de fallas.	143
Anexo G: Flujogramas de proceso por producto en Tenaris Tubocaribe.	144

INTRODUCCIÓN

La actual situación empresarial caracterizada por los altos niveles de Globalización, desarrollo tecnológico, y altos niveles de exigencia en cuanto a calidad y respeto por la seguridad y el medio ambiente por parte de todos los actores del sistema de gestión por resultados (SGPR) en las empresas como son; los clientes, los empleados, los inversionistas y/o propietarios, la sociedad y hasta el mismo gobierno incluyendo la competencia, han hecho que el afán de las empresas por aparecer entre los primeros lugares del mercado crezca y crezca y que se preocupen por la optimización de todos los aspectos de sus empresas como son evitar la ocurrencia de accidentes catastróficos, altos impactos negativos en el medio ambiente, mayor cumplimiento con regulaciones nacionales e internacionales, de tal forma que la imagen de sus empresas no se ve afectada negativamente.

Considerando todo lo anterior, hoy en día resulta de vital importancia el hecho de acrecentar todos los esfuerzos con el fin de lograr una reducción en los tiempos muertos (tiempos improductivos) de una empresa debido a que estos, al no generar valor al proceso, disminuyen la productividad y se traducen en incrementos en los costos de operación, que al final o en otras palabras lo que van a mostrar es una disminución resaltable en la competitividad de las máquinas y herramientas que se ve reflejada en la competitividad de los procesos y esta a su vez en la de las empresas en general.

En la lucha contra la aparición de dichos tiempos, muchos grupos industriales y sectores interesados han desarrollado diversos supuestos en los que utilizan herramientas de la ingeniería tales como la estadística, el análisis de falla, análisis de los modos de falla y efectos (AMFE), Pareto, entre otras, para obtener resultados en la reducción del tiempo muerto o improductivo. Cabe anotar que dentro de una empresa cada área, ya sea que esté involucrada en la realización o sea un elemento de apoyo, tiene la posibilidad de generar

tiempo muerto y que estas mismas son responsables de buscar los métodos para reducirlos.

En el caso del área de mantenimiento, El objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos puede ser definido como “conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene”¹ Ahora, los tiempos muertos que se producen por mantenimiento pueden ser de dos fuentes:

1. Que se presente un daño en el funcionamiento de las maquinas y se genere tiempo en ser reparado (mantenimiento correctivo)
2. Que se presente un mantenimiento programado con el fin de prevenir un daño (mantenimiento preventivo).

Normalmente se tiene mucho mas control sobre el segundo caso ya que estos ocurren bajo un plan de programación periódica el cual es concertado con producción de acuerdo a la proyección de la demanda, aunque no se descarta el hecho de que en este caso también se den perdidas de tiempo cuando se presentan retrasos por repuestos demorados o porque se hace un mal establecimiento de los procedimientos en cuanto a exceder su alcance, etc. El punto nº 1 será al que se le dedicara mayor atención debido a que estos son los tipos de tiempo sobre los cuales no se tienen control en absoluto ya que estos ocurren de forma fortuita y son los que suman tiempo muerto a las operaciones de producción para el caso de la empresa Tenaris tubocaribe.

Para el desarrollo de este trabajo primero se dispondrá de manera analítica y a través de datos, tablas y gráficas, de la situación actual del manejo de los tiempos muertos, del porcentaje de tiempo muerto por mantenimiento en toda la planta y de manera puntual en la formadora Mckay con el fin de identificar los

¹ Tomado de <http://www.monografias.com/trabajos25/mantenimiento-productivo-total/mantenimiento-productivo-total.shtml>

puntos clave a reforzar con el análisis de falla bajo la filosofía del RCM por sus siglas en inglés ó MCC por sus siglas en español.

Luego se continuará con el diseño del plan de acción para la realización de los análisis de falla de acuerdo con las condiciones y características de las máquinas para que cada vez el proceso sea más corto y efectivo al igual que el mantenimiento, al estar plenamente estandarizado e identificado.

Se incluirán algunas recomendaciones de acuerdo con las conclusiones que resulten de la investigación en la cual se podrán sugerir cambios en la estructura de planeación del mantenimiento si llega a ser necesario.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL ACERCA DE LAS BASES EN LAS QUE SE FUNDAMENTA LA CONFIABILIDAD Y EL RCM

2.1 MARCO TEÓRICO

Hoy en día, el mundo se encuentra muy globalizado, en el sentido en que en cualquier parte es posible conocer e informarse de los eventos, las tendencias y desarrollos que se generen en cualquier parte del planeta. Esto debe ser tenido en cuenta para que las empresas puedan entrar a competir en el mercado mundial.

En ese marco se percibe una situación en la cual “los Clientes buscan calidad, precio y servicio; los Inversores buscan mayor rendimiento y máxima seguridad para su inversión; el Personal persigue mejores condiciones de trabajo; la sociedad exige cada vez y con más fuerza, atención a temas relacionados con el **HSE** (health, security and environment) que no es mas que la Salud, la Seguridad y el medio ambiente y al respeto por parte de las empresas de normas de convivencia; el Estado cada vez mas se concentra en la actividad fiscalizadora y recaudadora; por otro lado los Competidores ya no son solo de nuestro país sino del mundo entero, por lo que la competencia ya no es local solamente, es global”.²

Para ser competitivos existen algunos factores claves como la Calidad, la cual se debe brindar al cliente a través de un producto cuyas características estén alineadas con los requerimientos de este, teniendo en cuenta que, además de satisfacer sus necesidades, se debe cubrir el precio que los clientes están dispuestos a pagar por el producto o servicio que se brinda, de esta manera se llega al segundo factor clave que es la Productividad.

² Ing. SOTUYO BLANCO, Santiago. Ellmann, Sueiro Y Asociados. Optimización Integral de Mantenimiento. (on line) Disponible en: <http://www.confiableidad.net/kb/rcm.htm>.

Santiago Sotuyo indica "Estos factores deben ser cumplidos sin descuidar las exigencias en temas de Seguridad y Medio Ambiente que hoy día son tan claves para la competitividad como la calidad y la productividad", dada la toma de conciencia que ha habido en estos temas a todo nivel, estos son entonces el tercer y cuarto factor clave de la competitividad.

Pero la calidad y la productividad, el respeto a la seguridad y al medio ambiente, no son cosas que sea suficiente hacerlas durante un día o dos, ni durante un mes o dos, deben ser alcanzadas siempre y para ello se necesita el aporte del quinto factor clave de la competitividad: la Confiabilidad.

La Confiabilidad es lo que permite asegurar los cuatro primeros factores claves a lo largo del tiempo y por lo tanto asegurar la competitividad. Obtener Confiabilidad solo es posible con el correcto Mantenimiento.

Es entonces por la incidencia que el mantenimiento tiene en los factores claves; confiabilidad, seguridad, medio ambiente, calidad y productividad, así como en otros no menos importantes como la disponibilidad, la costo-eficacia y el uso racional de la energía, que se le ubica actualmente en los primeros planos de la dirección empresarial, en resumen esto es gracias a su Aporte a la Competitividad."

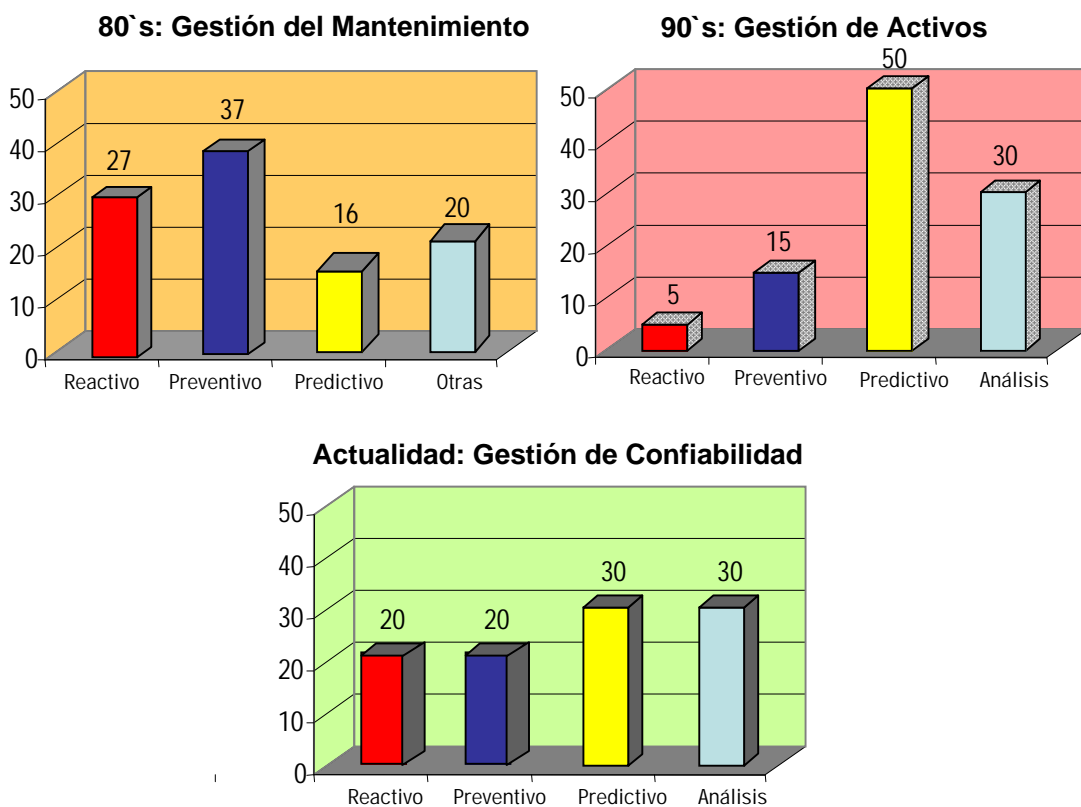
Realizando entonces una breve reseña histórica se puede decir que el mantenimiento ha pasado de ser el "mal necesario" de la producción, para convertirse en un "factor clave" de la competitividad.

La necesidad de organizar adecuadamente el servicio de mantenimiento con la introducción de programas de mantenimiento preventivo y el control del mantenimiento correctivo hace ya varias décadas son base fundamental, en el objetivo de optimizar la disponibilidad de los equipos productores. Posteriormente, la necesidad de minimizar los costos propios de mantenimiento acentúa esta necesidad de organización mediante la introducción de controles adecuados de costos.

Más recientemente, “la exigencia a la que la industria está sometida de optimizar todos sus aspectos, tanto de costos, como de calidad, como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica, del mantenimiento. Es la filosofía de la Terotecnología. Todo ello ha llevado a la necesidad de manejar desde el mantenimiento una gran cantidad de información”³.

En los últimos tiempos ha habido una evolución de conceptos respecto al mantenimiento, en la década de los 80`s se hablaba de Gestión de Mantenimiento, en la década de los 90`s se amplió el concepto a Gestión de Activos, hoy en día ya se esta hablando de Gestión de Confiabilidad.

Figura 1: Evolución de los conceptos del Mantenimiento



Fuente: Núñez, Alfonso. Diapositivas Curso de RCM, Universidad Tecnológica de Bolívar. 1p07.

³ (on line) disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

A continuación, se incluirá en este trabajo un escrito del grupo ELLMANN, SUEIRO Y ASOCIADOS en el cual, se toca el tema del RCM y la importancia que cobra con respecto a la gestión de confiabilidad.

La información presentada a continuación fue extraída de: **“MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)”** Por John Moubray, traducido y adaptado por Carlos Mario Pérez J.

“Algunos diccionarios definen “mantener” como la causa para continuar o también, la causa para mantener algo en un estado existente. Ambas definiciones ponen de manifiesto que el mantenimiento significa la preservación de algo.

Pero cuando se tiene que tomar la decisión de mantener algo, ¿Qué es lo que se desea causar que continúe? ¿Cuál es el estado existente que se desea preservar? La respuesta a estas preguntas puede encontrarse en el hecho de que todo elemento físico se pone en servicio para cumplir una función o funciones específicas. Por lo tanto, cuando se mantiene un equipo, el estado en que se desea preservarlo debe ser aquel en el que se desea que continúe para cumplir la función determinada.

Considerando lo anterior se procede a definir el Mantenimiento como: Asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas. Claramente, para que esto sea posible, los equipos deben ser capaces de cumplir esas funciones previstas.

Esto es porque el mantenimiento - el proceso de “causar que continúe” solamente puede entregar la capacidad incorporada (confiabilidad inherente) de cualquier elemento. No puede aumentarla. En otras palabras, si cualquier tipo de equipo es incapaz de realizar el funcionamiento deseado en principio, el mantenimiento por sí solo no puede realizarlo. En tales casos, se deben

modificar los elementos de forma que puedan realizar el funcionamiento deseado, o por el contrario reducir las expectativas que sobre ellos se tengan.

RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada o lo que es lo mismo su Confiabilidad Inherente.

No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas, que es la brindada por sus diseñadores. Cada componente tiene sus propias y únicas combinaciones de modos de falla, con sus propias intensidades de falla. Cada combinación de componentes es única y las fallas en un componente pueden conducir a fallas en otros componentes. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros.

La función determinada de cualquier equipo puede definirse de muchas formas dependiendo exactamente de dónde y cómo se esté usando, es decir, de su llamado *Contexto Operacional*.

Como resultado de esto, cualquier intento de formular o revisar las políticas de mantenimiento deberían comenzar con las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional presente.

Esto lleva a la siguiente definición formal de RCM: *Reliability Centered Maintenance*: Es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional.

Una definición más amplia de RCM podría ser: un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente.”

Después de establecer aspectos generales de la confiabilidad y el RCM, cabe mencionar que como se ha mencionado en algunos apartes de lo anteriormente expuesto, en la actualidad es creciente la importancia que se le está dando a la seguridad y el medio ambiente y en especial por parte del RCM como filosofía de mantenimiento al establecer que las actividades que se seleccionan deben ser evaluadas según el impacto que puedan tener en dichos aspectos, es por ello que a continuación se presenta una ampliación acerca del tema, de tal forma que quede claro la importancia de lo mencionado.

2.2 MARCO REFERENCIAL

Tubos del Caribe Ltda., Inició operaciones en 1991 como la primera empresa colombiana productora de tubos petroleros bajo licencia del “Instituto Americano del Petróleo: API”⁴. TUBOCARIBE Ltda. Fue diseñada para abastecer la creciente industria petrolera de la región y los mercados de exportación a nivel mundial. Esta empresa provee una línea completa de productos tubulares que van desde el Casing, Tubing, y Line Pipe, hasta tubos para intercambiadores de calor, tubos para calderas y tubos estructurales de alta resistencia.

Sus instalaciones industriales se encuentran ubicadas en Cartagena de Indias, puerto sobre la costa Atlántica de avanzada infraestructura, que permite atender mercados de exportación a través del Mar Caribe o del Canal de Panamá a los puertos de la Costa Pacífica.

⁴ La API fue fundada en 1945 para implementar normas que regulen la calidad en los equipos, maquinarias, materia prima, productos, personal, insumos y medio ambiente relacionado con la producción del petróleo.

A partir de 1995, TUBOCARIBE Ltda., puso en funcionamiento la planta de Revestimientos Externos de Tubería encaminada a satisfacer el mercado local e internacional de sistemas para la protección de líneas de transporte de hidrocarburos y otros fluidos, ofreciendo una línea de revestimientos que van desde los de origen epóxico hasta los de origen poliolefínico, conocidos comúnmente bajo el nombre de Tricapa⁵ y siguiendo en su proceso, cualquier norma internacional aplicable a los diferentes tipos de recubrimiento.

TUBOCARIBE LTDA., opera bajo la filosofía de "Control Total de Calidad", lo cual asegura la más alta calidad en todos sus productos y servicios. El sistema de aseguramiento de calidad aplicado en Tubocaribe Ltda., se rige bajo los lineamientos de la norma ISO-9000⁶ y esta certificado por la API.

Y como los riesgos ambientales están presentes en las decisiones de Tubocaribe, esta tiene el reto de enfrentar una serie de desafíos relacionados con la preservación del medio ambiente y el uso correcto de los recursos naturales. De ahí que la implantación de una gestión ambiental eficaz contribuye a mejorar su competitividad en el marco de la globalización económica actual, por lo cual se rige por las normas que regulan la gestión ambiental Normas Iso 14000⁷.

TUBOCARIBE LTDA., se convierte en el 2005 en una compañía miembro del grupo Maverick Tube, líderes en el suministro de productos energéticos para conducción, exploración, producción de hidrocarburos y para las más exigentes aplicaciones de la industria del petróleo y el gas en el mundo.

⁵ Las normas utilizadas para el servicio de Revestimiento de Monocapa y Multicapa son NFA 49710/49711 norma francesa para revestimiento con polipropileno y polietileno respectivamente; CAN/CSAZ245.20 canadiense para revestimiento con FBE; CAN/CSAZ245.21 canadiense para revestimiento TRICAPA con polietileno.

⁶ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LA ESTANDARIZACION (ISO). Organismo fundado poco después de la segunda guerra mundial, bajo lineamientos europeos, teniendo como base la gestión de calidad implementada en las organizaciones. Con sus tres formas básicas como son: ISO 9000 fundamentos y vocabulario, ISO 9001 requisitos básicos del sistema de gestión de calidad y ISO 9004 directrices para la mejora del desempeño.

⁷ Permiten implementar y mantener un sistema de administración ambiental que sirva de medio y soporte para la prevención de la contaminación y la protección del medio ambiente del entorno donde opera una organización. Contempla dos normas básicas: ISO 14001 requisitos del sistema de administración ambiental, ISO 14004 guía para el desarrollo e implementación de sistemas y principios de administración ambiental.

TUBOCARIBE LTDA., se prepara constantemente para enfrentar con éxito los retos que impone el mercado, evolucionando en tecnología e incursionado en el desarrollo de nuevos productos y servicios que generan alto valor agregado a sus clientes.

En el mes de octubre de 2006 y luego de extensas jornadas de negociación, el grupo Maverick se integra a la multinacional TENARIS, la cual cuenta con más del 40% de cobertura del mercado petrolero a nivel mundial y #1 en el mercado de Latinoamérica. Se forma entonces la fusión y Tubocaribe Ltda. Cambia su nombre a **TENARIS TUBOCARIBE**.

CAPITULO 3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO, CONCEPTOS BASICOS, SU GESTIÓN Y APORTE A LA COMPETITIVIDAD.

Teniendo en cuenta que se está llevando a cabo una investigación de tipo descriptiva y concluyente, a partir de este punto, se iniciará con la descripción del contexto en el cual se desarrolla la investigación, el desarrollo y el logro de objetivos para la estructuración de un plan de mantenimiento bajo la filosofía RCM.

3.1. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Muchas organizaciones se han visto enfrentadas a la difícil realidad a la que los llevan la automatización de la gran mayoría de las tareas y procesos, todo lo cual implica la utilización de maquinarias de diferente naturaleza y tamaños.

El proceso de utilización de dicha maquinaria diariamente implica un desgaste continuo que las lleva a depreciarse no solo por su valor en el mercado, sino también, por su cumplimiento con las tareas y actividades para las cuales fueron diseñadas. La necesidad de las empresas por alargar la vida útil y por ende los beneficios que dicha maquinaria les aportan, hacen que sea indispensable el desarrollo de una serie de procesos y gestiones de todo tipo, que les permitan alcanzar dicho objetivo logrando que las maquinas sigan haciendo lo que ellos quiere que hagan de la manera mas segura posible, todo esto se resume, en lo que hoy en día es llamado y reconocido como, Mantenimiento.

Para entrar en materia acerca de la importancia del Mantenimiento, en la actualidad resulta necesario empezar desde el principio, remontándose a la historia y ver a través de ésta su evolución.

3.2 MANTENIMIENTO EN LA HISTORIA

3.2.1 Evolución del mantenimiento⁸

Como todo proceso en evolución y desarrollo, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología, como se explica a continuación.

*** Primera Generación**

La primera Generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

*** Segunda Generación**

Durante la II Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían comenzado a depender de ellos.

Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente. Esto llevó a la idea de que las fallas se podían y debían prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Inglaterra. traducción y adaptación de Carlos Mario Pérez Jaramillo. Colombia. P. 2 - 7.

Mantenimiento Programado en los años 60 basándose primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos.

El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado comenzaron a implantarse sistemas de control y planeación del mantenimiento. Ayudando a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

*** Tercera Generación**

Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así:

& **Nuevas expectativas:** El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto es visto claramente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda la operación. Creando grandes demandas en la función del mantenimiento.

Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Simultáneamente, elevándose los estándares de calidad.

El aumento de la mecanización, también produce que sean más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

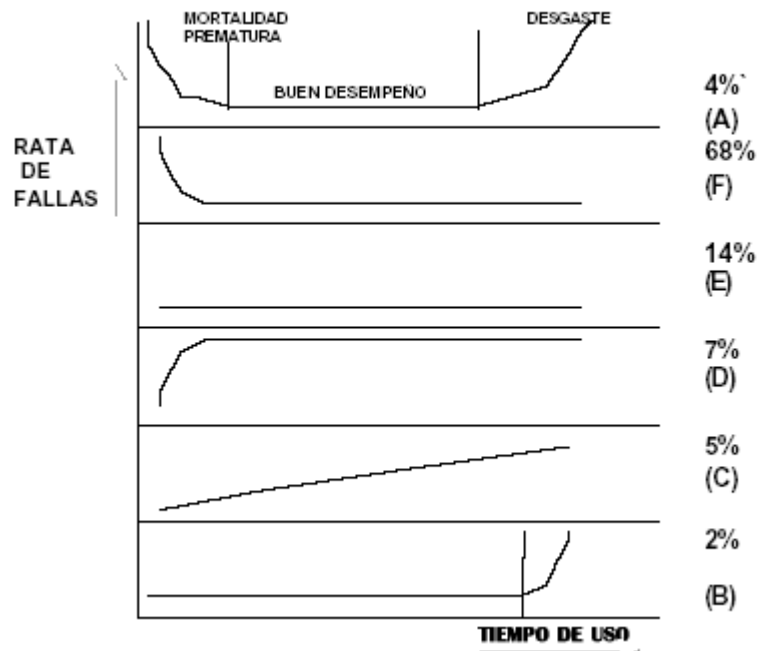
& **Nueva Investigación:** Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

* **Cambio de paradigmas**

En 1978 la aviación comercial en Estados Unidos publicó un estudio de patrones de falla en los componentes de aviones cambiando todas las costumbres que hasta el momento se tenía sobre el mantenimiento. Se reconoce el punto de vista acerca de que las fallas en un principio eran simplemente que cuando los elementos físicos envejecen tienen más posibilidades de fallar, mientras que un conocimiento creciente acerca del desgaste por el uso durante la Segunda Generación llevó a la creencia general en la “curva de la bañera”. Revelándose que en la práctica actual no sólo se da la ocurrencia de un modelo de falla sino la de seis diferentes.

Ahora, los equipos en general son mucho más complicados de lo que eran hace algunos años. Esto ha llevado a cambios en los modelos de las fallas de los equipos. Puede observarse en el siguiente gráfico la probabilidad condicional de falla contra la vida útil para una gran variedad de elementos eléctricos y mecánicos.

Figura 2: Patrones de Falla (Industria Aeronáutica)



Fuente: MOUBRAY, JOHN. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Inglaterra, 1999. P. 5.

- 6 El modelo **A** es la conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia de falla alta (conocida como *mortalidad infantil* o *error de montaje*) seguida por una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o que es constante, y luego por una zona de desgaste.
- 6 El modelo **B** muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste.
- 6 El modelo **C** muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.
- 6 El modelo **D** muestra una probabilidad de falla baja cuando el componente es nuevo o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.
- 6 El modelo **E** muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla aleatoria).

- 6 El modelo **F** comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que aumenta muy despacio o que es constante.

Como ejemplo, los estudios hechos en la aviación civil mostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el modelo F.

En general, los modelos de las fallas dependen de la complejidad de los elementos. Cuanto más complejos sean, es más fácil que estén de acuerdo con los modelos E y F. Pero no hay duda de que cuanto más complicados sean los equipos más veces encontraremos los modelos de falla (E y F).

Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad operacional. Fue esta creencia la que llevó a la idea de que cuanto más a menudo se revisaba una pieza, menor era la probabilidad de falla. Hoy en día, esto es raramente la verdad.

A no ser que haya un modo de falla dominante, los límites de edad no hacen nada o muy poco para mejorar la confiabilidad de un equipo complejo. De hecho las revisiones programadas pueden aumentar las frecuencias de las fallas en general, por medio de la introducción de la mortalidad infantil dentro de sistemas que de otra forma serían estables.

3.3 DEFINICION DE MANTENIMIENTO

Algunos conceptos por diferentes autores y diferentes épocas acerca de Mantenimiento podrían referirse a:

Mantenimiento: “Es asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan”

GONZALO CARDOZO

Mantenimiento: “un conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas y a sus usuarios, contribuyendo a los beneficios de la empresa. Es un órgano de estudio que busca lo más conveniente para las máquinas, tratando de alargar su vida de forma rentable.”

MANUEL ESCORZA

Mantenimiento: “Asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas, teniendo en cuenta que para que esto sea posible, los equipos deben ser capaces de cumplir esas funciones previstas”.

*JOHN MITCHELL MOUBRAY
(1.949-2.004) Ingeniero Mecánico*

Mantenimiento: “Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.”

*ASTURIO BALDÍN
(Padre del Mantenimiento Predictivo en Italia -1976)*

Partiendo del hecho de que las máquinas y equipos se encuentran correctamente ensamblados o estructurados y que su realidad se asemeja en un muy alto porcentaje a lo establecido, asegurado y previsto por sus diseñadores, a los conceptos anteriores se le puede adicionar el hecho de que todos ellos conducen a una finalidad conjunta que se resume en; Evitar, Reducir y llegado el caso, Reparar las fallas sobre los bienes de la organización, disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar y disminuir considerablemente el tiempo de reparación de las mismas, evitar

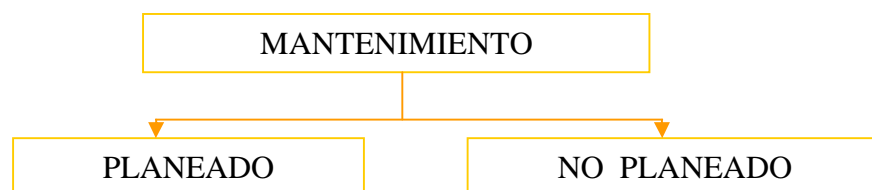
detenciones inútiles o paros de máquinas, evitar accidentes de cualquier tipo en el área productiva, evitar daños ambientales ocasionados por el inadecuado manejo de los recursos operacionales que actualmente están siendo una de las principales razones del aumento de los costos en las empresas.

En adición a lo anterior, evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas, que son el bien mas importante de cualquier organización, conservar los bienes producidos en condiciones seguras y preestablecidas de operación, balancear el costo del mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante logrando así efectos importantes en el ahorro de los recursos, lograr un uso eficiente y racional de la energía, cuyo desperdicio también es una de las principales causas del deterioro ambiental en la mayoría de las zonas industriales en cualquier lugar y finalmente lograr mejorar las funciones y la vida útil de los bienes que son resultado de todas y cada una de las actividades que se realizan en una organización, es decir y con otras palabras contribuir y mejorar la calidad de los productos y de las instalaciones.

3.4 CLASES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento como tal se clasifica en dos grandes clases o tipos generales, como se muestra a continuación;

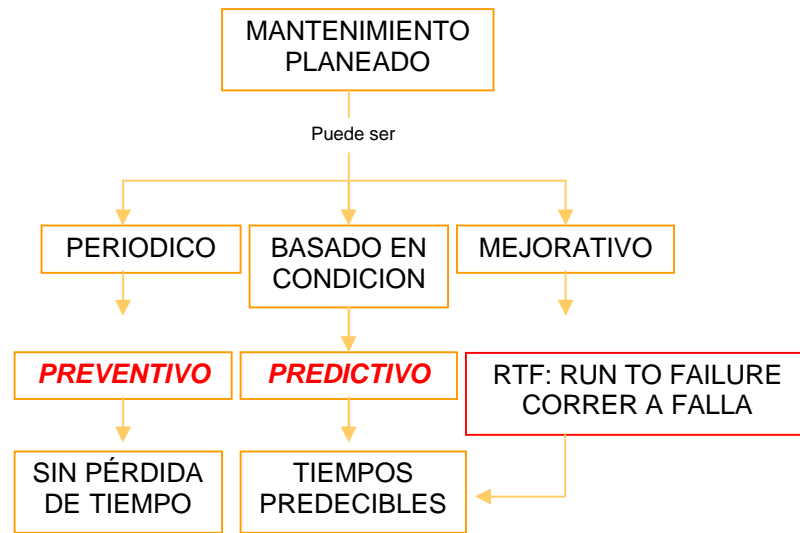
Figura 3: Clasificación del Mantenimiento



Fuente: Tomado y modificado de curso de confiabilidad por Gonzalo Cardozo

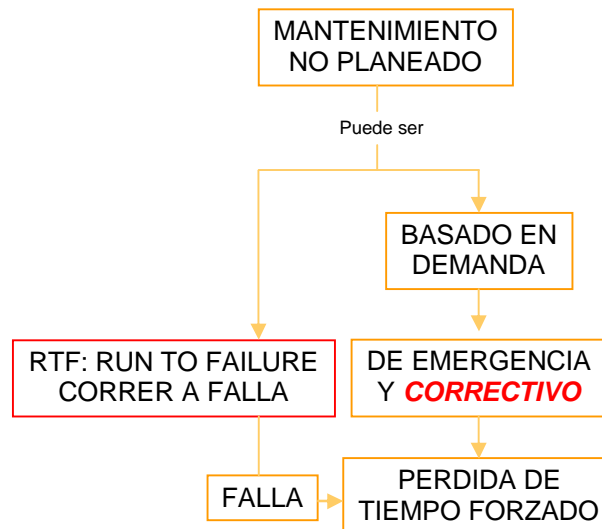
De cada uno de los cuales se desprenden una serie de clasificaciones mucho más específicas que permiten una diferenciación importante a considerar.

Figura 4: Mantenimiento Planeado



Fuente: Tomado y modificado de curso de confiabilidad por Gonzalo Cardozo

Figura 5: Mantenimiento No Planeado



Fuente: Tomado y modificado de curso de confiabilidad por Gonzalo Cardozo

El **Mantenimiento No Planeado**, mas conocido como mantenimiento correctivo, actúa siempre cuando ya se ha dado la falla en el equipo, lo cual no es aconsejable debido a que genera incertidumbre sobre el tiempo en que se lleva a cabo la reparación así como en los costos adicionales que estos

generaran para la empresa. Considerando los altos niveles de competitividad que se presentan actualmente en la mayoría de las empresas, no es aconsejable este tipo de mantenimiento debido a que el grado de disponibilidad de la maquinaria no alcanzaría un nivel adecuado y competitivo frente a las exigencias del mercado.

Ventajas del mantenimiento no planeado:

- No se sobremantienen las maquinas
- No hay costos de implementación si se compara con el mantenimiento preventivo o predictivo.

Desventajas del mantenimiento no planeado:

- Fallos imprevistos, paradas, perdida de producción.
- Costos elevados.
- Fallos catastróficos.

Cuando se presentan estos casos la acción a aplicar es el desarrollo del análisis causa raíz, que es la herramienta mas apropiada para encontrar las causas de una falla de manera rápida y eficaz.

3.5 Análisis de falla o Análisis causa raíz: ACR⁹.

El Análisis por Causa Raíz puede significar muchas cosas para la gente con diferentes experiencias. A través de los esfuerzos de consultoría y presentaciones de seminarios se puede escuchar a la gente describir sus esfuerzos de ACR como el cumplimiento de los requisitos de su Confiabilidad de los Activos. Esta es una mala interpretación básica que se debe aclarar.

⁹ (on line) Disponible en: <http://www.solomantenimiento.com/articulos/analisis-causa-raiz.htm>

La Confiabilidad es mucho más que la adopción de la metodología ACR. Para que la Confiabilidad verdaderamente se convierta en una parte de una cultura, debe ser adoptada como responsabilidad de todos, no solamente de mantenimiento. Debe abarcar no solamente temas de los activos físicos (mecánicos, eléctricos, etc.), deberá cubrir temas relacionados a los procesos de producción y a lo humano.

3.5.1 Que es el ACR - análisis causa raíz

Es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas y humanas, latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejora la seguridad y la confiabilidad del negocio.

3.5.2 Pasos del análisis causa raíz – ACR

Paso 1.- Enfoque:

Los problemas o eventos no deseables pueden ser definidos con precisión como desviaciones de la norma de rendimiento. Ahora la pregunta es, ¿cómo puedes transformar los problemas en oportunidades? La primera cosa que debes hacer es identificar los problemas específicos que te darán el mejor retorno en tu inversión. Para hacer esto es importante que se entienda que de hecho hay dos tipos de problemas con los que se pueden enfrentar; **esporádicos y crónicos.**

- Los problemas o eventos esporádicos son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes y que hay que notar, por ejemplo,

por la naturaleza del problema capturan la atención de todos (incendios, explosiones, virus en las computadoras, huelgas, etc.)

- Los problemas o eventos crónicos por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. Ocurren tan frecuentemente que son aceptados simplemente como el costo de hacer negocios. El estado normal se mantiene a pesar de su existencia continua. A diferencia de sus contrapartes esporádicas, los problemas crónicos tienen una alta frecuencia de ocurrencia y generalmente no llevan mucho tiempo para ser corregidos.

Paso 2.- Preservando la información del evento:

Este es el punto en el que se comienza a analizar un problema o evento específico. La recolección de Datos es una parte integral del Análisis de Causa Raíz (ACR). Sin los datos, es virtualmente imposible descubrir las causas raíz. Este escenario es análogo a lo que sería un detective policial investigando la escena de un crimen. No se puede esperar que el detective resuelva el caso sin pistas.

La primera razón es que la mayoría de la gente no valora los datos para solucionar problemas. Esto es fácil de cambiar mediante la educación de la gente con las razones por las cuales la información necesita ser recolectada y cómo la misma juega un rol en el análisis.

La segunda razón, y la que se cree de mayor frecuencia, es que la gente tiene miedo de ser culpada si de alguna manera los datos se relacionan con ellos. Esto es lo que se conoce como "cacería de brujas". Las organizaciones deben darse cuenta de que mediante la "cacería de brujas"; por ejemplo, el tener como objetivo un individuo, está perdiendo el conocimiento de la causa raíz real. Cuando se disciplina a un individuo por haber contribuido con un error al problema, se pierde información valiosa sobre los demás errores que llevaron

al problema. Es muy simple, ACR no puede tener éxito mediante el método de la "cacería de brujas".

Paso 3.- Ordenando el Análisis del evento:

La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de personas, que son expertos y tienen conocimiento relacionado directamente al evento que se está analizando.

Una vez que el equipo ha sido formado, organizan un torbellino o tormenta de ideas (*Brain Storming*), como es más conocido, para poder deducir cómo ocurrió el evento y poder desarrollar recomendaciones para prevenir que el mismo vuelva a ocurrir. Ante todo, los equipos de este tipo se forman con base en reacciones espontáneas a un problema. Están respondiendo a un "incidente" que generalmente no pertenece a los "Pocos Significativos". Reliability Center Incorporated sugiere una metodología más proactiva para la formación de equipos de análisis.

Los equipos creados para resolver los problemas generalmente se forman utilizando gente técnica que está muy familiarizada con el evento. Cuando esto ocurre, el mecanismo del pensamiento del equipo normalmente se limita a un cuadrante del cerebro y definitivamente esto no promueve el pensamiento "fuera de la caja" porque los miembros del equipo compartirán los mismos paradigmas. Y por tal motivo es de gran importancia que la posición del Analista Principal sea una, dedicada de tiempo completo.

Paso 4.- Analizando el evento:

Para analizar un evento o un problema hasta sus causas raíz más profundas "latentes", se necesita utilizar una metodología disciplinada. Sin una metodología disciplinada, se está destinado a descubrir las causas raíces

incorrectas y por lo tanto implementar las soluciones incorrectas a lo que en realidad está causando el problema.

Los primeros dos niveles del árbol lógico tienen en cuenta todos los "hechos conocidos" del problema que se está analizando. Se hace referencia a estos dos niveles como la Caja Superior y representan la definición del evento.

La formación de la Caja Superior es un paso crítico en la creación del árbol lógico, porque si el evento está definido incorrectamente, definitivamente se llegará a las causas incorrectas del problema que se está analizando.

El primer nivel de la Caja Superior es una declaración del evento. El segundo nivel de la Caja Superior representa los modos del problema. Estos son los modos que históricamente han ocurrido en el pasado.

Paso 5.- Comunicando lo encontrado y emitiendo las recomendaciones:

Cuando el análisis ha sido completado y se han determinado las soluciones a las raíces físicas, humanas y latentes identificadas, es tiempo de convertirse en vendedor.

Para que el analista tenga éxito comunicando sus hallazgos y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero deben darse cuenta la posición de la administración con respecto al análisis.

La administración debe dar cuentas de la responsabilidad financiera de la empresa. Si invierten dinero, este debe tener una ganancia superior a la inversión. Sabiendo esto, es fácil darse cuenta de que la administración tiene algún tipo de criterio en mente de cómo evaluarán las recomendaciones; puede no estar escrito, pero va a estar en sus mentes.

Hay que recordar que una de las metas principales es incorporar el ACR como una parte de la cultura. Lo que se quiere es que todos sean capaces de deducir

lógicamente el porqué del problema. Para lograr apoyo de los demás en el proceso, se necesita que participe tanta gente como sea posible y que sean reconocidos por sus contribuciones.

Paso 6.- Totalizando los resultados de las recomendaciones tomadas:

El ACR es una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido.

Generalmente, la gente es bien intencionada cuando se trata de implementar un plan de acción. Sin embargo, después de que se desarrolló el plan y los participantes vuelven a sus ambientes, tienden a volver directamente al “surco” reactivo; o sea, el problema del día parece siempre tener prioridad sobre el trabajo de mejora. Los involucrados siguen postergando diciendo: “puede esperar”. ¿Pero realmente puede esperar? Si todo lo que se hace es trabajo reactivo, nunca habrá progreso. Por lo tanto, es primordial que se tome control de las operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen control de los integrantes del equipo. Para poder obtener los recursos necesarios que se necesita dedicar al trabajo de mañana; o sea, trabajo de mejora, se deben analizar los problemas hasta las causas raíz y actuar de acuerdo a los hallazgos de cada quien.

Dentro de lo que se considera como **Mantenimiento Planeado** se encuentran tres vertientes las cuales difieren en la manera como es percibida la gestión del mantenimiento y el grado de aporte de valor a la realización del producto o servicio que se lleve a cabo por una empresa.

El Mantenimiento Planeado es un esfuerzo integrado para convertir la mayor parte del trabajo de mantenimiento en mantenimiento programado. El mantenimiento Planeado es el trabajo que se identifica mediante el

mantenimiento preventivo y predictivo. Incluye la inspección y el servicio de trabajos que se realizan a intervalos recurrentes específicos. También incluye el mantenimiento con base en las condiciones.

En el mantenimiento planeado todas las actividades se conciben previamente. Esto incluye la planeación y abastecimiento de materiales. La planeación de los materiales permite una programación más confiable además de los ahorros de costos en entrega y pedidos de materiales. Así mismo los trabajos se programan en momentos que no alteren los programas de entrega y de producción. Los ahorros con la introducción del mantenimiento planeado son significativos en términos de la **reducción de tiempos muertos** y los costos de materiales. El mantenimiento planeado ofrece un enfoque acertado para mejorar el mantenimiento y cumplir con los objetivos establecidos.

Uno de sus principales enfoques, que logran de la manera mas efectiva el cumplimiento de los objetivos establecidos es el Mantenimiento Periódico, cuyo objetivo consiste en detectar el desgaste con suficiente antelación y minimizarlo, a través de los intervalos de mantenimientos periódicos y adaptados a las condiciones de uso y a las aplicaciones de cada proceso, asegurando un rendimiento óptimo y la disponibilidad de las maquinarias. Las revisiones periódicas y el mantenimiento preventivo evitan sorpresas desagradables y, a menudo, costosas, que en otras palabras es el objetivo principal de la Filosofía RCM (*Reliability Centered Maintenance*).

3.6 Mantenimiento preventivo

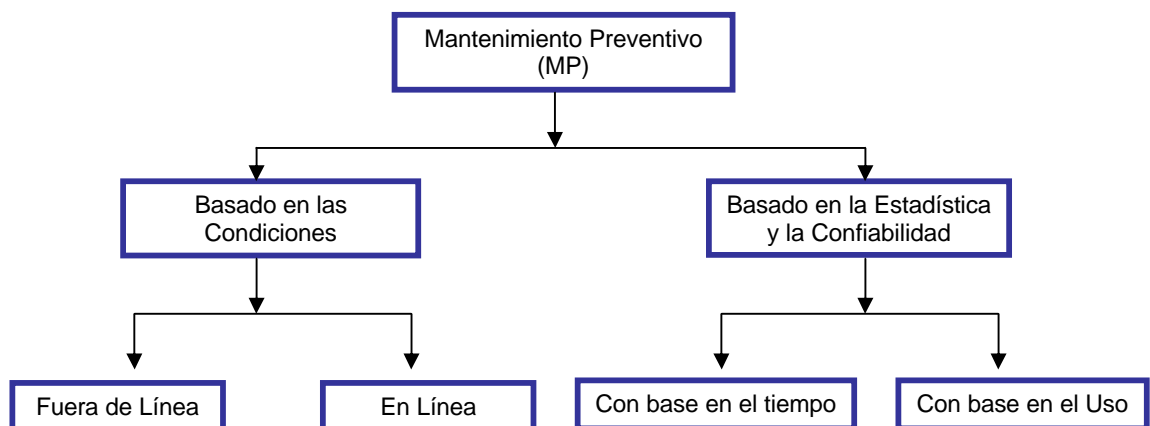
El mantenimiento preventivo se lleva a cabo para asegurar la disponibilidad y confiabilidad del equipo. La *disponibilidad del equipo* puede definirse como la probabilidad de que un equipo sea capaz de funcionar siempre que se le necesite. La *confiabilidad de un equipo* es la probabilidad de que el equipo este funcionando en el momento t . El objetivo del mantenimiento preventivo es

aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo, a través de un plan de mantenimiento periódico.

Una de las características principales de un equipo bien diseñado es que puede repararse/mantenerse durante el tiempo especificado para ello. Esto se conoce como *Mantenibilidad* o *Facilidad de Mantenimiento* y puede definirse como la probabilidad de ser reparado/mantenido durante un tiempo específico. El mantenimiento preventivo también es un medio para proporcionar retroalimentación a los diseñadores de equipo para mejorar su facilidad de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo puede estar basado en las condiciones o en datos históricos de fallas del equipo, como se muestra en la **figura 5**.

Figura 6: Categorías del Mantenimiento preventivo.



Fuente: RAOUF, A. CAMPBELL, John Dixon. DUFFUAA, Salih O. WILEY, Limusa. Sistemas de Mantenimiento, Planeacion y Control. Pag. 77.

Consta de dos categorías; estas tienen una base estadística y de confiabilidad o se basan en las condiciones. La primera categoría se basa en datos

obtenidos de los registros históricos del equipo. La segunda categoría se basa en el funcionamiento y las condiciones del equipo.

El mantenimiento preventivo se definió como una serie de tareas planeadas previamente, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de las funciones para las que fue creado un activo. Puede planearse con base en el tiempo, el uso o la condición del equipo. Es el enfoque preferido frente al mantenimiento correctivo por cuatro razones principales:

- La frecuencia de fallas prematuras puede reducirse mediante una lubricación adecuada, ajustes, limpieza e inspecciones promovidas por la medición del desempeño.
- Si la falla no puede prevenirse, la inspección y la medición periódicas pueden ayudar a reducir la severidad de la falla y el posible efecto dominó en otros componentes del sistema del equipo, mitigando de esta forma las consecuencias negativas para la seguridad, el ambiente o la capacidad de producción.
- En donde podamos vigilar la degradación gradual de una función o un parámetro, como la calidad de un producto o la vibración de una maquina, puede detectarse el aviso de una falla inminente.
- Finalmente, hay importantes diferencias en costos tanto directos (por ejemplo, materiales) como indirectos (por ejemplo, perdidas por producción) debido a que una interrupción no planeada a menudo provoca un gran daño a los programas de producción y a la producción misma, y debido también a que el costo real de un mantenimiento de emergencias es mayor que uno planeado y que la calidad de la reparación puede verse afectada de manera negativa bajo la presión de una emergencia.

Si el mecanismo dominante de falla se basa en el tiempo o se debe al desgaste, es decir, si la probabilidad de la falla aumenta gradualmente con el tiempo, la edad o el uso, entonces las tareas de mantenimiento tienen que basarse en el tiempo. Si por otra parte, la probabilidad de una falla es constante independientemente del tiempo, la edad o el uso, y existe una degradación gradual desde el principio de la falla, entonces las tareas de mantenimiento pueden basarse en las condiciones.

El mantenimiento *basado en el tiempo* (ej: reparaciones generales) es técnicamente factible si la pieza tiene una vida promedio identificable. La mayoría de las piezas sobreviven dicha edad y la acción reestablece la condición de la pieza a su función deseada.

El mantenimiento *basado en las condiciones es técnicamente factible* si es posible detectar condiciones por funcionamiento degradado, si existe un intervalo de inspección práctico, y si el intervalo de tiempo es suficientemente grande para permitir acciones correctivas o reparaciones.

Debido a que los equipos complejos y sus componentes tendrán varias causas posibles de falla, es necesario desarrollar una serie de acciones de mantenimiento preventivo (algunas basadas en las condiciones y otras en el tiempo) para el mismo equipo, y consolidar estas en un programa de MP. El programa tendrá tareas agrupadas por periodicidad (diaria, semanal, anualmente, por horas de operación, por ciclos, etc.) y agrupadas por oficio (mecánico, eléctrico, operador, técnico, etc.)

Tabla 1: Acciones del programa de mantenimiento preventivo.

Quien	Cuando	Acción	Equipo	Condición	Medida
Mecánico	Semanalmente	Inspeccionar/ ajustar	Sistema hidráulico	Presión	2500 lb/pulg ² ±50 lb/pulg ²
Técnico	Semestralmente	Tomar lectura	Rodamientos de motor	Vibración	Banda octava con respecto a la línea básica
Operador	Mensualmente	Lubricar	Motor reductor	Nivel de la varilla de inmersión	Llenar hasta indicador máximo con aceite 10 W 40
Operador	Diariamente	Verificar	Motor reductor	Presión del aceite	Reemplazar el filtro de aceite con P-OF_4201- 86 si • p>10lb/pulg ²

Fuente: RAOUF, A. CAMPBELL, John Dixon. DUFFUAA, Salih O. WILEY, Limusa. Sistemas de Mantenimiento, Planeacion y Control. Pag. 81.

El mantenimiento preventivo es el principal requisito para reducir la frecuencia y severidad de las descomposturas de las maquinas. Se utilizan tres amplias medidas para asegurar que el programa de MP sea completo:

- A Cobertura del MP: el porcentaje de equipo crítico para el cual se han desarrollado programas de MP.
- A Cumplimiento del MP: porcentaje de rutinas del MP que han sido completadas de acuerdo con su programa.
- A Trabajo generado por las rutinas del MP: numero de acciones de mantenimiento que han sido solicitadas y tienen como origen rutinas del MP.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtienen experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

3.7 MANTENIMIENTO Y LA COMPETITIVIDAD

La historia ha demostrado que con el paso del tiempo, la especialización y progreso de las empresas ha ido exigiendo poco a poco mayor número de maquinarias. En el siglo XIX la maquinaria en su mayor parte era sencilla, robusta y estaba construida para realizar funciones únicas a lo largo de un periodo grande, luego en el siglo XX las maquinas se hicieron mas complejas y las funciones de maquinas industriales enlazadas se consolidaron aún más en las fabricas de producción masivas, estas nuevas maquinas se caracterizaban por líneas de maquinaria compleja e híbrida, que comprendían dispositivos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

A mediados del siglo XX el tamaño de las fábricas y empresas continuó creciendo junto con su utilización, a fin de lograr economías de escala. Hacia finales de dicho siglo la flexibilidad, la variedad de los productos y la rapidez se convirtieron en el lema de las industrias manufactureras y de procesos y las economías de escala dieron paso al desarrollo de tecnologías de grupo y a la Ingeniería del Mantenimiento.

Hoy en día, las Empresas para poder realizar su función primaria de transformar, transportar y / o almacenar materias primas, insumos o productos terminados, requieren de maquinaria con mayor complejidad tecnológica y de un mayor nivel científico; dichos equipos con el uso, con el medio ambiente y con el transcurrir de los años requieren de un mayor grado de Mantenimiento para poder cumplir la misión para la cual fueron diseñados y construidos, objetivo que se logra a través de la ingeniería del mantenimiento y su visión como pilar de la competitividad.

A tal efecto (Mantenimiento) las Industrias destinan en los países desarrollados (Canadá, Estados Unidos, Francia, países Nórdicos, etc.) entre el 7 y el 18% del capital (o de sus ingresos anuales) y en los países en vías de desarrollo como el nuestro dicha cifra supera el 25% anual.

Esto permite llegar al punto en que se identifica al mantenimiento como una estrategia en cuanto a ser más competitivos como empresa y a brindar mayor confianza y calidad a los clientes. Como valor agregado estarían los mecanismos o las herramientas que se utilizan para hacer esta estrategia más efectiva y de mayor importancia como el RCM, el mantenimiento preventivo y predictivo.

CAPITULO 4. INTRODUCCIÓN A LA FILOSOFIA RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)

Antes de entrar de lleno a la esencia del RCM, su alcance y delimitaciones, su aplicabilidad, beneficios o ventajas y desventajas, resulta de gran importancia identificar su origen o nacimiento, su evolución, desarrollo o estado del arte, su necesidad de estandarizarse para facilitar su análisis y aplicación en diferentes ambientes o entornos industriales, y la visión que se tiene actualmente del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Además de lo anteriormente mencionado, se presenta información acerca de los personajes que estuvieron involucrados en su desarrollo como filosofía desde sus inicios y en su proceso evolutivo o de mejora indicando de que manera, es decir, su aporte al tema y en que fecha, entre los cuales se encuentra JOHN MOUBRAY, Ingeniero Mecánico que pasó sus primeros años de carrera desarrollando e implementando sistemas de gestión de mantenimiento, primero como ingeniero de planta y luego como consultor.

A principios de los años 80, el personaje anteriormente mencionado, comenzó a focalizarse en las aplicaciones industriales del RCM, bajo la guía del difunto F. Stanley Nowlan quien en compañía de Howard Heap escribió el primer reporte de filosofía moderna en materia de Mantenimiento para la United Airlines a mediados de 1970, documento que fue tenido en cuenta para escribir el siguiente documento acerca del mismo tema y también fue utilizado como la base de lo que hoy se conoce como RCM.

Cabe mencionar, que a pesar de que el señor Carlos Mario Pérez Jaramillo no es mencionado dentro de la historia, evolución y desarrollo del RCM que a continuación se presenta, es importante considerar su participación y conocimientos acerca del tema, pues ha sido él quien orgullosamente ha traducido y adaptado para Colombia, México, Centro América y el Pacto Andino

los documentos escritos por el personaje mencionado anteriormente (Jhon moubray), como se puede apreciar en algunas de las referencias de gran parte de la información que se presenta en el desarrollo de este documento, además de que ha liderado proyectos de implementación de “RCM2 o RCM+”¹⁰ en empresas del sector: Eléctrico, Acueducto, Petroquímico, Alimentos, Minero, Militar, Industrial, Petrolero, Servicios y Cementero.

Es Ingeniero Mecánico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín y especialista en Sistemas de Información de la Universidad EAFIT de Medellín (Colombia), con experiencia laboral en el sector automotriz, en la industria cerámica y en el gremio cafetero. Conferencista en Ecuador, México, Perú, España, Chile, Argentina, Cuba, Panamá, Costa Rica y Colombia.

Ha sido Consultor e Instructor en Dirección de Mantenimiento Representante de ALADON. Para la implementación de RCM2 con formación en Inglaterra y Argentina.

4.1 EL CAMINO HACIA EL RCM - MANTENIMIENTO ENTRADO EN CONFIABILIDAD¹¹

4.1.1 Antecedentes

Al final de 1950, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estaría oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o

¹⁰ Son nombres que se le dieron a la aplicación del RCM tradicional a empresas de la industria y como esta aplicación incluía que se agregaran técnicas y metodologías de gestión que facilitaron su aplicación, por ello recibieron estos nombres.

¹¹ MOUBRAY, JOHN. El camino hacia el rcm - mantenimiento centrado en confiabilidad. Inglaterra. traducción y adaptación de Carlos Mario Pérez Jaramillo. Colombia. P. 1 – 9.

más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 50`s eran causados por fallas en los equipos.

El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos implicaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que se gastaran y así poder prevenir las fallas. En esos días, mantenimiento significaba una cosa: reparaciones periódicas.

Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones; después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban.

De esta manera RCM tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana. Y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento eran no sólo costosas sino también altamente peligrosas. Ello inspiró a la industria a incorporar una serie de “Grupos de Dirección de Mantenimiento” (Maintenance Steering Groups - MSG) para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener sus aeronaves operando. Estos grupos estaban formados por representantes de los fabricantes de aeronaves, las aerolíneas y la FAA (Fuerza Área Americana).

La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial ha pasado por un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar”, es la historia del RCM.

Actualmente es ampliamente aceptado que la aviación comercial es la forma más segura para viajar: Las aerolíneas comerciales sufren menos de dos accidentes por millón de despegues. Esto corresponde a un accidente cada 3 ó 4 semanas en el mundo. De éstos, cerca de 1/6 son causados por fallas en los equipos.

Gracias a esa gran preocupación que surgió al tratar de evitar tan abrumadoras estadísticas a causa del mal mantenimiento de los aviones, que de alguna manera o mas bien con esfuerzo, pruebas y mucho trabajo fue superada, hoy en día todas las empresas, no solo de aerolíneas, sino también de cualquier actividad productiva, industrial, comercial, etc., que requieran de mantenimiento para sus herramientas, maquinaria y equipo, cuentan con una filosofía muy practica y efectiva para lograr que la no disponibilidad de sus elementos de trabajo hagan que pierdan su productividad y por ende su competitividad ante cualquier mercado, a causa de grandes tiempos muertos o improductivos.

4.1.2 Estado del Arte: El nacimiento del “RCM”: 1960 hasta la actualidad

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 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. De todos esos procesos, el RCM es el más efectivo.

A mediados de 1970, el gobierno de los Estados Unidos de América quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves. Y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los

activos físicos. Está disponible en el Servicio de Información Técnica Nacional del Gobierno de los Estados Unidos de América, en Springfield, Virginia.

Este reporte fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los Estados Unidos de América, un proceso que produjo inicialmente el documento presentado en 1968, llamado **Guía MSG – 1, Manual: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa**, y el documento presentado en 1970: **MSG-2 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 EEUU).

El reporte de Nowlan y Heap representó un considerable avance en la filosofía MSG 2 y fue usado como base para el **MSG 3**, el cual fue promulgado en 1980: **Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas**. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), el MSG – 3 ha sido revisado tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en 2001. La ultima revisión fué planeada para el año 2005 aunque aun no se sabe si ya ha sido publicada. Hasta el presente es usada para desarrollar programas de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevos tipos de aeronaves (incluyendo recientemente el Boeing 777 y el Airbus 330/340) Copias de MSG 3.2001 se encuentran en Air Transport Association, Washington, DC.

El reporte de Nowlan y Heap ha sido desde entonces usado como base para varios modelos de RCM de tipo militar, y para aquellas actividades no relacionadas con la aviación.

El Departamento de Defensa aprendió que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y buscó beneficiarse de ésta experiencia. Nowlan y Heap fueron comisionados para escribir su versión del libro para el Departamento de Defensa de los

Estados Unidos de América, el cual estaba mirando en la aviación comercial formas para hacer menos costosos sus planes de mantenimiento. Una vez que el Departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el ejército americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el ejército, uno para la fuerza aérea, y otro para la armada.

La armada desarrolló dos procesos porque sus comunidades de buques y de aviación insistieron en que procesos RCM que funcionaran en uno no servirían para el otro. Los contratistas y los vendedores de equipos aprendieron a usar éstos procesos cuando le vendieron equipos nuevos al ejército.

En un esfuerzo separado al principio de 1980, El Instituto para (EPRI por sus siglas en Inglés) la Investigación de la Energía Eléctrica, un grupo de investigación industrial para las compañías generadoras de energía en los Estados Unidos de América realizó dos aplicaciones piloto del RCM en la industria de la energía nuclear americana.

Su interés surgió de la creencia de que ésta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero se hacia sobre mantenimiento masivo a sus equipos. Esto significaba que su principal propósito era reducir costos de mantenimiento en vez de mejorar la confiabilidad, y el proceso RCM era modificado consecuentemente. (Ellos modificaron tanto el proceso RCM, que su parecido es poco con el original descrito por Nowlan y Heap, y debería ser descrito más correctamente como la Optimización del Mantenimiento Planificado o PMO – por sus siglas en inglés – más que como RCM).

Este proceso modificado fue adoptado sobre una base amplia por la industria de la energía nuclear Americana en 1987, y se implementaron variaciones de su enfoque por otras compañías nucleares, algunas otras ramas de la generación eléctrica, distribución industrial además de repuestos de la industria petrolera.

Al mismo tiempo, otros especialistas en la formulación de estrategias se interesaron en la aplicación del RCM en industrias diferentes a la aviación. Dentro de éstos, el principal fue **John Moubray y sus asociados**. Este grupo trabajó inicialmente con el RCM en industrias mineras y de manufactura en Sudáfrica bajo la asesoría de Stan Nowlan, y luego se ubicaron en el Reino Unido. Desde allí, sus actividades se han expandido para cubrir la aplicación del RCM en casi todos los campos del esfuerzo humano organizado, abarcando más de 42 países.

Debido a que las aeronaves de la nueva generación no solo eran de mayor tamaño y con mayor cantidad de partes sino que todo esto implicaba necesariamente que existiera la posibilidad de que más cosas salieran mal, se tuvo que establecer un mantenimiento apropiado y determinado usando el RCM con lo cual en poco tiempo ya requerían menos horas – hombres de mantenimiento por hora de vuelo.

Desde los 60`s, el desempeño de la confiabilidad de las aeronaves se ha optimizado en una forma drástica y fue esto lo que motivo a John Moubray a lograr que el RCM también fuera usado exitosamente por fuera de la industria de la aviación comercial, como se menciona anteriormente.

Los proyectos militares frecuentemente mandaban el uso del RCM porque se dieron cuenta que él permite a los usuarios finales experimentar la clase de desempeño de equipos altamente confiable que experimentan las aerolíneas. Como no solo ellos se dieron cuenta de ello, fue entonces que se iniciaron los proyectos en otras áreas productivas.

Este proceso de aplicar RCM o MCC en otras áreas se inicio al considerar que la industria de la minería operaba típicamente en sitios remotos que estaban lejos de las fuentes donde se conseguían las partes y los materiales para realizar labores de reemplazo. En consecuencia, los mineros querían alta confiabilidad y disponibilidad de sus equipos – mínimo tiempo de inactividad y

máxima producción del equipo. El RCM fue muy útil para optimizar la disponibilidad de las flotas de camiones transportadores y otros equipos al tiempo que lograron reducir los costos de mantenimiento para partes y la labor y tiempo de inactividad para el mantenimiento planificado.

El RCM también ha sido útil en las plantas químicas, refinerías, plantas de gas, bombas y compresores remotos, refinado y fundición de metales, acerías, fábricas donde se trabaja el aluminio, pulpa de papel, operaciones para la conversión de papel fino, procesado de alimentos y bebidas y cervecerías. Cualquier sitio donde la alta confiabilidad y la disponibilidad son importantes es un sitio donde hay una potencial aplicación para el RCM, como es el actual caso de la empresa Tenaris Tubocaribe.

Si se logra usar correctamente el RCM en Tenaris Tubocaribe para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los equipos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que se percibe la función del mantenimiento como operación total en la empresa. El resultado será sin lugar a duda un mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz.

Para finalizar, cabe mencionar que Moubray y sus asociados se fundamentaron en el trabajo de Nowlan mientras mantenían su enfoque original en la seguridad y confiabilidad del equipo. Por ejemplo, incorporaron temas ambientales al proceso de toma de decisiones en materia de RCM, clasificaron las formas en las cuales las funciones del equipo deberían ser definidas, desarrollaron reglas más precisas para seleccionar labores de mantenimiento e intervalos para las labores y también incorporaron directamente criterios de riesgo cuantitativo a un grupo de intervalos para labores en busca de fallas.

Su versión mejorada del RCM se conoce actualmente como el RCM2, aunque otros personajes la reconocen como RCM+, lo importante en todo caso no son los pocos o muchos nombres con los que sea reconocida la filosofía, lo importante es de que manera sus aportes y contribuciones al RCM clásico

facilitan su aplicabilidad para cualquier empresa de la industria, como es el caso de TENARIS TUBOCARIBE y a consecuencia de lo anterior, se presentan los aportes hechos por Moubray mas delante de este documento.

4.1.3 La Necesidad de un Estándar: 1990

Desde inicios de 1990, muchas más organizaciones han desarrollado versiones del proceso RCM: El Comando Aéreo Naval de los Estado Unidos con su “Guía para el Proceso de Mantenimiento Centrado en la Seguridad para la aviación Naval (Navair 00 – 25 – 403)” y la Armada Real Británica con sus Normas para la Ingeniería Naval RCM Orientadas (NES 45), han permanecido leales al proceso expuesto originalmente por Nowlan y Heap.

El modelo del RCM ha empezado a aplicarse. Paralelo a ello una nueva colección de procesos ha emergido y son llamados RCM por sus proponentes, pero a menudo tienen poco o ningún parecido al original proceso desarrollado por Nowlan y Heap; investigado estructurado y completamente probado. Como resultado, si una organización dice que quiere ayuda para usar o aprender a usar el RCM, ella no puede estar segura de qué proceso le será ofrecido.

Durante los 90, las revistas y conferencias dedicadas al mantenimiento de equipos se multiplicaron y los artículos y documentos acerca del RCM se hicieron más y más numerosos. Estos documentos describieron procesos muy diferentes a los que se les estaba dando el mismo nombre, RCM, por tanto el ejército y la industria comercial vieron la necesidad de definir la frase “Proceso RCM”.

En 1996 la SAE empezó a trabajar en un modelo afín con el RCM, invitando a un grupo de representantes de la aviación, de la armada estadounidense y comunidades de naves para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento planeados. Estos representantes de la armada se

habían estado reuniéndose previamente, por cerca de un año, para desarrollar un proceso RCM que pudiera ser común a la aviación y los buques, es así como ellos previamente habían hecho una considerable cantidad de trabajo antes de empezar a reunirse bajo el auspicio de la SAE.

A finales de 1997, se le unió a este grupo un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria. En ésta ocasión, se dieron cuenta de que era mejor enfocarse enteramente en el RCM, el grupo encontró el mejor enfoque para ésta norma y en 1999, completó el borrador de la norma y la presentaron a la SAE para ser sometida a votación.

4.1.4 El Enfoque de la Norma SAE

Cuando el grupo SAE empezó a trabajar, pensó en los mismos términos que muchos otros: El grupo pensaba que un “estándar” RCM era menos importante que un proceso RCM estándar. Por tal motivo se empezó a trabajar en el desarrollo del proceso. Esto fue difícil, porque diferentes miembros del grupo estaban usando procesos diferentes mientras ejecutaban el RCM. Los primeros miembros del grupo tuvieron que trabajar juntos, cerca de un año, en reuniones ocasionales antes de que ellos fueran desarrollando el respeto por la experiencia individual y les permitiera escucharse mutuamente sin rechazar las respuestas de cada uno de ellos. Se toma otro año para empezar a ponerse de acuerdo sobre un proceso común que podría ser llamado un proceso RCM estándar.

Después de que el grupo SAE diseñara tal proceso, la retroalimentación informal recibida por parte de la comunidad RCM, por fuera del grupo, mostró que ésas personas inadvertidamente habían sido muy cuidadosos con los compromisos particulares que resultaron en el proceso del grupo y que ésas personas no veían la necesidad de tales compromisos: se hizo claro que el esfuerzo para desarrollar un “proceso estándar” sólo produciría otra versión del

RCM, la cual simplemente agrandaría el grupo de procesos que ya estaban compitiendo por el nombre "RCM". Se tomó otro medio año para darse cuenta de que no había otra forma.

La norma aprobada por la SAE no representa un proceso RCM estándar. Su título es "*Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*". Ésta norma presenta criterios contra los cuales se puede comparar un proceso: Si el proceso satisface los criterios, el usuario puede, con confianza, llamarlo un "proceso RCM". Si los criterios no lo satisfacen, no debería llamarse "Proceso RCM". Esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplen con la norma SAE RCM no sean procesos válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos. Se espera que la norma SAE sea aplicada por numerosas organizaciones que quieran recibir los beneficios del RCM y saber si un proceso que consideran usar es RCM. El proceso puesto a consideración puede ser uno usado por la organización, u otro aplicar en el futuro.

El subcomité SAE RCM terminó su trabajo sobre la norma en Febrero de 1999. Después de la aprobación inicial por parte del comité de asistencia de la SAE en mayo de 1999, la norma fue aprobada por la Junta de Normas Técnicas de la SAE y el Consejo Aeroespacial de la SAE en Septiembre de 1999. Se espera que la norma SAE para el RCM ayude a aquellos que desean aplicar el RCM mientras evalúan los procesos propuestos por vendedores y asesores mediante el uso de la norma, las personas serán capaces de determinar qué procesos son RCM y cuáles no lo son.

La norma no es un documento extenso. Incluyendo el prólogo, el glosario y la bibliografía, sólo contiene 4.000 palabras en aproximadamente 10 páginas de papel A4. Su título oficial es "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)" (SAE JA1011). Está disponible desde octubre de: SAE Dpt 3248, 400 Commonwealth Drive,

Warrendale, PA 15096 – 0001, USA. Su página web es:
www.sae.org/BOOKSTORE.

4.1.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Como se intento dejar claro en el capítulo anterior, el mundo del mantenimiento es un mundo cambiante, como resultado de nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipo y nuevas técnicas. Además explica cómo estos cambios han generado otros requerimientos en la industria, que siente la necesidad de innovar las estrategias o enfoques de la función mantenimiento. Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos en funcionamiento. Esto, debido a que los requerimientos de mantenimiento han cambiado dramáticamente en los últimos tiempos y la evaluación de políticas así como la selección de las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, son aspectos que realizan constantemente la mayoría de los ingenieros, pero nuevas técnicas y nuevas opciones aparecen a un ritmo tan acelerado, que estas evaluaciones y selecciones no se pueden llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

La aplicación de RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas y lo hace de esta manera: Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, ésto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de

mantenimiento. Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gasta donde más beneficio va a generar.

El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado y evita los dolores de cabeza y problemas que siguen a la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa.

Si RCM se aplica a un sistema de mantenimiento existente, reduce la cantidad de mantenimiento rutinario que se ha hecho generalmente de un 40% a un 70%. De otro lado, si RCM se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

El RCM fue elaborado con el fin de ayudar a las líneas aéreas a establecer un sistema de mantenimiento para nuevos tipos de aviones, antes de que estos entraran en funcionamiento. Como resultado, el RCM es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no existe mucha documentación al respecto, Lo anterior ahorra errores y pruebas, costosos y dispendiosos tan comunes al desarrollar planes de mantenimiento.

Otra de las fortalezas del RCM es que su lenguaje técnico es sencillo y fácil de entender a todos los que tengan que ver con él, esto le permite al personal involucrado saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y qué se debe hacer para conseguirlo. Además, le da confianza al trabajador y mejora su efectividad y su moral.

Una revisión RCM de los requerimientos de mantenimiento para cada uno de los equipos existentes y que opera en las instalaciones, permite tener una base firme para establecer políticas de trabajo, y decidir qué repuestos se deben tener en el inventario.

El RCM ha sido aplicado en una cantidad de empresas alrededor del mundo y con gran éxito. No obstante, es reciente en la industria, lo que quiere decir que las compañías que lo están aplicando tienen una ventaja comparativa, debido a que el mantenimiento afecta la competitividad.

A pesar de ser nuevo en la industria en general, el RCM ha venido siendo aplicado hace aproximadamente 30 años en la que es probablemente el área más exigente del mantenimiento, la aviación civil. Se deduce que ha sido puesto a prueba y refinado en éste campo, más que ninguna otra técnica existente.

4.2 DEFINICION DE RCM

Como ya se había mencionado, el RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 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 Industria Aeronáutica. De éstos procesos, el RCM es el más efectivo.

Y se le llama Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, porque reconoce que el mantenimiento, cualquiera que sea su tipo utilizado, no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada o confiabilidad inherente.

El RCM puede ser definido como “el proceso utilizado para determinar las estrategias de administración de fallas de cualquier activo físico para que

continúen haciendo en forma segura y eficiente lo que los usuarios quieren que hagan en su contexto operacional”¹².

También puede ser definido como “el mantenimiento que se debe hacer para que las instalaciones hagan lo que la empresa desea que hagan, en otras palabras es la alineación del mantenimiento con la misión de la empresa”¹³.

El Mantenimiento RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- La integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

4.3 SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

El RCM por sus siglas en ingles o MCC por sus siglas en español, se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen.

Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, es necesario saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM o MCC. En la mayoría de los casos, esto significa que debe realizarse un registro de equipos completo si no existe ya uno.

¹² CARDOZO, GONZALO. Curso de Confiabilidad. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2006.

¹³ SNELLOCK, BUNNY. Training Manual. The Woodhouse Partnership Limited. Inglaterra. 1999.

Para este caso particular en Tenaris Tubocaribe y la aplicación del RCM, se hizo el diseño de un formato para la descripción y registro de los equipos, el cual se presenta mas adelante, con la finalidad planteada anteriormente.

Más adelante, RCM con base en los estándares del **SAE-JA 1011** hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados para evaluar sus requisitos de mantenimiento dentro del contexto operacional de cada uno, 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 el falla?**

Las cuatro primeras preguntas corresponden a las columnas de la **Hoja de Trabajo de Información** del MCC, o sea, la fase correspondiente al registro de la información. En esta etapa se realiza un análisis de las funciones, los fallos funcionales, el modo de fallo y los efectos de los fallos en cada uno de los componentes analizados, es decir, la utilización de la herramienta AMFE.

La segunda fase (correspondiente a la toma de decisiones) abarca las restantes tres preguntas, comprendiendo la decisión sobre las tareas preventivas que deben desarrollarse siguiendo el camino de las funciones - fallos funcionales - modo de fallo, registrado en la hoja de información.

Además, se analiza la frecuencia de las mismas y quién debe realizarlas, lo cual queda plasmado en **la Hoja de Decisión** del MCC. Para el desarrollo de esta hoja de trabajo se sigue el procedimiento del **Árbol de Decisión**, que constituye la herramienta básica para la toma de decisiones en las tareas de

mantenimiento, es decir, se analizan primeramente las consecuencias que pueden traer estas fallas y luego se dividen en:

- ↳ **Consecuencias de las fallas no evidentes:** se les da prioridad a los fallos que no sean evidentes, pero expone la organización a otros fallos con consecuencias serias.

- ↳ **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** se analiza si el fallo puede herir o matar a alguien y además, si puede afectar el medio ambiente.

- ↳ **Consecuencias operacionales:** se registra si el fallo afecta la producción, calidad del producto, servicio al cliente, costos, etc.

Al analizar las consecuencias operacionales de los fallos, o sea, cuando un fallo tiene un efecto adverso y directo sobre la capacidad operacional, se puede constatar que los fallos afectan a las operaciones de tres maneras:

- 6 Al rendimiento total (cuando el equipo deja totalmente de funcionar o funciona con demasiada lentitud),

- 6 A la calidad del producto (cuando la máquina no puede mantener las tolerancias de fabricación o si un fallo hace que se deterioren los materiales) y

- 6 Al servicio al cliente (mediante la entrega tardía de los pedidos provocando pérdida de prestigio de la organización).

En todos los casos anteriores estas consecuencias no son económicas, es decir, cuestan dinero a la empresa.

Es precisamente en esta etapa donde se materializa la integración de los elementos correspondientes a la Administración de Operaciones con la metodología del MCC, al detectar los diferentes factores que van a influir en la ocurrencia de las consecuencias operacionales y actuar sobre ellos, con vistas a convertir dichas consecuencias en no operacionales.

Al realizar un análisis de los factores claves que pueden conducir a que la parada del equipamiento productivo sea superior al tiempo que el mismo puede detenerse sin afectar el logro de los planes de la organización, o sea, los factores que pueden conducir a que un fallo provoque consecuencias operacionales, se pueden destacar los siguientes:

- § Disponibilidad y oportunidad de las piezas de recambio.

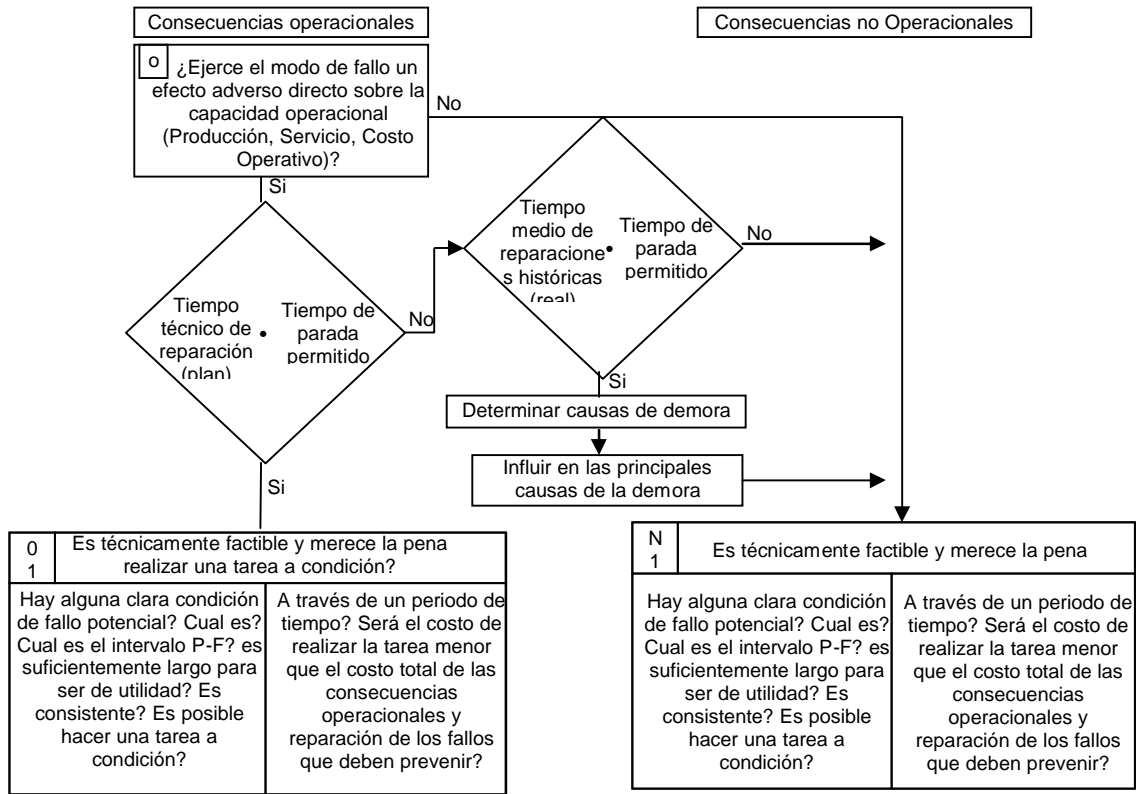
- § Tamaño y composición de la plantilla del personal del área de mantenimiento.

- § Complejidad de la tarea de mantenimiento a ejecutar.

Las consecuencias de estos factores pueden ser atenuadas mediante la aplicación de determinadas técnicas componentes de la Administración de Operaciones, con vistas a disminuir considerablemente el tiempo de parada del equipamiento y convertir, así, éstas consecuencias en no operacionales.

La inserción de estas técnicas en la metodología del árbol de decisión se muestra en la siguiente figura:

Figura 7: Procedimiento para la disminución de la estadía del equipamiento dentro del árbol de decisión del RCM o MCC.



Fuente: Integración Mantenimiento (RCM), Gestión de la Producción y su influencia en el mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de la empresa, por los profesores del departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

El funcionamiento del anterior grafico se explica a continuación:

En el árbol de decisión, luego que se comprueba que el fallo no provoca afectaciones al medio ambiente, se pasa a las consecuencias operacionales, entonces, una vez que se detecta que el modo de fallo afecta la capacidad operacional es que se inserta el procedimiento propuesto.

En el procedimiento inicialmente se realiza una comparación entre el tiempo técnico de reparación establecido (plan) y el tiempo que la máquina puede estar parada sin afectar la producción, si el primero es mayor o igual que el segundo se hace un análisis de las tareas preventivas que se pueden aplicar

según el procedimiento del árbol de decisión, de no ocurrir así, se realiza una comparación entre el tiempo medio de reparaciones históricas (real histórico) y el tiempo de parada permitido, si el primero es menor que el segundo entonces pasa a ser una consecuencia no operacional y se realiza el análisis de las tareas preventivas que se pueden aplicar según el procedimiento, de lo contrario, se determinan las causas de esta demora para luego concentrar los esfuerzos sobre ellas y atenuar la demora.

Es de destacar que al influir sobre los distintos factores (causas de la demora) que provocan que las consecuencias sean operacionales se realiza una mejora de método que permitirá obtener considerables beneficios durante el desempeño futuro de la organización, además de repercutir en otras áreas afines (Gestión de Almacenes, Gestión de Compras, Recursos Humanos, entre otros).

Este procedimiento es de fácil aplicación ya que hace uso de información que ha sido utilizada con anterioridad en el desarrollo del árbol de decisiones. Se debe destacar que en aquel caso donde el tiempo de reparación del elemento analizado afecta la continuidad del proceso productivo al provocar atrasos en la entrega a la próxima operación, se recomienda utilizar *el método de Pareto* o, en los casos donde se precise mayor profundidad en los resultados, *los métodos de Análisis Multicriterio*, para determinar las causas que provocan esta situación.

Dentro de las tareas que se pueden acometer desde el punto de vista de la Administración de Operaciones para atenuar las posibles causas que convierten a las consecuencias de los fallos en operacionales se destacan las siguientes:

1. Propuesta e implementación de un adecuado sistema de previsión de la demanda de las piezas de recambio, así como el diseño de un adecuado sistema de gestión de inventarios de las mismas.

2. Determinación del tamaño y composición adecuada de la plantilla del personal componente del área de mantenimiento.
3. Estudios de método de trabajo que permitan reducir la complejidad de las tareas de mantenimiento con vista a disminuir su duración y aumentar, así, su eficiencia.

4.4 FUNCIONES Y SUS ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO

Cada elemento de los equipos debe haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- ü La función de los equipos en su contexto operacional.
- ü El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la operación, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

4.4.1 Fallas Funcionales

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo hayan sido definidos, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una **falla funcional**, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

4.4.2 Modos de Falla (Causas de Falla)

El paso siguiente es tratar de identificar los **modos de falla** que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir.

En la realización de este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura no malgastar el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, evitando malgastar demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

4.4.3 Efectos de las Fallas

Cuando se identifica cada modo de falla, los **efectos de las fallas** también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el

funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

4.4.4 Consecuencias de las Fallas

Una vez sean determinadas las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla.

La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo se debe tratar de encontrar las fallas.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- ⇒ **Consecuencias de las fallas 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. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.
- ⇒ **Consecuencias en la 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. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del

funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

- ⇒ **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). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

- ⇒ **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.

Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

4.4.5 Tareas de Mantenimiento

La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de forma

rutinaria. El conocimiento de la Segunda Generación sugiere que esta acción preventiva debe consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos.

Supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un período y luego se deterioran rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de las fallas anteriores permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes. En particular, las características de desgaste se encuentran a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto.

El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto puede ser lo mejor que hay que hacer para fallas que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe hacer algo para prevenir las fallas, o por lo menos reducir las consecuencias.

RCM reconoce cada una de las tres categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

& **Tareas “A Condición”**: La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de fallas. 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 a punto de 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 logra que los elementos sigan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

& 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.

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 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 debe tomarse una acción apropiada, como se describen a continuación.

4.5 ACCIONES A “FALTA DE”

Además de preguntar si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles, el RCM pregunta si vale la pena hacerlas. La respuesta depende de cómo reaccione a las consecuencias de las fallas que pretende prevenir.

Al hacer esta pregunta, el RCM combina la evaluación de la consecuencia con la selección de la tarea en un proceso único de decisión, basado en los principios siguientes:

- Una acción que signifique prevenir la falla de una función no evidente sólo valdrá la pena hacerla si reduce el riesgo de una falla múltiple asociado con esa función a un nivel bajo aceptable. Si no se puede encontrar una acción sistemática apropiada, se debe llevar a cabo la **tarea de búsqueda de fallas**. Las tareas de búsqueda de fallas consisten en comprobar las funciones no evidentes de forma periódica para determinar si ya han fallado. Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de fallas que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, entonces la acción “a falta de” secundaria sería que la pieza **debe rediseñarse**.

- Una acción que signifique el prevenir una falla que tiene consecuencias en la seguridad o el medio ambiente merecerá la pena hacerla si reduce el riesgo de esa falla en sí mismo a un nivel realmente bajo, o si lo suprime por completo. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, **el componente debe rediseñarse**.

- Si la falla tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar una tarea sistemática si el costo total de hacerla durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación durante el mismo período de tiempo. Si no es justificable, la decisión “a falta de” será el **no mantenimiento sistemático**. (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales no son aceptables todavía, entonces la decisión “a falta de” secundaria sería **rediseñar de nuevo**).

- De forma similar, si una falla no tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar la tarea sistemática si el costo de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período. Si no son justificables, la decisión inicial “a falta de” sería de nuevo el **no mantenimiento sistemático**, y si el costo de reparación es

demasiado alto, la decisión “a falta de” secundaria sería **volver a diseñar nuevamente**.

Este enfoque gradual de “arriba-abajo” significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del RCM normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios. También quiere decir que las tareas restantes son más probables que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo.

Si esto compara el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones son aplicadas consecuencias diferentes.

Esto resulta en un gran número de planes que no sirven para nada, no porque sean “equivocados”, sino porque no consiguen nada.

El proceso del RCM considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como están funcionando hoy, y no como deberían estar o pueden que estén en el futuro.

4.6 EL PERSONAL IMPLICADO

El proceso del RCM incorpora siete preguntas básicas. En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a todas estas preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Esto se aplica

especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción u operaciones, además de los especialistas en el tema. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en los diferentes conceptos y el proceso del RCM.

Todo lo anterior es fundamental considerando que el mejoramiento del desempeño implica contribuciones en actitudes, organización, conocimiento, patrones culturales y resultados y a esto se le suma que el uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

4.6.1 Los Facilitadores

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:

- ♣ Que RCM sea aplicado 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 (el de operación 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 sean diligenciados debidamente.

4.6.2 Los Auditores

Luego de terminar la revisión de cada elemento de los equipos importantes, la persona que tenga la responsabilidad total de la operación necesitará comprobar que ha sido hecha correctamente y que está de acuerdo con la evaluación de las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas. No tiene que efectuar la intervención personalmente, sino que pueden delegarla en otros que en su opinión estén capacitados para realizarla.

Teniendo en cuenta que las actividades que se quieren hacer con la implementación de esta herramienta son de tipo “mejoramiento continuo” las cuales de manera general pueden ser agrupadas en dos tipos:

Las **Actividades Reactivas** como son aplicar Análisis Causa Raíz (ACR) de manera que una vez ocurrido el incidente se pueda identificar la causa para atacarla de manera inmediata.

Las **Actividades Proactivas** como es aplicar la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM por sus siglas en ingles), lo cual es menos tensionante y mas efectivo en cuanto a la obtención de resultados no costosos y controlables.

Estos análisis permiten conocer el orden de implantación de las técnicas a usar, de manera que se pueda garantizar un impacto significativo en los sistemas estudiados.

Si fuese el caso del Análisis Causa Raíz/solución de problemas sería muy productivo de manera previa aplicar un Análisis de Oportunidades de Mejora y para el caso actual o en cuestión que es el del Mantenimiento Centrado en La Confiabilidad es importante realizar de manera anticipada un Análisis Funcional y un Análisis de Criticidad.

4.7 LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR RCM

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

4.7.1 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.
- .: Claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
- .: Menos fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

4.7.2 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 las fallas inherentes a ellos.
- .: La eliminación de componentes poco fiables.
- .: Un conocimiento sistemático acerca de la operación.

4.7.3 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 los costos de las fallas.
- .: 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 la operación.

- ∴ Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición (“condition monitoring”).

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

4.7.5 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 de las instalaciones 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.

4.7.6 Mayor motivación de las personas, especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la instalación 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.

4.7.7 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:** 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.

Muchas compañías que han usado círculos de calidad y RCM, en mantenimiento han encontrado que el RCM les permite conseguir mucho más en el campo de la formación de equipos que en la de los círculos de calidad, especialmente en las instalaciones de alta tecnología.

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora. Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y hace participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

Entonces, después de tan clara y precisa información se puede llegar a afirmar que el RCM es capaz de producir resultados muy rápidos. De hecho, la mayoría de las organizaciones pueden completar una revisión del RCM en menos de un año utilizando el personal existente. La revisión termina con una recopilación de la documentación, fiable y totalmente documentada del mantenimiento cíclico de todos los elementos significativos de cada equipo de la instalación.

Si el RCM es usado correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los activos existentes, transformará ambos requisitos y la

forma en que es percibida la función mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz.

Además se puede afirmar que:

1. Los aspectos que caracterizan el entorno empresarial actual obligan a las organizaciones a ser cada vez más flexibles. Una de las formas de lograr esta tan demandada flexibilidad es mediante la aplicación de una metodología de mantenimiento que garantice que el equipamiento productivo de la empresa se encuentre en condiciones de desempeñar las funciones deseadas en su contexto operacional presente.

2. La actividad de planificación del mantenimiento en la empresa, exige rigor científico-técnico, pues de lo contrario queda en una buena intención que puede desacreditarla y provocarle problemas en el desarrollo posterior de su actividad productiva.

3. Se considera válida la inserción del procedimiento propuesto, en el árbol de decisión del MCC o RCM como una vía que permite convertir las consecuencias operacionales en consecuencias no operacionales, de forma que el modo de fallo no ejerza un efecto adverso sobre la capacidad operacional y que influya solamente en los costos de reparación.

Como se ha explicado en el desarrollo del presente capítulo, el objetivo principal del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad está en reducir el costo del mantenimiento en las empresas, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas de las mismas, de tal forma que se puedan evitar o quitar acciones de mantenimiento que no sean estrictamente necesarias o que no agreguen ningún tipo de valor.

De manera complementaria, tiene como meta evitar o reducir las consecuencias de las fallas y no necesariamente evitar las fallas. Considerando que las consecuencias de las fallas son los efectos que estas tienen sobre:

- ü La seguridad del personal y de los equipos.
- ü El ambiente
- ü Las operaciones
- ü La economía del negocio
- ü La imagen de la compañía

A todos los beneficios anteriores se le suman los que pueden lograr los aportes hechos por Moubray y Snelock denominados RCM2¹⁴ y RCM+¹⁵ respectivamente, quienes los definen de igual forma que el rcm, pero agregando términos que amplían de alguna manera su alcance: “Es un proceso usado para decidir lo que debe hacerse y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga” y “es un proceso o versión del rcm que permite superar las desventajas y problemas típicos del rcm tradicional, usándose con mayor efectividad en la industria de procesos” respectivamente.

Lo que los usuarios esperan de sus activos, es definido en términos de parámetros principales de ejecución, tales como producción, información, velocidad, alcance y capacidad de transporte. Cuando es pertinente, el proceso RCM2 también define lo que los usuarios quieren en términos de riesgo (seguridad e integridad ambiental), calidad (precisión, exactitud, consistencia y estabilidad), control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente, entre otros.

El próximo paso en el proceso RCM 2 es identificar las formas en las cuales el sistema puede fallar en el cumplimiento de esas expectativas (estados de falla), seguidos por un FMEA (Failure Modes and Effects Análisis), (Análisis de los modos de Falla y de los Efectos), para identificar todos los eventos que son razonablemente las probables causas de cada estado de falla.

¹⁴ MOUBRAY, John. el camino hacia el rcm - mantenimiento centrado en confiabilidad traducido y adaptado por Carlos Mario Pérez J. p 9 - 11

¹⁵ SNELOCK, Bunny. RCM+. Training Manual. The Woodhouse Partnership Limited, Inglaterra. 1999. P 7

Finalmente, el proceso RCM 2 busca identificar una apropiada política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Búsqueda de fallas
- Cambio del diseño o configuración del sistema
- Cambio de la forma en que es operado el sistema
- Operarlo para que falle

El proceso RCM2 suministra normas poderosas para decidir si cualquier política de manejo de fallas es técnicamente apropiada. También suministra criterios precisos para decidir qué tan a menudo se deben realizar las tareas rutinarias. El fuerte énfasis sobre las expectativas del usuario es una de las muchas características del RCM 2, que lo distinguen de las interpretaciones de otros menos rigurosos de la filosofía RCM. Otra fortaleza es el uso de grupos de análisis RCM de funcionalidad cruzada de usuarios y personal de mantenimiento para aplicar el proceso. Con una cuidadosa capacitación, tales grupos son capaces de usar RCM2 para producir extraordinarios programas de mantenimiento con costos efectivos, aún en situaciones donde ellos tienen poco o ningún acceso a la información histórica.

La rigurosa aplicación del RCM 2 transforma completamente la opinión que cualquier organización tiene de sus activos físicos. No sólo revoluciona opiniones acerca del mantenimiento sino que también conduce a un más amplio y más profundo conocimiento acerca de la forma cómo funcionan las cosas.

Desde el punto de vista de los negocios para los cuales el activo sirve, estos cambios son profundos y muy importantes. Ello significa que los activos se hacen más confiables porque son mantenidos en mejor forma, y los operarios probablemente harán menos cosas que ocasionen fallas en los activos.

Una mejor comprensión de cómo funcionan los sistemas significa que los operarios están en capacidad de reaccionar rápida, confiada y correctamente, cuando las cosas funcionan mal. Capacidad muy valiosa, especialmente en instalaciones montadas de forma compleja, peligrosa y riesgosa.

En todos los casos, las personas que viven con la operación de los equipos diariamente son una valiosa fuente de información, ello lleva a la conclusión de que desde ambos puntos de vista – validez técnica y desarrollo de capacidad – es un error no involucrar a las personas con los activos directamente en la aplicación del proceso RCM.

RCM 2 cumple con la norma SAE STANDARD JA1011 “Criterios de Evaluación para procesos RCM / Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”. Y para lograr una mejor comprensión de cómo funciona el RCM2 se recomienda uno de los cursos ofrecidos por Soporte y Cia Ltda., quien ha desarrollado un entendimiento de lo que se debe hacer para asegurar que el RCM sea correctamente aplicado por grupos de análisis multidisciplinarios.

Con todo lo anterior queda claro que la importancia del rcm2 y el rcm+ radica en que estas han agregado el uso de técnicas avanzadas que permiten que el desarrollo del RCM se haga de una manera muy práctica, rápida y cuantificada, basada en riesgo y optimizando los intervalos por costo riesgo. Que es precisamente lo que se va a hacer en el actual trabajo, en el que se ha intentado hacer una integración de las tres versiones de tal manera que los resultados sean lo más óptimos y efectivos posible.

4.8 BUSCANDO LA EFECTIVIDAD DE LA TÉCNICA

Como la mayoría de los nuevos conceptos, técnicas y filosofías, sino todos, el RCM ha tenido sus defensores y sus detractores, pero buscando una inclinación hacia la parte productiva de las industrias y buscando alcanzar resultados efectivos alejados de cualquier tipo de contratiempo o fracaso en la implementación de la filosofía RCM o MCC, cabe dejar claro, que es de gran importancia que el enfoque de trabajo en la empresa no debe estar solo en el mantenimiento, sino en la mejora de la empresa total, para lo cual es necesario que el RCM sea usado solo en la medida que la empresa lo requiera para mejorar lo que tenga que mejorar de tal forma que mejore la empresa como tal y no que se intente mejorar algunas áreas de la misma dejando de lado a otras, para ello se recomienda que de ser necesario se haga uso de cualquier otra herramienta auxiliar que contribuya al logro de los objetivos como son Análisis Funcional, Análisis de Criticidad, Herramientas de Optimización de Mantenimiento, etc.

“El **Análisis Funcional** tiene como propósito proveer un claro entendimiento de las funciones de una planta y la operación por un equipo multidisciplinario (propósitos de la planta) para incrementar la conciencia de temas críticos dentro de todos los aspectos de la planta (que pueden disminuir su desempeño de alguna manera), proveer una conciencia de la planta desde el punto de vista de negocios y proveer un diagrama de bloques simplificado de los procesos internos”¹⁶.

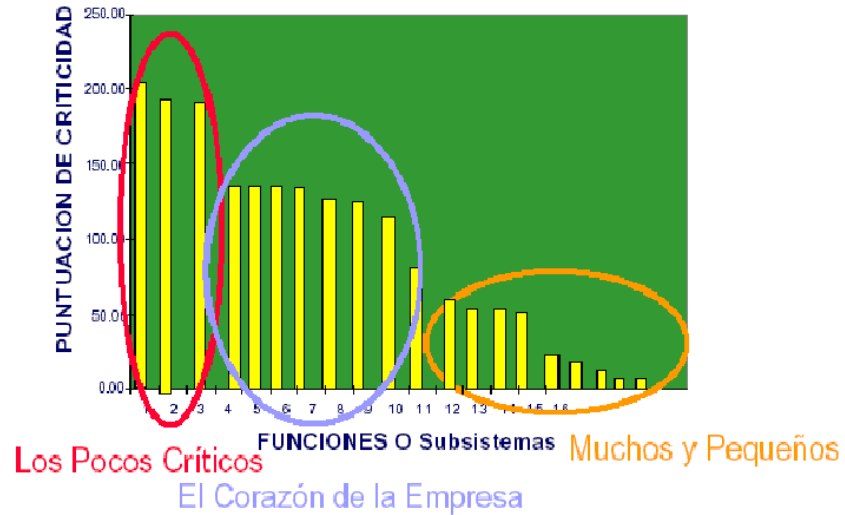
“El **Análisis de Criticidad** permite identificar las áreas sobre las cuales se tiene un mayor impacto”¹⁷.

¹⁶ BERNARDO, JOSE. Haciendo que el RCM trabaje para su empresa, Inglaterra, The Woodhouse Partnership Limited. 1999, P. 8.

¹⁷ Ibid., p. 8.

Grafico 1: Resultados típicos de los análisis de criticidad

Resultados de Criticidad Típicos

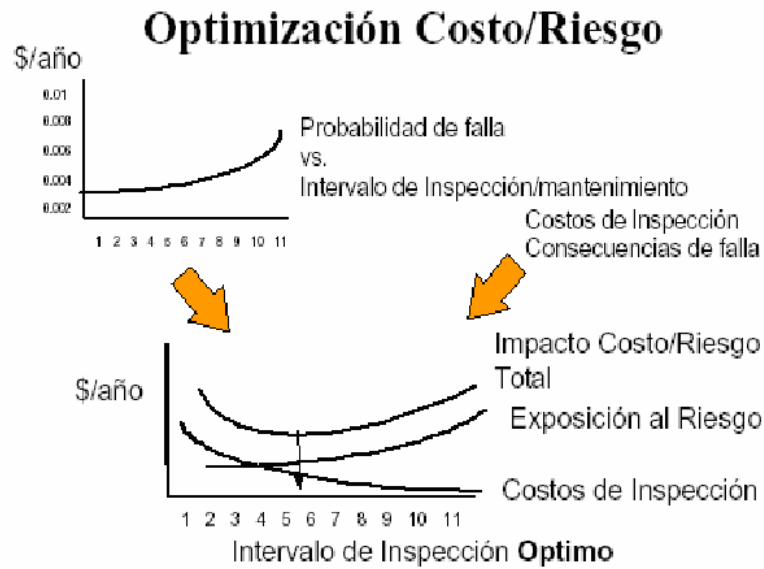


Fuente: BERNARDO, JOSE. Haciendo que el RCM trabaje para su empresa, Inglaterra, The Woodhouse Partnership Limited. 1999, P. 9.

“Las **Herramientas de Optimización de Mantenimiento** ayudan a justificar las principales decisiones a tomar con un enfoque costo riesgo, lo cual permite optimizar frecuencias de mantenimiento, inspección y búsqueda de fallas así como evaluaciones de proyectos y rediseños, optimización de partes de repuestos, análisis de ciclos de vida, etc.”¹⁸

¹⁸ Ibid., p. 9.

Grafico 2: Visualización del impacto total (riesgo /costo) en la empresa.



Fuente: BERNARDO, JOSE. Haciendo que el RCM trabaje para su empresa, Inglaterra, The Woodhouse Partnership Limited. 1999, P. 10.

Considerando lo anterior es muy importante tener en cuenta algunas barreras del RCM clásico que pueden o no presentarse a la hora de la implementación y que en la mayoría de los casos va a depender de particularidades del personal a cargo o de la forma como sean entendidos los pasos o asimilada la misma metodología:

4.8.1 Limitaciones de implementación del RCM clásico¹⁹:

1. Dificultad en la definición de sistemas y funciones.
2. Dificultades en la creación de un plan jerarquizado de implementación.
3. Mala relación costo beneficio en más de un 40% de los sistemas evaluados.
4. Problemas en la definición de frecuencias optimas de mantenimiento, inspecciones, etc.

¹⁹ Ibid., p. 5.

5. No trata los problemas de operación diaria, muy proactivo, pero sin embargo el día a día mata a muchas empresas. ¡eliminando entre otras cosas el tiempo para las reuniones de RCM!
6. Los esquemas de reuniones cortas semanales y grupos de trabajo completos son muy difíciles de implementar.
7. Un plan de implementación global puede tardar muchos años y costar millones de dólares en empresas grandes.
8. Los resultados pueden tardar muchos años en materializarse.
9. Difícil de justificar económicamente en muchos casos.
10. Alta rotación de los gerentes y visión a corto plazo de los mismos dificulta la implementación.
11. Problemas con la comunicación de resultados.
12. Es difícil mantener equipos de trabajo durante largo tiempo.

A continuación se presentan de manera muy general algunas ideas o sugerencias que pueden ser tenidas en cuenta en momentos en que se presenten cualquiera de las anteriores situaciones problemáticas y que pueden dar una visión más amplia de cómo afrontarlas, resolverlas o al menos disminuir su impacto en la actitud del equipo de trabajo o del mismo personal involucrado y quizás hasta en la obtención de los resultados deseados, el cual sería el peor de los casos.

4.8.2 ¿Como superar dichos límites?²⁰

1. Utilizar mejores técnicas para definir funciones y sistemas.
2. Utilizar un buen sistema de criticidad para establecer el plan de implementación, el sentido común no es suficiente.
3. La criticidad debe estar basada en riesgo y en tener una relación directa con indicadores económicos de la empresa.

²⁰ Ibid., p. 5 y 6.

4. Establecer planes de implementación de RCM solo para sistemas críticos.
5. Usar estrategias diferentes para los sistemas de baja criticidad, como el RCM en reversa o Reverse RCM²¹.
6. Usar herramientas avanzadas para la optimización por costo riesgo de las frecuencias de mantenimiento e inspección, así como la evaluación optima de partes de repuesto y la evaluación económica de los rediseños.
7. Usar herramientas de mejoramiento continuo para resolver los problemas operacionales diarios.
8. Tratar de obtener resultados a corto plazo sin sacrificar los objetivos a largo plazo, este será el combustible para quemar la visión a corto plazo gerencial.
9. Poseer siempre a la mano los resultados económicos de la implementación, para esto se han de desarrollar algunos indicadores de desempeño.
10. Generar planes de comunicaciones y recompensas que permitan mantener el momentum de los equipos de trabajo, este permitirá el comportamiento de la visión de la empresa.
11. Crear planes de mejoramiento que involucren todos los sectores de la empresa.
12. Recordar que el mantenimiento no es el único ingrediente que interviene en el desempeño de las empresas.
13. Mantener un ambiente triunfalista.
14. Crear planes de implementación flexibles, que no dependan de individualidades.
15. Usar el apoyo de consultores que evitaren cometer errores que son más costosos que la misma consultoría. Un buen servicio de consultoría es altamente rentable, factores de retorno elevados se han conservado el primer año.

²¹ DURAN, JOSÉ. Reverse RCM. The Woodhouse partnership Limited, 1999.

- 16.No creer que implementación es solo cuestión de adiestramiento, ningún experto en algo sale solo de las aulas, imagínense un cirujano que solo ha tomado cursos, ¿le encargaría usted a el una operación de amígdalas?
- 17.Implementación es cuestión de práctica y experiencia, soporte externo le permitirá utilizar la experiencia de ellos y evitar errores en su empresa.
- 18.El enfoque esta en: ¡HACER LAS COSAS BIEN DESDE LA PRIMERA VEZ!
- 19.Tener planes de desarrollo en búsqueda de la experiencia empresarial, con indicadores de desempeño, metas a mediano, largo y corto plazo.
- 20.Involucrar la mayor cantidad de gente posible.
- 21.Recordar que no hay atajos para la excelencia, INOCENCIA, luego CONCIENCIA, luego ENTENDIMIENTO, luego COMPETENCIA y luego EXCELENCIA.

Considerando algunos aspectos mencionados en el desarrollo de este trabajo y otros aprendidos en el transcurso de la carrera; Ingeniería Industrial, se puede afirmar que se requiere muchísimo mas que intentar mejorar el mantenimiento, para lograr aumentar y mejorar considerablemente el desempeño de cualquier empresa, y con mas razón, es difícil solo mejorar el mantenimiento sin el apoyo e intervención de los demás sectores de la empresa.

El RCM es una excelente filosofía que sirve de herramienta para analizar, evaluar y mejorar o para generar nuevas estrategias de mantenimiento en cualquier empresa, porque integra diversas áreas de la misma en proyectos de trabajo en equipos interdisciplinarios.

Nadie nunca ha mencionado que la implementación de alguna técnica, herramienta o filosofía, sea fácil, solo es cuestión de imprimirle el cuidado necesario para su éxito y efectividad. De esta manera el RCM debe ser aplicado en sistemas cuya criticidad lo amerite y no en aquellos en los que

cualquier otra herramienta mucho más sencilla pueda resolver la situación problema presente.

El RCM no genera intervalos óptimos para la ejecución de los planes de mantenimiento, para ello se podría hacer uso de herramientas avanzadas (herramientas APT). El enfoque a usar por el RCM debe estar centrado en el negocio de la empresa, adoptado mediante un buen estudio de criticidad basado en riesgo y cuantificado de ser posible y necesario.

4.9 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL RCM ANTE LAS DEMÁS FILOSOFÍAS

Es conocido por muchos ingenieros que existen una gran gama de herramientas que pueden ser, y en la mayoría de los casos lo son, de mucha ayuda a la hora de buscar mejorar la confiabilidad operacional de las maquinas, equipos y herramientas de las empresas y también es sabido que todas ellas requieren del trabajo en equipo y plazos considerables para el logro efectivo de los resultados deseados. Entre tantas herramientas se encuentran el RCM (reliability centered maintenance, mantenimiento centrado en confiabilidad), TPM (total productive maintenance, mantenimiento productivo total), RBI (risk based inspection, inspección basada en riesgo), RCFA, etc.

Pero como es necesario e importante la escogencia o selección de alguna o mejor de la mas efectiva y que produzca los mejores resultados según las condiciones de la empresa en cuestión, se llega al siguiente punto: entre las herramientas mencionadas anteriormente y las que no fueron mencionadas, se encuentra que entre las de mayor profundidad, requerimientos de esfuerzo y apoyo de la mayoría de las áreas, por no decir que todas, de la empresa en cuanto a enfoques de optimización del sistema de mantenimiento se encuentran el TPM y el RCM.

El TPM es una filosofía de mantenimiento que exige calidad total en el trabajo de mantenimiento, lo cual no es difícil de obtener, pero en consecuencia exige que en los sistemas en que se aplica esta filosofía se deba llegar al nivel de “cero fallas”.

Comprendiendo la realidad de las Empresas en los países en desarrollo y sus líneas de operación, las cuales comúnmente se componen de equipos remanufacturados que ya han excedido los límites de su vida útil, como es el caso de Tenaris Tubocaribe, mas exactamente, hablando de la formadora Mc Kay, resulta muy probable que las fallas estén por fuera de los límites de control, lo cual dificulta en gran medida llegar al nivel de cero fallas, como lo exige la filosofía TPM.

Por otro lado el RCM es un sistema que se basa en la confiabilidad del proceso, es decir, que el sistema en el que se aplique RCM debe continuar su trabajo normal a pesar del surgimiento de alguna falla en cualquiera de los componentes que conformen el sistema. La atención de esta falla corresponderá a un reemplazo o reparación previamente determinado, el punto es que el sistema mantenga su ritmo normal de producción y no altere en ningún momento su Throughput, que es lo que se necesita lograr en Tenaris Tubocaribe.

CAPITULO 5: PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA FILOSOFÍA RCM PARA LA FORMADORA MC KAY EN TENARIS TUBOCARIBE

Durante este capítulo se fijaran la bases para una futura implementación de un plan de mantenimiento enfocado en Tubocaribe, analizando su entorno, sustentando a través de datos estadísticos la escogencia del área de formado Mckay como área crítica para el desarrollo del plan de mantenimiento y poder sentar los lineamientos de la planeación enfocada a la confiabilidad.

5.1 INTRODUCCIÓN Y CONOCIMIENTO DEL ENTORNO PARA EL ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE TENARIS TUBOCARIBE

A continuación, se presenta una breve descripción de la empresa Tenaris Tubocaribe enfatizando la descripción del proceso y la descripción de los productos que son fabricados en la planta.

5.1.1 Descripción del proceso productivo de Tenaris Tubocaribe.

El proceso productivo de Tenaris Tubocaribe consiste en la fabricación de tubería de acero la cual es soldada y fabricada bajo las especificaciones de la API o instituto americano de petróleo establecido desde 1945, la materia prima utilizada para ello, llega a la fábrica en forma de bobina o royo de acero, la cual es cortada a una longitud de banda según sea el diámetro del tubo que se va a formar.

Luego de esto los rollos ya cortados son llevados a las formadoras y dependiendo del diámetro²² se introducen uno a uno en los equipos de entrada de las mismas, y la lamina después de desenrollarse y pasar por un

²² Si el diámetro es pequeño, comprendido en el rango de 2 3/8" a 3 1/2", se lleva a la formadora etna y si el diámetro está en el orden de 4 1/2 " a 8 5/8" se lleva a la formadora mckay.

acumulador, pasa a través de un conjunto de pasos conformados por rodillos, los cuales ejercen presión sobre la lamina y de manera mecánica se le da forma cilíndrica, la cual al tomar la forma deseada se unen los extremos de la lamina por medio de soldadura, esta es normalizada e inspeccionada para verificar su estado. Luego de este proceso y dependiendo de la especificación de la tubería, esta puede ser llevada a la inspección en la cual se prueba hidrostáticamente al tubo, pasa por biselado y luego a terminación, en el caso de un "Line pipe"²³.

En el caso de un "Tubing"²⁴, este es llevado a recalado, donde los tubos en los extremos se agranda el diámetro externo del tubo, luego son llevados a tratamiento térmico en el cual pueden ser normalizados o aliviados si el grado de dureza de un tubo es J55 o templado y revenido si el grado es N80, L80 o P110, en caso de que no sea tratado son llevados directamente a inspección y luego a roscado, en donde se le realiza al tubo una rosca en cada extremo para luego ser terminado y estencilado.

En el caso del "Casing"²⁵, este es llevado a tratamiento térmico en caso de que así sea su especificación, de lo contrario es llevado a inspección y luego se termina. En el **anexo G**, se encuentran flujogramas de proceso por producto con los que se puede apreciar de mejor manera lo que ya se explico.

El terminado en todos los casos consiste en una capa de barniz que es aplicada en la superficie del tubo y en una marca que indica la especificación del tubo, la licencia de la sociedad americana de petróleo, fecha de fabricación, diámetro externo en pulgadas, grado del acero del tubo, requerimientos especiales de acuerdo al cliente, longitud total en pies, peso total en libras,

²³ Tubería que sirve para la conducción de petróleo crudo o refinado y gas, es empleada en la construcción de gasoductos, oleoductos y poliductos.

²⁴ Tubería utilizada para la extracción del petróleo, a través del fluye del crudo y/o gas contenido en el pozo a la superficie.

²⁵ Tubería utilizada para revestir las paredes del pozo del cual es extraído el petróleo, evitando el derrumbamiento del mismo.

presión de prueba aplicada, código de tubo, entre otras especificaciones que pueda llegar a definir el cliente.

Tubocaribe también presta el servicio de “revestimiento de tubería”²⁶ que va a ser para trabajo pesado y de contacto fuerte con el entorno como el caso del casing la cual puede ser revestida con Monocapa²⁷, Bicapa²⁸ o Tricapa²⁹.

5.1.2 Descripción de los productos fabricados por Tenaris Tubocaribe.

De acuerdo al uso que se le valla a dar a la tubería, se puede clasificar de la siguiente forma:

Tubería petrolera tipo:

Ø API 5CT. Revestimiento y producción.

- Casing: Es utilizada para revestir las paredes del pozo del cual es extraído el petróleo, evitando el derrumbamiento del mismo.
- Tubing: Es utilizado para la extracción del petróleo, a través de el fluye el crudo y/o gas contenido en el pozo a la superficie.

Ø API 5L. Conducción

²⁶ El tipo de revestimiento a emplear depende de las condiciones de trabajo de la tubería. Los tubos revestidos son usados en la construcción de gasoductos u oleoductos donde la tubería sea instalada bajo tierra.

²⁷ Sistema de revestimiento externo, compuesto de una sola capa de resina epoxica, aplicada con el fin de proteger la tubería contra la corrosión.

²⁸ Sistema de revestimiento externo compuesto por dos capas de pintura, la primera es de una resina epoxica convencional y la segunda de resina epoxica modificada, brindando además de la protección contra la corrosión, resistencia a altas temperaturas de trabajo de la tubería y a daños mecánicos de la superficie revestida.

²⁹ Sistema de revestimiento externo compuesto por tres capas: una capa de resina epoxica que protege contra la corrosión, una capa de adhesivo que actúa como unión entre la primera y la tercera capa y una capa de poliolefina (polipropileno o polietileno) que protege el revestimiento contra daños mecánicos y temperatura de trabajo.

Line pipe: Sirve para la conducción de petróleo crudo o refinado y gas, es utilizado en la construcción de oleoductos, gasoductos y poliductos.

Tubería conducción:

ASTM A53 Grado A y B. Tubería EW de acero al carbono.

A589. Tubería EW de acero al carbono para pozos de agua.

Tubería estructural:

ASTM A500. Tubería EW de acero al carbono, redonda para usos estructurales.

5.2 SELECCIÓN DE LINEA DE ESTUDIO DE ACUERDO A UN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA SITUACIÓN DE MANTENIMIENTO CON RESPECTO AL TIEMPO MUERTO

Para garantizar que el análisis y el resultado del diagnóstico sea verídico y lo más soportado en la realidad, se ha decidido tomar como referencia los datos de los años 2005, los cuales se analizarán para definir un dato certero y confiable.

En el caso de 2006, se utilizará la información específicamente del sistema a evaluación para determinar el comportamiento de las variables que interfieren en el proceso y que constituyen la gestión de mantenimiento. Cabe destacar que se analizará exclusivamente el tiempo muerto por interrupciones, siendo este el que ocurre sin ningún tipo de programación e interfiere en la disponibilidad de la línea.

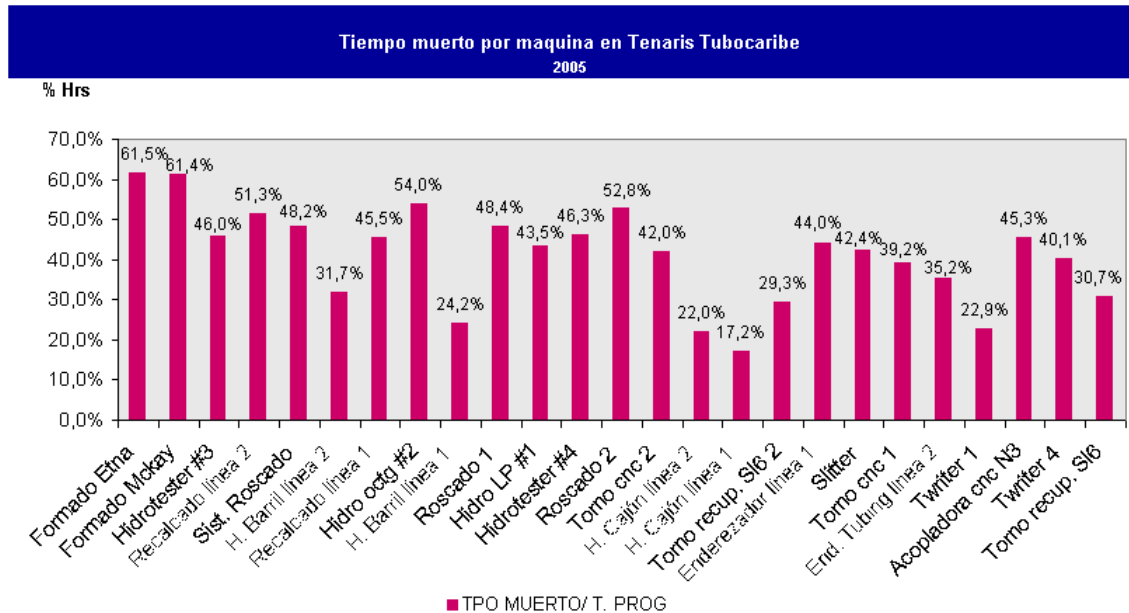
& Diagnostico a partir de información de tiempos muertos.

Para la selección del sistema se ha seleccionado el comportamiento del año 2005, el cual fue un año en el que se percibió un problema de desorientación con respecto a la planeación y programación de tareas de mantenimiento, las cuales no estaban siendo efectivas para la sostenibilidad de la disponibilidad de las maquinas y que a su vez vio afectada la gestión del departamento logístico con respecto a la entrega de los pedidos.

Al remitirse al año en cuestión y a como se administraba la información de tiempo muerto, esta se comparaba con respecto al tiempo programado de operación el cual consistía en el tiempo en que se programaba que una maquina produjera tubos.

A continuación se observa una grafica que refleja el porcentaje de tiempo muerto sobre su cien por ciento de tiempo programado de operación.

Grafico 3: Tiempo muerto por maquina en Tenaris Tubocaribe 2005

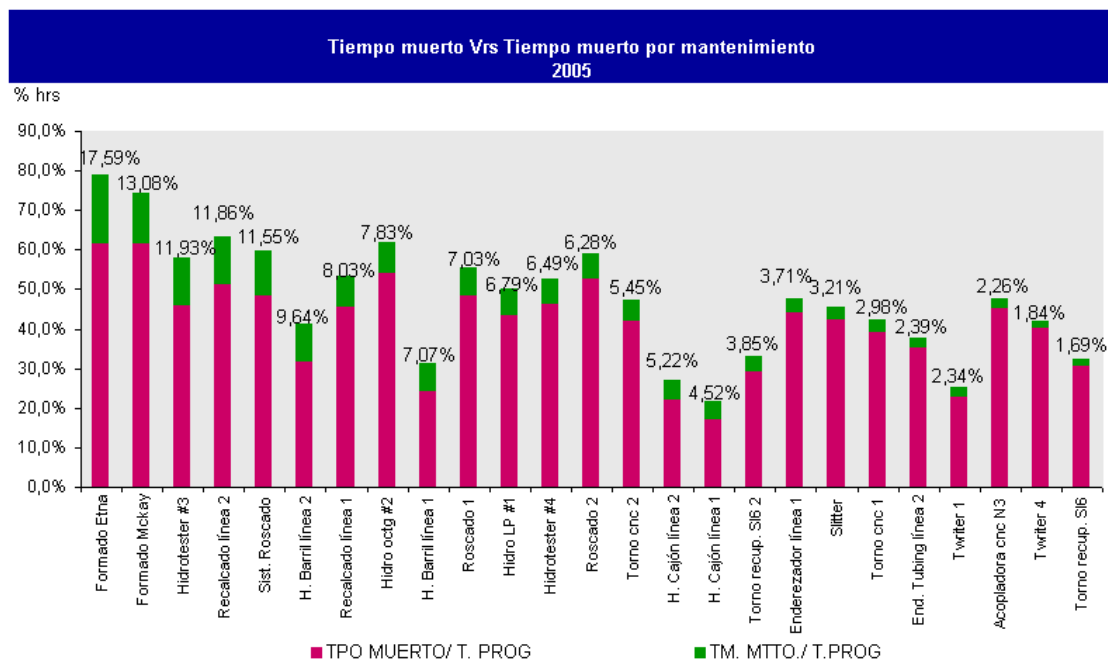


Fuente: información proporcionada por tenaris tubocaribe

En este primer dato se toma el tiempo muerto por toda acción que de una u otra forma interrumpa la producción de una línea por lo que dentro de este dato se encuentran paros programados, descansos en turno, suspensiones, turnos fuera de régimen, entre otros paros que puedan ser previstos pero que de igual forma interrumpen la producción.

Para determinar el grado de impacto de la gestión de mantenimiento sobre el porcentaje de tiempo muerto, se analiza el porcentaje de tiempo muerto que pertenece a mantenimiento, en este se agrupan daños mecánicos, daños eléctricos y esperas por taller de maquinas y herramientas.

Grafico 4: Tiempo muerto Vrs tiempo muerto por mantenimiento 2005



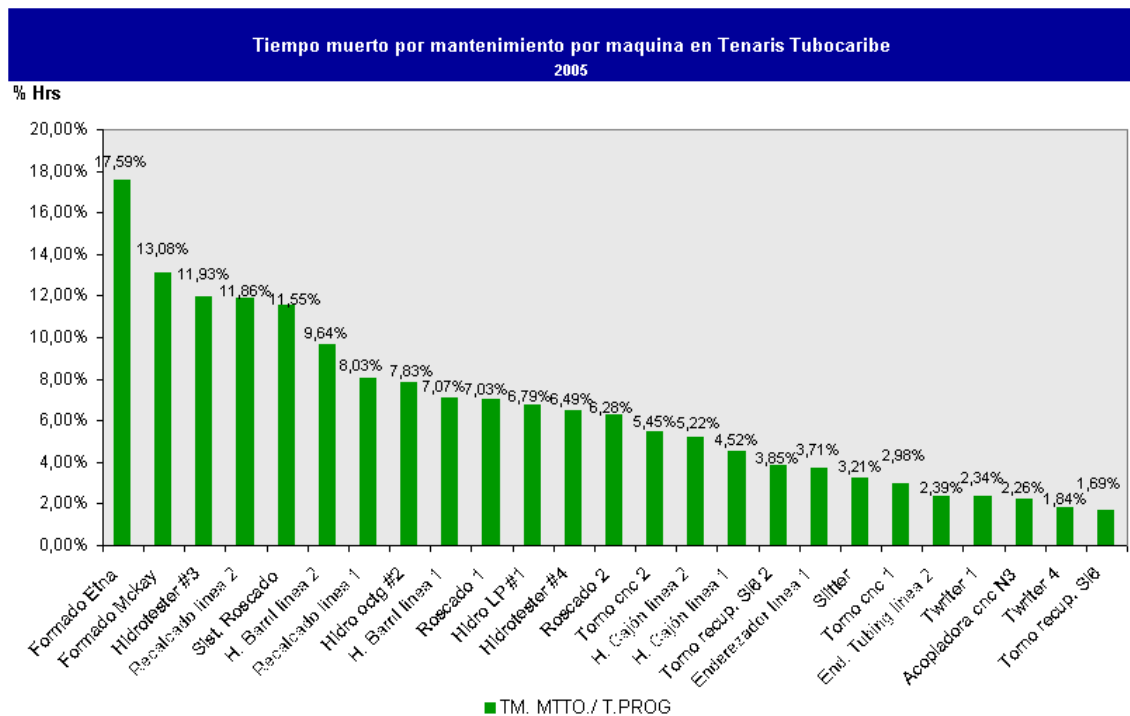
Fuente: Información proporcionada por tenaris tubocaribe

Tratándose de un departamento cuyo objetivo es brindar confiabilidad a la operación de los equipos que hacen parte del proceso productivo, los porcentajes que se observan permiten sacar las siguientes conclusiones:

- Los porcentajes por tiempo muerto superan al estándar mundial el cual es del 2%.
- Las maquinas con mayor tiempo muerto por mantenimiento son las que realizan la mayor transformación al producto como son las formadoras.
- Todo tubo que pasa por las maquinas que se encargan de dar características al tubo, ha sido fabricado en las líneas de formado.

Para seleccionar la maquina a la cual le apremia una acción rápida por alto nivel de tiempo muerto, se analiza la siguiente grafica.

Grafico 5: Tiempo muerto por mantenimiento por maquina 2005.



Fuente: Información proporcionada por tenaris tubocaribe

Tal y como se observa, la formadora Etna es la maquina con mayor tiempo muerto por mantenimiento, que comparándolo con la Mckay la diferencia es de 4.5%.

Esta diferencia hizo que surgiera la necesidad de indagar en la procedencia de este tiempo muerto el cual resulto superior en la etna por un caso especial y particular ocurrido en el año analizado y como la selección de la maquina debería ser por mayor tiempo muerto generado, y para el estudio presente se opto por la formadora línea 1 Mckay.

La investigación con respecto a los daños ocurridos en 2005, concluyo con que la formadora presentaba un problema de transmisión de potencia, ya que por demanda del mercado la formadora Etna esta produciendo tubería fuera de su capacidad de diseño excediendo la carga y el torque por lo que generaba que los motores y reductores presentaran fallas prematuras por lo que era común que estos últimos se recalentaran partiendo coronas y tornillos sin fin, además de los acoplamientos entre el reductor y el motor.

Actualmente, el departamento de mantenimiento lidera un proyecto para repotenciar esta maquina cambiando todos los reductores y colocando un motor por cada paso lo cual generara una mayor confiabilidad y erradicara los daños que se tienen por la sobrecarga a la cual es sometida la maquina.

Tomando la anterior referencia y la premisa de que deben sacarse los picos que puedan afectar la confianza sobre una muestra, se decide orientar esta tesis y tomar a la formadora Mckay como objeto de estudio por las siguientes razones:

- En términos de producción, la formadora mckay aporta un 74% de las toneladas producidas por mes en Tubocaribe.
- La formadora Mckay procesa tubos de mayor diámetro, lo cual representa un mayor volumen de toneladas por mes.
- Es la segunda en términos de tiempo muerto por mantenimiento.

& Análisis bajo la Visión Tenaris.

Debido al cambio de visión con respecto a la información de control de operaciones a raíz de la compra de la empresa al grupo Tenaris, para el año de 2006, se establecieron nuevos parámetros los cuales permiten segmentar aun más el impacto por magín para las formadoras.

El tiempo muerto como tal se clasifica en cuatro nuevos grupos:

- Paros de estructura: Son aquellas paradas que no son programables y no dependen de la empresa, se refiere a paradas que se tengan que dar por ley, por las condiciones de trabajo, etc.
- Paros Programados: Son las paradas que se programan con antelación para un periodo de tiempo y que se dan con cierta frecuencia.
- Interrupciones operativas: Paradas asignables a la gestión de operaciones y producción.
- Interrupciones no operativas: paradas asignables a la gestión de los procesos de apoyo a la producción (mantenimiento, compras, servicios generales, etc.).

Bajo este mismo enfoque también se encuentra un nuevo método por el cual es evaluada la actuación de una línea con respecto al tiempo que se estima para trabajar empezando de la siguiente forma:

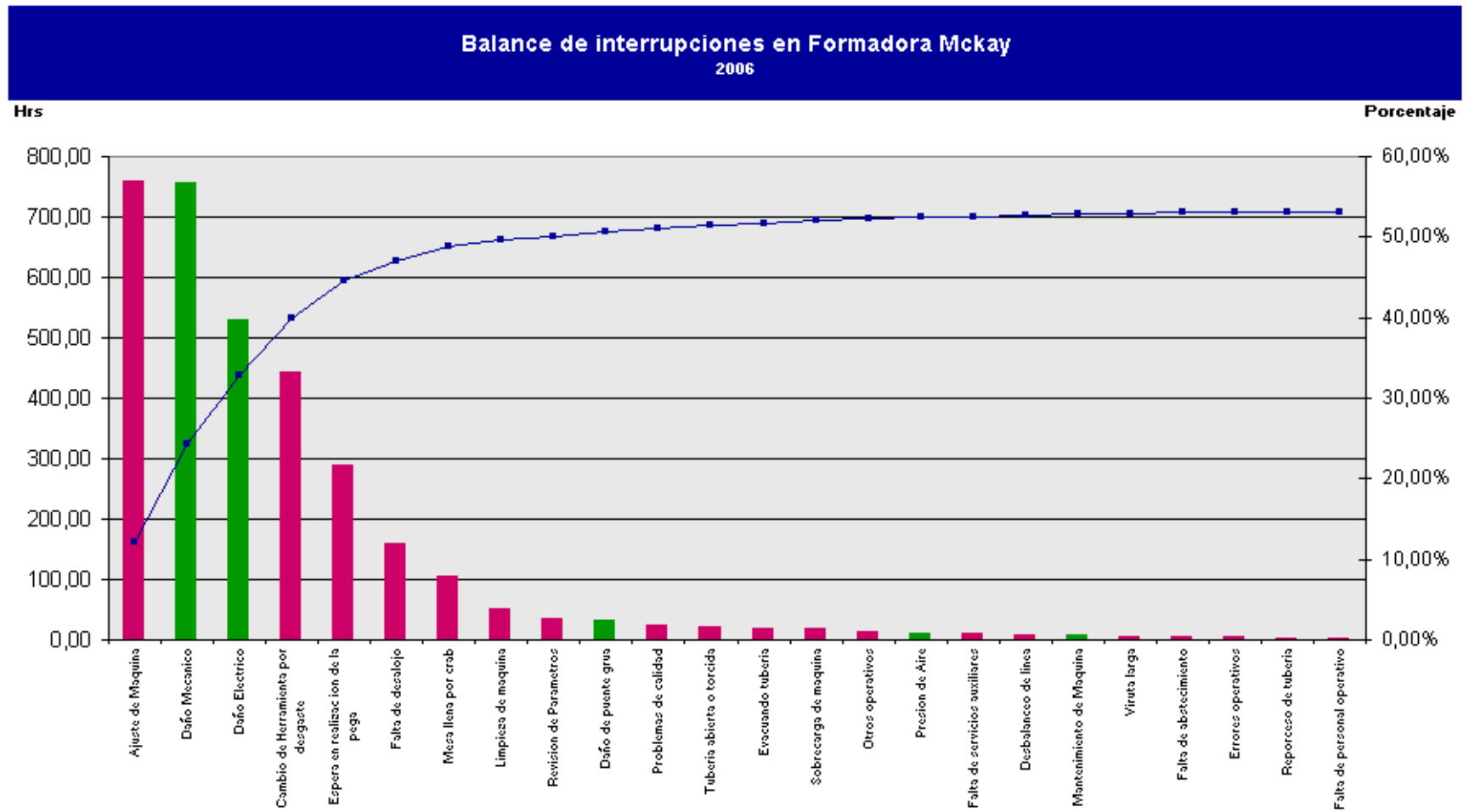
- Tiempo calendario: es el tiempo que por naturaleza, hay de un determinado lapso de tiempo, es decir, un día tiene 24 horas, una semana tiene 7 días, etc.

- Tiempo posible: es el tiempo que queda luego de restarle al tiempo calendario los paros de estructura.
- Tiempo disponible: es el tiempo que resulta luego de restarle al tiempo posible los paros programados.
- Tiempo Efectivo: es el tiempo que resulta luego de restarle al tiempo disponible las interrupciones operativas y no operativas.

De acuerdo con lo anterior se analiza un grafico para el año 2006 con respecto a los paros operativos y no operativos en comparación con el tiempo disponible para la Formadora Mckay, el cual representa el tiempo que una línea tiene para la fabricación de tubos. (**Ver gráfico 6**)

Como se observa, las interrupciones de daño mecánico y daño eléctrico en 2006 continúan constituyendo unas de las paradas mas importantes para la línea, sumando mas de 1300 hrs. en el año, lo cual se traduce en un 21.4% del tiempo disponible de la línea.

Gráfico 6: Balance de interrupciones operativas y no operativas en formadora Mckay 2006




Fuente: Información proporcionada por Tenaris Tubocaribe

5.3 APLICACIÓN DE TAREAS PRINCIPALES DEL ANÁLISIS RCM A LINEA DE FORMADORA MCKAY.

Una vez se determina cual es la línea que se va a trabajar, es indispensable que se presente una Descripción del equipo/s del proceso y auxiliares, especificando características, tiempo estimado de uso y localización, como se muestra en la tabla 2. Asimismo, la identificación o reconocimiento de las condiciones de operación y el flujo de proceso a través de un diagrama de operaciones, para que sea más sencillo determinar las submaquinas que dentro de esta línea operan.


Inicialmente se presenta la descripción general de la formadora línea 1 Mckay y posteriormente una descripción mas profunda de cada uno de las submaquinas en ella.

Tabla 2: Descripción de la Formadora Línea 1 MCKAY

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras					Ref:	
Aprobado por:					Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Formadora línea 1 MCKAY	WM # 1 8 5/8"	Formado de tubería para extracción de petróleo. Pd: 3 ½" – 8 5/8" Hp: 1300. Vel máx: 85 pies/min.	Transmisión de potencia mecánica.(cardanes y crucetas) Alimentación de soluble por torre de enfriamiento Soldador por inducción. Transporte del producto: conveyors mecánicos.	N A	N A	Planta de tubería- zona de formado nave 2.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 3: Descripción del equipo de entrada formadora línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Equipo de entrada	C0200a	Desembobinador hidráulico con motor eléctrico de 10 hp. Flattener con motor DC con potencia de 400 hp. Guild soldador con unidad hidráulica, motor DC y soldador Dc tipo TIC. Looper o acumulador de lámina con motor Winche de 60 hp.	Armadura mecánica. Elementos mecánicos tales como rodillos, rodamientos, ejes.	N A	N A	Nave 1 entrada a nave 2, alimentación formado línea 1.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 4: Descripción del equipo de Formado de la formadora línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Formado	C0200b	4 pasos break down con trasmisor de potencia por motoredutores y 4 variadores de velocidad de 60 hp. Sizing de 12 motores de 30 hp, 12 reductores y 12 variadores de 30 hp respectivamente.	Reductores unitomo, variadores y motores AC.	N A	Proporcional al cambio de aceite y al chequeo predictivo de rodamiento.	Nave 2, formado línea 1.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 5: Descripción del Soldador de la formadora Línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Soldador	C0200f	Soldador marca Termatool. Potencia 50 kws Equipo de alta frecuencia con tubo al vacío. Transformador prepotencia. Tipo de soldadura ERW (soldadura por resistencia eléctrica).	Gabinete de alta frecuencia y nariz soldador.	N A	De a cuerdo a temperatura de intercambio de calor.	Nave 2, formado línea 1.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 6: Descripción del Normalizador de la Formadora Línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Normalizador	C0200e	Normalizador marca termatool. 2 equipos de 500 Kw. Bomba de refrigeración por agua destilada de 30 hp. Frecuencia 3 Khrz. Convertidor AC DC e inversor DC AC con high frequency. Transformador de aislamiento de 50 Kw.	Tratamiento térmico de normalizado a soldadura. Proceso a través de bobina inductora.	N A	N A	Nave 2, formado línea 1.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 7: Descripción de la Cortadora de la Formadora Línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Cortadora	C0200i	Cortadora de cuchilla giratoria. Sistema de corte totalmente hidráulico. Bomba hidráulica de 50 hp. Refrigerante soluble.	Armadura de acero. Mordazas de sujeción que permiten movilidad.	N A	N A	Nave 2, formado línea 1.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 8: Descripción del Enderezador de la Formadora Línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Enderezador	Equipo sin nomenclatura.	Marca sutton. Motor de 100 hp. Motor superior de rodillo de 20 hp. Conveyor con motores de 5 hp.	Armadura mecánica. Transmisión de potencia a través de rodillos.	N A	N A	Nave 2, formado línea 1.
Observaciones:						


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Tabla 9: Descripción de la Tronzadora de la Formadora Línea 1.

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Tronzadora	Equipo sin nomenclatura.	Cortadora marca Continental. Conveyor de transmisión eléctrica. Motores de conveyor de 5 hp. Maquina para prueba de aplastamiento.	Equipo con sierra de disco.	N A	N A	Nave 2, formado línea 1.
Observaciones:						

Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

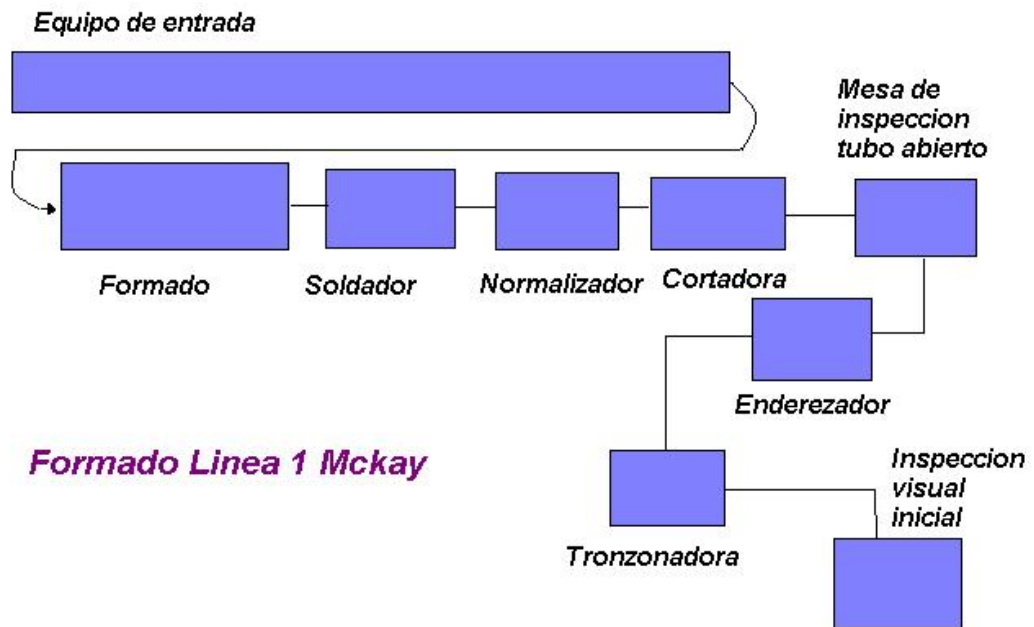
Tabla 10: Descripción de la IVI de la Formadora Línea 1 MCKAY

 FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s: Jefe Line pipe, Jefe de Mantenimiento Formadoras Aprobado por:					Ref: Fecha: Abril de 2007	
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Ivi (inspección visual inicial)	C0200	UT crab para inspección de soldadura. UT portátil con grafico de frecuencia natural del tubo.	Elementos electrónicos. Computador con base de datos grafica.	N A	N A	Salida Nave 2-nave 3, formado línea 1.
Observaciones:						

Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Una vez descritos todas y cada una de las maquinas o equipos auxiliares de la formadora línea 1 Mc kay, se procede a la presentación de un grafico que permite la visualización práctica del flujo del proceso que se lleva a cabo en la formadora en cuestión, como se muestra a continuación:

Figura 8: Flujo de proceso formado línea 1(Mckay).

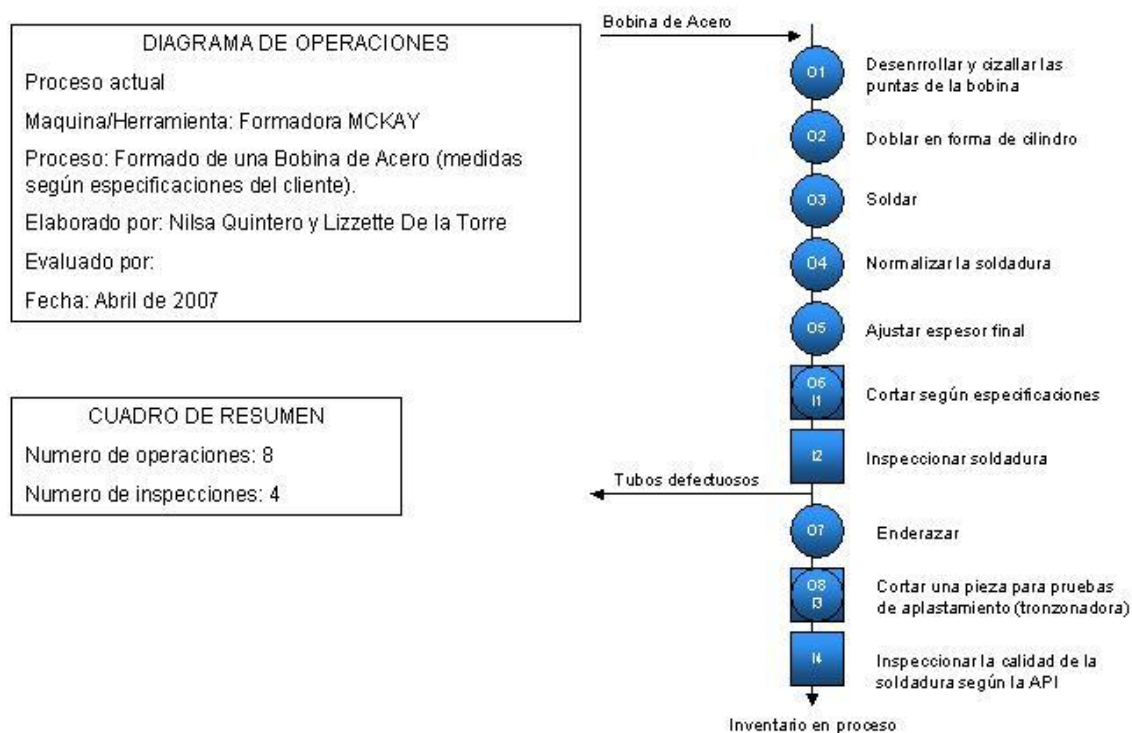


Fuente: Diseño propio.

Cada una de estas maquinas realiza una operación o inspección de acuerdo a su función, la cual es definida según su actual contexto operacional, como se muestra en la figura 7.

La siguiente figura no es más que la formalización en un diagrama de operaciones del proceso ya explicado.

Figura 9: Diagrama de operaciones del proceso de formado en la formadora MCKAY.



Fuente: Diseño propio con base en información proporcionada por Tenaris Tubocaribe.

Luego del reconocimiento, se debe proceder a la realización del análisis funcional de falla en el cual se identifican las funciones de los componentes de la línea en estudio. Para dichos componentes deben considerarse los siguientes aspectos:

- Identificar y describir las funciones de los sistemas y el criterio de ejecución.
- Describir los requerimientos de operación del sistema.
- Identificar las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos seleccionados.

La herramienta que se utilizara será el AMFE (Análisis de modo de fallos y efectos).

5.3.1 Análisis Modal De Fallos Y Efectos: AMFE.

EL AMFE es una herramienta de análisis para la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un producto/servicio y en un proceso.

Las características que determinan su naturaleza son:

- Permite actuar con carácter preventivo ante los posibles problemas porque se anticipa a la ocurrencia del fallo en los productos/servicios o en los procesos.
- Es una herramienta sistemática cuyo enfoque estructurado para su realización asegura que prácticamente todas las posibilidades de fallo sean consideradas.
- Su metodología permite priorizar las acciones necesarias para anticiparse a los problemas dando criterios para resolver conflictos entre acciones con efectos contrapuestos.
- Para su realización se requiere de trabajo en equipo que permita la puesta en común de los conocimientos de todas las áreas afectadas.

Tipos de AMFE

Existen dos tipos de AMFE: el de producto y el de proceso. El primero sirve como herramienta de optimización para el diseño del producto o servicio y el segundo sirve como herramienta de optimización del proceso antes de su traspaso a operaciones. Aunque cabe mencionar que el proceso de realización es idéntico para ambas versiones.

En general, los dos tipos de AMFE deben ser utilizados en una secuencia lógica, durante el proceso global de planificación. Porque una vez realizado el amfe de producto/servicio, este pondrá de manifiesto el impacto que puede tener el proceso en la incidencia de fallos en aquel, es decir, que será el punto de partida para el amfe de proceso.

Pero como a veces no se puede modificar el producto o servicio porque viene impuesto, como es el caso tratado en el presente documento con Tenaris Tubocaribe, entonces el proceso de planificación solo requerirá un amfe de prestación del servicio o como es el caso tratado, del proceso productivo.

Conceptos a Tener en Cuenta

- ✓ **Cliente:** hay dos tipos; el cliente interno que es la operación o siguiente fase dentro del proceso y el cliente externo que es el denominado usuario final.
- ✓ **Fallo:** producto/servicio o proceso que no lleva a cabo su función de la manera que se espera (satisfactoria).
- ✓ **Modo Potencial de Fallo:** Es la forma en que es posible que el producto/servicio o proceso falle (rotura, deformación, dilatación, etc.).
- ✓ **Efecto Potencial de fallo:** consecuencia que puede traer consigo la ocurrencia de un modo de fallo tal y como las experimentaría el cliente (deformación, no funciona, etc.).

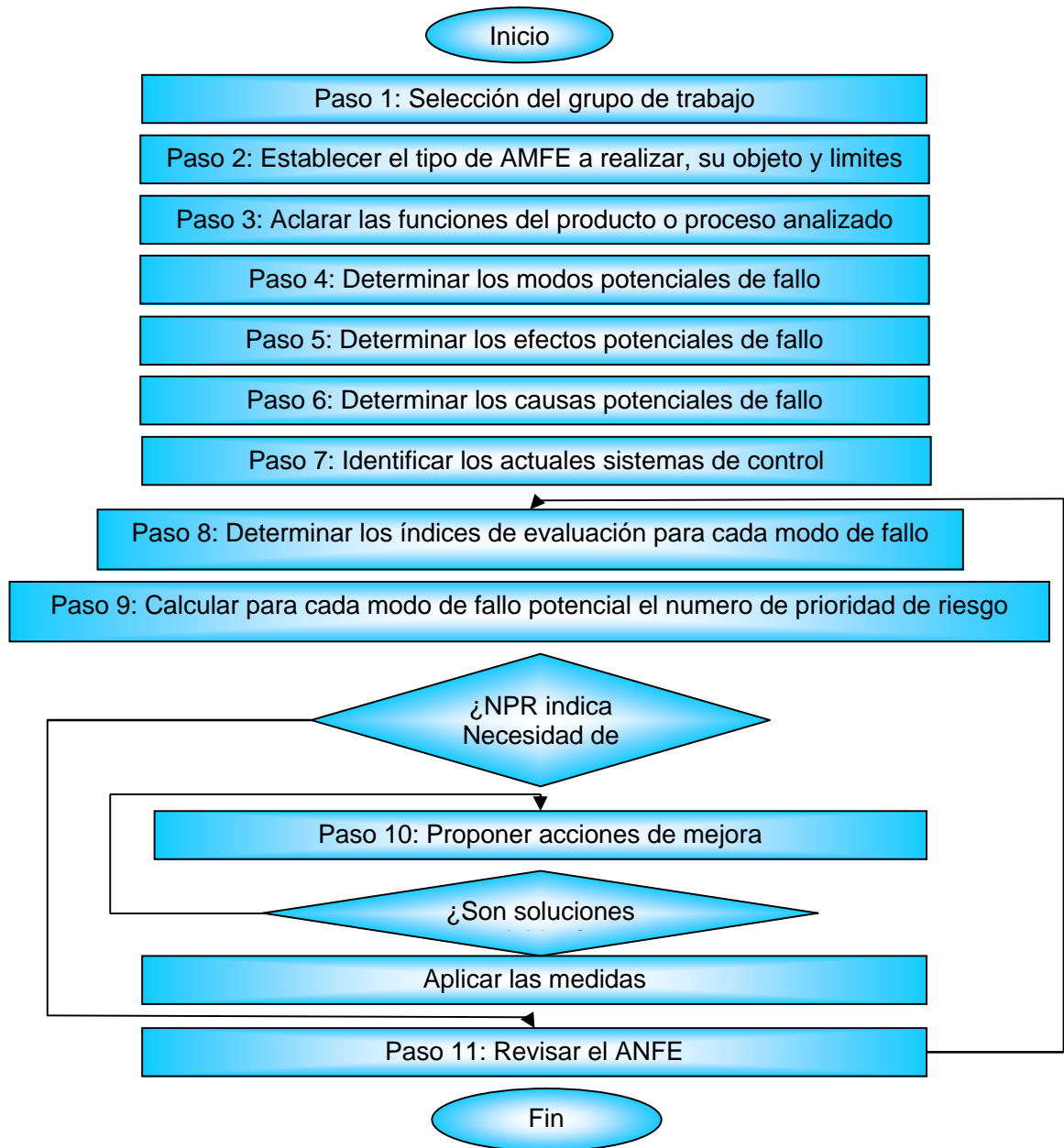
5.3.2 Aplicación de la Herramienta Del AMFE al Proceso de la Formadora Línea 1 Mckay.

Para aplicar la herramienta del AMFE al proceso de la formadora línea 1 Mckay de Tenaris Tubocaribe se van a seguir los lineamientos del proceso de realización del amfe que son resumidos en la siguiente figura, de tal forma que su entendimiento sea lo mas practico, rápido y sencillo posible, no solo para personas expertas o que tengan algún conocimiento acerca de la técnica, sino también para cualquier otra persona que tenga algún tipo de interés en su aplicación ya sea para el mismo proceso o empresa o para cualquier otro que se desee.

Una vez realizados los primeros nueve pasos prácticos, que mas que todo son los que permiten la construcción de la herramienta como tal, se procede al siguiente con el cual se obtendrán las acciones de mejora propuestas por el equipo de trabajo, teniendo en cuenta su viabilidad y para casos de implementación de dichas acciones se procede al siguiente y ultimo paso que consiste en la revisión del AMFE final, en el que se incluirán resultados y valores obtenidos de dicha implementación, pero ese no es el caso en el presente documento, pues este se limita al diseño de la herramienta para la empresa y se le da la opción a la misma de implementarla o no.

Posterior a la figura del diagrama de flujo para la realización del AMFE se presenta el resultado del AMFE aplicado al proceso de la formadora línea 1 Mckay, cuya selección ha sido previamente justificada en este mismo documento.

Figura 10: Diagrama de flujo para el proceso de realización del AMFE



Fuente: Fundibeq ANDES. Cumbre B. análisis modal de fallos y efectos (amfe). pag. 5.

Consideraciones para el análisis de la siguiente tabla del AMFE

Índice de gravedad (G): criterio que permite establecer un puntaje que indica la clasificación de la gravedad según el hecho de que un fallo produzca un efecto perceptible en el rendimiento del producto o servicio y que el cliente pueda detectar.


Índice de ocurrencia (O): criterio que permite establecer un puntaje que indica la probabilidad de ocurrencia de una falla.

Índice de detección (D): criterio que permite establecer un puntaje que indica la probabilidad de que el defecto causado por la falla ocurrida en el producto o en el servicio llegue al cliente al no ser detectado en el proceso por la poca fiabilidad de los sistemas de control.

Numero de prioridad de riesgo (NPR): es el indicador resultado de la multiplicación de los tres índices anteriores y es quien ayuda a determinar cuales son los ítems críticos y cuales no, de tal manera que se pueda tomar una decisión de si realizar o no los esfuerzos por prevenir las fallas en dicho producto o servicio.

En los anexos se encuentran las tablas que indican el criterio para calificar cada modo potencial de fallo.

Tabla 11: Análisis modal de fallos y efectos para el proceso de formadora línea 1 Mckay.


			ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)							Ref: _____						
<input type="checkbox"/> PRODUCTO/SERVICIO: _____ <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO: Formado de tubería de acero en la formadora línea 1 MCKAY Fecha de realización: Abril de 2007 fecha de aprobación: Abril de 2007			Analista: Lizzette De la Torre y Nilsa Quintero Aprobado por: Néstor Rodríguez fecha de revisión: _____													
Componente pieza/operación	Función	Modo Potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	G	Causas potenciales de fallo	O	Controles actuales	D	N P R	Acciones recomendadas	Responsable fecha limite	Acción Realizada fecha de implementación	G	O	D	N P R
Desembobinar y cizallar la lamina	-Facilitar la entrada del material. -Facilitar el empalme rollo-rollo	-Desbalance en coil box. -Falla en motor desembobinador -Falla de unidad hidráulica(cilindro y prensa)	Se frena la alimentación al acumulador y se para la formadora.	9	-Desgaste de cilindros. -Fuga de aceite en unidad hca. -Sobrecarga de energía y motor sin térmico.	5 7 2	-Se revisa en acción correctiva luego de ocurrir la falla.	1	45 63 18	-Acción predictiva para ciclo de vida de cilindros hco. -Acción preventiva para el control de la protección necesaria de los motores según su caballaje.	*	*				
Doblar en forma de cilindro	-Darle a la lamina forma cilíndrica por medio de rodillos ejerciendo fuerza	-Falla en la sincronización de la aplicación de la fuerza a la lámina. -Falla de los motores de formado.	Tubo puede salir defectuoso con respeto a la perfección de su redondez.	7	-Vibración de motores por mal ajuste a la base. -Drives o térmicos en sobre uso.	6 2	-Ajustes regulares de tornillería de base. - Mantenimiento a motores y rebobinado periódico.	2 3	84 42	-Revisión de ajuste y torque necesario para el tipo de tornillería de la base. -Tarea predictiva del ciclo de vida del embobinado.	*	*				
Soldar	-Pega de extremo con extremo de la lámina.	-Calentamiento de líquido soluble (fusión). -Por caída de rearme.	Se dispara soldador, se daña soldadura y se obtiene rechazo, el tubo no sirve.	1 0	-Presencia de metal dentro de la cabina soldador o en nariz de soldador. -Bloqueo de sistema de recorrido de refrigerante.	8 5	-Regulación de válvula y chequeo de funcionalidad. -Filtros para calamina o residuos metálicos en soluble.	7 4	56 0 20 0	-Acción periódica de revisión de trabajo de válvula. -Limpieza de pozos de soluble y ubicación de trampas de agua.	*	*				

Observaciones:

*Columna o espacio utilizado en proceso de implementación.


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007

Tabla 12: Continuación del Análisis modal de fallos y efectos para el proceso de formadora línea 1 Mckay.

		ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)							Ref: _____							
<input type="checkbox"/> PRODUCTO/SERVICIO: _____		Analista: Lizzette De la Torre y Nilsa Quintero Aprobado por: Néstor Rodríguez fecha de revisión: _____														
<input checked="" type="checkbox"/> PROCESO: Formado de tubería de acero en la formadora línea 1 MCKAY Fecha de realización: Abril de 2007		fecha de aprobación: Abril de 2007														
Componente pieza/ operación	Función	Modo Potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	G	Causas potenciales de fallo	O	Controles actuales	D	N P R	Acciones recomendadas	Responsable fecha limite	Acción Realizada fecha de implementación	G	O	D	N P R
Normalizar la soldadura	Darle a la soldadura las mismas propiedades que tiene el resto del tubo.	-Temperatura de normalizado por de bajo del nivel requerido.	-Tubo mal normalizado y soldadura con posible falla.	5	-Tarjetas o circuitos electrónicos quemados.	3	Sensor de temperatura (Pirómetro) permite chequear la temperatura.	7	10 5	-Acción preventiva de chequeo periódico para los circuitos electrónicos. Instalación de protección.	*	*				
Ajustar espesor final	Darle el diámetro final al tubo y espesor	-Desajuste de rodillos con respecto al diámetro especificado. -rodamientos con daños prematuros.	Tubos por fuera de lo límites de diámetro de acuerdo a normas API.	6	-Vibración de motor reductor por desacoplamiento. -Aplicación de la fuerza por desequilibrio	7 7	Ajustes de acuerdo a criterio del operador	2	84 84	-Tarea preventiva de alineación de motor con reductor.	*	*				
Cortar según especificaciones	Cortar tubo desacuado con la especificación y el tipo de tubería.	-Cortadora no manda corte.	Tubos muy largos o tubos muy cortos, fuera de los rangos permitidos.	6	-quiebre de eje de disco. -Encoder no mande señal por descuadre de ciclo.	3 5	No hay control actual	2	36 60	-Tarea preventiva de calibración de eje de disco. -Tarea preventiva para revisión del circuito y recepción de señales.	*	*				
Observaciones: *Columna o espacio utilizado en proceso de implementación.													Pág 2 de 3			

Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007

Tabla 13: Continuación del Análisis modal de fallos y efectos para el proceso de formadora línea 1 Mckay

				ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)						Ref: _____						
<input type="checkbox"/> PRODUCTO/SERVICIO: _____				Analista: Lizzette De la Torre y Nilsa Quintero												
<input checked="" type="checkbox"/> PROCESO: Formado de tubería de acero en la formadora línea 1 MCKAY				Aprobado por: Néstor Rodríguez												
Fecha de realización: Abril de 2007				fecha de aprobación: Abril de 2007						fecha de revisión: _____						
Componente pieza/operación	Función	Modo Potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	G	Causas potenciales de fallo	O	Controles actuales	D	N P R	Acciones recomen	Responsabl e fecha limite	Acción Realizada fecha de implementación	G	O	D	N P R
Enderezar	Ajustar rectitud del tubo	-Desequilibrio en la repartición de la fuerza ejercida sobre el tubo	Tubos torcidos	4	-Falla en la transmisión de potencia. -Alineación comprometida.	1 2	Ninguno	2	8 16	-Acciones preventivas para chequeo e alineación. -Tarea preventiva para evaluación de torque y de sincronización de rodillos con ejes	*	*				
Cortar una pieza para pruebas	Registrar el grado de aplastamiento del tubo	-Cortadora de tronzonado no manda corte.	Tubo sin trazabilidad. (+)	3	-Falla en señales eléctricas.	2	-Alternativa de operación manual(++)	1	6	-Acción preventiva para el chequeo del circuito.	*	*				
Observaciones: *Columna o espacio utilizado en proceso de implementación. (+) Tema con relación al seguimiento del área de producción. (++) No significa un control, solo que si falla la actividad la puede realizar manualmente un operador.													Pág 3 de 3			

Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007

5.3.3 Selección de Ítems Críticos.

Para continuar con la aplicación del RCM, se llega a la selección de los 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 o índice de ocurrencia y su severidad o índice de gravedad. La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad del impacto que ese fallo puede provocar sobre la instalación. Para esta determinación también se considerará en igual grado de importancia el mayor valor del número de prioridad de riesgo (NPR).

Todo lo anterior se hace con base en los resultados obtenidos en la aplicación del AMFE, para ello se está considerando que el comportamiento de datos se analiza mejor a través de gráficos, es por ello que se decide tomar los resultados de los números de prioridad de riesgo (NPR) para graficarlos y así tomar la decisión de los ítems críticos, como se muestra en el **Gráfico 7**.

Considerando los dos primeros aspectos para determinar la criticidad (índice de ocurrencia e índice de gravedad) y estableciendo una escala simultánea, es decir, para ambas características al mismo tiempo, de 1 a 6 como índices no críticos y de 7 a 10 como índices críticos, se obtiene el resultado mostrado en la siguiente tabla:

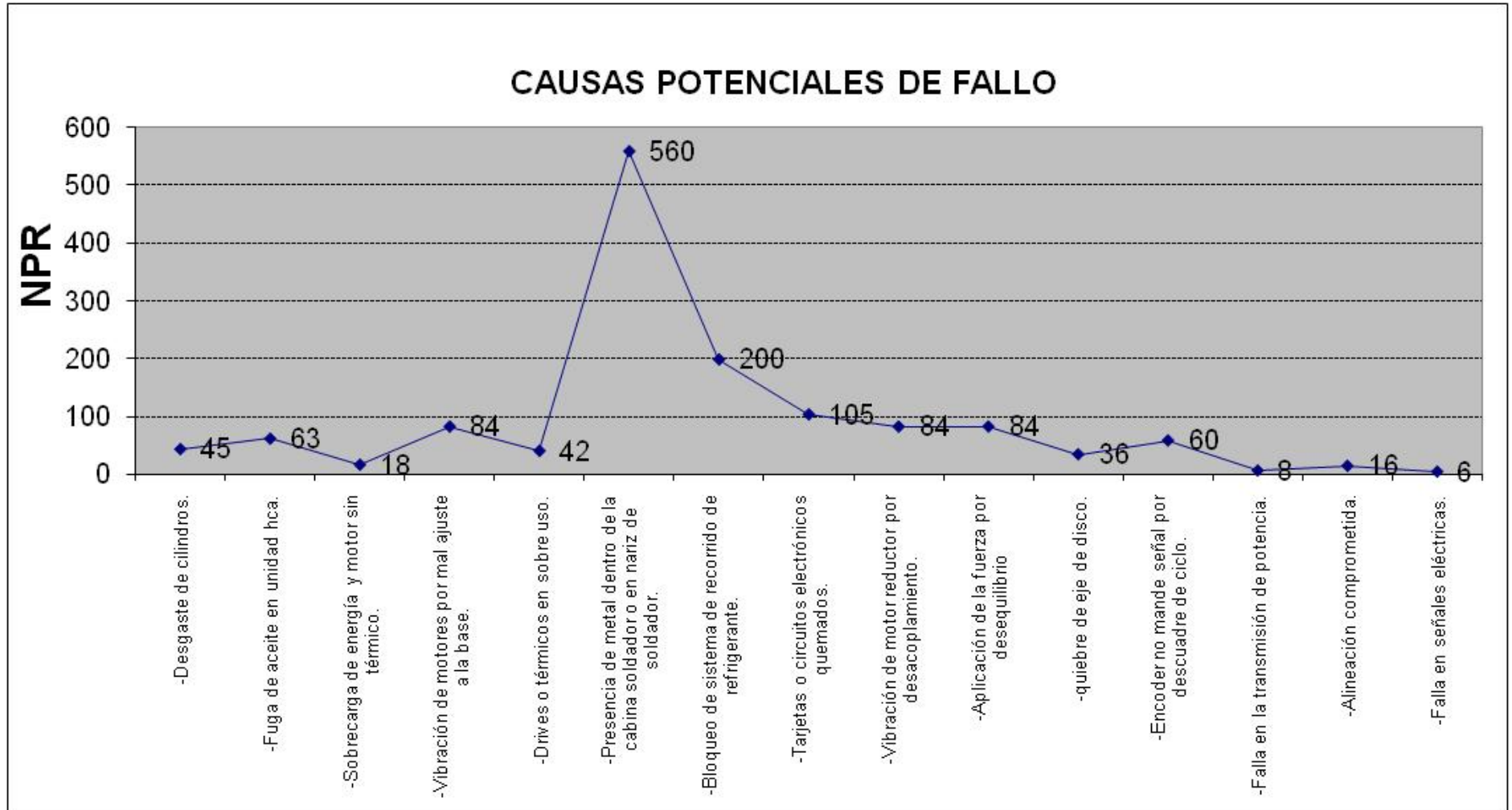
Tabla 14: Evaluación de la Criticidad según Índices de Gravedad y Ocurrencia

CRITICIDAD SEGÚN INDICE DE GRAVEDAD Y DE OCURRENCIA					
ÍTEM CRITICO			ÍTEM NO CRITICO		
Ítem	G	O	Ítem	G	O
-Fuga de aceite en unidad hca.	9	7	-Desgaste de cilindros.	9	5
			-Sobrecarga de energía y motor sin térmico.	9	2
-Presencia de metal dentro de la cabina soldador o en nariz de soldador.	10	8	-Vibración de motores por mal ajuste a la base.	7	6
			-Drives o térmicos en sobre uso.	7	2
			-Bloqueo de sistema de recorrido de refrigerante.	10	5
			-Tarjetas o circuitos electrónicos quemados.	5	3
			-Vibración de motor reductor por desacoplamiento.	6	7
			-Aplicación de la fuerza por desequilibrio	6	7
			-quiebre de eje de disco.	6	3
			-Encoder no mande señal por descuadre de ciclo.	6	5
			-Falla en la transmisión de potencia.	4	1
			-Alineación comprometida.	4	2
			-Falla en señales eléctricas.	3	2

Fuente: diseño propio

Estos resultados serán comparados con los que se obtengan al considerar el número de prioridad de riesgos (NPR), ítem que incluye todos los anteriores además del de detección por lo cual este resultado se puede considerar como de mayor peso o impacto, para realizar la tabla resultante, se consideraran los picos mostrados por el **Gráfico 7** además de una escala de 1 a 199 como No Críticos y de 200 a 500 como Críticos, los ítems quedan como se muestra en la **Tabla 14**.

Grafico 7: Priorización de los Ítem Críticos



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Evaluación de la Criticidad según el número de prioridad de riesgos (NPR)

CRITICIDAD SEGÚN INDICE DE GRAVEDAD Y DE OCURRENCIA			
ÍTEM CRITICO		ÍTEM NO CRITICO	
Ítem	NPR	Ítem	NPR
-Presencia de metal dentro de la cabina soldador o en nariz de soldador.	560	-Desgaste de cilindros.	45
		-Fuga de aceite en unidad hca.	63
		-Sobrecarga de energía y motor sin térmico.	18
-Bloqueo de sistema de recorrido de refrigerante.	200	-Vibración de motores por mal ajuste a la base.	84
		-Drives o térmicos en sobre uso.	42
		-Tarjetas o circuitos electrónicos quemados.	105
		-Vibración de motor reductor por desacoplamiento.	84
		-Aplicación de la fuerza por desequilibrio	84
		-quiebre de eje de disco.	36
		-Encoder no mande señal por descuadre de ciclo.	60
		-Falla en la transmisión de potencia.	8
		-Alineación comprometida.	16
		-Falla en señales eléctricas.	6

Fuente: diseño propio

Al hacer un análisis comparativo de los dos resultados se encuentran tres ítems críticos y 12 no críticos. Entre los ítems críticos se encuentra el de “Fuga de aceite en unidad hca”, el cual no se encuentra como critico según el NPR, debido a que su calificación en los índices de detección es de 1 (1/10.000 según el anexo D) lo cual indica completa fiabilidad de los sistemas o el sistema de control, pues es detectado inmediatamente y de igual forma solucionado, es por ello que hay casi un 100% de probabilidad de que no llegue al cliente este resultado.

Por lo anteriormente explicado se decide que los ítems críticos son los mostrados en la **Tabla 15**, por lo tanto son ellos los que serán tratados como tal.

5.3.4 Tratamiento de los ítems no críticos.

En el paso anterior los ítems críticos se seleccionan para el análisis extenso del RCM. Pero ocurre que en el sistema existen ítems que no son analizados, en este caso las plantas tienen un programa de mantenimiento para estos ítems no críticos, o realizan el mantenimiento según las especificaciones técnicas del proveedor. Es por ello que resulta de gran importancia que la empresa, no solo haga una correcta y muy detallada selección de sus proveedores, sino también, que establezca una relación muy estrecha con los mismos, resultado de una integración vertical hacia atrás, que les permita estar en línea en cuanto a sus objetivos de calidad e intereses de competitividad.

Aunque la teoría del RCM clásico admite que a los componentes considerados como no críticos se les deje operar hasta su fallo sin aplicarles ningún tipo de mantenimiento preventivo, no es el caso que se seguirá en el presente documento, pues con anterioridad se dejó claro que se aplicarían los conceptos adicionales que permitan la mejora de la empresa como un todo y no solo en algunas partes (las críticas), es por ello que se recomienda efectuar una evaluación de estos componentes no críticos antes de tomar esta decisión.

Actualmente en Tenaris Tubocaribe, para tratar los aspectos que no son considerados como críticos, no se está realizando algún tipo de plan preventivo que evite que ocurran dichas fallas, lo que se hace es la asignación de personas responsables de cada área, la cual debe estar pendiente de que inmediatamente ocurre la falla sea arreglada o corregida, como esta ha sido la manera tradicional de enfrentar dichas fallas, los personajes a cargo, ya tienen conocimientos de la experiencia que les permite estar en el momento preciso a

la hora precisa, pero esto hace también que dichos personajes tengan que estar una gran parte del tiempo laboral en inspecciones permanentes.

Lo que se busca con la aplicación de esta filosofía no solo es que se ahorre que puede ser invertido en actividades más productivas, sino también que se tengan identificadas y controladas de manera preventiva las causas fundamentales que ocasionan dichos efectos.

Considerando lo anterior, se recomiendan las siguientes actividades:

Tabla 16: Acciones Recomendadas para los Ítems No Críticos

Causas potenciales de fallo	Controles actuales	Acciones recomendadas
-Desgaste de cilindros. -Fuga de aceite en unidad hca. -Sobrecarga de energía y motor sin térmico.	-Se revisa en acción correctiva luego de ocurrir la falla.	-Acción predictiva para ciclo de vida de cilindros hca. - Control frecuente acerca del estado de la unidad hca. -Acción preventiva para el control de la protección necesaria de los motores según su caballaje.
-Vibración de motores por mal ajuste a la base. -Drives o térmicos en sobre uso.	-Ajustes regulares de tornillería de base. -Mantenimiento a motores y rebobinado periódico.	-Revisión de ajuste y torque necesario para el tipo de tornillería de la base. -Tarea predictiva del ciclo de vida del embobinado.
-Presencia de metal dentro de la cabina soldador o en nariz de soldador. -Bloqueo de sistema de recorrido de refrigerante.	-Regulación de válvula y chequeo de funcionalidad. -Filtros para calamina o residuos metálicos en soluble.	-Acción periódica de revisión de trabajo de válvula. -Limpieza de pozos de soluble y ubicación de trampas de agua.
-Tarjetas o circuitos	-Sensor de	-Acción preventiva de

electrónicos quemados.	temperatura (Pirómetro) permite chequear la temperatura.	chequeo periódico para los circuitos electrónicos. Instalación de protección.
-Vibración de motor reductor por desacoplamiento. -Aplicación de la fuerza por desequilibrio.	Ajustes de acuerdo a criterio del operador.	-Tarea preventiva de alineación de motor con reductor.
-Quiebre de eje de disco. -Encoder no mande señal por descuadre de ciclo.	No hay control actual	-Tarea preventiva de calibración periódica del eje del disco. -Tarea preventiva para revisión frecuente del circuito y recepción de señales.
-Falla en la transmisión de potencia. -Alineación comprometida.	Ninguno	-Acciones preventivas para chequeo de alineación. -Tarea preventiva para evaluación de torque y de sincronización de rodillos con ejes.
-Falla en señales eléctricas.	-Alternativa de operación manual	-Acción preventiva para el chequeo periódico del circuito.

Fuente: Análisis Propio

5.3.5 Selección de las Tareas de Mantenimiento para los ítems Críticos.

El resultado de la tarea de selección de ítems críticos, es la lista de componentes (críticos y no críticos seleccionados para el caso anterior) a los que convendrá identificar una tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo. El objetivo de la presente tarea es efectuar dicha asignación de actividades de mantenimiento.

También es importante que estas tareas de mantenimiento se acoplen a un esquema de seguridad tanto para el personal que ejecutan las tareas como

para el ambiente, por lo tanto en este aspecto se llevan a analizar a las tareas desde la óptica del árbol de decisión.

La técnica del diagrama del árbol de falla es un método que nos permite identificar todas las posibles causas de un modo de falla en un sistema en particular. Además nos proporciona una base para calcular la probabilidad de ocurrencia por cada modo de falla del sistema. Esta técnica es conveniente aplicarla en sistemas que contengan redundancia.

Mediante un A.A.F podemos observar en forma gráfica la relación lógica entre un modo de fallo de un sistema en particular y la causa básica de fracaso. Este técnica usa una compuerta "y" que se refiere a que todos los eventos debajo de la compuerta deben ocurrir para que el evento superior a la misma pueda ocurrir. De la misma forma utiliza una compuerta "o" que denota que al ocurrir cualquier evento situado debajo de la compuerta, el evento situado arriba ocurrirá.

Método:

El Análisis de Árbol de Falla consta de seis pasos fundamentales, los cuales son:

- Definición del sistema, es decir, los elementos que componen el sistema, sus relaciones funcionales y las funciones requeridas.
- La definición del evento cima debe ser analizado, así como el límite de su análisis.
- La construcción del A.A.F por rastreo de los eventos debajo de la cima y progresivamente eventos debajo por categorías y niveles con sus especificados funcionales.
- Estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada uno de las causas de fracaso.
- Identificación de cualquier fracaso de la causa común potencial que afecta las compuertas "y".
- Calcular la probabilidad de ocurrencia del evento de cima de falla.

De forma genérica, el proceso de selección de tareas de mantenimiento se inicia con la identificación de las causas más probables asociadas a los distintos modos de fallo de los componentes considerados, información que se ha facilitado con la realización del AMFE, anteriormente expuesto.

Tabla 17: Acciones Recomendadas para los Ítems Críticos.

Causas potenciales de fallo	Controles actuales	Acciones recomendadas
-Presencia de metal dentro de la cabina del soldador o en nariz de soldador. -Bloqueo de sistema de recorrido de refrigerante.	-Regulación de válvula y chequeo de funcionalidad. -Filtros para calamina o residuos metálicos en soluble.	-Acción preventiva de revisión periódica de trabajo de válvula. -Limpieza de pozos de soluble y ubicación de trampas de agua.

Fuente: Análisis Propio

Procedimientos a seguir

Para el tratamiento de los ítems críticos y no críticos, es decir, las tareas de mantenimiento propuestas, se limitaran a unas actividades generales para efectos del diseño, se aclara que no se especificaran los procedimientos a seguir en cada caso, debido a que dichos procedimientos deben ser evaluados por un equipo especialista en mantenimiento y en la maquinaria a tratar, sin embargo, se proporcionara las herramientas para la realización de los procedimientos teniendo en cuenta que la aplicación de estos se encuentra en la etapa de implementación del diseño por parte de la empresa TENARIS TUIBOCARIBE.

El objetivo del diseño de estos formatos son los siguientes:

- a) Lograr que se alargue la vida útil del equipo;
- b) Disminuir costos operacionales del equipo;
- c) Mantener la confiabilidad y continuidad de los equipos;

- d) Disminuir riesgos para operadores, pacientes y visitas;
- e) Racionalizar el uso de los recursos para mantenimiento;
- f) Mejorar el rendimiento o efectividad del personal;

El cuidado para llenar el formulario de cada rutina es muy importante, pues así no se descuidan detalles que hacen al rcm más efectivo. Por esta razón se ha estimado conveniente describir cada una de las partes que constituyen el formato de las rutinas, para luego determinar los pasos a seguir.

Figura 11: Formato propuesto para diseño de procedimiento

RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO		MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL HOSPITAL NACIONAL DE: DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
EQUIPO	<i>Electrocardiógrafo</i>	SERVICIO:			
MARCA		AMBIENTE:			
MODELO					
SERIE					
N° IVA TÉCNICO					
ID					
	<i>Trimestral</i>	1	2	3	4
Efectuar limpieza general de las superficies: externas / internas:					
Revisar gabinete, perillas, terminales, y conectores					
Realizar prueba de señal (1mV) y compruebe la amplitud					
Verificar estado de aguja marcadora, control térmico y presión mecánica, calibrar si es necesario					
Comprobar el buen estado de cables, electrodos y otros conductores eléctricos					
Limpiar y verificar el estado del sistema de transporte de papel					
Verificar con simulador de ECG señal de prueba (ver reverso)					
Comprobar el estado de la carga de baterías, reemplácelas si es necesario					
Realizar prueba de seguridad eléctrica (ver hoja anexa)					
Comprobar operatividad del equipo en conjunto con el operador.					
FECHA DE REALIZACIÓN					
CODIGO DE TÉCNICO					
FIRMA DEL TÉCNICO					
TIEMPO DE EJECUCIÓN (TIEMPO ESTÁNDAR J.H)					

Recomendaciones:

- Complementar la ejecución de la rutina con el manual del fabricante, si éste está disponible.
- Revisar el número de inventario y reponer si es necesario.
- Siempre complete toda la información.

MDP-MED012
MARZO/98

ENCABEZADO

REGISTRO DE PASOS DE RUTINA

REGISTRO DE DATOS

FECHA DE ACTUALIZACIÓN, CODIGO DEL FORMATO

Fuente: proyecto de mantenimiento hospitalario.

Ministerio de salud y asistencia social. San salvador nov 1998

Cada parte del formato debe ser completado por el personal encargado de ejecutar la rutina. Las partes que componen el formato son:

A. Encabezado

Existen dos tipos, uno utilizado para equipo de mantenimiento y gmb, y otro para planta física, cada uno solicita la siguiente información:

Encabezado para equipo de mantenimiento y gmb

1. Planta
2. Marca
3. Modelo
4. Número de serie
5. Servicio en que se encuentran
6. Ambiente
7. N° de inventario técnico
8. Número de Identificación (ID).

Encabezado para planta física

1. Planta
2. Tipo
3. Cantidad de elementos (mingitorios, inodoros, longitud de canales, etc.)
4. Ubicación
5. Características
6. N° de inventario técnico

B. Registro de pasos de rutina

Este contiene lo siguiente:

1. Frecuencia con que se ejecuta la rutina.
2. Pasos de la operación de MPP.
3. Casillas, que deben ser marcadas con un cheque, cada vez que se ejecutan los pasos del MPP. Cada paso contiene varias casillas, es decir que cada formato está diseñado para utilizarse varias veces (generalmente un año).

C. Registro de datos

Se deberá detallar la siguiente información:

1. Fecha de realización
2. Código del técnico
3. Firma del técnico
4. Tiempo de ejecución, el cual comprende desde el momento en que se inicia la ejecución de la rutina, hasta que se termina de ejecutar la misma (incluyendo la prueba de seguridad eléctrica). Para efectos de programación, se deben considerar también los tiempos de preparación de material, herramienta y repuestos necesarios para la ejecución de la rutina.

D. Material

Cada rutina tiene incorporado una lista de materiales gastables, repuestos, herramientas y equipos, mínimos que un técnico necesita para realizarla. Esto no limita que para casos especiales se necesiten otros materiales.

Nota: *Algunas rutinas requieren equipo sofisticado.*

E. Observaciones

En el reverso del formato de cada rutina se incluye un espacio para que cada vez que sea ejecutada la rutina, se escriban las observaciones pertinentes sobre el estado y funcionamiento del equipo.

Figura 12: sección observaciones formato procedimientos

Materiales Consumibles	Repuestos Mínimos	Herramientas y Equipo
<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de superficies • Limpia contactos eléctricos • Franela • Algodón • Alcohol • Esfuerzo 	<ul style="list-style-type: none"> • Foco de lámpa • Batería • Banda de latex • Fusiolas • Enterte 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarmador Plano • Desarmador Philips • Puntas Puntas Alargada • Cables • Analizador de seguridad eléctrica • Estacion de suelta • Dilatador • Simulador de ECG

OBSERVACIONES

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Fuente: proyecto de mantenimiento hospitalario.

Ministerio de salud y asistencia social. San salvador nov 1998

F. Prueba de seguridad eléctrica

La mayoría de equipos médicos incluyen en la rutina una serie de pruebas de seguridad eléctrica. Cada paso incluye el valor permitido según la norma IEC 601.1.

Algunas pruebas de seguridad eléctrica, que están separadas de las rutinas de rcm

Correspondientes, tienen un encabezado que solicita la misma información que el de la rutina. Este también debe ser completado.

Procedimiento de uso del formato:

1. Buscar la hoja para ejecutar la rutina correspondiente.
2. Preparar el material, las herramientas, el equipo y los repuestos necesarios para ejecutar la rutina.
3. Dirigirse hacia el lugar donde se encuentra el equipo.
4. Llenar el encabezado del formato.

5. Hablar con el operador para detectar fallas en el funcionamiento del equipo (Ejecutar una prueba de funcionamiento junto con el operador si es posible)

6. Ejecutar paso por paso las instrucciones indicadas en el formato, señalando con un cheque después de ejecutar cada paso (no olvide leer las recomendaciones al pie de página del formato).

NOTA: si existe algo inusual o que merezca anotarse, registrarlo en el espacio para observaciones al reverso de la hoja.

7. Si el problema indicado por el operador no ha sido corregido, anotarlo en observaciones para que el jefe de mantenimiento pueda programar una visita para brindar el mantenimiento correctivo.

8. Regresar la hoja al departamento de mantenimiento para la firma de aceptación. Recuerde que cada formato está hecho para usarse varias veces. Por ejemplo si la frecuencia de la rutina es trimestral, la primera ejecución se señala bajo el número uno. La 2ª bajo el número 2, etc.

Nótese que para que estos pasos puedan darse, la rutina debe haber sido previamente programada.

5.3.6 Determinación de los Intervalos de Mantenimiento.

Para determinar los intervalos óptimos de mantenimiento, es necesaria la información acerca de las fallas, es decir la función de razón de fallos, las consecuencias y los costos de las fallas, etc. Las dos primeras se encuentran en el AMFE realizado y la tercera puede ser estimada, para efectos de diseño de la propuesta, pero se recomienda una estimación mucho más exacta a la hora de implementar.

El criterio de la selección de las tareas de mantenimiento usadas en el RCM, tiene dos requisitos:

1. **Aplicabilidad:** un programa de mantenimiento es aplicable, cuando este puede eliminar la falla, o reducir la probabilidad de ocurrencia hasta un nivel aceptable, reduciendo el impacto de las fallas.

Para este caso, ya fue cubierta con la asignación de las recomendaciones para cada caso crítico y no crítico.

2. **Efectividad:** significa que el costo de las tareas de mantenimiento es menor que los costos de las fallas. Una vez definidas las tareas del programa de mantenimiento recomendado, se estima su costo y se compara el costo de las actividades actuales y se evalúa su efectividad.

Estimación de tiempos entre falla: Para realizar una estimación se sigue el siguiente camino: primero es necesario obtener información de los tiempos muertos de un periodo determinado, a manera de ejemplo se tomo el año 2006, como se muestra:

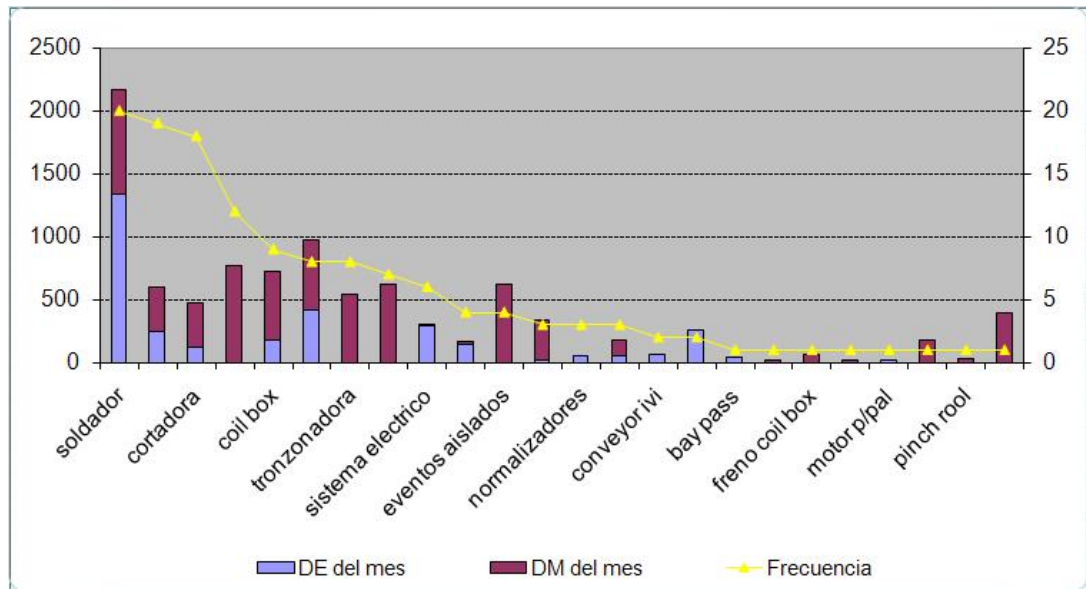
Tabla 18: Daños eléctricos y mecánicos por submáquina año 2006.

Elemento	Daño Eléctrico	Daño Mecánico	Frecuencia
soldador	1332	830	20
lopper	245	346	19
cortadora	122	352	18
llanta de expulsión	0	765	12
coil box	180	543	9
equipo de entrada	410	565	8
tronzadora	0	536	8
bomba pozo soluble	0	623	7
sistema eléctrico	289	16	6
enderezador	145	24	4
eventos aislados	6	617	4
guild	12	325	3
normalizadores	46	0	3
ut en línea	50	123	3
conveyor ivi	58	0	2
motor cortadora	257	0	2
bay pass	45	0	1
buriladora	0	15	1
freno coil box	0	66	1
motor coil box	0	15	1
motor p/pal	20	0	1
motor pozo soluble	0	180	1
pinch roll	0	25	1
squeeze roll	0	390	1

Fuente: diseño propio con información de Tubocaribe.

Teniendo en cuenta cual es la manera mas practica de analizar el comportamiento de dichos datos, estos son analizados mediante la siguiente grafica donde es apreciable el número de paros ocurridos en el periodo analizado (año 2006), tal y como sigue:

Grafico 8: análisis daños eléctricos y daños mecánicos.



Fuente: Diseño propio con información proporcionada por tenaris tubocaribe.

Considerando que, lo que finalmente se pretende es diseñar la factibilidad del mantenimiento, la cual es definida como la probabilidad de realizar el mantenimiento de un equipo en un tiempo específico, este periodo podría ser el tiempo medio para la reparación (MTTR), definido como:

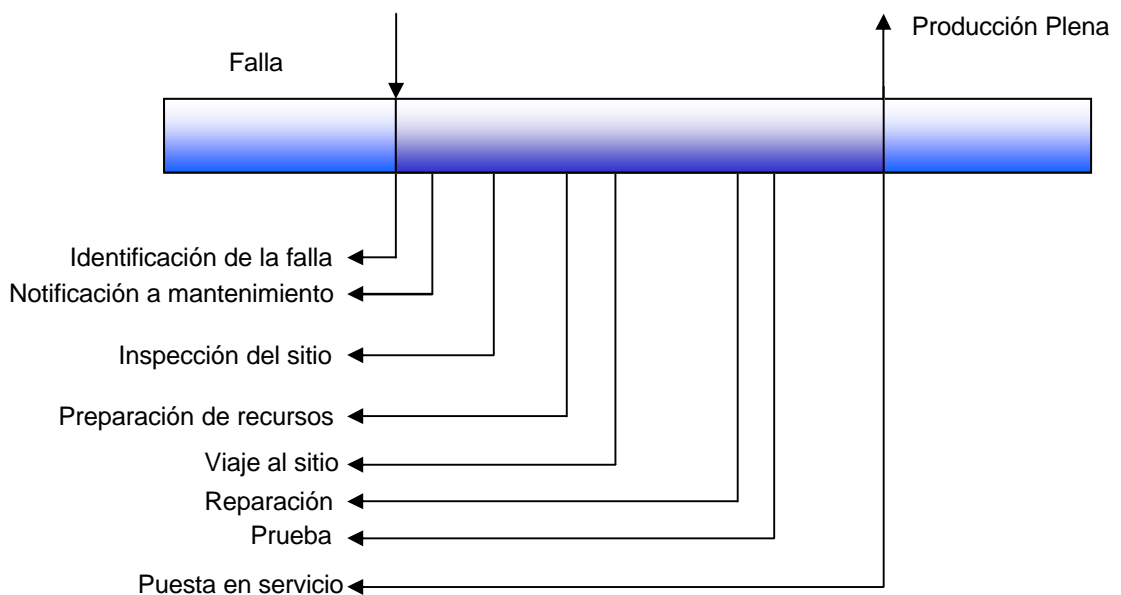
$$MTTR = \text{tiempo medio para la reparación} = \frac{\text{tiempo muerto por reparación}}{\text{numero de reparaciones}}$$

El tiempo muerto por reparación es el tiempo total desde la identificación de la falla o perdida de la función, pasando por la notificación a mantenimiento, la inspección del sitio, la preparación de los recursos a utilizar, el viaje al sitio, la propia reparación y las respectivas pruebas hasta la puesta en servicio nuevamente y la aceptación por parte del “cliente” del reestablecimiento de la

función, que es prácticamente todo lo que básicamente debe ocurrir a fin de que pueda comenzar la producción plena.

Las fases entre estos dos puntos, se muestra a continuación.

Figura 13: Medidas de Mantenimiento para el tiempo medio para la reparación (MTTR).



Fuente: RAOUF, A. CAMPBELL, John Dixon. DUFFUAA, Salih O. WILEY, Limusa. Sistemas de Mantenimiento, Planeacion y Control. p 358.

El caculo del tiempo medio para la reparación de los elementos de la formadora línea 1 Mckay utilizando la formula anterior se realiza con base en la muestra del año 2006, previamente mencionada. Como se muestra a continuación.

Cabe mencionar que depende de la empresa las unidades de tiempo que desee utilizar con el fin de facilitar su análisis y entendimiento correcto.

Tabla 19: Tiempo medio para la reparación de los elementos de la formadora línea 1 mckay.

Elemento	Tiempo muerto por reparación.	Numero de reparaciones	MTTR (horas)
soldador	2162	20	108,1
looper	591	19	31,1
cortadora	474	18	26,3
llanta de expu	765	12	63,8
coil box	723	9	80,3
equipo de entrada	975	8	121,9
tronzadora	536	8	67,0
bomba pozo soluble	623	7	89,0
sistema eléctrico	305	6	50,8
enderezador	169	4	42,3
eventos aislados	623	4	155,8
guild	337	3	112,3
normalizadores	46	3	15,3
UT en línea	173	3	57,7
conveyor ivi	58	2	29,0
motor cortadora	257	2	128,5
bay pass	45	1	45,0
buriladora	15	1	15,0
freno coil box	66	1	66,0
motor coil box	15	1	15,0
motor p/pal	20	1	20,0
motor pozo soluble	180	1	180,0
pinch roll	25	1	25,0
squeeze roll	390	1	390,0

Fuente: Cálculos propios con base en información proporcionada por Tenaris Tubocaribe.

Considerando que el resultado de cada estudio del **MCC o RCM** del sistema de un equipo es una lista de acciones de mantenimiento, programas y responsabilidades, que van a dar por resultado una mejor disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo, además de mayor eficacia en costos, se presenta la siguiente tabla resultado del diseño del plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM en la empresa Tenaris Tubocaribe.

Tabla 20: Plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM o MCC en Tenaris Tubocaribe para los Ítems Críticos de la formadora línea 1 Mckay.

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FILOSOFIA RCM O MCC					
					
Analistas: Lizzette De la Torre y Nilsa Quintero					
Fecha de realización: Abril de 2007					
Revisado por:					
Fecha de revisión:					
Maquina/equipo: Formadora Línea 1 Mckay					
Componente pieza/operación	Función	Control actual	Tarea de mantenimiento recomendada	Responsable	Periodicidad
Soldar	-Pega los extremos de la lámina.	-Regulación de válvula y chequeo de funcionalidad.	-Acción periódica de revisión de trabajo de válvula.	Mecánico nave 1	108.1 horas
		-Filtros para calamina o residuos metálicos en soluble.	-Limpieza de pozos de soluble y ubicación de trampas de agua.	Operador formadora	108.1 horas
Observaciones:					

Fuente: análisis propio

5.3.7 Implantación de Recomendaciones.

Una vez seleccionadas las actividades de mantenimiento consideradas más eficientes para los diferentes componentes analizados, se establecen las recomendaciones finales del estudio RCM y se lleva a cabo su implantación, actividad que queda a la decisión de la empresa y que no se incluye dentro de los límites establecidos para el presente documento.

En primer lugar, se efectúa la comparación de las tareas de mantenimiento vigentes en la instalación con las recomendaciones del análisis RCM. El resultado de esta actividad es el conjunto final de tareas de mantenimiento que se propone aplicar a cada componente. Dichas tareas finales de mantenimiento habrán surgido de aplicar los siguientes criterios:

- Si una tarea vigente de mantenimiento en la planta no ha sido recomendada por el estudio RCM, se propondrá su anulación.
- Si una tarea de mantenimiento recomendada por el estudio RCM no se está aplicando en la actualidad, se propondrá su incorporación al plan de mantenimiento.
- Si una tarea vigente de mantenimiento en la planta coincide con una tarea recomendada por el estudio RCM, se propondrá su retención.
- Si la frecuencia de una tarea vigente de mantenimiento en la planta no coincide con la de una tarea recomendada por el estudio RCM con el mismo contenido, se propondrá su modificación.

A partir de dichas recomendaciones finales, se deberá proceder a la redacción del nuevo plan de mantenimiento que se propone para la instalación. Para ello, es imprescindible la aprobación de las recomendaciones propuestas por parte de la gerencia, quien además fijará los criterios de aplicación y asignará los recursos necesarios.

La elaboración del nuevo plan de mantenimiento, además de las bases técnicas de mantenimiento obtenidas con el análisis RCM, requerirá considerar otros aspectos tales como los compromisos existentes, ajenos al mantenimiento, que implican la realización de determinadas tareas y el grado de eficacia que se consigue en la agrupación de diferentes actividades de mantenimiento. En algunos casos, será preciso elaborar nuevos

procedimientos de trabajo y realizar adaptaciones de los procesos informáticos existentes que pudieran estar relacionados con el tema.

5.3.8 Seguimiento de Resultados.

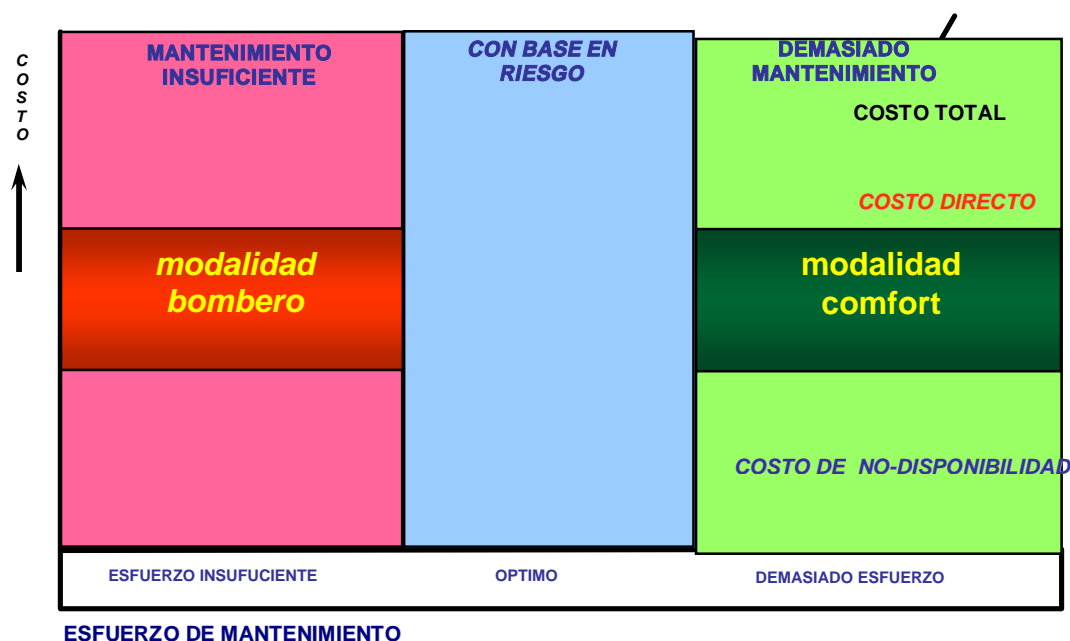
El seguimiento y el análisis de los resultados que se van obteniendo en la planta con la implantación del nuevo programa de mantenimiento son tareas que resultan de capital importancia para la evaluación de su eficacia. Este proceso requerirá por una parte, la definición de los parámetros e índices de seguimiento, la implantación de los pertinentes procesos de captación de la información básica necesaria, el establecimiento del adecuado procedimiento de actuación y la correspondiente asignación de recursos.

La necesidad de considerar nuevas técnicas de mantenimiento, añadir algún posible modo de fallo o componente no analizado inicialmente o revisar las hipótesis de estudio, sus conclusiones entre otras, harán conveniente la actualización global de estudio del RCM, cada cierto tiempo con el fin de minimizar la obsolescencia de las recomendaciones aportadas con el paso del tiempo.

5.4. Análisis costo beneficio de la aplicación de un sistema de mantenimiento con base en la filosofía RCM

Considerando que lo que entrega el RCM no es solo un plan de mantenimiento proactivo basado en la criticidad, sino también un plan optimizado entre costos y beneficios, el cual según el siguiente grafico es uno realmente efectivo debido al equilibrio en cuanto a la cantidad de mantenimiento que indica el RCM a diferencia de los que implican demasiado o muy poco mantenimiento en los que siempre serán extremados los costos totales que de ellos se obtengan.

Figura 14: Mantenimiento efectivo en costos



Fuente: Núñez, Alfonso. Diapositivas Curso de RCM, Universidad Tecnológica de Bolívar.

1p07.

Teniendo en cuenta que la información de costos de producción por tonelada en tenaris Tubocaribe corresponde a información confidencial, para la finalidad académica se ha decidido estimar los valores de acuerdo a aproximaciones basadas en información proporcionada por la empresa.

Considerando lo anteriormente mencionado, se presenta de manera muy general, el análisis costo beneficio del diseño del plan de mantenimiento para la formadora McKay en Tenaris Tubocaribe.

Tabla 21: análisis costo beneficio

Análisis costo/beneficio			
Sistema actual de mantenimiento		Mantenimiento basado en RCM	
Toneladas mensuales	6000 ton	Toneladas mensuales	6000 ton
Disponibilidad actual	63%	Disponibilidad con rcm	88.2%
Costo tonelada entregada	us 1.000	Costo tonelada entregada	us 1.000
Costo de no disponibilidad	us 1'620.000	Costo de no disponibilidad	us 708.000
Costo directo	us 500.000	Costo directo	us 500.000
Costo total	us 2'120.000	Costo total	us 1'208.000

Fuente: cálculos propios

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización del presente documento se hizo necesaria en gran medida por la necesidad de la empresa Tenaris Tubocaribe de ir a la vanguardia de las filosofías, técnicas, herramientas y demás elementos de gestión que actualmente están direccionando y fundamentando los altos niveles de competitividad a nivel nacional e internacional, considerando que ahora hace parte de la multinacional Tenaris.

Por otro lado, analizando los aspectos fundamentales de su planta y las razones por las cuales no se estaban obteniendo los resultados mas óptimos, se llegó a identificar que las estadísticas mostraban altos niveles de tiempos muertos o improductivos que estaban significando a su vez altos costos, no solo por no producir en esos momentos, sino también, por el mantenimiento correctivo al que en muchos casos, si no todos, había que recurrir.

Es por ello que surgió la idea de identificar de qué manera se podía solucionar dicho problema, o al menos disminuir la aparición de dichos tiempos muertos y a su vez su impacto en los costos de la empresa. Fue así que después de indagar se empezó a reconocer las bondades de la filosofía RCM (Reliability Centered Maintenance) o MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y los grandes aportes que podía proporcionar a la empresa en cuanto al sistema actual de mantenimiento.

El Mantenimiento centrado en Confiabilidad es una filosofía que data de los años 60 y que asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo eliminando aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas.

El resultado de cada estudio del MCC es una lista de acciones de mantenimiento, programas y responsabilidades, las cuales dan por resultado

una mejor disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo, y finalmente eficacia en costos.

Al entrar a analizar las actuales actividades de mantenimiento en la empresa Tenaris Tubocaribe para aquellos casos imprevistos a los que se recurría al mantenimiento reactivo o correctivo, se logro notar que hay algunos casos en los que definitivamente no se tenia ningún control que permitiera de alguna manera prever la ocurrencia de la falla, y en otros casos que son casi la mayoría lo que se hacia era dejar que el encargado hiciera lo que considerara conveniente y apropiado según su experiencia y conocimientos.

Pero lo que se busca con el diseño de un sistema de mantenimiento basado en RCM es establecer tareas y actividades periódicas de tipo preventivas que permitan una disminución de la ocurrencia de dichas fallas o al menos que se logre identificar la proximidad de su ocurrencia de tal forma que no los tome por sorpresa y a su vez que ocasione una parada de la producción (tiempo muerto) imprevista y costosa.

Además de lo anterior se busca que exista una especie de mezcla entre complot y compromiso por parte de todas las áreas involucradas directa o indirectamente con la programación, dirección y control de la producción, de tal forma que se obtengan soluciones globales a partir de aportes desde diferentes puntos de vista.

Esto a su vez, lograra, una mayor coerción y unión de las personas que conforman los equipos de trabajo, logrando así que sean todos los que se preocupen por la obtención de óptimos resultados y no que cada quien se preocupe por lo que le toca de manera aislada, sin importarle que su proveedor o su cliente hagan las cosas bien, hablando de clientes internos ya sea en el mismo proceso productivo o de realización de las actividades de mantenimiento.

Una de las principales cosas por las que se hizo este trabajo, es lograr que la empresa Tenaris Tubocaribe haga parte de su cultura laboral o de trabajo al Mantenimiento preventivo, el cual se lleva a cabo para asegurar la disponibilidad y confiabilidad del equipo, en donde la primera es definida como la probabilidad de que un equipo sea capaz de funcionar siempre que se le necesite, lo cual es lo ideal, y la segunda es definida como la probabilidad de que el equipo este funcionando en cualquier momento que se le necesite.

Además de diseñar un plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM, fundamentalmente lo que se pretende proponer es que se entre en una especie de ciclo de mejora continua que se vera traducido en la búsqueda permanente de la optimización del mantenimiento, mejorando los resultados de Fiabilidad, Disponibilidad y Seguridad y reduciendo los costos y el tiempo muerto para mantenimiento.

La filosofía RCM es, sino la mejor, una de las mejores bases para lograr la optimización de las tareas de mantenimiento, porque su objetivo se enfoca en el análisis de los modos de fallos y sus efectos y en la elección de la estrategia optima que permita conseguir mejores rendimientos manifestados principalmente en la fiabilidad e incluso en la reducción de costos.

El RCM persigue la optimización del mantenimiento mediante la flexibilidad y con la mejora continua de la retroalimentación de la experiencia, es decir, que se pretende, partiendo de un objetivo de fiabilidad dado, alcanzarlo a partir de un programa de mantenimiento preventivo optimo desde el punto de vista técnico-económico y eliminando las tareas improductivas y que no agregan valor al mantenimiento.

Para la selección del grupo desarrollador del rcm dentro de la empresa, resultaría muy adecuado la integración al grupo de una persona que no este involucrada en las tereas diarias, cuya apreciación y aporte serian

indispensables debido a la óptica con la cual se aportan los comentarios o sugerencias.

La inclusión de unas tareas de mantenimiento en un software facilita el control y seguimiento de las mismas, sin embargo, este programa debe ser sencillo, práctico, y su difusión y control debe ser difundido periódicamente.

Las tareas que sean seleccionadas deben hacerse con los materiales y equipos adecuados para la seguridad, disponibilidad y costos de mantenimiento, teniendo en cuenta que lo elegido debe satisfacer aspectos fundamentales como: Aplicabilidad (facilidad de puesta en marcha), Eficacia (que reduzca la tasa de fallo) y Economía (costos aceptables).

Además de todo lo anteriormente presentado se recomienda que si la idea es iniciar una mentalidad de trabajo en mantenimiento preventivo, esto requerirá de la colaboración de sus proveedores, quienes pueden proporcionar información fundamental para el logro de dicho objetivo (MP: mantenimiento planeado), para ello sería importantísimo que se haga una integración vertical hacia atrás, la cual consiste en establecer una estrecha relación con los proveedores, de tal forma que los objetivos de ambos en cuanto a calidad, productividad y competitividad se comporten como dos líneas paralelas.

Con lo anterior también se busca que los proveedores tengan la posibilidad de brindar respaldo con respecto a la asesoría de materiales, y adquisición de repuestos y equipos. Empresas como skf, sumitomo, John Crane, entre otras, brindan asesoría con respecto a lectura de vibración de equipos, además de contar con el respaldo del éxito de aplicación en otras empresas tal como cabot, Ecopetrol, petroquímica, quienes afianzan las alianzas para el abastecimiento de repuestos justo a tiempo.

Una recomendación muy importante que no se debe olvidar es que está claro que todas las metodologías (TPM, RCM, TQM, RCFA, etc.) son muy buenas

cuando se aplican sistemáticamente. Pero desde un punto de vista práctico, cada una de ellas parece tener su objetivo y sus ventajas. Por ejemplo y para el caso del presente documento en particular, el TPM tiende a enfocarse en la prevención del mantenimiento y en el cuidado ejercido por el operador. El RCM se enfoca en los modos de fallo y en la consecución de la función del sistema. Son dos muy buenas metodologías y van bien ambas. Pero es recomendable mencionar que si estas se combinan, se perfecciona el proceso y se mejora el trabajo en equipo y la cooperación a nivel de producción, siendo el resultado un rendimiento y una producción, más elevados y costos de explotación más bajos.

La anterior recomendación está fundamentada en el estudio del caso práctico de la combinación de TPM y RCM en una fábrica de automóviles por Ron Rath, director de mejora continua en Diesel Technology Company. Grand Rapids, Michigan (EE.UU) y Ron Moore, Director socio de The RM Group, Inc. Knoxville, Tennessee (EE.UU), empresa especializada en la fabricación basada en fiabilidad.

También se recomienda tener en cuenta que la administración del mantenimiento ha tenido que cambiar para estar al día con el cambiante lugar de trabajo. La escala del cambio va desde un solo trabajador vigilando un sencillo y robusto molino de agua hasta los ingenieros de confiabilidad desarrollando programas de mantenimiento predictivo, eficaces en costos, para un grupo de robots soldadores.

Lo importante al fin y al cabo de lo dicho anteriormente, es que varias metodologías han sido desarrolladas para ayudar al ingeniero de mantenimiento en estos cambios, entre las que se encuentran además de, el diseño para la factibilidad del mantenimiento, el mantenimiento centrado en la confiabilidad y el mantenimiento productivo total, están otras que también son capaces de obtener resultados importantes si son aplicadas de manera sistemática como son el Benchmarking (patrones de referencia) y la


reingeniería del proceso de mantenimiento cuyos conceptos pueden ser ampliados en el libro de DUFFUAA, Salih, Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control.


Por lo ya mencionado, el presente documento se hace flexible a cambios periódicos por su propia naturaleza en busca de la optimización de las técnicas y filosofías aplicadas y las recomendadas.


También cabe mencionar que la reducción de tiempos muertos puede lograrse con muy buenos resultados aplicando otras técnicas de gestión, como son un estudio de productividad que incluya un estudio de métodos y tiempos, de tal forma que se logren reducir o eliminar las actividades innecesarias y por tanto reducir los tiempos de realización de todas las actividades.


BIBLIOGRAFÍA

- ✚ MOUBRAY, Jhon Mitchel. Reliability Centered Maintenance, Secund. Edition.
- ✚ CARDOZO, Gonzalo. Curso De Confiabilidad. Universidad Tecnológica de Bolívar, Junio de 2006.
- ✚ DUFFUAA, Salih. RAOUF, A. Campbell Jhon, Dixon. Sistemas De Mantenimiento, Planeación Y Control, Editorial Limusa Vailey.
- ✚ SOURIS, Jean Paul. Mantenimiento: Fuente De Beneficios, Ediciones Días De Santos S.A.
- ✚ LLANES, Aramís Alfonso. HERNÁNDEZ PASCUAL, Kelly. LEIVA RIVERO, Yonier. (profesores departamento Ingeniería Industrial. Universidad Central “MARTA ABREU” de las Villas) Integración Mantenimiento (rcm) – Gestión de la Producción. Su influencia en el mejoramiento de la confiabilidad operacional de la empresa.
- ✚ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS: ICONTEC. Compendio de las normas colombianas para la presentación de tesis y otros trabajos de grado, edición actualizada, 2005 y 2006. 126 p.
- ✚ SHMELKES, Corina. Manual para la presentación de Anteproyectos e informes de investigación. Editorial OXFORD. Pp. 122, 130, 133, 141, 160 y 162.
- ✚ Sitios web consultados:

 <http://www.monografias.com/trabajos25/mantenimiento-productivo-total/mantenimiento-productivo-total.shtml>.

 :<http://www.confabilidad.net/kb/rcm.htm>.

 <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>.

 <http://www.solomantenimiento.com/articulos/analisis-causa-raiz.htm>.

ANEXOS

Anexo A: Índice de Gravedad (G) para Modos de Fallo.

Criterio	Clasificación
Irrazonable esperar que el fallo produjese un efecto perceptible en el rendimiento del producto o servicio. Probablemente, el cliente no podrá detectar el fallo.	1
Baja gravedad debido a la escasa importancia de las consecuencias del fallo, que causarían en el cliente un ligero descontento.	2 3
Moderada gravedad del fallo que causaría al cliente cierto descontento. Puede ocasionar retrabajos.	4 5 6
Alta clasificación de gravedad debido a la naturaleza del fallo que causa en el cliente un alto grado de insatisfacción sin llegar a incumplir la normativa sobre seguridad o quebrando de leyes. Requiere retrabajos mayores.	7 8
Muy alta clasificación de gravedad que origina total insatisfacción del cliente, o puede llegar a suponer un riesgo para la seguridad o incumplimiento de la normativa.	9 10


Anexo B: Índice de Ocurrencia (O) para Modos de Fallo

Criterio	Clasificación	Probabilidad
Remota probabilidad de ocurrencia. Sería irrazonable esperar que se produjera el fallo.	1	1/10.000
Baja probabilidad de ocurrencia. Ocasionalmente podría producirse un número relativo bajo de fallos.	2 3	1/5.000 1/2.000
Moderada probabilidad de ocurrencia. Asociado a situaciones similares que hayan tenido fallos esporádicos, pero no en grandes proporciones.	4 5 6	1/1.000 1/500 1/200
Alta probabilidad de ocurrencia. Los fallos se presentan con frecuencia.	7 8	1/100 1/50
Muy alta probabilidad de ocurrencia. Se producirá el fallo casi con total seguridad.	9 10	1/20 1/10

Anexo C: Índice de Detección (D) para Modos de Fallo

Criterio	Clasificación	Probabilidad
Remota probabilidad de que el defecto llegue al cliente. Casi completa fiabilidad de los controles.	1	1/10.000
Baja probabilidad de que el defecto llegue al cliente ya que, de producirse, sería detectado por los controles o en fases posteriores del proceso.	2	1/5.000
	3	1/2.000
Moderada probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente.	4	1/1.000
	5	1/500
	6	1/200
Alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente debido a la baja fiabilidad de los controles existentes.	7	1/100
	8	1/50
Muy alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente. Este está latente y no se manifestaría en la fase de fabricación del producto.	9	1/20
	10	1/10

Anexo D: Formato general para AMFE en Tenaris Tubocaribe

				ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)						Ref: _____						
<input type="checkbox"/> PRODUCTO/SERVICIO: _____				Analista: _____												
<input type="checkbox"/> PROCESO: _____				Aprobado por: _____												
Fecha de realización: _____				fecha de aprobación: _____						fecha de revisión: _____						
Componente pieza/ operación	Función	Modo Potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	G	Causas potenciales de fallo	O	Controles actuales	D	NPR	Acciones recomen	Responsable fecha limite	Acción Realizada fecha de implementación	G	O	D	NPR
Observaciones:												Pag: ____ de ____				


Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007

Anexo E: Formato para la descripción de Equipos/Herramientas en Tenaris Tubocaribe.

 Tenaris TuboCaribe FORMATO PARA DESCRIPCION DE EQUIPOS						
Responsable/s:				Ref:		
Aprobado por:				Fecha:		
Equipo	Nomenclatura del equipo	Características y capacidad	Especificaciones	Vida útil (indicada por el fabricante)	Tiempo estimado de uso	Localización dentro del arreglo general de la planta
Observaciones:						

Fuente: Diseño Propio, Abril de 2007.

Anexo F: Formato para el análisis de fallas

 FORMATO PARA EL ANÁLISIS DE FALLAS	
Analista/s:	Ref:
Aprobado/Revisado por:	
Fecha de análisis:	fecha de revisión:
Maquina / Submaquina:	
Tipo de daño	
<input type="checkbox"/> D.E. <input type="checkbox"/> D.M. <input type="checkbox"/> SOL. <input type="checkbox"/> M.H. <input type="checkbox"/> Otro, cual:	
1. ¿Qué falló?	

2. ¿Por qué falló?	

3. ¿Cómo falló?	

4. ¿Ítem Crítico? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
5. ¿Causas aparentes?	

6. Selección de la Causa Raíz.	

7. Tipo de Acción a realizar.	
<input type="checkbox"/> Preventiva <input type="checkbox"/> Predictiva <input type="checkbox"/> Reactiva	
Cual: _____	

8. ¿Tarea de mantenimiento? (en caso de No desarrollarla según sea el caso)

Si

No

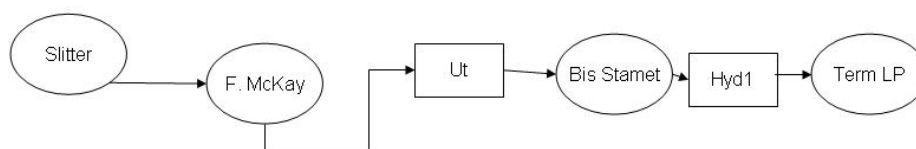
9. Recomendaciones (opcional: de otras áreas, indicar cual)

10. Observaciones (opcional: de otras áreas, indicar cual)

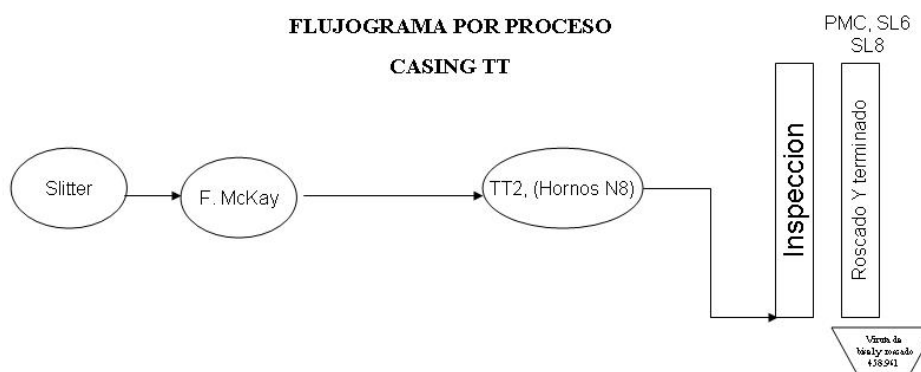
Fuente: Diseño Propio

Anexo G: Flujogramas de proceso por producto en Tenaris Tubocaribe.

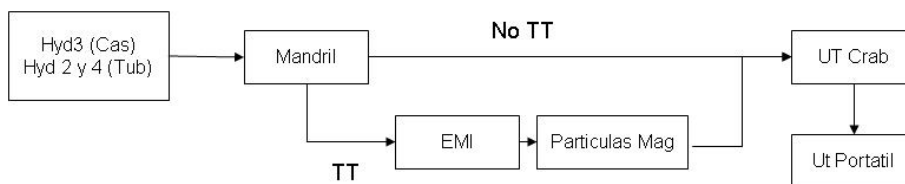
FLUJOGRAMA POR PROCESO LINE PIPE



FLUJOGRAMA POR PROCESO CASING TT



Detalle inspección:

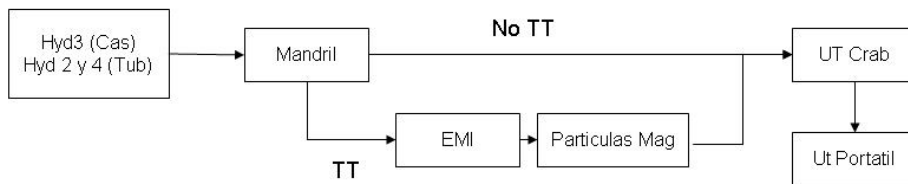


FLUJOGRAMA POR PROCESO

CASING

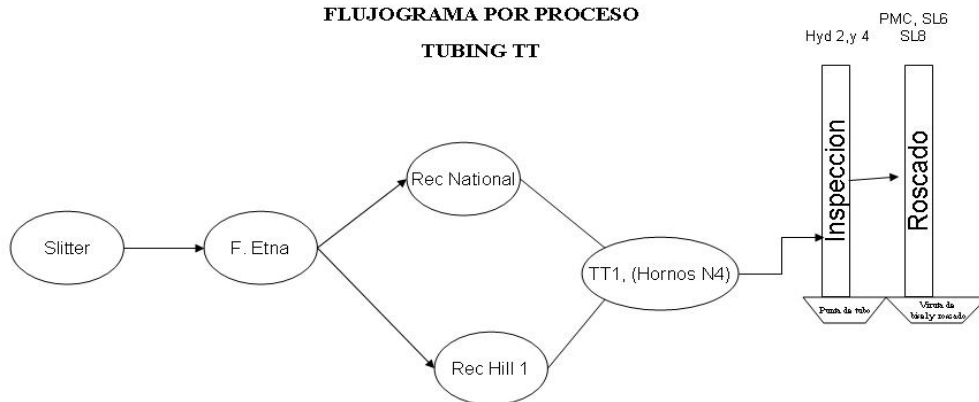


Detalle inspección:

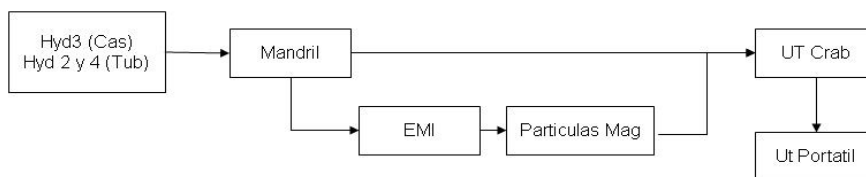


FLUJOGRAMA POR PROCESO

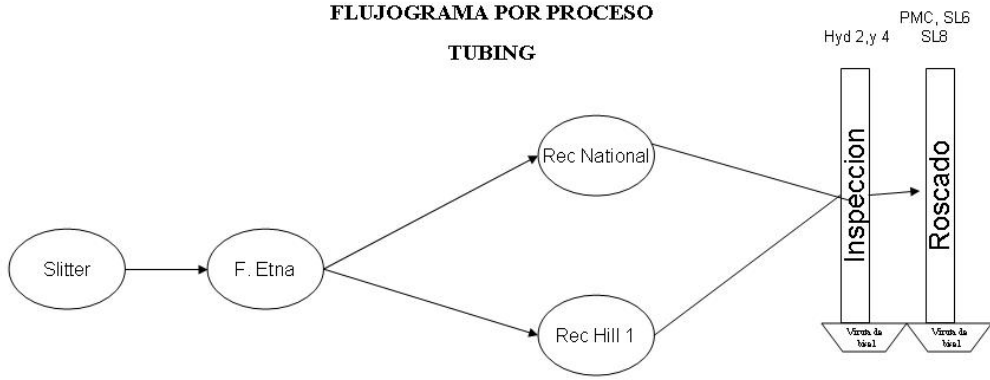
TUBING TT



Detalle inspección:



FLUJOGRAMA POR PROCESO
TUBING



Detalle inspección:

